

王尔美, 李卫国, 顾晓鹤, 等. 基于光谱特征分异的玉米种植面积提取[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(4): 822-827.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2017.04.015

基于光谱特征分异的玉米种植面积提取

王尔美^{1,2}, 李卫国², 顾晓鹤³, 张云华¹, 陈 华²

(1.安徽农业大学资源与环境学院,安徽 合肥 230036; 2.江苏省农业科学院农业信息研究所,江苏 南京 210014; 3.国家农业信息化工程技术研究中心,北京 100097)

摘要: 玉米种植面积的准确获取是进行玉米长势监测和产量估测的前提与基础。在对 Landsat-8/OLI 影像进行辐射定标、大气校正、几何精校正和裁剪等预处理的基础上,基于典型地物光谱空间差异与物候特征的异同,选取具有代表性的 4 种植被指数[归一化差值植被指数(*NDVI*)、差值植被指数(*DVI*)、比值植被指数(*RVI*)、绿度植被指数(*GVI*)]和近红外波段反射率,通过构建植被光谱特征指标阈值对不同地物进行识别和分类,最后获取玉米种植面积。结果表明,利用近红外波段反射率可以将农作物与其他地物区分开来,即当其反射率值大于 0.37 时,地物为农作物。对不同种类农作物识别时,选择 $NDVI>0.86$ 、 $DVI>0.53$ 、 $RVI>13.00$ 、 $GVI>3\ 713.60$ 作为分类阈值,可以将玉米与水稻和大豆区分,准确提取到玉米的种植面积。利用样本数据和当地农业部门提供的数据进行面积提取精度验证,总体精度为 92.75%,说明基于多光谱特征指标建立分类阈值的方法可以准确提取玉米种植面积,该方法可以为江淮玉米种植区县域玉米种植面积的提取提供参考。

关键词: 玉米; 光谱特征; 植被指数; 种植面积提取

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)04-0822-06

Planting area extraction of maize based on spectral features differentiation

WANG Er-mei^{1,2}, LI Wei-guo², GU Xiao-he³, ZHANG Yun-hua¹, CHEN Hua²

(1. Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2. Institute of Agricultural Economy and Information, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: The accurate extraction of maize acreage is the premise and basis for growth monitoring and yield estimating. By preprocessing involving radiation calibration, atmospheric correction, geometric correction and cropping of Landsat-8/OLI images and based on the spatial differences in the spectrum of typical objects and phenological characteristics, four representative vegetation indices [normalized difference vegetation index (*NDVI*), difference vegetation index (*DVI*), ratio vegetation index (*RVI*), green vegetation index (*GVI*)] and near infrared spectral ratio were involved to construct the threshold of vegetation spectral features so as to identify and classify the different objects, ultimately achieving the extraction of maize planting area. The near infrared spectral ratio value more than 0.37 was capable of distinguishing the crops from other objects. Classification threshold as $NDVI>0.86$, $DVI>0.53$, $RVI>13.00$ and $GVI>3\ 713.60$ could distinguish maize

from rice and soybean crops, thereby extracting the maize acreage effectively. The overall accuracy reached 92.75% when verified with sampling data and the data provided by local agricultural departments, indicating that the classification threshold based on multi-spectral characteristics is applicable in extracting maize acreage accurately.

Key words: maize; spectral characteristic; vege-

收稿日期: 2017-02-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571323); 江苏省重点研究计划项目(BE2016730)

作者简介: 王尔美(1993-), 女, 安徽安庆人, 硕士研究生, 主要从事生态遥感研究。(E-mail) 190021911@qq.com

通讯作者: 李卫国, (E-mail) jaaslw@126.com

tation index; planting area extraction

玉米是中国重要的粮食作物之一,及时、准确地获取玉米种植面积信息及其空间分布状况,可为政府部门及时掌握农情并且指导农业生产提供科学的信息参考^[1]。与传统统计方法相比,遥感技术具有覆盖范围广、重访周期短、获取成本低等优势,已成为获取作物种植面积,掌握作物长势情况以及估测产量的首选技术之一。Xiao 等^[2]利用 MODIS 数据提取中国南方 13 个省的水稻种植面积,估算精度达 89.00%。刘佳等^[3]采用 HJ-1A/B 卫星数据,基于 NDVI 阈值决策分类,进行农作物种植面积遥感识别,分类精度达到 90.90%。Luiz 等^[4]利用 Landsat TM 影像成功获取了巴西南里奥格兰德市大豆种植面积,估算精度较高。Pan 等^[5]基于 MODIS EVI 时序数据,借助作物物候比例指数分解混合像元,对通州的冬小麦面积进行监测。张喜旺等^[6]采用 TM 影像和 MODIS NDVI 时间序列数据,通过构建混合像元分解模型识别伊洛河流域冬小麦的空间分布。有学者将 Land/TM 影像和 ERS/SAR 影像的数据进行融合,采用面向对象分类方法提取小麦种植面积,精度达到 94.16%^[7]。通过遥感手段获取小麦、水稻等作物生长信息的研究很多,然而有关基于高分辨率卫星影像对江淮区域县域玉米种植面积提取的研究则鲜有报道^[8-17]。

本研究拟借鉴前人有关稻麦作物遥感监测的研究方法^[8-9,18],以江苏省盐城市大丰区为研究区域,基于地物光谱空间差异与物候特征的异同,在区分农作物与非农作物的基础上,通过构建不同作物的多植被指数阈值及其分类规则,进行玉米识别和种植面积提取,以期对江淮玉米种植区县域玉米种植面积的提取提供一种可行性方法。

1 材料与方法

1.1 研究区域

大丰区位于江苏省东部(120°13'E~120°56'E, 32°56'N~33°36'N),地处淤积平原,地势东高西低、南高北低,海拔 1.900~4.500 m,属亚热带与暖湿带的过渡地带,四季分明。日照 2 238.9 h,无霜期 213 d 左右,年平均气温 14.1℃,年降水量 1 042.200 mm。土地面积 3 059.00 km²,耕地面积 9.21×10⁴ hm²。种植的农作物主要有水稻、小麦、玉米和蔬菜

等,主要分布于除大中镇(主城区)外的乡镇和农场。沿海地区多为滩涂湿地,不宜种植农作物。

1.2 遥感影像数据

研究选用 Landsat-8 卫星陆地成像仪(OLI)遥感数据,产品级别为 L1T 级,图幅编号为 LO81190372016241BJC00。影像来自中国科学院遥感与数字地球研究所数据共享平台。OLI 包括 9 个波段,空间分辨率为 30.000 m×30.000 m,其中包括一个 15.000 m 的全色波段,成像宽幅为 185.000 km×185.000 km。采用 OLI 的前 7 个波段融合数据,空间分辨率为 15.000 m×15.000 m,包括波段 1 海岸蓝波段(0.433~0.453 μm)、波段 2 蓝波段(0.450~0.515 μm)、波段 3 绿波段(0.525~0.600 μm)、波段 4 红波段(0.630~0.680 μm)、波段 5 近红外波段(0.845~0.885 μm)、波段 6 短波红外 1 波段(1.560~1.660 μm)、波段 7 短波红外 2 波段(2.100~2.300 μm)。

8 月 28 日采集影像,玉米处于扬花期,也是玉米生物量与产量形成的关键时期,植被光谱特征明显,便于玉米识别和面积提取。

利用 Trimble 公司 Juno SB 手持 GPS 接收机在大丰区分别对玉米、水稻、大豆、林地、河流、建筑、裸地的 20 个监测样点进行精准定位,测量地物多波段反射率数据。

1.3 遥感影像预处理

对获取的 Landsat-8 影像进行辐射定标、大气校正、几何精校正和裁剪等预处理。在 ENVI 软件中进行辐射定标,辐射定标公式如下:

$$L = Gain \times DN + Bias$$

式中, L 为传感器入瞳处的光谱辐射亮度 [$W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$], $Gain$ 为定标斜率, DN 为影像灰度值, $Bias$ 为定标截距,定标公式及系数均来自影像头文件。

对辐射定标后的数据,进行 FLAASH 大气校正,输入大气模型参数、气溶胶模型及气溶胶反演方法等参数,运行后获取研究区影像的地面真实反射率数据。利用已有 WGS 1984 投影坐标的江苏省参考影像进行几何精校正,运用多项式几何校正模型,选取明显的地面控制点对 Landsat-8 影像进行几何精校正,几何精校正误差控制在 1 个像元以内。利

用矢量数据对影像进行裁剪,得出大丰区的卫星影像。

1.4 植被指数提取

选用的植被指数有归一化差值植被指数($NDVI$)、差值植被指数(DVI)、比值植被指数(RVI)和绿度植被指数(GVI),计算公式如下:

$$NDVI = (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED}) \quad (1)$$

$$DVI = R_{NIR} - R_{RED} \quad (2)$$

$$RVI = R_{NIR} / R_{RED} \quad (3)$$

$$GVI = -0.284 \ 8TM1 - 0.243 \ 5TM2 - 0.543 \ 6TM3 + 0.724 \ 3TM4 + 0.084 \ 0TM5 - 0.180 \ 0TM7 \quad (4)$$

式中, R_{NIR} 和 R_{RED} 分别为 Landsat-8 影像第 5 波段和第 4 波段的反射率, $TM1 \sim TM7$ 为 Landsat-8 影像对应波段辐射亮度值。

在 ENVI 软件中,分别提取预处理后影像中各类典型地物的感兴趣点各 50 个,建立乡镇行政边界矢量文件(AOI),提取样点像元信息,计算各类地物样点像元的植被指数值,基于不同地物多植被指数值建立地物识别的指数阈值和分类规则。

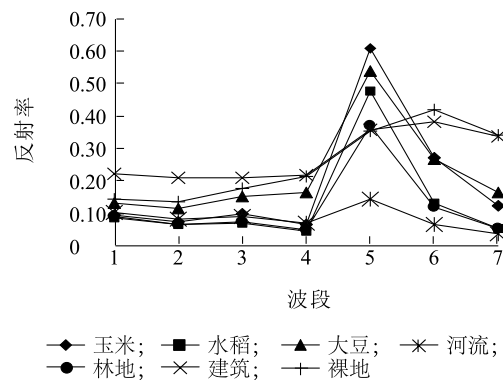
2 结果与分析

2.1 主要地物光谱特征分析

研究区域的玉米正处于扬花期,通过地面 GPS 定点进行地面样点的数据调查,确定研究区内的主要地物类型为玉米、水稻、大豆、棉花、蔬菜、河流、林地、建筑和裸地。由于大豆、棉花和蔬菜的光谱特征比较相似,本研究将棉花、蔬菜与大豆归为一类考虑,重点关注玉米的识别与种植面积提取。对不同类型地物样点像元信息进行统计,绘制各地物不同波段的反射率。图 1 显示,植被和非植被在光谱特征上具有显著差异,建筑(包括房屋、道路等)及裸地的可见光波段和近红外波段的反射率较高。由于河流水体对可见光波段到近红外波段有很强的吸收性,所以河流在各波段的反射率均较低。植被具有独特的光谱特征,在可见光部分由于叶绿素的吸收作用,导致其反射率偏低,近红外波段受叶片内部构造影响有较高的反射率,如玉米、大豆、水稻、林地等。

图 1 显示,在 1~4 波段建筑和裸地的反射率值均大于玉米、大豆、水稻、河流以及林地。因此,在 1~4 波段,建筑、裸地与玉米、水稻、河流以及林地有较强的分离性。在波段 5,各地物的反射率值表现

为:玉米>大豆>水稻>林地>建筑>裸地>河流。林地、建筑、裸地的反射率值相近,容易混淆,河流与其他地物在波段 5 的反射率($B5Rref$)差异显著,具有很强的分离性,利于河流的分离。玉米、大豆和水稻波段 5 的反射率特征与林地、建筑、裸地以及河流有显著区别,当 $B5Rref > 0.37$ 时,可以将农作物与林地、建筑、裸地及河流等非农作物区分开。对于玉米、大豆和水稻,在 $0.37 < B5Rref < 0.61$ 的阈值区间内,存在一定程度的混合像元,仅依靠波段 5 的反射率难以将玉米、水稻及大豆作物分开。因此,选取具有代表性的 4 种植被指数 $NDVI$ 、 DVI 、 RVI 和 GVI ,通过构建多重植被指数阈值对不同种类作物进行识别,进而提取大丰区玉米种植面积。



波段 1:海岸蓝波段(0.433~0.453 μm);波段 2:蓝波段(0.450~0.515 μm);波段 3:绿波段(0.525~0.600 μm);波段 4:红波段(0.630~0.680 μm);波段 5:近红外波段(0.845~0.885 μm);波段 6:短波红外 1 波段(1.560~1.660 μm);波段 7:短波红外 2 波段(2.100~2.300 μm)。

图 1 主要地物不同波段光谱特征

Fig.1 The spectral characteristics of major land objects in different bands

2.2 主要作物植被指数分析

对预处理过的影像进行光谱信息增强处理,提取并分析典型作物(玉米、水稻、大豆)的光谱信息,计算植被指数。表 1 显示,水稻 $NDVI$ 阈值范围为 0.75~0.86,玉米 $NDVI$ 的阈值范围为 0.78~0.89,大豆 $NDVI$ 的阈值范围为 0.60~0.79,3 种作物的 $NDVI$ 既有重叠的部分,也有各自独立的部分。当 $0.78 < NDVI < 0.86$ 时,该区间除水稻、大豆外还存在少部分玉米。当 $NDVI > 0.86$ 时,可认为是玉米所在区域。水稻 DVI 的阈值范围为 0.38~0.53,玉米 DVI 的阈值范围为 0.52~0.66,大豆 DVI 的阈值范

围为 $0.25 \sim 0.40$ 。当 $0.52 < DVI < 0.53$ 时,该区间除水稻外还存在少部分玉米。当 $DVI > 0.53$ 时,可认为是玉米所在区域。水稻 RVI 的阈值范围为 $7.00 \sim 13.00$,玉米 RVI 的阈值范围为 $7.00 \sim 17.00$,大豆 RVI 的阈值范围为 $3.00 \sim 8.00$ 。当 $7.00 < RVI < 13.00$ 时,该区间除水稻、大豆外还存在少部分玉米。当 $RVI > 13.00$ 时,可认为是玉米所在区域。水稻 GVI 的阈值范围为 $2\ 008.50 \sim 3\ 713.60$,玉米 GVI 的阈值范围为 $3\ 616.50 \sim 3\ 963.50$,大豆 GVI 的阈值范围为 $955.30 \sim 2\ 102.30$ 。当 $3\ 616.50 < GVI < 3\ 713.60$ 时,该区间除水稻外也存在少部分玉米。当 $GVI > 3\ 713.60$ 时,可认为是玉米所在区域。仅使用单一植被指数指标虽然可以提取部分玉米种植面积信息,但是少部分混合像元的玉米种植面积信息难以提取。

表 1 主要作物植被指数值

Table 1 Values of vegetation indices of major crops

植被指数	作物	植被指数统计值		
		最小值	最大值	均值
NDVI	水稻	0.75	0.86	0.82
	玉米	0.78	0.89	0.84
	大豆	0.60	0.79	0.68
DVI	水稻	0.38	0.53	0.43
	玉米	0.52	0.66	0.59
	大豆	0.25	0.40	0.34
RVI	水稻	7.00	13.00	9.70
	玉米	7.00	17.00	10.80
	大豆	3.00	8.00	4.70
GVI	水稻	2 008.50	3 713.60	2 413.60
	玉米	3 616.50	3 963.50	3 297.20
	大豆	955.30	2 102.30	1 560.40

NDVI:归一化差值植被指数;DVI:差值植被指数;RVI:比值植被指数;GVI:绿度植被指数。

2.3 玉米识别与种植面积提取

综合 4 种植被指数阈值指标,可以将玉米与水稻、大豆区分开来,选择 $NDVI>0.86$ 、 $DVI>0.53$ 、 $RVI>13.00$ 且 $GVI>3\ 713.60$ 多重植被指数阈值,可以较准确地识别出玉米。

在 ERDAS 软件的 Model Maker 模块中,利用多种典型作物的植被指数阈值做决策树分类,将影像中 $NDVI > 0.86$ 、 $DVI > 0.53$ 、 $RVI > 13.00$ 、 $GVI > 3713.60$ 且 $B5Rref > 0.37$ 的像元定义为纯玉米像元,其他像元一并掩膜处理为非玉米像元,得到大丰区玉米种

植面积。图2显示,大丰区玉米主要分布在北部和南部,北部种植面积大的乡镇有新丰镇、方强镇、三龙镇,南部种植面积大的乡镇有大桥镇、草庙镇、万盈镇、小海镇、沈灶镇等。乡镇集中连片的玉米种植区可合理规划高产示范样方或建设优质玉米种植基地,发展规模化种植产业。

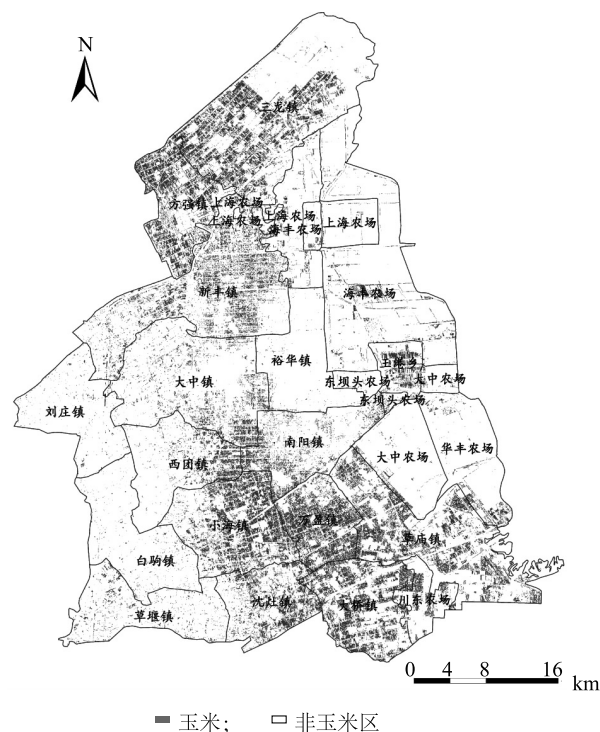


图2 大丰区玉米种植分布图

Fig.2 The maize area distribution map in Dafeng district, Jiangsu province

2.4 玉米种植面积提取精度验证

采取 3 种方法对提取的玉米种植面积精度进行验证,第一种是根据大丰区农业部门提供的县域玉米种植面积统计数据进行验证,第二种是样方混淆矩阵精度验证,第三种是主要乡镇区域玉米种植面积的精度验证。

利用 ERDAS 软件对分类影像进行统计,采用多重植被指数阈值法提取的大丰区玉米种植面积为 $27\,720.65\text{ hm}^2$,大丰区农业部门提供的 2016 年统计的玉米种植面积数据为 $29\,887.50\text{ hm}^2$,将其作为参照数据,通过计算可知,采用多重植被指数阈值法提取玉米种植面积的精度为 92.75%。利用植被光谱特征指标阈值和近红外波段反射率可对不同地物进行有效识别和分类,使得玉米田块周边混合像元的

比例减少,小的玉米田块得以识别,玉米像元提取数量有所增加。

利用识别模型提取的结果与原始影像叠加,通过 GPS 实测的野外样点来评价玉米种植面积的提取精度。根据分类规则,最后形成了玉米和非玉米 2 种分类结果,因此将真实感兴趣区也设为 2 类。将大丰区实测的样点感兴趣区转化为影像的验证样本,共 5 927 个像元,其中玉米像元 1 786 个,建立混淆矩阵,计算玉米样点的精度和 Kappa 系数。结果(表 2)表明,利用多个植被光谱特征指标阈值进行玉米种植面积提取的效果十分理想,玉米信息提取的用户精度为 96.03%,制图精度为 86.73%,总体精度为 94.92%,Kappa 系数为 87.60%,满足农情遥感监测的需求。

表 2 玉米种植面积提取结果精度评价

Table 2 Precision of winter wheat area extraction

指标	玉米	其他
用户精度(%)	96.03	94.51
制图精度(%)	86.73	98.45
总体精度(%)	94.92	
Kappa 系数(%)	87.60	

在 ArcGIS 软件中,将玉米种植面积分布遥感图进行乡镇 AOI 切割,统计主要的乡镇玉米遥感提取面积,并与乡镇农业统计的玉米种植面积(由大丰区农业部门提供)进行比较。将主要乡镇玉米种植面积的遥感提取面积与统计面积制作 1:1 线性关系图(图 3),遥感提取面积与统计面积具有很好的—致性,说明遥感提取玉米种植面积的结果较可靠。将乡镇玉米遥感提取面积与乡镇统计面积比较,得出各主要乡镇玉米种植面积的提取精度。其中,有 8 个主要乡镇的玉米种植面积提取精度在 95.03%~98.50%,有 3 个主要乡镇的玉米面积提取精度在 91.02%~94.91%,大丰区 11 个主要乡镇玉米种植面积提取平均精度为 93.63%。

3 讨论

农作物种植面积的准确提取是县域作物长势遥感监测和遥感估产的基础。位于江淮区域的江苏省多数农田地处淤积平原,河网密布,研究区种植结构复杂,小田块作物种植普遍,播种方式多样。利用中

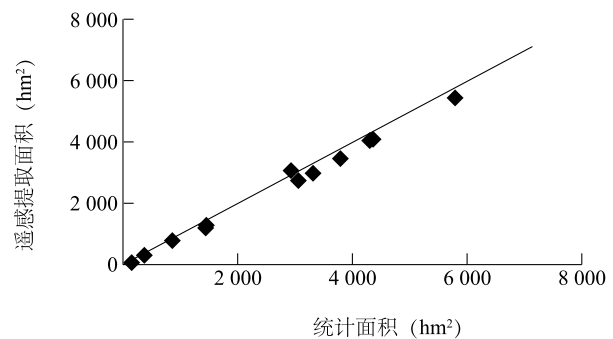


图 3 主要乡镇玉米种植面积遥感提取精度

Fig.3 The precision of maize planting area extraction at main towns

低分辨率影像数据或单一的植被指数,如 $NDVI$ ^[15-20],对农作物种植面积进行提取时难以区分混合像元,不利于作物种植面积的准确提取,特别是对于物候特征、光谱特征相近的作物,常常难以精准识别,不利于农作物生产的信息化管理。多重植被指数阈值法充分考虑到不同地物光谱空间差异和物候特征异同的问题,能够避免单一植被指数导致的像元识别误差,利于识别农作物,进而保证对农作物种植面积的提取精度。

本研究选取 4 种具有代表性的植被指数 $NDVI$ 、 DVI 、 RVI 、 GVI 和近红外波段反射率,通过构建多重植被光谱特征指标阈值,对不同作物进行识别和分类。结果表明,利用多重植被光谱特征指标阈值可对玉米进行有效识别和分类,提取的大丰区玉米种植面积为 27 720.65 hm^2 ,与试验样本数据相比,总体精度达到 92.75%,该方法可为江淮玉米种植区县域玉米种植面积信息的准确获取提供依据。

采用多重植被光谱特征指标阈值法,对各类作物设定多重阈值和分类规则,可最大程度地准确提取作物种植面积。但是由于研究区种植结构复杂,使用空间分辨率为 15.000 $m \times 15.000 m$ 的卫星影像,少部分像元仍存在同物异谱、同谱异物现象^[21-23]。在今后的研究中,将考虑结合高分辨率影像、多时相影像以及融合影像,进一步优化改进多重植被光谱特征指标阈值和分类规则。

参考文献:

- [1] 化国强. 基于全极化 SAR 数据玉米长势监测及制图研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2011.
- [2] XIAO X, BOLES S, LIU J, et al. Mapping paddy rice agriculture

- in southern China using multi-temporal MODIS images [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 95(4): 480-492.
- [3] 刘 佳,王利民,杨福刚,等. 基于 HJ 时间序列数据的农作物种植面积估算[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(3): 199-206.
- [4] LUIZ A J B, FORMAGGIO A R, EPIPHANIO J C N, et al. Objective sampling estimation of regional crop area supported by remotely sensed images [J]. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2012, 47(9): 1279-1287.
- [5] PAN Y, LI L, ZHANG J, et al. Winter wheat area estimation from MODIS-EVI time series data using the crop proportion phenology index [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 119: 232-242.
- [6] 张喜旺,秦耀辰,秦 奋. 综合季相节律和特征光谱的冬小麦种植面积遥感估算[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(8): 154-163.
- [7] 李卫国,蒋 楠. 基于面向对象分类的冬小麦种植面积提取[J]. *麦类作物学报*, 2012, 32(4): 701-705.
- [8] 张晓忆,李卫国,景元书,等. 多种光谱指标构建决策树的水稻种植面积提取[J]. *江苏农业学报*, 2016, 32(5): 1066-1072.
- [9] 王庆林,李卫国,王荣富. 基于不同时相遥感的冬小麦种植面积的提取[J]. *江苏农业学报*, 2014, 30(6): 1286-1291.
- [10] 王 学,李秀彬,谈明洪,等. 华北平原 2001-2011 年冬小麦播种面积变化遥感监测[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(8): 190-199.
- [11] 金正婷,李卫国,景元书,等. 基于影像融合的冬小麦种植面积提取适宜尺度研究[J]. *江苏农业学报*, 2015, 31(6): 1312-1317.
- [12] 王婷婷,李山山,李 安,等. 基于 Landsat 8 卫星影像的北京地区土地覆盖分类[J]. *中国图象图形学报*, 2015, 20(9): 1275-1284.
- [13] 王利民,刘 佳,杨玲波,等. 基于 NDVI 加权指数的冬小麦种植面积遥感监测[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(17): 127-135.
- [14] 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.
- [15] 胡 琼,吴文斌,宋 茜,等. 农作物种植结构遥感提取研究进展[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(10): 1900-1914.
- [16] 葛广秀,李卫国,景元书. 基于 NDVI 密度分割的冬小麦种植面积提取[J]. *麦类作物学报*, 2014, 34(7): 997-1002.
- [17] 林子晶,李卫国,申双和,等. HJ 星和 GF1 号数据在水稻种植面积提取中的应用[J]. *江苏农业学报*, 2016, 32(1): 111-117.
- [18] 李卫国. 农作物遥感监测方法与应用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2013: 214-219.
- [19] 曹卫彬,杨邦杰,宋金鹏. TM 影像中基于光谱特征的棉花识别模型[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(4): 112-116.
- [20] 唐华俊,吴文斌,杨 鹏,等. 农作物空间格局遥感监测研究进展[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(14): 2879-2888.
- [21] 王利民,刘 佳,杨玲波,等. 短波红外波段对玉米大豆种植面积识别精度的影响[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(19): 169-178.
- [22] 李晓东,姜琦刚. 基于多时相遥感数据的农田分类提取[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(7): 145-150.
- [23] 郭 伟,赵春江,顾晓鹤,等. 乡镇尺度的玉米种植面积遥感监测[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(9): 69-74.

(责任编辑:王 妮)