

# 基于随机森林算法的濉溪县冬小麦信息提取研究

许翊航, 陈建华, 方 刚\*

宿州学院环境与测绘工程学院, 安徽 宿州

收稿日期: 2026年6月4日; 录用日期: 2026年7月5日; 发布日期: 2026年7月22日

## 摘 要

基于GF-1遥感影像数据, 结合随机森林算法, 对安徽省淮北市濉溪县冬小麦种植区域进行了长时间监测研究。通过对研究区2023年10月至2024年6月间15期高分辨率影像进行预处理, 主要包括辐射定标、大气校正等操作, 生成了濉溪县NDVI和EVI时序影像, 分析了濉溪县冬小麦的生长特性。在此基础上, 选取关键期影像进行分类, 采用随机森林法精准地提取了濉溪县冬小麦种植面积, 并与其他分类算法(最大似然法、支持向量机法、神经网络法)进行了精度比较分析。结果表明, 随机森林算法在分类精度和稳定性方面具有显著优势, 尤其在冬小麦越冬期的提取效果最佳。研究成果可为濉溪县冬小麦种植布局优化和农业监测提供科学依据, 验证了随机森林算法在农作物遥感监测中具有很大潜力。

## 关键词

GF-1, 随机森林算法, NDVI, EVI, 濉溪县

# Research on Winter Wheat Information Extraction in Suixi County Using Random Forest Algorithm

Yihang Xu, Jianhua Chen, Gang Fang\*

School of Environment and Surveying Engineering, Suzhou University, Suzhou Anhui

Received: June 4, 2026; accepted: July 5, 2026; published: July 22, 2026

## Abstract

Based on GF-1 remote sensing imagery and the Random Forest Algorithm, a long-term monitoring

\*通讯作者。

文章引用: 许翊航, 陈建华, 方刚. 基于随机森林算法的濉溪县冬小麦信息提取研究[J]. 环境保护前沿, 2026, 16(7): 1223-1237. DOI: 10.12677/aep.2026.167124

study of winter wheat planting areas in Suixi County, Huaibei City, Anhui Province was carried out. Fifteen high-resolution images of the study area acquired from October 2023 to June 2024 were preprocessed—mainly through radiometric calibration and atmospheric correction—to generate NDVI and EVI time-series images of Suixi County, and the growth characteristics of winter wheat were analyzed. On this basis, images from key growth stages were selected for classification, and the Random Forest method was applied to accurately extract the winter wheat planting area of Suixi County; its accuracy was then compared with that of other classification algorithms (Maximum Likelihood, Support Vector Machine, and Neural Network). The results show that the Random Forest Algorithm has significant advantages in classification accuracy and stability, achieving the best extraction performance particularly during the overwintering stage of winter wheat. These findings can provide a scientific basis for optimizing winter wheat planting layout and agricultural monitoring in Suixi County, demonstrating the great potential of the Random Forest Algorithm in crop monitoring based on remote sensing.

## Keywords

GF-1, Random Forest Algorithm, NDVI, EVI, Suixi County

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

小麦是中国第三大粮食作物，其持续发展为保障国内粮食安全做出了重要贡献。而冬小麦是我国主要的粮食作物，对国民经济稳定发展和国家粮食安全有着至关重要的作用，及时准确地获取冬小麦种植信息，有利于农业生产管理、农业规划、种植结构调整，为后续开展冬小麦长势监测和产量估算提供可靠的数据支撑[1][2]。对于宏观政策的有效制定与执行、农情信息的精准监测，以及实施小麦减灾保产策略，具有重要的现实意义[3]。值得注意的是，随着我国冬小麦种植面积的持续扩大，种植区管理的挑战日益增多[4]。小麦种植面积数据，传统方法主要是通过抽样调查与统计报表获取，不仅资源消耗巨大，还难以确保数据客观性与全面反映小麦种植的时空分布特征[5]。

相比之下，卫星遥感技术凭借其大面积同步观测、高时效性和数据客观性等优势，已成为大范围农作物种植区信息提取的首选方法[6]。在冬小麦种植管理中，传统的监督分类算法，如最小距离法和最大似然法，受人为主观因素影响较大，且未能充分发挥数据挖掘技术的潜力。近年来，遥感分类领域已提出多种数据挖掘算法，其中随机森林算法因其高准确率、快速计算能力及对大数据集的高效处理能力，在实际应用中得到了广泛应用[7]。

当前可使用的国内外遥感数据主要有：美国的 Landsat 系列卫星数据、欧洲的 Sentinel (哨兵)系列卫星数据、法国的 SPOT 系列卫星数据、HJ-1、GF 系列影像等[8]。目前，提取农作物的卫星遥感数据多是 MODIS 数据，虽具有重访周期短、覆盖率高等特点，但是空间分辨率较低，易受到云覆盖影响。Landsat 卫星影像的空间分辨率适中，但其时间分辨率为 16 天，一旦出现恶劣天气现象，易错过识别小麦的最佳生长期[9]。而高分一号(GF-1)影像具有空间分辨率高，重访周期短，多光谱成像特点，有丰富的细节和纹理信息，在农业监测方面有很大优势[10]。GF-1 卫星是我国第一颗低轨遥感卫星，设计寿命 5 年以上，具有高分辨率、宽幅面等优点，多用于监测森林、湿地、绿洲等生态植被变化[11]。例如，刘学刚[12]等人利用 GF-1 影像分析了青岛市冬小麦种植面积变化，证明了该技术不仅能减少野外工作量，还能显著提

高数据采集的效率。张卜戈[13]等采用随机森林算法和 GF-1 数据对黑龙江北安市的玉米和大豆种植区进行了分类,精度超过 90%, Kappa 系数达到 0.9。张兆鹏[14]等人基于 GF-1 遥感影像,定量分析了民勤绿洲植被覆盖的时空变化规律。赵琳琳[15]等人以 GF-1 号和 Landsat8 两种传感器的同期影像构建了对比数据库,并达到良好效果。王建步[16]等人运用 GF-1 卫星数据,对黄河口湿地植被地上生长部分碳储量的空间分布状况进行了定量研究,证实了这一技术能实现大范围小麦种植区的快速监测。高浩[17]等人基于 GF-1 长时间序列数据,通过决策树分类进一步提取了研究区农作物信息,获得了较高精度。本文以 2023 年 10 月 21 日至 2024 年 6 月 3 日的 15 景 GF-1 数据为数据源,选取安徽省淮北市濉溪县作为研究区,通过随机森林算法对濉溪县冬小麦种植区进行监测,并验证算法的精度和提取研究区冬小麦的种植面积。研究结果可为优化濉溪县冬小麦种植空间布局 and 推动其可持续发展提供重要的理论支持和数据支持。

## 2. 研究区概况与数据来源

### 2.1. 研究区概况

濉溪县位于安徽省淮北市,地理坐标为  $33^{\circ}16'N\sim34^{\circ}14'N$ ,  $116^{\circ}31'E\sim116^{\circ}46'E$ ,总面积为  $1987\text{ km}^2$ 。地处淮北平原中部,地势由西北向东南微倾,除东北部少量低山残丘外,大部分地区为平原。县内河湖众多,气候属暖温带半湿润季风区,四季分明,年均日照 2326 小时,气温  $14.5^{\circ}\text{C}$ ,无霜期 202 天,年均降水量 802 mm。濉溪县冬小麦种植面积大,产量较高,濉溪县行政区划图如图 1 所示。

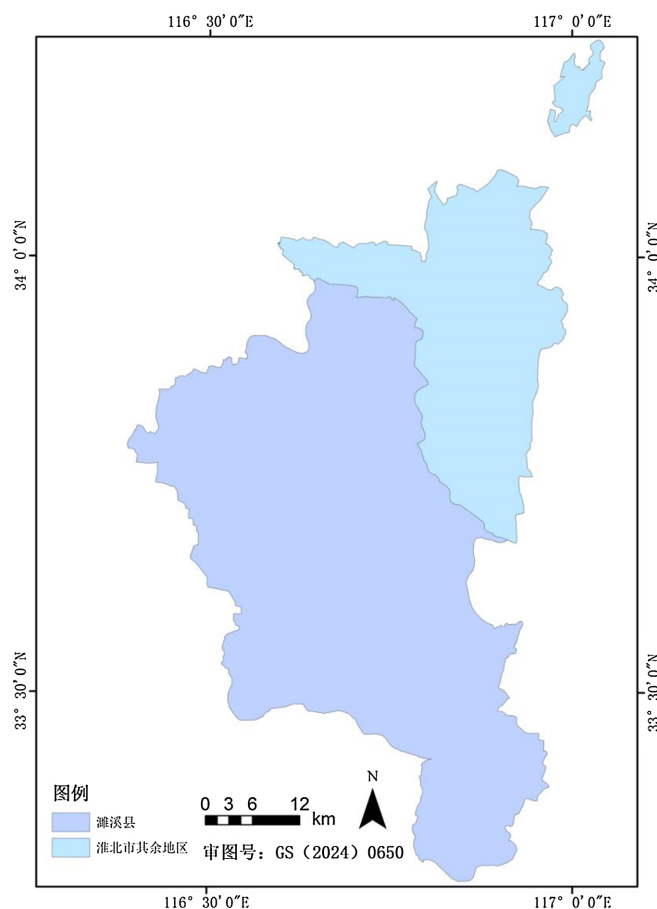


Figure 1. Location map of the study area

图 1. 研究区概况图

2.2. 数据来源

高分一号(GF-1)卫星于 2013 年 4 月 26 日发射,配备了 4 台分辨率为 16 m 的多光谱相机,涵盖蓝(0.45~0.52  $\mu\text{m}$ )、绿(0.52~0.59  $\mu\text{m}$ )、红(0.63~0.69  $\mu\text{m}$ )和近红外(0.77~0.89  $\mu\text{m}$ )四个波段,组合后具有 800 km 的宽幅,重访周期为 2 天,具有较高的空间和时间分辨率。结合冬小麦生长周期(如表 1 所示),综合考虑云量和时相因素[18],选取了濉溪县 2023 年 10 月 21 日至 2024 年 6 月 3 日间质量较好的 15 景 GF-1/WFV 影像数据,数据属性如表 2 和表 3 所示。矢量文件是基于国家地理信息公共服务平台(天地图)下载的审图号为:GS(2024)0650 号,底图无修改。

**Table 1.** Growth cycle of winter wheat in Suixi County  
**表 1.** 濉溪县冬小麦生长周期表

| 日期     | 冬小麦  |
|--------|------|
| 10 月上旬 | 播种出苗 |
| 12 月下旬 | 分蘖   |
| 1 月中下旬 | 越冬   |
| 2 月下旬  | 返青   |
| 3 月下旬  | 拔节   |
| 4 月中旬  | 抽穗   |
| 6 月中旬  | 成熟   |

**Table 2.** Attributes of GF-1 image  
**表 2.** GF-1 影像属性表

| 年份   | 影像编号                                          | 影像日期       | 云量(%) |
|------|-----------------------------------------------|------------|-------|
| 2023 | GF1_WFV2_E116.6_N34.3_20231021_L1A13138216001 | 2023.10.21 | 0     |
| 2023 | GF1_WFV4_E117.0_N33.5_20231107_L1A13156376001 | 2023.11.07 | 0     |
| 2023 | GF1_WFV1_E117.4_N33.0_20231114_L1A13164915001 | 2023.11.14 | 0     |
| 2023 | GF1_WFV3_E117.4_N33.9_20231123_L1A13176737001 | 2023.11.23 | 0     |
| 2023 | GF1_WFV1_E117.6_N33.0_20231225_L1A13218473001 | 2023.12.25 | 0     |
| 2024 | GF1_WFV3_E117.9_N33.9_20240107_L1A13234496001 | 2024.01.07 | 0     |
| 2024 | GF1_WFV4_E117.0_N33.5_20240128_L1A13261386001 | 2024.01.28 | 0     |
| 2024 | GF1_WFV1_E116.8_N34.7_20240308_L1A13313933001 | 2024.03.08 | 0     |
| 2024 | GF1_WFV1_E116.4_N33.0_20240308_L1A13313934001 | 2024.03.08 | 0     |
| 2024 | GF1_WFV2_E116.0_N34.3_20240329_L1A13342899001 | 2024.03.29 | 0     |
| 2024 | GF1_WFV3_E118.0_N33.9_20240329_L1A13342819001 | 2024.03.29 | 0     |
| 2024 | GF1_WFV1_E115.9_N33.0_20240525_L1A13417098001 | 2024.05.25 | 7     |
| 2024 | GF1_WFV1_E116.3_N34.6_20240525_L1A13417097001 | 2024.05.25 | 19    |
| 2024 | GF1_WFV4_E117.5_N33.5_20240603_L1A13429255001 | 2024.06.03 | 1     |
| 2024 | GF1_WFV3_E115.5_N33.9_20240603_L1A13429232001 | 2024.06.03 | 4     |

**Table 3.** Characteristics of GF-1 image bands  
**表 3.** GF-1 影像波段属性特征表

| 波段序号和名称  | 中心波长(μm)  | 空间分辨率(m) |
|----------|-----------|----------|
| 波段 1-蓝   | 0.45~0.51 | 16       |
| 波段 2-绿   | 0.53~0.59 | 16       |
| 波段 3-红   | 0.64~0.67 | 16       |
| 波段 4-近红外 | 0.85~0.88 | 16       |

3. 研究方法

3.1. 研究技术路线

GF-1 影像经辐射定标、大气校正、正射校正、几何精配准及矢量裁剪预处理后，逐像元计算 NDVI 与 EVI，构建植被指数时序数据集。布设典型样点提取光谱时序曲线，耦合作物物候节律解析冬小麦长势动态。采用空间独立的双套感兴趣区(ROI)：训练集优化分类器参数，验证集评定精度，二者严格分离。在此基础上，分别采用随机森林、支持向量机、神经网络及最大似然等监督分类方法[19]，并以混淆矩阵量化总体精度、Kappa 系数、用户精度及生产者精度，比较各算法分类精度。

3.2. 数据预处理及指数计算

3.2.1. 数据预处理

遥感影像受传感器误差、大气扰动及地形畸变等因素干扰，需经辐射定标、大气校正、正射校正、几何配准及矢量裁剪等预处理流程[20]，以恢复地表真实反射特性并确保几何定位精度。

3.2.2. NDVI 和 EVI 指数

NDVI 通过量化近红外波段与红色波段反射率差异来表征植被覆盖度，而 EVI 在 NDVI 基础上引入蓝色波段进行大气与土壤校正，有效抑制背景噪声，提升高生物量区植被监测精度[21][22]。NDVI 和 EVI 计算公式分别如公式(1)和(2)所示：

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \tag{1}$$

$$EVI = G * \frac{NIR - R}{NIR + C_1 * RED - C_2 * B + L} \tag{2}$$

式(1)和(2)中，*NIR*、*R* 和 *B* 分别代表近红外波段、红色波段和蓝色波段的反射率。*G* 为增益因子，值为 2.5；*C*<sub>1</sub> 和 *C*<sub>2</sub> 为气溶胶阻抗系数，其值分别为 6 和 7.5；*L* 为冠层背景调整因子，值为 1 [23]。

3.3. 时序数据分析

根据小麦的物候特征和 NDVI 时序曲线分析(如图 2 所示)，冬小麦在 10 月下旬播种，此时 NDVI 主要反映土壤信息[24]。播种后一周左右出苗，NDVI 开始上升，到 12 月中下旬，冬小麦进入分蘖期，叶绿素含量迅速增加，NDVI 曲线出现第一个峰值。随后，气温下降，冬小麦进入越冬期，叶绿素减少，NDVI 随之下降。3 月回暖，冬小麦进入返青期，NDVI 再次上升，并在 5 月抽穗期达到第二峰值。随后，冬小麦成熟，NDVI 逐渐下降。相比之下，EVI 时序曲线更能精准反映裸土与植被覆盖变化情况(如图 3 所示)，尤其在拔节期达到峰值，小麦收割后，EVI 降至最低值[25]。

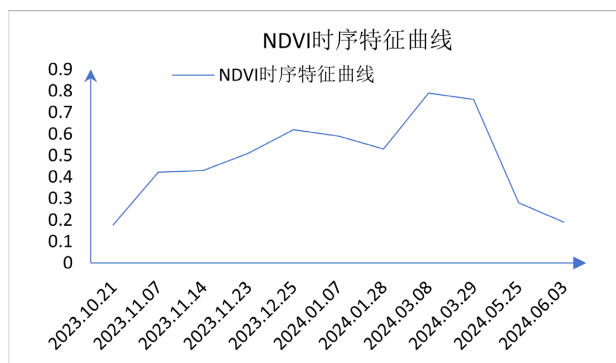


Figure 2. NDVI time series profile

图 2. NDVI 时序特征曲线

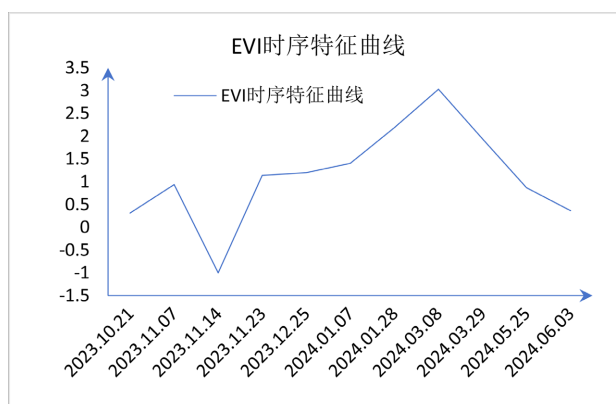


Figure 3. EVI time series profile

图 3. EVI 时序特征曲线

### 3.4. 关键期影像选择

在遥感影像处理过程中,光谱信息是关键特征之一[25]。为验证随机森林算法的精度,论文结合 NDVI、EVI 时序曲线、冬小麦生育周期[26]及样本分离度,选取了研究区关键期影像。通过对 11 景影像以及 NDVI、EVI 时序曲线分析发现,冬小麦从返青到拔节期的 NDVI 值最低,而 EVI 值最高,与其他植被区分明显,有利于分类。而在拔节期后,EVI 大幅度下降,可能是因气温升高,冬小麦逐渐成熟所致。综上所述,结合 2024 年 1 月 28 日 NDVI 和 EVI 时序极值点及样本分离度,确定该日期影像为关键期影像。

### 3.5. 随机森林、最大似然、神经网络与支持向量机法

随机森林(RF)是 Breiman 于 2001 年提出的集成学习算法,通过 Bagging 策略构建多棵决策树,以投票机制输出最终分类结果。相较于单一决策树,RF 具有更高的泛化能力与稳健性,运算效率高且能有效抑制过拟合;即便小样本条件下仍保持较好稳定性。其内置特征重要性评估功能,可降低人为干预,分类性能优异。鉴于 RF 在农作物遥感识别中的广泛应用,本研究选用该算法提取濉溪县冬小麦种植区,旨在为区域作物监测提供高效技术方案。其计算公式如公式(3)~(5)所示:

$$Gini(U) = \sum_i p(u_i) * (1 - p(u_i)) \quad (3)$$

$$H(U) = -\sum_i p(u_i) * \log_2 p(u_i) \quad (4)$$



$$F(x) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M f_m(x) \quad (5)$$

公式(3)~(5)中,  $p(u_i)$ 表示随机样本属于类别  $i$  的概率,  $M$  是随机森林中决策树的数量,  $f_m(x)$  是第  $m$  棵决策树对样本  $x$  的预测结果。

为系统评估随机森林算法性能, 引入最大似然法(MLC)、神经网络法(ANN)及支持向量机(SVM)进行并行对比。MLC 基于概率密度函数假设实现参数化分类; ANN 依托非线性激活函数构建自适应学习机制; SVM 则通过核函数映射与结构风险最小化原则处理小样本非线性问题。综合提取面积一致性、OA 及 Kappa 系数等指标, 定量解析各算法适用边界, 以凸显随机森林在冬小麦提取中的相对优势与局限。

## 4. 结果与分析

### 4.1. 随机森林法提取冬小麦与精度评价

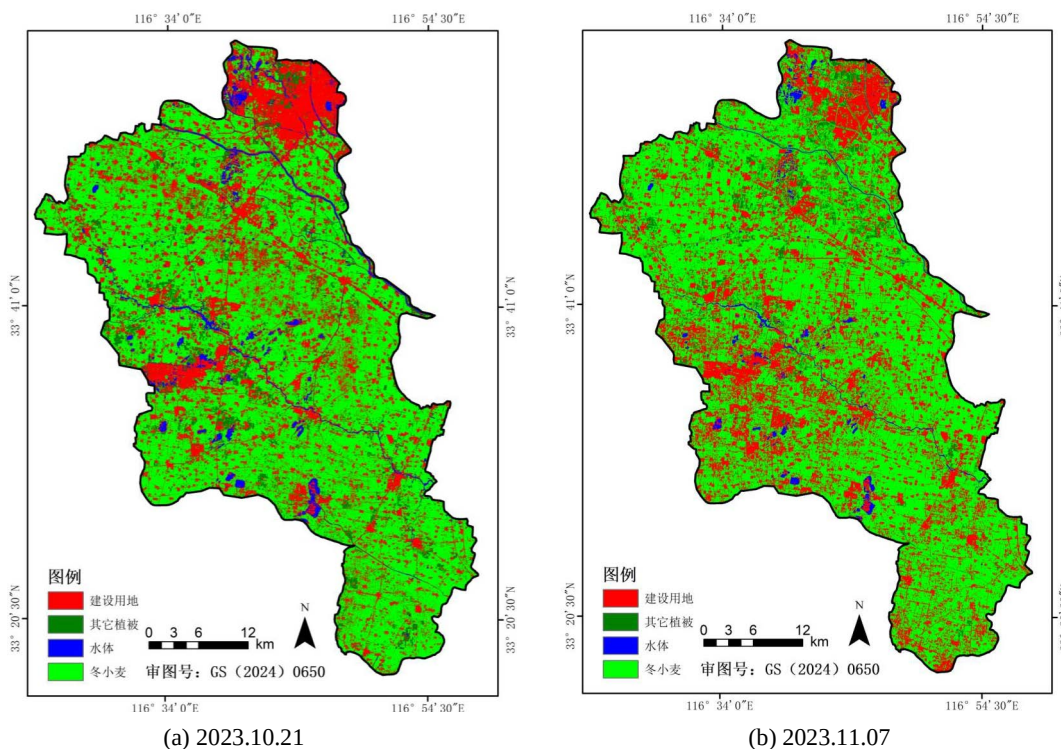
Kappa 系数作为一致性检验指标, 综合考量对角线正确分类像元与期望随机一致性, 消除偶然匹配影响, 其计算公式如公式(6)所示:

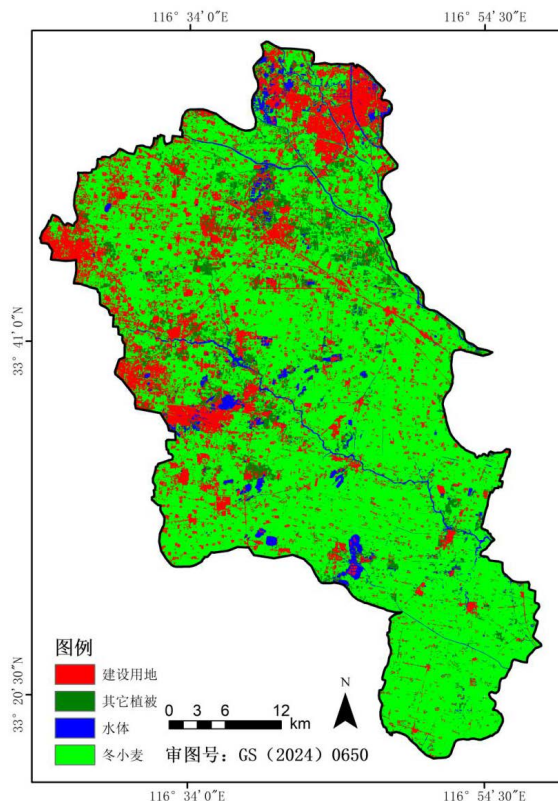
$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \quad (6)$$

式(6)中,  $P_0$  是每一类正确分类的样本数和除以总样本数。假设每一类真实样本数分别为  $a_1, a_2, \dots, a_c$ , 而预测的每一类样本数分别为  $b_1, b_2, \dots, b_c$ , 总样本数为  $n$ ,  $P_e$  计算公式如公式(7)所示:

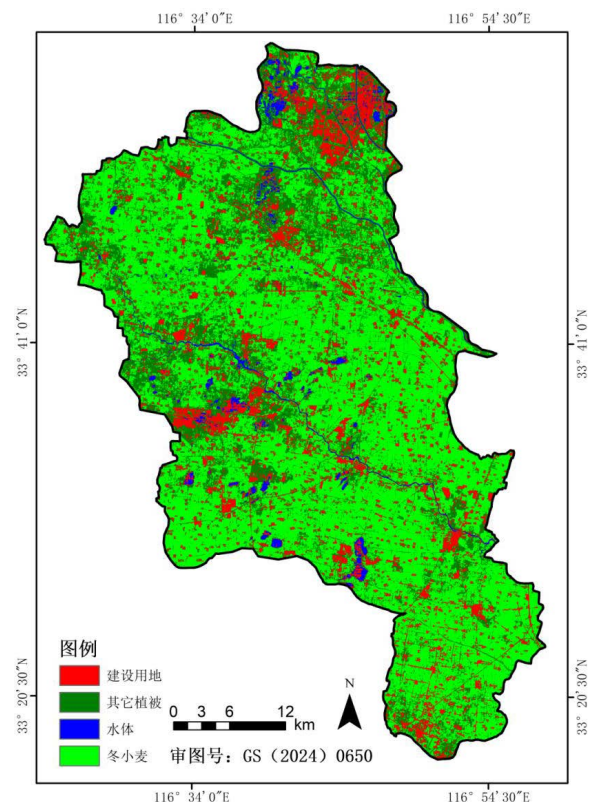
$$P_e = \frac{a_1 * b_1 + a_2 * b_2 + \dots + a_c * b_c}{n * n} \quad (7)$$

论文基于随机森林算法提取濉溪县冬小麦种植区, 采用混淆矩阵对比预测与真实分类结果以量化模型精度, 结果如图 4 和表 4 所示。

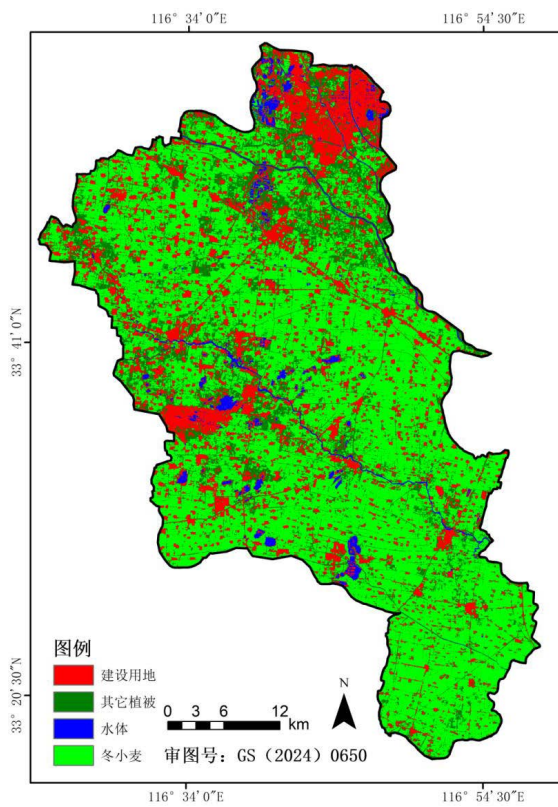




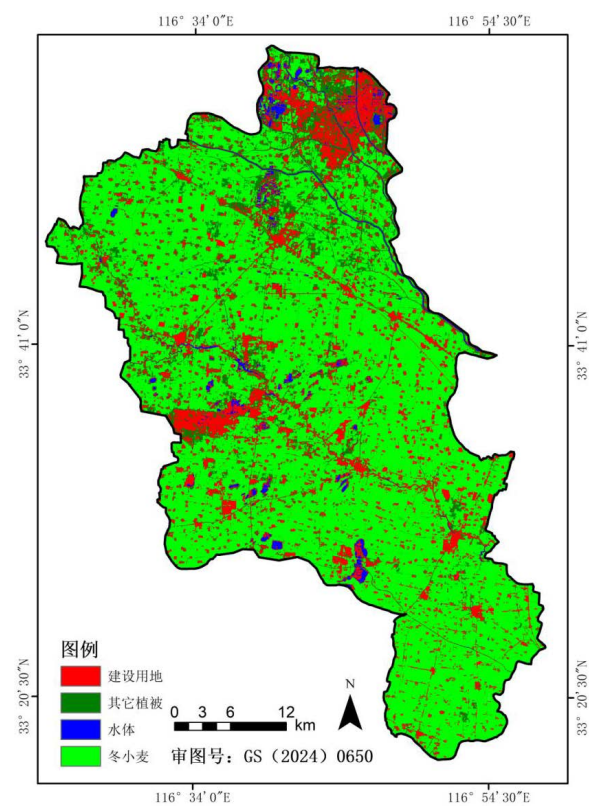
(c) 2023.11.14



(d) 2023.11.23

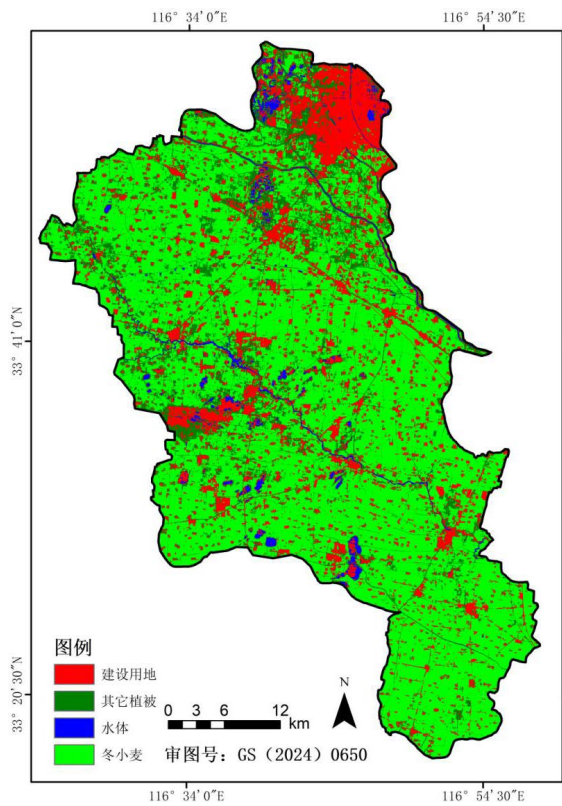


(e) 2023.12.25

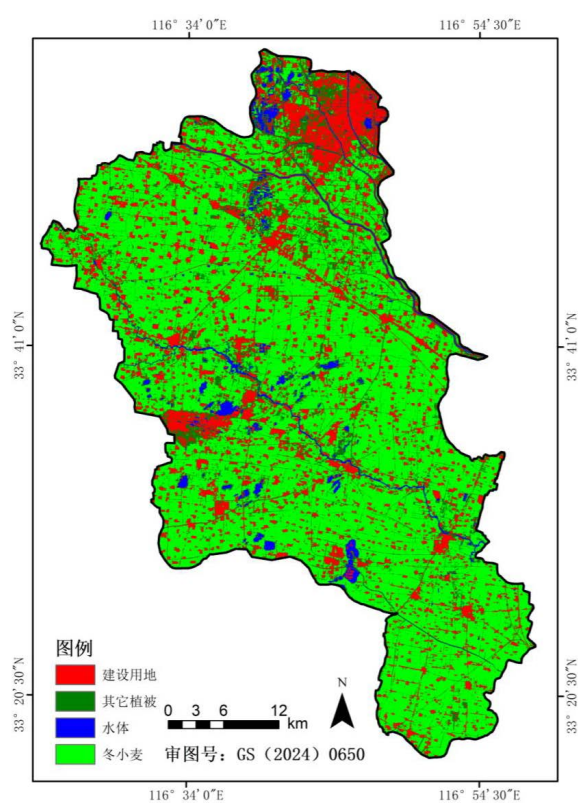


(f) 2024.01.07

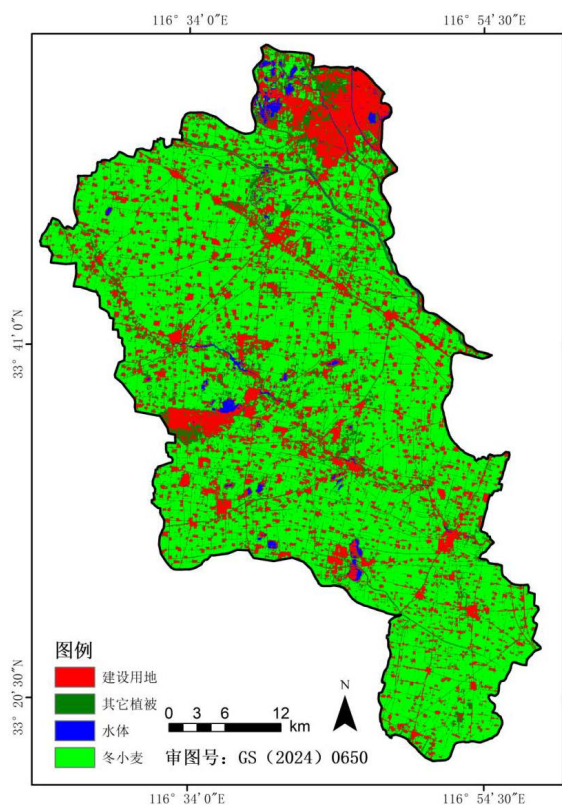




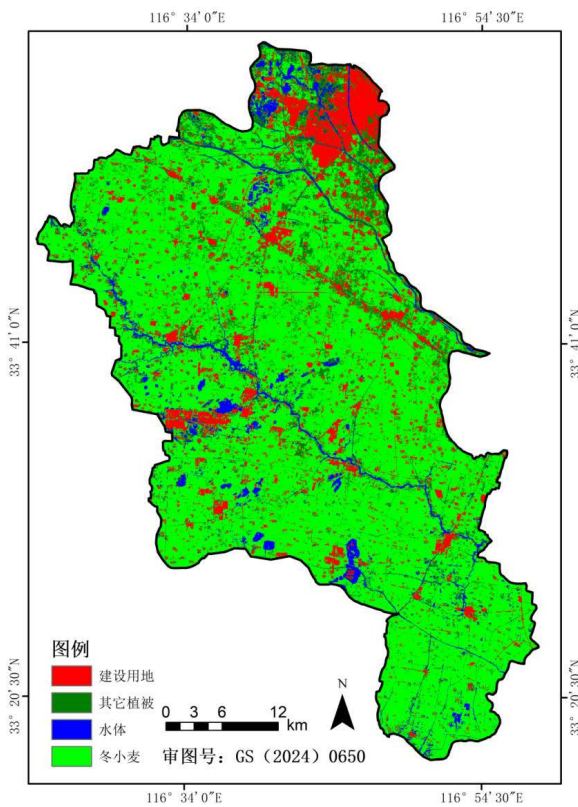
(g) 2024.01.28



(h) 2024.03.08



(i) 2024.03.29



(j) 2024.05.25

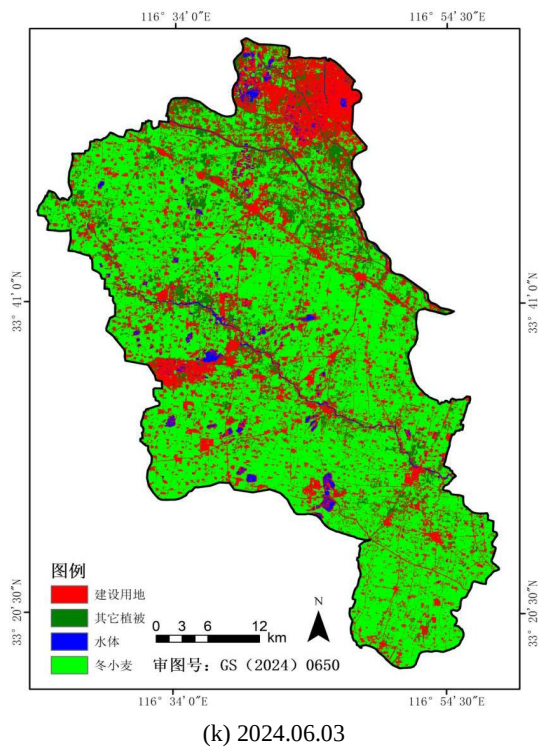


Figure 4. Winter wheat extraction results using the random forest algorithm  
图 4. 随机森林算法提取冬小麦结果图

Table 4. Accuracy assessment  
表 4. 精度评价表

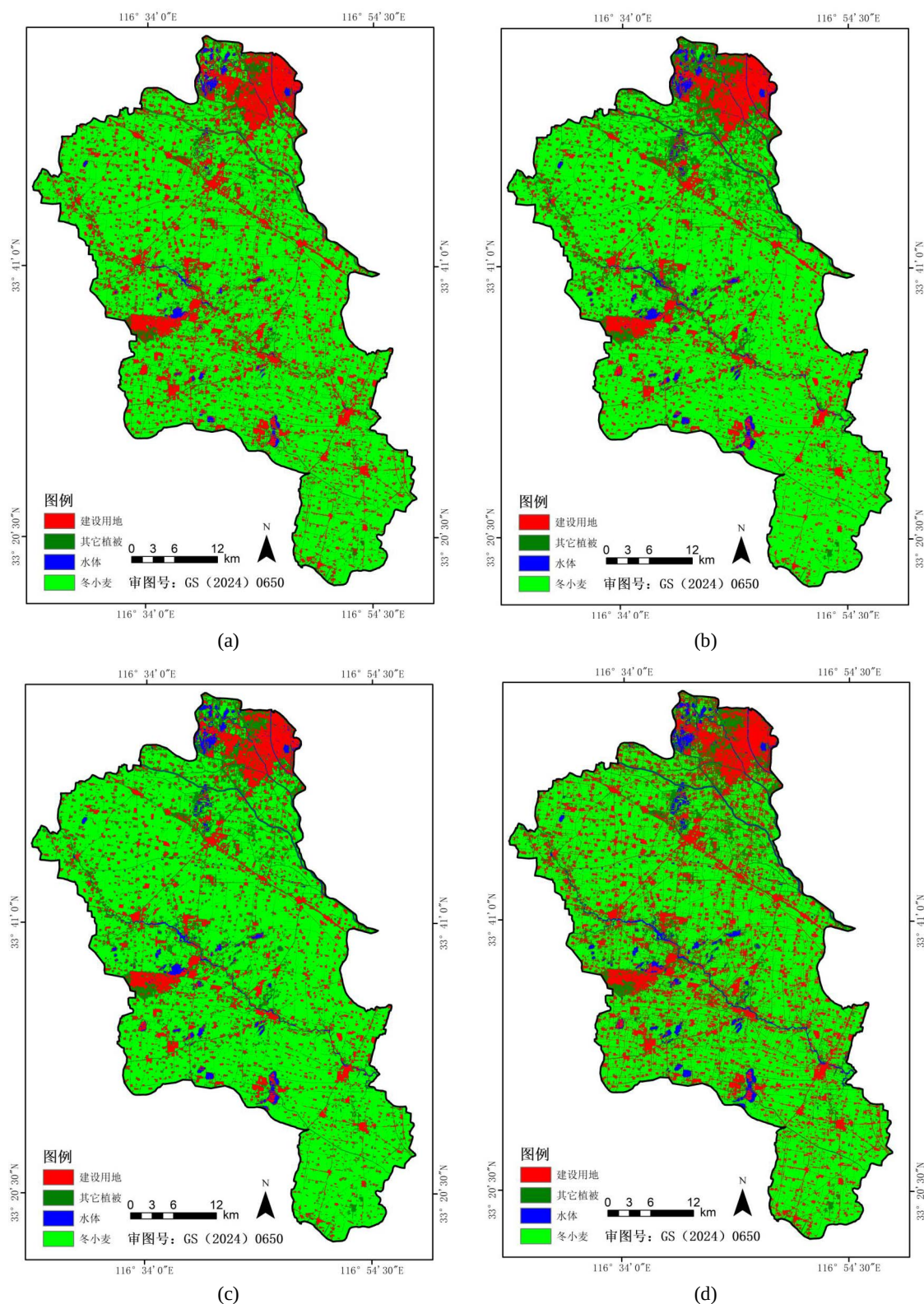
| 日期         | OA (%) | Kappa 系数 | 用户精度(%) | 生产者精度(%) |
|------------|--------|----------|---------|----------|
| 2023.10.21 | 84.80  | 0.750    | 93.01   | 84.26    |
| 2023.11.07 | 91.29  | 0.861    | 87.78   | 97.39    |
| 2023.11.14 | 90.90  | 0.876    | 87.57   | 97.94    |
| 2023.11.23 | 94.82  | 0.929    | 94.11   | 98.03    |
| 2023.12.25 | 87.17  | 0.819    | 95.06   | 92.43    |
| 2024.01.07 | 91.89  | 0.856    | 91.87   | 99.39    |
| 2024.01.28 | 96.05  | 0.938    | 96.14   | 99.01    |
| 2024.03.08 | 90.52  | 0.865    | 96.29   | 99.52    |
| 2024.03.29 | 90.11  | 0.854    | 84.32   | 98.08    |
| 2024.05.25 | 86.73  | 0.812    | 45.30   | 41.03    |
| 2024.06.03 | 89.34  | 0.817    | 92.61   | 87.34    |

由表 4 可知，2024 年 1 月 28 日(越冬期)提取冬小麦的精度最高，OA、Kappa 系数均达峰值。此阶段冬小麦光谱特征显著区别于背景植被，类间可分性增强，算法识别稳健。相较之下，2023 年 10 月 21 日(播种期)精度显著降低，系裸土与幼苗光谱混淆、空间异质性增加所致，Kappa 系数相应下降。

4.2. 不同方法提取关键期影像冬小麦的比较

在随机森林算法基础上，引入最大似然法、神经网络法及支持向量机法对关键期影像进行冬小麦提取，结果如图 5 所示。基于混淆矩阵量化总体精度(OA)、Kappa 系数、用户精度及生产者精度(如表 5





**Figure 5.** Winter wheat extraction results at the critical growth stage using different methods. (a) Random Forest; (b) Neural Network; (c) Support Vector Machine; (d) Maximum Likelihood

**图 5.** 不同方法提取关键期影像冬小麦结果图。(a) 随机森林; (b) 神经网络; (c) 支持向量机法; (d) 最大似然法

**Table 5.** Accuracy assessment of winter wheat extraction during the critical image period  
**表 5.** 关键期影像冬小麦提取精度评价表

| 方法     | OA (%) | Kappa 系数 | 用户精度(%) | 生产者精度(%) |
|--------|--------|----------|---------|----------|
| 随机森林法  | 96.05  | 0.938    | 96.14   | 99.01    |
| 神经网络法  | 95.26  | 0.925    | 95.97   | 98.23    |
| 支持向量机法 | 95.76  | 0.933    | 95.57   | 98.92    |
| 最大似然法  | 94.46  | 0.911    | 95.97   | 97.10    |

所示), 系统对比各算法性能, 凸显随机森林在冬小麦提取中的优越性。

对比分析表明, 最大似然法存在建设用地高估及其他植被低估的系统性偏差, 源于样本不足导致的统计代表性缺失。随机森林算法凭借随机特征选择与 Bagging 集成策略, 有效降低方差并抑制过拟合。混淆矩阵量化结果显示, 随机森林算法的总体精度(OA)、Kappa 系数、用户精度与生产者精度均优于其他三种方法, 其分类准确性与稳健性显著。

**4.3. 冬小麦种植面积变化分析**

基于随机森林分类结果提取濉溪县冬小麦种植面积(如表 6 所示), 并定量计算其变化幅度(如表 7 所示), 公式如(8)所示。

$$R_d = \frac{u_b - u_a}{u_a} \tag{8}$$

公式(8)中,  $u_a$  研究初期冬小麦种植面积,  $u_b$  为研究末期冬小麦种植面积,  $R_d$  为研究时间段冬小麦种植面积的变化幅度。

基于时序 GF-1 影像的随机森林分类结果表明, 濉溪县冬小麦种植面积呈显著物候阶段性波动。播种出苗期(10 月上旬~11 月中旬)面积由 1234 km<sup>2</sup> 递增至 1377 km<sup>2</sup>, 较淮北市农业农村局公布的官方数据(1366 km<sup>2</sup>)出现显著高估, 可能是幼苗光谱特征与背景植被高度相似导致的错分; 分蘖 - 越冬期(12 月下旬

**Table 6.** Statistics of winter wheat planting area in Suixi County  
**表 6.** 濉溪县冬小麦种植面积统计表

| 日期               | 面积(km <sup>2</sup> ) |
|------------------|----------------------|
| 2023 年 10 月 21 日 | 1234                 |
| 2023 年 11 月 07 日 | 1297                 |
| 2023 年 11 月 14 日 | 1377                 |
| 2023 年 11 月 23 日 | 1348                 |
| 2023 年 12 月 25 日 | 1300                 |
| 2024 年 01 月 07 日 | 1326                 |
| 2024 年 01 月 28 日 | 1313                 |
| 2024 年 03 月 08 日 | 1218                 |
| 2024 年 03 月 29 日 | 1321                 |
| 2024 年 05 月 25 日 | 1235                 |
| 2024 年 06 月 03 日 | 1267                 |



**Table 7.** Fluctuation of winter wheat planting area in Suixi County  
**表 7.** 濉溪县冬小麦种植面积变化幅度表

| 时间                                 | 小麦种植面积变化幅度(%) |
|------------------------------------|---------------|
| 2023 年 10 月 21 日到 2023 年 11 月 07 日 | 5.11          |
| 2023 年 11 月 07 日到 2023 年 11 月 14 日 | 6.17          |
| 2023 年 11 月 14 日到 2023 年 11 月 23 日 | -2.15         |
| 2023 年 11 月 23 日到 2023 年 12 月 25 日 | -3.56         |
| 2023 年 12 月 25 日到 2024 年 01 月 07 日 | 2.00          |
| 2024 年 01 月 07 日到 2024 年 01 月 28 日 | -0.98         |
| 2024 年 01 月 28 日到 2024 年 03 月 08 日 | -7.23         |
| 2024 年 03 月 08 日到 2024 年 03 月 29 日 | 8.46          |
| 2024 年 03 月 29 日到 2024 年 05 月 25 日 | -6.51         |
| 2024 年 05 月 25 日到 2024 年 06 月 03 日 | 2.59          |

~1 月中下旬)维持 1300 km<sup>2</sup> 左右，波动收窄至-0.98%~2%之间，植被指数趋于稳定，提取精度显著提升。返青 - 拔节期(2 月下旬~3 月下旬)面积波动较大，介于-7.23%~8.46%之间，此阶段光谱异质性增强，可能受病虫害等生物胁迫因素干扰；抽穗 - 成熟期(4 月中旬~6 月中旬)呈持续性下降趋势(-6.51%)，均值稳定在 1251 km<sup>2</sup>，疑似早收区域光谱响应减弱所致。濉溪县冬小麦整个周期种植面积均值为 1294 km<sup>2</sup>，与官方统计相对误差 5.2%，验证了时序遥感监测的可靠性，但需耦合 SAR 数据与物候约束规则以抑制生物胁迫及收获期光谱混淆的影响。

5. 结论

论文以高分一号(GF-1)卫星影像为主要数据源，选取安徽省淮北市濉溪县作为典型冬小麦种植区，综合运用随机森林算法与植被指数时序分析方法，系统开展了冬小麦种植面积遥感提取及生长动态监测研究。主要结论如下：

- (1) 随机森林算法在总体精度、Kappa 系数、用户精度和生产者精度均优于支持向量机、神经网络及最大似然法。这一结果印证了随机森林算法在处理高维遥感特征、抑制过拟合及适应复杂种植结构方面的技术优势，为区域尺度冬小麦自动化提取提供了可靠的方法论支撑。
- (2) 时序对比分析显示，EVI 在冬小麦全生育期内的动态波动幅度显著高于 NDVI，尤其在植被覆盖度较高或土壤背景干扰较强的阶段，EVI 通过大气校正和土壤调节机制，有效增强了作物长势信息的信噪比。该特性使其在冬小麦物候阶段判别及生物量反演中展现出更强的敏感性，推荐作为黄淮冬麦区作物监测的首选植被指数。
- (3) 采用随机森林算法反演的濉溪县 2023 年 10 月 21 日至 2024 年 6 月 3 日冬小麦种植面积均值为 1294 km<sup>2</sup>，与淮北市农业农村局公布的官方统计面积(1366 km<sup>2</sup>)相对误差控制在 5.2%以内，验证了本研究方法在实际生产管理中的适用性与可靠性。
- (4) 本研究在训练样本构建环节仍依赖人工目视解译，感兴趣区选取的主观性可能引入“同物异谱”或“同谱异物”导致的错分误差。后续研究拟从以下两个方面深化：一方面引入面向对象分割与深度学习模型以降低人工干预；另一方面开发自动化精度验证模块，实现分类结果的不确定性量化与自适应优化。

## 基金项目

宿州学院省级大学生创新创业训练计划项目(S202510379179); 安徽省高校自然科学研究重点项目(2024AH051818); 安徽省学科(专业)带头人培育项目(DTR2025052); 安徽省合作实践教育基地项目(2023xqhz065); 安徽省新建专业质量提升项目(2024xjzlt053); 宿州学院质量工程结余经费项目(szxy2025jyjf50); 宿州学院科研创新平台发展基金项目(遥感与地理信息研究所)。

## 参考文献

- [1] 牛鲁燕, 封文杰, 侯学会. 基于 Sentinel-2 影像的冬小麦种植面积早期提取研究[J]. 中国农业信息, 2024, 36(1): 1-11.
- [2] 刘宝康, 王仁军, 尤晓妮, 等. 基于高分六号 WFV 数据的冬小麦种植面积提取[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(1): 1-4.
- [3] 赵丽花, 李卫国, 杜培军. 基于多时相 HJ 卫星的冬小麦面积提取[J]. 遥感信息, 2011(2): 41-45+50.
- [4] 李峰, 赵红, 赵玉金, 等. 基于 HJ-1CCD 影像的冬小麦种植面积提取研究[J]. 山东农业科学, 2015, 47(5): 109-114.
- [5] 陈雨琪, 席瑞, 陈佳麒, 等. 基于多时相 Sentinel-2 卫星影像的冬小麦面积提取[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2024, 23(2): 209-217.
- [6] 崔玉环, 王杰, 姚梦园. 基于面向对象分类的冬小麦种植面积遥感监测——以淮北市临涣矿区为例[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(6): 1078-1083.
- [7] 陶欢, 李存军, 周静平, 等. 基于高分 1 号影像的森林植被信息提取[J]. 自然资源学报, 2018, 33(6): 1068-1079.
- [8] 张宏, 李卫国, 张晓东, 等. 基于 HJ-1 星和 GF-1 号影像融合特征提取冬小麦种植面积[J]. 中国农业科技导报, 2024, 26(2): 109-119.
- [9] 李想, 张永彬, 刘玮佳, 等. 融合主被动遥感与随机森林算法的冬小麦信息提取[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2023, 39(10): 44-50.
- [10] 黄振国, 杨君. 高分一号卫星影像监测水稻种植面积研究综述[J]. 湖南农业科学, 2014(13): 76-78.
- [11] 徐丽, 欧阳勋志, 潘萍, 等. 基于 GF-1 WFV 与 MODIS 时空融合的南方森林植被类型识别[J]. 应用生态学报, 2022, 33(7): 1948-1956.
- [12] 刘学刚, 李峰, 王倩. 基于 GF-1 卫星影像的青岛市冬小麦种植面积变化动态监测[J]. 湖南农业科学, 2024(7): 74-80+86.
- [13] 张卜戈, 魏东岚. 基于遥感影像的北安市玉米大豆种植结构时空演变研究[J]. 绿色科技, 2024, 26(9): 212-216.
- [14] 张兆鹏, 李增元, 李奇虎, 等. 基于 GF-1 遥感影像的 2013-2015 年民勤绿洲植被覆盖动态变化分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2017, 37(2): 163-170.
- [15] 赵琳琳, 张锐, 刘焱序, 等. GF1-WFV 与 Landsat 8-OLI 对植被信息的提取差异研究[J]. 生态学报, 2020, 40(10): 3495-3506.
- [16] 王建步, 张杰, 马毅, 等. 基于 GF-1 WFV 的黄河口湿地植被碳储量估算研究[J]. 海洋科学进展, 2019, 37(1): 75-83.
- [17] 高浩, 符瑜. 基于 GF-1 时间序列影像的引黄灌区农作物种植结构监测[J]. 气象科技进展, 2022, 12(5): 144-150.
- [18] 关士英, 谢传节, 袁占良, 等. 基于 SVM 的高分时序冬小麦种植区提取研究[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(3): 629-637.
- [19] 陈雨琪. 多源遥感数据冬小麦农情监测和烘干点路径分析研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 杭州师范大学, 2023.
- [20] 宋善海, 李慧璇, 黄林峰, 等. 近 35 年贵州威宁草海国家级自然保护区水域面积变化遥感监测[J]. 贵州科学, 2021, 39(2): 76-82.
- [21] Liu, H.Q. and Huete, A. (1995) A Feedback-Based Modification of the NDVI to Minimize Canopy Background and Atmospheric Noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **33**, 457-465.  
<https://doi.org/10.1109/TGRS.1995.8746027>
- [22] Multagan, F. and Heck, A. (2006) Multivariate Data Analysis. *Technometrics*, **19**, 549-563.
- [23] 田婷, 张青, 徐雯. 光谱技术在作物养分监测中的应用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(14): 31-39.

- 
- [24] 杨闫君. 基于植被指数时序谱类内差异特征的冬小麦遥感识别研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京大学, 2019.
- [25] 解毅, 王佳楠, 刘钰. 基于 Sentinel-1/2 数据特征优选的冬小麦种植区识别方法研究[J]. 农业机械学报, 2024, 55(2): 231-241.
- [26] 肖兴威. 中国森林资源清查[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.