

段金馈,李峰,秦泉,等.高分六号红边波段对夏玉米种植区识别的影响[J].海洋气象学报,2023,43(3):104-112.  
DUAN Jinkui, LI Feng, QIN Quan, et al. Effect of GF-6 red-edge bands on identification of summer maize planting area[J].  
Journal of Marine Meteorology, 2023, 43(3): 104-112. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2023.03.010. (in Chinese)

## 高分六号红边波段对夏玉米种植区识别的影响

段金馈<sup>1,2</sup>, 李峰<sup>1,2</sup>, 秦泉<sup>1,2</sup>, 胡先锋<sup>1,2</sup>, 王晗<sup>1,2</sup>, 韩东枫<sup>1,2</sup>, 顾琛<sup>3</sup>

(1.山东省气象防灾减灾重点实验室,山东 济南 250031; 2.山东省气候中心,山东 济南 250031; 3.山东科技大学测绘与空间信息学院,山东 青岛 266590)

**摘要:** 为探究高分六号卫星新增红边波段对夏玉米种植区识别的影响,选取山东省兰陵县为研究区,基于多时相高分六号宽幅相机遥感影像,构建4种波段组合方案,结合地面数据分析不同方案样本类型可分离性,采用支持向量机方法,提取研究区不同前茬作物夏玉米种植区域,分析光谱反射率变化及识别结果精度。结果表明:高分六号卫星两个红边波段都能不同程度提高不同物候期夏玉米与其他作物的区分度,较无红边波段参与相比,红边波段参与下不同作物间可分离度有一定提高;大蒜收获后、冬小麦收获后播种的夏玉米总体分类精度分别由80.1%、77.3%提高到90.3%、91.1%,分别提升10.2%和13.8%,Kappa系数分别由0.60、0.56提高至0.80、0.81。研究表明,新增红边波段可以有效提高夏玉米识别和提取精度,能够为红边波段的农业应用提供参考。

**关键词:** 高分六号;红边波段;夏玉米;支持向量机

**中图分类号:** S127;S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2023)03-0104-09

**DOI:** 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2023.03.010

## Effect of GF-6 red-edge bands on identification of summer maize planting area

DUAN Jinkui<sup>1,2</sup>, LI Feng<sup>1,2</sup>, QIN Quan<sup>1,2</sup>, HU Xianfeng<sup>1,2</sup>, WANG Han<sup>1,2</sup>,  
HAN Dongfeng<sup>1,2</sup>, GU Chen<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Shandong, Jinan 250031, China; 2. Shandong Climate Center, Jinan 250031, China; 3. College of Geodesy and Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

**Abstract:** In order to explore the effect of the newly added red-edge bands of GF-6 satellite on the identification of summer maize planting area, Lanling county of Shandong province is taken as the study area. Based on the multi-temporal GF-6 wide field view (WFV) remote sensing images, 4 band combination schemes are constructed, and the separability of sample types of different schemes is analyzed combined with the ground data. The support vector machine (SVM) method is used to extract the summer maize planting areas of different previous crops in the study area, and the spectral reflectance changes and identification accuracy are analyzed. The results are shown below. The two red-edge bands of GF-6 can improve the degree of differentiation between summer maize and other crops in different phenological periods; compared with the absence of red-edge bands, the degree of differentiation between

收稿日期:2023-02-15;修回日期:2023-05-09

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2020MF130);山东省气象局科研项目(2021SDQN17,2021sdqx03)

第一作者简介:段金馈,男,硕士,助理工程师,主要从事遥感技术研究与应用,jndjk1993@163.com。

通信作者简介:李峰,男,硕士,正高级工程师,主要从事遥感技术应用研究,lfeng1029@163.com。

different crops improves with the participation of red-edge bands. The overall classification accuracy of summer maize sown after garlic and winter wheat increases from 80.1% to 90.3% and from 77.3% to 91.1%, i.e., increases by 10.2% and 13.8%, respectively; Kappa coefficient increases from 0.60 to 0.80 and from 0.56 to 0.81, respectively. The classification results show that the newly added red-edge bands can significantly improve the accuracy of summer maize's identification and extraction, and provide reference for the agricultural application of red-edge bands.

**Keywords:** GF-6 remote sensing satellite; red-edge band; summer maize; support vector machine (SVM)

## 引言

夏玉米是我国主要粮食作物,山东作为黄淮海平原夏玉米主产区,播种面积、产量、加工能力、产值均居全国前列。及时、准确地掌握夏玉米种植分布状况,对于提高农业生产效率和管理水平,保障粮食安全生产,推进农业现代化建设有重要意义<sup>[1]</sup>。

卫星遥感技术的快速发展为及时、准确、大范围获取地面信息<sup>[2-4]</sup>,尤其是农作物种植面积和分布区域信息提供了重要技术手段。国内外学者利用多源卫星遥感数据在农作物种植识别和提取方面开展了大量研究工作,以 MODIS Terra 和 Aqua<sup>[5-6]</sup>、HJ-1 A/B<sup>[7-8]</sup>、Landsat<sup>[9]</sup>、Sentinel-2<sup>[10]</sup>等卫星为主要数据源,提取国家、地区、省域和市域等尺度内农作物种植信息。近年来国产高分系列卫星发展迅速,高分一号卫星数据在农作物面积提取和监测等方面得到了更多的应用<sup>[11-13]</sup>。张海东等<sup>[11]</sup>基于 16 景高分一号宽幅相机(wide field view, WFV)遥感影像,利用归一化差值植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)、NDWI(normalized difference water index, 归一化差值水体指数)-RVI(ratio vegetation index, 比值植被指数)差值法提取耕地地块破碎区水稻分布。贺佳等<sup>[14]</sup>基于高分一号 WFV 遥感影像建立一元与多元回归模型,动态估算夏玉米光合有效吸收辐射比率。Luo 等<sup>[15]</sup>基于高分一号卫星数据,利用支持向量机(support vector machine, SVM)和随机森林算法提取海南岛芒果种植面积。高分一号卫星能够更好地反映农作物信息,但它仅有的 4 个传统波段制约了作物识别精度的提高<sup>[16]</sup>。

2018 年发射的高分六号卫星新增紫、黄和 2 个红边波段,具有 16 m 多光谱中分辨率宽幅(WFV)、全色/多光谱传感器(panchromatic and multispectral

sensor, PMS)两种不同空间分辨率,是我国首颗设置红边波段的农业监测高分卫星。红边波段介于红光波段和近红外波段之间,植被叶片反射率在红边波段范围内会发生突变,且受背景信息影响较小<sup>[17]</sup>。已有研究表明红边波段对于绿色植被生长状况有更高敏感性<sup>[13,18]</sup>,在农作物遥感监测方面发挥着重要作用,可以作为农作物叶绿素浓度、叶面积指数、含水量和氮浓度等参数的重要指示<sup>[19-21]</sup>。有研究基于可分离性测试、分类精度等验证,发现在红边波段参与下,提高了小麦、水稻、大豆、油菜等农作物种植面积提取精度<sup>[17,22-24]</sup>;不少学者也基于国产高分六号卫星数据探究红边波段对农作物种植识别精度的影响<sup>[16,25-28]</sup>。Kang 等<sup>[25]</sup>基于高分六号 WFV 数据,对衡水市多种农作物分类,并分析不同红边波段对分类精度的影响,结果表明引入红边波段可以不同程度地提高作物分类精度。Jiang 等<sup>[26]</sup>利用高分六号红边波段,构建红边决策树提取水田分布零散区域内的水稻种植面积,分类总体精度较传统决策树提高约 7%。姜楠等<sup>[28]</sup>通过高分六号新增波段提出 NDSI<sub>28</sub>等光谱指数构建决策树模型,利用支持向量机等多种分类方法,提取固始县油菜种植分布区域,提取精度都有不同程度的提高。目前,利用带有红边波段的高分六号遥感影像进行夏玉米种植区精确识别的研究还较少。

鉴于此,为探究高分六号遥感影像数据红边波段对夏玉米种植区识别精度的影响,基于 2019 年 7 月 5 日和 8 月 20 日高分六号 WFV 遥感影像数据,构建 4 套不同波段组合方案,以山东省临沂市兰陵县为研究区,利用支持向量机算法,对不同物候期夏玉米和其他作物进行种植面积提取与评估,分析不同波段组合对样本可分离性、光谱反射率和识别精度的影响,探究红边波段在夏玉米种植面积提取中的重要性,以期为复杂种植结构中夏玉米识别和提取提供方法参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

兰陵县地处山东省南部,位于 117.01°~118.01°E、34.62°~35.00°N(图 1,底图为 2019 年 8 月 20 日遥感影像),地势西北高东南低,海拔为 40~580 m,属温带季风区大陆性气候,年平均气温为 13.5 °C,年平均降水量为 835.3 mm。兰陵县农作物种类繁多,是山东省内典型的种植结构复杂区域,农作物播种面积为

170 816.8 hm<sup>2</sup>,其中 2019 年兰陵县玉米播种面积为 46 128.5 hm<sup>2</sup>,占全县农作物总播种面积的 27.0%。由于前茬作物发育期不同,研究区夏玉米播种时间存在差异,主要分为大蒜收获后种植的夏玉米(以下简称“大蒜茬夏玉米”)和冬小麦收获后种植的夏玉米(以下简称“冬小麦茬夏玉米”)。基于高分六号遥感影像和地面调查点将兰陵县分为夏玉米、其他作物(主要包括花生、大豆、蔬菜等)、设施农业、林地、建设用地(城镇、道路等)、裸地、水体 7 种地物类型。

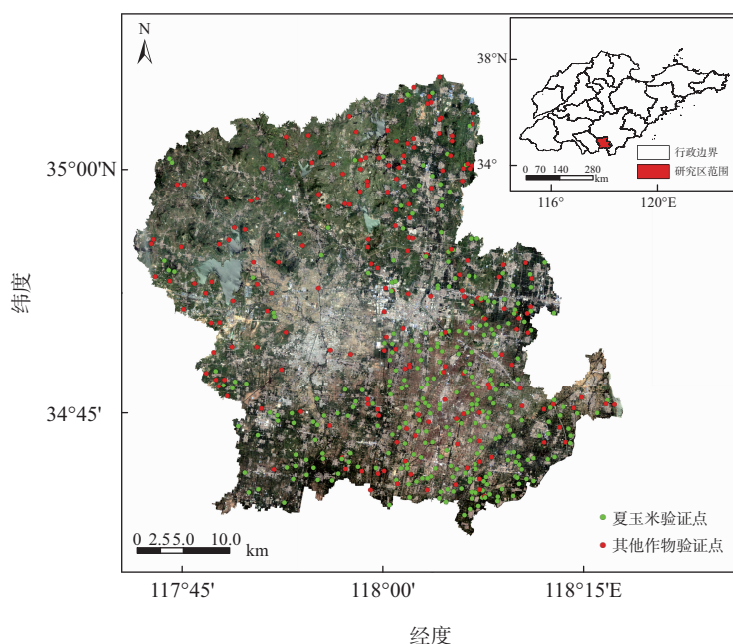


图 1 研究区地理位置及农作物地面验证点分布

Fig.1 Geographical location of study area and distribution of crop sample points

### 1.2 遥感影像数据获取与预处理

高分六号卫星 WFV 传感器多光谱空间分辨率为 16 m,幅宽为 860 km,在传统的蓝、绿、红、近红外波段的基础上,新增红边 710 nm 波段、红边 750 nm 波段、紫波段和黄波段(表 1)。

表 1 高分六号 WFV 波段信息

Table 1 Information of GF-6 WFV band 单位: nm

波段	中心波长	波段宽度
B1: 蓝波段	485	70
B2: 绿波段	555	70
B3: 红波段	660	60
B4: 近红外波段	830	120
B5: 红边波段 1	710	40
B6: 红边波段 2	750	40
B7: 紫波段	425	50
B8: 黄波段	610	40

根据兰陵县作物物候信息(表 2)及影像质量,选取 2019 年 7 月 5 日和 8 月 20 日两景晴空遥感影像,探究红边波段对不同前茬作物夏玉米种植区识别的影响。利用 ENVI5.3 软件,结合行政边界矢量数据,对影像进行正射校正、辐射定标、大气校正和裁剪等预处理。正射校正用于消除图像空间偏离,通过辐射定标将原始影像数字信号(digital number, DN)值转化为辐射亮度值,大气校正能够去除大气干扰,利用 ENVI5.3 中基于辐射传输模型 MODTRAN 4 (MODerate resolution atmospheric TRANmission) 的 FLAASH (fast line-of-sight atmospheric analysis of spectral hypercubes) 模块进行大气校正,将辐射亮度值转化为地表反射率<sup>[29]</sup>。

表2 兰陵县农作物物候信息

Table 2 Information of crop phenology in Lanling county

物候期	冬小麦	大蒜	冬小麦收获后 种植的夏玉米	大蒜收获后 种植的夏玉米
4月1—15日		抽薹		
4月16—30日	开花			
5月1—15日				
5月16—31日	乳熟	成熟		
6月1—15日	成熟			播种
6月16—30日			播种	
7月1—15日				拔节
7月16—31日			拔节	开花
8月1—15日			开花	乳熟
8月16—31日			乳熟	
9月1—15日				成熟
9月16—30日			成熟	

### 1.3 地面数据获取

地面数据主要包括地面调查点、解译标志点和地面验证点3类。地面调查点共42个,2019年7月和8月,利用手持全球定位系统(global positioning system, GPS),开展实地调查,采集夏玉米、其他作物、设施农业、林地等不同地类信息。共采集解译标志点278个,包括夏玉米、其他作物、水体、道路等,用于计算样本类型可分离性,并作为作物监督分类的训练样本。地面验证点共500个(图1),利用地面调查点结合谷歌地球(Google Earth)和天地图高分辨率影像进行目视解译随机选取,包括夏玉米和其他作物,用于构建混淆矩阵,进行提取精度验证。

### 1.4 研究方法

#### 1.4.1 技术路线

为探究高分六号遥感影像数据红边波段对夏玉米识别的影响,基于多时相影像光谱信息进行提取不同物候期夏玉米和其他作物,并进行精度验证。构建无红边波段参与、单一红边波段参与和全部红边波段参与下的4种波段组合方案,分析不同前茬作物夏玉米和其他作物在各波段光谱反射率,基于各样本间最小J-M(Jeffreys-Matusita)距离计算样本类别可分离性,确认各类地物间样本可分离性大于1.800后,采用支持向量机方法分别提取作物种植信息,利用混淆矩阵验证提取结果精度,比较不同红边波段在作物识别中发挥的作用,分析红边波段对不同物候期夏玉米提取精度的影响以及红边波段的重要性(图2)。

#### 1.4.2 类别可分离性

基于主要农作物的地面调查信息,使用空间特征

优化算法进行光谱特征优选分析。通过计算不同特征空间组合中各个样本之间的最小J-M距离来确定最优特征值。J-M距离越大,分离度越大,大于1.9表示训练样本之间的光谱可分离性良好,最大分离度对应特征空间的最佳组合。J-M距离是基于条件概率理论的光谱可分离性指标,用于衡量光谱在类别之间的可分离性。其波段指数是研究不同波段组合识别和提取不同地物特征能力的重要参数<sup>[27]</sup>。公式如下:

$$J_{ij} = \left\{ \int_x [\sqrt{P(X/\omega_i)} - \sqrt{P(X/\omega_j)}] \right\}, \quad (1)$$

式中: $P(X/\omega_i)$ 为条件概率密度,即第*i*个像元归属为 $\omega_i$ 个类别的概率; $J_{ij}$ 取值范围为0~2,其大小表示类别之间的分离程度。

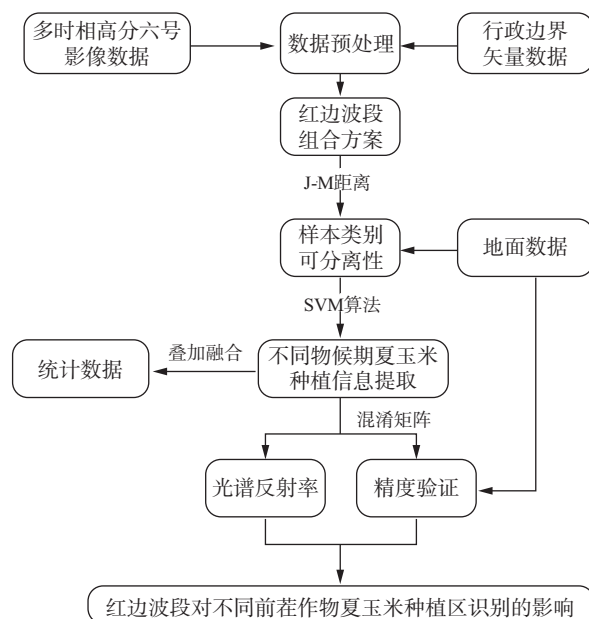


图2 技术流程图

Fig.2 Technical flow chart

#### 1.4.3 支持向量机分类方法

目前遥感监督分类常用方法主要有决策树法、最大似然法、支持向量机法、随机森林算法<sup>[30]</sup>。支持向量机算法通过学习样本的统计特征,基于结构风险最小化原则、最优化理论以及核函数概念,得出一个超平面分割样本,且样本与该平面间尽可能有最大间隔<sup>[31-32]</sup>。在最大间隔基础上的分类可以最大程度地消除噪声影响,更好地避免因噪声引起的分类错误。

任何超平面均可表达为点集: $w^T x + b = 0$ 。数据



集 $(x^i, y^i)$ ,  $y^i$ 的值为1或-1,表示数据点 $x^i$ 所属的类别; $w$ 代表超平面的法向量,在约束条件下 $w$ 和变量 $b$ 由训练样本求出唯一确定值;若有新的样本 $x_{new}$ ,就能根据 $\text{sign}(w^T x_{new} + b)$ 的结果对其分类<sup>[33]</sup>。

#### 1.4.4 精度验证

基于地面验证点,利用混淆矩阵计算 Kappa 系数、总体分类精度(overall accuracy, OA)、用户精度(user accuracy, UA)和制图精度(mapping accuracy, MA)对不同红边波段组合下的分类结果进行精度验证<sup>[34]</sup>:

$$V_{\text{Kappa}} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n m_i - \sum_{i=1}^n (G_i \cdot C_i)}{N^2 - \sum_{i=1}^n (G_i \cdot C_i)}, \quad (2)$$

$$V_{\text{OA}} = \frac{m}{N} \times 100\%, \quad (3)$$

$$V_{\text{MA}} = \frac{m_i}{G_i} \times 100\%, \quad (4)$$

$$V_{\text{UA}} = \frac{m_i}{C_i} \times 100\%, \quad (5)$$

式中: $m$ 为正确分类的验证点数, $N$ 为验证点总数, $m_i$ 为第 $i$ 类的分类正确验证点数, $G_i$ 为第 $i$ 类的真实验证点总数, $C_i$ 为第 $i$ 类的分类验证点总数, $n$ 为分类数<sup>[16]</sup>。

#### 1.4.5 波段组合方案

基于高分六号卫星 WFV 波段信息,在无红边波段参与、红边 710 nm 波段(B5)参与、红边 750 nm 波段(B6)参与和全部红边波段参与条件下,构建4种波段组合方案(表3)。

表3 不同红边波段参与下波段组合方案  
Table 3 Band combination schemes with different participation of red-edge bands

方案种类	使用波段
方案1	B1、B2、B3、B4、B7、B8
方案2	B1、B2、B3、B4、B5、B7、B8
方案3	B1、B2、B3、B4、B6、B7、B8
方案4	B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7、B8

注: B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7、B8 分别表示蓝波段、绿波段、红波段、近红外波段、红边波段1、红边波段2、紫波段、黄波段。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同红边波段下样本类别可分离性

基于4种波段组合方案,利用相同训练样本,计算J-M距离,获得玉米—其他作物的样本类别可分离

性(表4)。结果表明:(1)相较于无红边波段参与,方案4全部红边波段参与下,大蒜茬和冬小麦茬夏玉米—其他作物样本类别可分离性都有小幅度提高,分别从1.934和1.982增加到1.983和1.998,分别增加了0.049和0.016,加入红边波段信息可以一定程度增加影像中夏玉米—其他作物的区分度。(2)对比方案2和方案3引入不同红边波段,大蒜茬和冬小麦茬夏玉米—其他作物的可分离性有所上升,分别从1.965和1.994提高到1.976和1.997,表明红边750 nm波段(B6)对夏玉米—其他作物的区分贡献度大于红边710 nm波段(B5)。(3)红边波段的参与对大蒜茬夏玉米—其他作物的可分离性增加幅度大于冬小麦茬夏玉米—其他作物,表明红边波段对区分大蒜茬夏玉米—其他作物的贡献度较大。

表4 不同红边波段组合下夏玉米—其他作物样本类别可分离性

Table 4 Separability between summer maize and other crops under different red-edge band schemes

类别	日期	样本类别可分离性			
		方案1	方案2	方案3	方案4
大蒜茬夏玉米	7月5日	1.934	1.965	1.976	1.983
冬小麦茬夏玉米	8月20日	1.982	1.994	1.997	1.998

以上分析结果表明红边波段参与可以一定程度上增加夏玉米,特别是大蒜茬夏玉米—其他作物的区分度,但提升幅度有限,差别仅发生在小数点后第3位,其中红边750 nm波段对于夏玉米—其他作物的分类贡献度大于红边710 nm波段。

### 2.2 光谱反射率变化分析

基于地面数据,分析两景高分六号遥感影像8个波段上不同作物的光谱反射率最小值、最大值、平均值等统计数据差异(图3),当各波段的点间隔较大时被认为有明显区分,而点重叠或相距较近时被认为区分度较低。可以看出:(1)红边750 nm波段(B6)是唯一能全部区分两类作物统计特征的波段,且大蒜茬和冬小麦茬夏玉米—其他作物各统计数值间隔较大,区分度较高。(2)在红边710 nm波段(B5),冬小麦茬夏玉米—其他作物区分度都很明显,但大蒜茬夏玉米—其他作物点的间隔较小,不能很好地区分两类作物。(3)近红外波段(B4)可以有效区分大蒜茬夏玉米—其他作物;但对于冬小麦茬夏玉米—其他作物点的间隔相对较小,在最小值处出现“异物同谱”现象。(4)黄波段(B8)能够区分

两类作物统计特征,但点的间隔较小,区分度有限。

综上结果可以看出,红边 710 nm、红边 750 nm 波段都是区分夏玉米—其他作物的有效波段,特别是红边 750 nm 波段上两类作物光谱反射率差异要优于红边 710 nm 波段,这与 2.1 节样本可分离性分析的结果相吻合。

### 2.3 分类精度比较

基于相同的训练样本,利用 SVM 分类方法,实现 4 种波段组合方案作物分类,叠加融合两景影像分类结果,方案 1—4 夏玉米提取面积分别为 28 983.6 hm<sup>2</sup>、36 800.8 hm<sup>2</sup>、39 986.5 hm<sup>2</sup> 和 43 180.3 hm<sup>2</sup>,与 2019 年种植面积统计数据相比,方案 4 提取结果最接近,面积一致性为 93.6%。方案 4 研究区夏玉米种植区域提取结果如图 4 所示,夏玉米主要分布在兰陵县南部和东部地势平坦地区,与实地调查及当地农业部门获取的信息较为符合,表明红边波段参与可以提高夏玉米种植区识别与提取精度。

利用研究区地面验证点数据,通过混淆矩阵进行分类精度评价(表 5)。较方案 1,不同前茬作物夏玉米引入全部红边波段后方案 4 分类精度有明显提升,OA 分别由 80.1% 和 77.3% 提高到 90.3% 和 91.1%,分别提升了 10.2% 和 13.8%,Kappa 系数分别由 0.60 和 0.56 提高至 0.80 和 0.81。在单一红边波段参与下,红边 750 nm 波段参与下 OA 略高于红边 710 nm 波段,分别提升了 3.7% 和 4.0%,Kappa 系数相差 0.07。

与方案 1 相比,方案 2 和方案 3 夏玉米分类 MA 明显提高,而方案 3 提高幅度更大,不同前茬作物夏玉米分别提升了 13.0% 和 19.9%,与方案 4 全部红边波段参与下仅差 3.5% 和 4.8%,表明红边 750 nm 波段在夏玉米分类中贡献度大于红边 710 nm 波段,这与 2.1、2.2 节中的结果基本吻合。其他作物的 MA 变化相对较小,可能的原因是其他作物种植种类丰富、发育期不同,种植区域零散,且遥感影像分辨率较低,降低了分类精度。

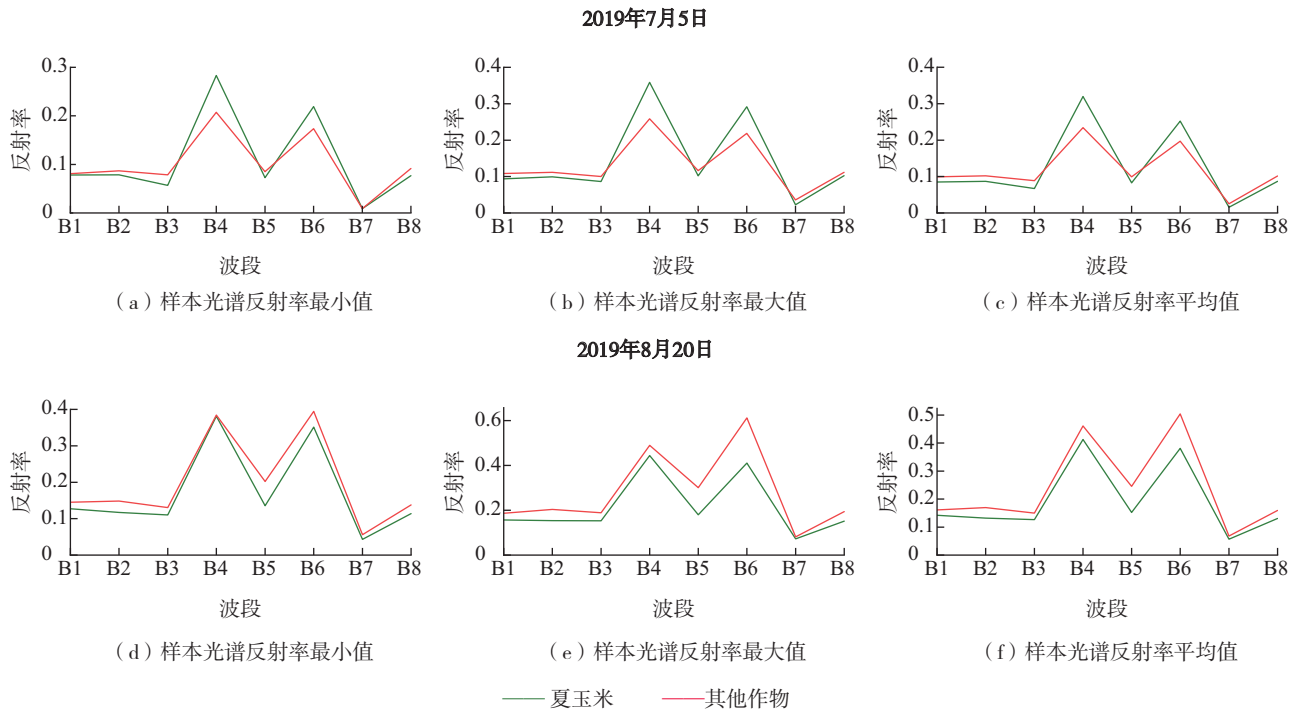


图 3 作物样本光谱反射率统计特征

Fig.3 Statistical characteristics of spectral reflectance of crop samples

结合分类精度,通过典型区域内不同波段组合方案分类结果分析不同红边波段对夏玉米提取结果的影响(图 5)。较方案 1 来说,在引入红边波段后,方案 2—4 都不同程度地解决了夏玉米错分、漏分的现象,提高了对夏玉米种植区的识别能力。图 5a—e 矩

形区域内和图 5f—j 椭圆形区域内以夏玉米为主,矩形区域内出现夏玉米图斑的“椒盐现象”,在方案 2—4 中得到不同程度的改正,分类结果中图斑有更好的连续性和完整性,图斑边界平滑性明显提升;椭圆形区域内方案 1 明显的漏分现象在方案 4 中显著降低。

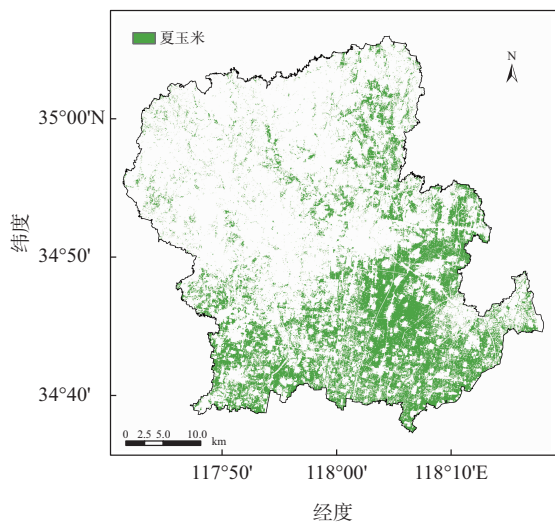


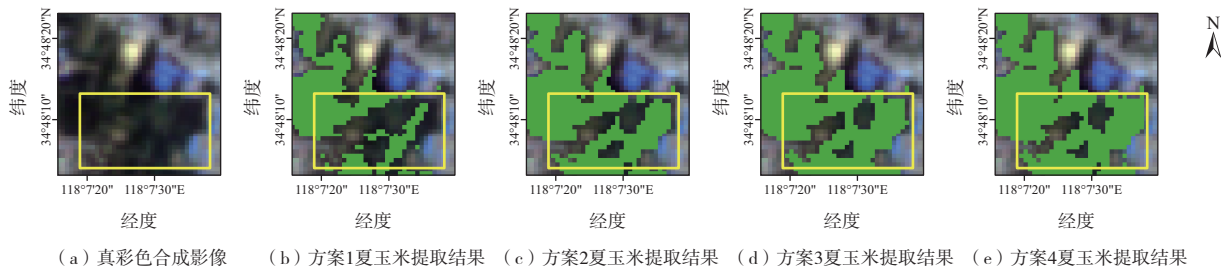
图4 基于波段组合方案4的2019年兰陵县夏玉米种植区域提取结果

Fig.4 Extraction result of 2019 summer maize planting area in Lanling county based on band combination scheme 4

表5 不同方案下作物分类精度  
Table 5 Crop classification accuracy under different schemes

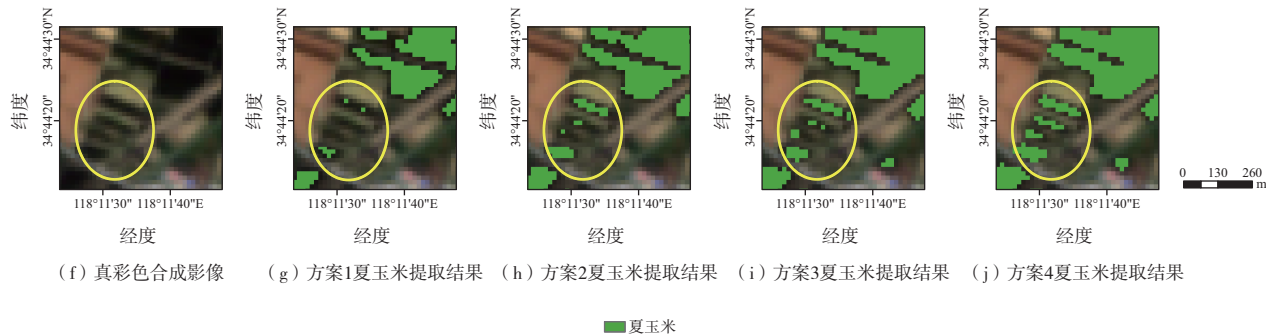
前茬作物	方案	作物	UA/%	MA/%	Kappa 系数	OA/%
大蒜	1	夏玉米	97.1	71.9	0.60	80.1
		其他作物	63.9	95.8		
	2	夏玉米	95.7	78.3	0.67	83.8
		其他作物	70.5	93.7		
	3	夏玉米	94.7	84.9	0.74	87.5
		其他作物	75.2	91.9		
	4	夏玉米	95.6	88.4	0.80	90.3
		其他作物	83.2	93.3		
冬小麦	1	夏玉米	93.3	67.8	0.56	77.3
		其他作物	64.3	92.2		
	2	夏玉米	95.9	80.0	0.71	85.4
		其他作物	74.1	94.3		
	3	夏玉米	94.8	87.7	0.78	89.4
		其他作物	82.2	92.2		
	4	夏玉米	93.1	92.5	0.81	91.1
		其他作物	87.9	88.9		

大蒜茬夏玉米提取结果



(a) 真彩色合成影像 (b) 方案1夏玉米提取结果 (c) 方案2夏玉米提取结果 (d) 方案3夏玉米提取结果 (e) 方案4夏玉米提取结果

冬小麦茬夏玉米提取结果



(f) 真彩色合成影像 (g) 方案1夏玉米提取结果 (h) 方案2夏玉米提取结果 (i) 方案3夏玉米提取结果 (j) 方案4夏玉米提取结果

图5 不同红边波段方案下典型区域提取结果

Fig.5 Extraction result of typical regions under different red-edge band schemes

### 3 结论与讨论

通过构建不同红边波段组合方案,基于多时相高分六号遥感影像数据识别和提取不同前茬作物夏玉米及同发育期其他作物,分析两个红边波段对不同发育期夏玉米样本类别可分离性、光谱反射率变

化和分类精度的影响,得出以下结论:

(1)红边波段参与可以在一定程度上提高不同作物样本类别可分离性,但提升幅度有限,差别仅发生在第3位小数。相较于无红边波段,全部红边波段参与下不同前茬作物夏玉米—其他作物的可分离度分别增加0.049和0.016;单一红边波段参与与无

红边波段参与相比,夏玉米—其他作物样本可分离度也有略微提高,且红边750 nm波段对于夏玉米—其他作物区分贡献度更大,表明引入红边波段可以提高夏玉米的识别能力。

(2)红边710 nm和红边750 nm波段都是区分夏玉米—其他作物的有效波段。特别是红边750 nm波段在不同前茬作物夏玉米全部统计特征上区分度都较高;红边710 nm波段在大蒜茬夏玉米—其他作物点的间隔较小,区分度略低。

(3)在仅利用影像光谱信息基础上,较无红边波段参与,不同前茬作物夏玉米全部红边波段的参与下作物OA分别由80.1%和77.3%提高到90.3%和91.1%,分别提升了10.2%和13.8%,Kappa系数分别由0.60和0.56提高至0.80和0.81。红边710 nm和红边750 nm单独参与进行作物识别和提取时,不同前茬作物夏玉米OA较无红边波段参与分别提高了3.7%和7.4%、8.1%和12.1%。两种单一红边波段参与下,红边750 nm波段参与下夏玉米MA高于红边710 nm波段,分别提高6.6%和7.7%,红边750 nm波段在夏玉米识别时特征重要性优于红边710 nm波段。结合作物分类结果分析,引入红边波段一定程度上降低不同前茬作物夏玉米错分、漏分的情况,增强分类结果中图斑的连续性和完整性,有效降低分类结果中出现的“椒盐现象”,使作物种植区域识别和提取结果更加科学合理。可见,高分六号卫星新增2个红边波段,特别是红边750 nm波段能够不同程度地提高作物识别和提取能力,有广阔的应用前景。

在研究高分六号卫星红边波段对不同前茬作物夏玉米种植区识别的影响过程中,发现一些问题和讨论:

(1)受云覆盖、卫星重访周期等影响,本研究仅分析了红边波段对夏玉米遥感影像光谱特征最显著时期的影响,难以获取夏玉米其他关键发育期内更多时相遥感影像数据,且研究区内其他作物种类繁多,受遥感影像空间分辨率限制,作物分类总体精度仍有待提升,下一步研究中将综合利用多源遥感影像,进一步提高时空分辨率,以改善作物识别和提取精度。

(2)研究区内以直播夏玉米为主,后续将结合多源遥感影像,开展红边波段对套种区域夏玉米识别影响的研究。

(3)利用SVM方法实现不同红边波段组合下

夏玉米等作物种植区识别,但并未与其他监督分类方法进行对比分析,也未与Landsat8、Landsat9、Sentinel-2等空间分辨率接近的影像进行分类结果和精度对比,这也是下一步研究的重点。

## 参考文献:

- [1] 王雪婷,张莎,邓帆,等.基于作物空间物候差异提取黄淮海夏玉米种植面积[J].中国农业气象,2019,40(10):647-659.
- [2] 王晗,李峰,王昊,等.基于FY-3B/VIRR数据的济南市城市热岛效应与影响因素分析[J].海洋气象学报,2021,41(2):126-137.
- [3] 瞿植,罗漫雅,赵永华,等.黄河流域大型天然湖泊面积与岸线形态的时空动态[J].应用生态学报,2023,34(4):1102-1108.
- [4] 赵诗童,时晓曦,吴晓京,等.三种经典夜间陆地雾遥感反演方法的适用性对比分析[J].海洋气象学报,2021,41(1):45-57.
- [5] ZHANG G L, XIAO X M, DONG J W, et al. Mapping paddy rice planting areas through time series analysis of MODIS land surface temperature and vegetation index data[J]. ISPRS J Photogramm Remote Sens, 2015, 106: 157-171.
- [6] 李莉,刘志红,韩晨琛,等.基于卫星遥感的临沂市冬小麦种植时空变化特征分析[J].海洋气象学报,2020,40(3):126-135.
- [7] 柳文杰,曾永年,张猛.融合时间序列环境卫星数据与物候特征的水稻种植区提取[J].遥感学报,2018,22(3):381-391.
- [8] CHEN J S, HUANG J X, HU J X. Mapping rice planting areas in southern China using the China Environment Satellite data[J]. Math Comput Model, 2011, 54(3/4): 1037-1043.
- [9] CABRAL A I R, COSTA F L. Land cover changes and landscape pattern dynamics in Senegal and Guinea Bissau borderland[J]. Appl Geogr, 2017, 82: 115-128.
- [10] 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.
- [11] 张海东,田婷,张青,等.基于GF-1影像的耕地地块破碎区水稻遥感提取[J].遥感技术与应用,2019,34(4):785-792.
- [12] 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.

- [13] ZHOU Q B, YU Q Y, LIU J, et al. Perspective of Chinese GF-1 high-resolution satellite data in agricultural remote sensing monitoring [J]. *J Integr Agric*, 2017, 16 (2): 242-251.
- [14] 贺佳, 郭燕, 张彦, 等. 基于 GF-1 数据的夏玉米 FPAR 遥感动态估算 [J]. *农业机械学报*, 2022, 53 (4): 164-172.
- [15] LUO H X, DAI S P, LI M F, et al. Comparison of machine learning algorithms for mapping mango plantations based on Gaofen-1 imagery [J]. *J Integr Agric*, 2020, 19 (11): 2815-2828.
- [16] 张悦琦, 李荣平, 穆西哈, 等. 基于多时 GF-6 遥感影像的水稻种植面积提取 [J]. *农业工程学报*, 2021, 37 (17): 189-196.
- [17] 刘佳, 王利民, 滕飞, 等. RapidEye 卫星红边波段对农作物面积提取精度的影响 [J]. *农业工程学报*, 2016, 32 (13): 140-148.
- [18] ELVIDGE C D, CHEN Z K. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices [J]. *Remote Sens Environ*, 1995, 54 (1): 38-48.
- [19] LAMB D W, STEYN-ROSS M, SCHAARE P, et al. Estimating leaf nitrogen concentration in ryegrass (*Lolium spp.*) pasture using the chlorophyll red-edge: theoretical modelling and experimental observations [J]. *Int J Remote Sens*, 2002, 23 (18): 3619-3648.
- [20] DANSON F M, PLUMMER S E. Red-edge response to forest leaf area index [J]. *Int J Remote Sens*, 1995, 16 (1): 183-188.
- [21] FILELLA I, PENUELAS J. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status [J]. *Int J Remote Sens*, 1994, 15 (7): 1459-1470.
- [22] MEHDAOUI R, ANANE M. Exploitation of the red-edge bands of Sentinel 2 to improve the estimation of durum wheat yield in Grombalia region (Northeastern Tunisia) [J]. *Int J Remote Sens*, 2020, 41 (23): 8986-9008.
- [23] 田富有, 吴炳方, 曾红伟, 等. 基于多层神经网络与 Sentinel-2 数据的大豆种植区识别方法 [J]. *地球信息科学学报*, 2019, 21 (6): 918-927.
- [24] 余宝, 黄敬峰, 石晶晶, 等. 基于红边位置变化特征的油菜种植区域提取 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29 (15): 145-152.
- [25] KANG Y P, MENG Q Y, LIU M, et al. Crop classification based on red edge features analysis of GF-6 WFV data [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21 (13): 4328.
- [26] JIANG X Q, FANG S H, HUANG X, et al. Rice mapping and growth monitoring based on time series GF-6 images and red-edge bands [J]. *Remote Sens*, 2021, 13 (4): 579.
- [27] 王利军, 郭燕, 王来刚, 等. GF6 卫星红边波段对春季作物分类精度的影响 [J]. *河南农业科学*, 2020, 49 (6): 165-173.
- [28] 姜楠, 张雪红, 汶建龙, 等. 基于高分六号宽幅影像的油菜种植分布区域提取方法 [J]. *地球信息科学学报*, 2021, 23 (12): 2275-2291.
- [29] 曹引, 冶运涛, 赵红莉, 等. 高分六号影像在内陆水体叶绿素 a 反演中的应用潜力分析 [J]. *地球信息科学学报*, 2022, 24 (3): 546-557.
- [30] 杜中曼, 马文明, 周青平, 等. 基于遥感技术的植被识别方法研究进展 [J]. *生态科学*, 2022, 41 (6): 222-229.
- [31] 朱梦豪, 李国清, 彭壮壮. 特征优选下的农作物遥感分类研究 [J]. *测绘科学*, 2022, 47 (3): 122-128.
- [32] 王立国, 赵亮, 刘丹凤. SVM 在高光谱图像处理中的应用综述 [J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2018, 39 (6): 973-983.
- [33] GÉRON A. Hands-on machine learning with Scikit-Learn and TensorFlow: concepts, tools, and techniques to build intelligent systems [M]. Boston: O' Reilly Media, 2017: 1-547.
- [34] CONGALTON R G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data [J]. *Remote Sens Environ*, 1991, 37 (1): 35-46.