

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.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.06.018

## 基于影像融合的冬小麦种植面积提取适宜尺度研究

金正婷<sup>1,2</sup>, 李卫国<sup>2</sup>, 景元书<sup>1</sup>

(1. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏 南京 210044; 2. 江苏省农业科学院农业经济与信息研究所, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 为探究江苏省冬小麦种植面积遥感提取的田块适宜尺度, 选取冬小麦拔节期空间分辨率为  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  的 GF-1 全色影像和  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$  的 HJ-1 多光谱影像进行研究。首先, 将 GF-1 全色影像进行  $8\text{ m}$  和  $16\text{ m}$  重采样, 形成 3 种不同尺度全色影像, 然后分别与 HJ-1 多光谱影像进行主成分变换法融合, 生成空间分辨率分别为  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 、 $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  和  $16\text{ m} \times 16\text{ m}$  的 3 种不同尺度多光谱影像, 并通过融合影像质量评价以及光谱特征值和非监督分类的面积精度进行比较。结果表明, 3 种尺度融合影像均值差异不大, 分别为 81.20、79.26 和 79.44。3 种尺度融合影像的平均梯度值和标准差差异明显, 其中  $16\text{ m} \times 16\text{ m}$  融合影像显著高于  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 、 $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  融合影像, 融合影像质量较原始多光谱影像质量发生明显改善, 突出了丰富的植被光谱信息。从 3 种融合影像冬小麦种植面积提取精度可以看出,  $16\text{ m} \times 16\text{ m}$  融合影像冬小麦种植面积的提取精度较理想, 达到 96.73%。研究结果说明,  $16\text{ m} \times 16\text{ m}$  空间分辨率遥感影像较为适合江苏省冬小麦种植的田块分布特征, 有利于冬小麦种植面积遥感准确提取。

**关键词:** 冬小麦; 中高分辨率遥感; 影像融合; 面积提取尺度

**中图分类号:** TP79、S127      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4440(2015)06-1312-06

## Appropriate extraction scale of winter wheat planting area based on image fusion

JIN Zheng-ting<sup>1,2</sup>, LI Wei-guo<sup>2</sup>, JING Yuan-shu<sup>1</sup>

(1. Department of Applied Meteorological Science, Nanjing University of Information and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Institute of Agricultural Economy and Information, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** To develop a suitable scale of remote sensing extraction plots of winter wheat planting area in Jiangsu province, spatial resolution of  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  panchromatic image of GF-1 and  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$  multispectral images of HJ-1 at jointing stage were selected for study. Three different scales of full-color images resampled from the panchromatic image of GF-1 were fused with the multi-spectral image of HJ-1 respectively using principal component transformation method to generate three different scales of multispectral images with the spatial resolutions of  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ ,  $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  and  $16\text{ m} \times 16\text{ m}$ . The image quality, characteristic value of spectrum and the area accuracy based on non-supervised classification were

compared. The average values of three scales of fusion images were 81.20, 79.26 and 79.44 indicative of a close brightness. The fusion image of  $16\text{ m} \times 16\text{ m}$  showed higher gradient value and the standard deviation, suggestive of improved quality of fusion image and enriched veg-

收稿日期: 2015-04-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171336)

作者简介: 金正婷(1991-), 女, 江苏东台人, 硕士研究生, 研究方向为气象灾害遥感监测。(E-mail) 352433243@qq.com

通讯作者: 李卫国, (E-mail) jaaslw@126.com

etation spectral information. The accuracy of the fusion image of 16 m×16 m reached 96.73%. It was concluded that, 16 m×16 m spatial resolution remote sensing image is favorable for the extraction of winter wheat planting area in Jiangsu by remote sensing.

**Key words:** winter wheat; high resolution remote sensing; image fusion; area extracting scale

近年来,卫星遥感技术的迅猛发展,极大提升了传统农业生产管理的信息化程度,特别是以 TERRA/MODIS<sup>[1]</sup>、Landsat5/TM<sup>[2]</sup>、Landsat7/ETM+<sup>[3]</sup>、Landsat8/OLI<sup>[4]</sup>、CBERS/CCD<sup>[5]</sup>、HJ-1A/CCD<sup>[6]</sup>和 SPOT/CCD<sup>[7]</sup>等为主的卫星遥感研究,很大程度实现了对冬小麦种植面积、长势、产量、品质以及病虫害等遥感监测。前人研究多数是利用单景或单时相遥感影像进行,虽然它们具有能够快速获取、适合大范围获取的优点,但是在高精度和动态监测农作物方面稍显不足。为增强遥感监测的精准性和动态性,有人利用多源遥感影像开展作物遥感监测,如邬明权等<sup>[8]</sup>利用 TERRA/MODIS 时序数据与 HJ-1/CCD 提取大范围水稻种植面积,精度达到 93.3%;顾晓鹤等<sup>[9]</sup>运用 TERRA/MODIS 时序影像与 Landsat5/TM 影像通过小波融合估算玉米种植面积;李卫国等<sup>[10]</sup>通过融合 Landsat5/TM 影像和 ERS/SAR 影像,采用面向对象分类法提取冬小麦种植面积,精度达到 94.16%。多源遥感数据是同一区域内大量不同时间、不同尺度、不同光谱的遥感影像数据,与单源数据相比具有较好的互补性和合作性。

多源遥感影像来自于不同的传感器,它们的成像机理和工作环境各有不同,可以减少或抑制单一遥感影像对被感知对象或环境解释中可能存在的多义性、不完全性、不确定性和误差,最大限度地利用各种遥感影像提供的信息,从而大大提高在特征提取、分类等方面的有效性。将不同平台遥感数据融合起来应用是遥感向纵深领域发展的必然趋势。

本研究在将 GF-1 全色影像进行 8 m 和 16 m 重采样的基础上,分别将 2 m、8 m 和 16 m GF-1 全色波段影像与 HJ-1 卫星 30 m 的多光谱影像融合,生成不同尺度的融合影像,通过融合质量评价及光谱特征比较,研究不同遥感影像尺度对区域(江苏省)冬小麦的田块特征的适宜性,探索冬小麦种植面积遥感提取的适宜尺度,旨在为区域农作物种植面积的准确提取提供方法参考。

## 1 遥感数据与预处理

### 1.1 研究区域概况

研究区域(经纬度分别为 120.417~120.790°E, 32.757 1~33.156 2°N)为东台市东北部及大丰市东南部交界处,位于江苏省中部沿海,属北亚热带季风气候,四季分明,雨量充沛,全年无霜期 220 d 左右,作物一年两熟,是典型的稻麦连作区。该区域虽地势平坦,但河网密布,田块破碎,对冬小麦面积的遥感提取造成一定的困难,这种地理状况在江苏省中部具有普遍性。

### 1.2 遥感数据

高分一号(GF-1)卫星和环境一号(HJ-1)卫星都是中国研制发射的卫星。高分一号是中国高分辨率对地观测系统的第 1 颗卫星,于 2013 年 4 月 26 日发射,同年 12 月 30 日正式投入使用,它搭载了 2 台 2 m 空间分辨率全色/8 m 空间分辨率多光谱相机(PMS 传感器)以及 4 台 16 m 空间分辨率多光谱相机(WFV 传感器),2 台 PMS 相机组合幅宽为 60 km,重访周期仅为 4 d,具有高空间分辨率、高时间分辨率、多光谱与宽覆盖等优点。环境一号卫星全称为中国环境与灾害监测预报小卫星星座,发射于 2008 年 9 月 6 日,搭载 2 颗光学卫星(HJ-1A 卫星和 HJ-1B 卫星),其中,HJ-1A 卫星上搭载有 CCD 多光谱相机(空间分辨率 30 m)和高光谱成像光谱仪(HSI,空间分辨率 100 m),HJ-1B 卫星上搭载有 CCD(空间分辨率 30 m)相机和红外多光谱仪(IRS,近红外和远红外空间分辨率分别为 150 m 和 300 m)。两星组网后重访周期为 2 d,幅宽达 700 km(单景幅宽 360 km),覆盖区域大。

本研究选用 2014 年 3 月 16 日 GF-1 空间分辨率为 2 m 的全色波段影像和 8 m 多光谱影像,HJ-1 选用同年同月 21 日空间分辨率为 30 m 的多光谱影像。由于数据获取期间天气晴好,成像质量佳且成像时间相近,区域性地物的变化不明显,可减少小麦面积提取的误差。

### 1.3 影像预处理

**1.3.1 几何校正** 在 ERDAS 软件中,采用窗口采点模式分别对三景影像进行几何粗校正,即在 2 个 Viewer 窗口中分别打开需要校正的影像和作为地理参考的校正过的环境星影像,运用多项式几何校正模型,依据采集地面控制点校正。校正误差控制在 0.5 个像元内。

**1.3.2 裁剪** 基于 GF-1 全色影像制作研究区域的 AOI 文件,分别裁剪 HJ-1 多光谱影像和 GF-1 多光谱影像,得到相同研究区域的遥感影像,为下一步影像融合做准备。

**1.3.3 影像融合** 在 ERDAS 平台下利用正射校正以及双线性插值 (Bilinear interpolation) 对 GF-1 全色波段影像重采样,形成空间分辨率为 8 m 和 16 m 的全色影像。通过主成分变换法,将 3 景全色波段影像分别与 HJ-1 多光谱影像进行融合,得到 2 m×2 m、8 m×8 m、16 m×16 m 的多光谱融合影像,利用融合影像质量评价法比较研究区域不同尺度对江苏省小麦田块尺度特征的适宜性。另外,用相同融合方法将 GF-1 空间分辨率为 2 m 的全色波段影像与 8 m 多光谱影像进行融合得到 2 m×2 m 的多光谱影像,用于研究区域冬小麦种植面积提取精度的验证参考。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同尺度融合影像质量评价

遥感融合影像质量评价有 2 种方法。一种是主观评价法,它是通过判读人员运用目视方法对影像的质量进行评价,简单直观,可以方便、快捷地评价影像信息;另一种是客观评价法,通常采用统计学方法,建立一定的评价指标和准则,对融合影像和方法做出科学合理的评价,它能够克服主观评价的片面性及人为因素的影响,常用的客观评价指标有平均

值、标准差、平均梯度、交叉熵及相关系数等<sup>[11]</sup>。

为减少客观评价指标的运算量以及更直观的目视解译,在 2 m×2 m、8 m×8 m、16 m×16 m 的多光谱融合影像中选取相同的影像区域进行比较,如图 1 所示,图 1a 是 GF-1 空间分辨率 2 m 的全色影像,图 1b 是 2 m×2 m 多光谱融合影像,图 1c 是 8 m×8 m 多光谱融合影像,图 1d 是 16 m×16 m 多光谱融合影像,图 1e 是 HJ-1 空间分辨率 30 m 多光谱影像。整体来看,图 1b、图 1c 和图 1d 三景融合影像的信息量丰富程度、纹理特征、地物清晰度都明显好于图 1e。三景融合影像中,图 1c 较图 1b 边界稍显模糊,但房屋、桥梁等小型地物仍清晰可辨;图 1d 较图 1c 清晰度明显逊色,纹理信息减少,桥梁、房屋只能隐约可见,但田块的边界以及田埂尚能识别。目视结果表明,三景融合影像都能识别区域小麦种植田块。

均值和平均梯度从不同角度反映影像的空间质量。一般情况下,均值适中,则融合影像质量较好;平均梯度值越大,影像越清晰,细节信息表现越好。3 种尺度 (2 m×2 m、8 m×8 m、16 m×16 m) 融合影像的客观评价指标见表 1,从表 1 可看出,3 种尺度影像融合的平均值分别为 81.20、79.26 和 79.44,三者之间相差不大,说明这三幅融合影像的平均亮度相近。3 种融合尺度的平均梯度值排序为 16 m×16 m (6.74)>8 m×8 m (4.55)>2 m×2 m (1.97),说明 16 m×16 m 融合影像清晰度最好,细节表现力最强。标准差作为衡量信息丰富程度的重要指标,其值越大,反差就越大,视觉信息就越明显。由表 1 可知,3 种尺度融合影像的平均标准差值排序为 16 m×16 m (19.93)>8 m×8 m (17.79)>2 m×2 m (15.95),说明 16 m×16 m 融合影像的信息量更多。综合主观评价和客观评价,16 m×16 m 融合影像较适合江苏省冬小麦种植的田块分布特征。

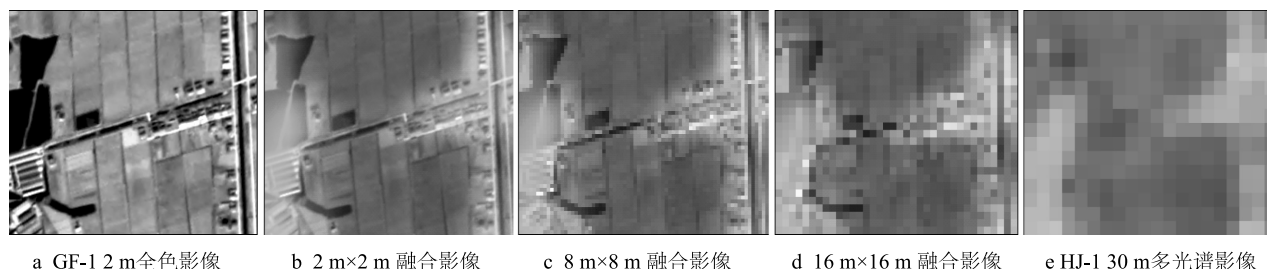


图 1 融合前后影像特征比较

Fig.1 Comparison of the features before or after image fusion



表1 不同尺度融合影像客观评价指标

Table 1 Evaluation indices of different scale fusion images

融合尺度	波段	均值	标准差	平均梯度
2 m	NIR	108.24	18.64	2.53
	R	68.80	15.71	1.67
	G	66.31	13.51	1.71
	平均	81.12	15.95	1.97
8 m	NIR	104.60	21.44	5.88
	R	67.81	17.02	3.87
	G	65.38	14.92	3.91
	平均	79.26	17.79	4.55
16 m	NIR	106.76	24.69	8.67
	R	67.06	18.58	5.83
	G	64.51	16.51	5.72
	平均	79.44	19.93	6.74

## 2.2 不同尺度融合遥感影像光谱特征比较

利用 ENVI 遥感软件在三景融合影像中通过建立 ROI 感兴趣点随机提取 88 个小麦种植样点,形成小麦样点的光谱信息数据,然后计算  $NDVI$  (归一化差异植被指数)、 $RVI$  (比值植被指数)、 $TVI$  (转换型植被指数) 和  $RDVI$  (重归一化植被指数) 4 种植被指数<sup>[12-15]</sup>。

以 88 个小麦种植样点数作为横坐标,4 种植被指数分别作为纵坐标,依次生成散点图(图 2)。图 2a、图 2b、图 2c 和图 2d 分别是 88 个样点所对应的  $NDVI$ 、 $RVI$ 、 $TVI$  和  $RDVI$  值,每幅图包含  $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 、 $8\text{ m}\times 8\text{ m}$ 、 $16\text{ m}\times 16\text{ m}$  3 种尺度融合影像的样点光谱信息,为了更直观地展现 3 种不同尺度融合影像的植被指数的差异,在 4 幅图中添加线性趋势线,辅以说明融合影像的植被指数的变化特征。从图 2a 可以看出冬小麦的  $NDVI$  处于  $0.19\sim 0.54$ ,样点间  $NDVI$  存在明显差异,不同田块小麦的长势不尽相同,说明选取的样点具有代表性。大部分样点的  $NDVI$  集中在  $0.30\sim 0.43$ ,结合线性趋势线看, $16\text{ m}\times 16\text{ m}$  融合影像的  $NDVI$  值明显高于  $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 、 $8\text{ m}\times 8\text{ m}$  融合影像,说明  $16\text{ m}\times 16\text{ m}$  融合影像光谱信息量更丰富。图 2b 中  $RVI$  介于  $1.49\sim 3.45$ ,密集分布于 2.3 左右,趋势线也表明  $16\text{ m}\times 16\text{ m}$  融合影像所含光谱信息量多于  $2\text{ m}\times 2\text{ m}$  和  $8\text{ m}\times 8\text{ m}$  融合影像,

融合影像光谱信息增加,有利于小麦的识别。图 2c 中  $TVI$  最小值为 0.84,最大值为 1.02,集中分布在 0.94 左右,图 2d 中  $RDVI$  分布于  $0.54\sim 1.37$ ,平均分布在 0.95 左右,从拟合的趋势线可看出  $16\text{ m}\times 16\text{ m}$  融合影像所含的光谱信息量较大。图 2a、图 2b、图 2c 和图 2d 中拟合的趋势线的走势相同,峰(谷)值都出现在相同的样点位置,说明三景融合影像在融合后没有出现极端变异情形。

通过对不同植被指数的比较分析,可得出  $16\text{ m}\times 16\text{ m}$  融合影像光谱信息量比  $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 、 $8\text{ m}\times 8\text{ m}$  融合影像更丰富,更有利于田块尺度的冬小麦识别。

## 2.3 不同尺度融合遥感影像小麦种植面积提取精度

融合影像质量的改善和光谱信息的增强,有利于提高冬小麦种植面积提取精度。基于非监督分类法,结合江苏冬小麦田间生长特征,将三景融合影像的地物简单分成水体、道路房屋、树木、蔬菜、小麦这 5 类,并通过分类重编码整合提取各类地物的面积。建立 2 个近似  $5\,000\text{ m}\times 5\,000\text{ m}$  样方,样方中包含房屋、道路、水体、小麦、非小麦的其他植被等地物,通过制作 AOI 分别对三景融合影像样方中冬小麦种植田块进行统计,得到样方冬小麦的种植面积。

将 GF-1 空间分辨率为  $2\text{ m}$  全色影像和  $8\text{ m}$  多光谱影像融合,再进行非监督分类,与上述三景融合影像方法类似,对相同样方小麦种植面积进行提取,统计样方小麦种植面积作为计算面积精度的参考面积。

通过公式  $A=(1-|S_R-S_{CF}|/S_{CF})^{[6]}$  计算融合影像的小麦种植面积精度,其中  $S_R$  代表融合影像样方小麦种植面积, $S_{CF}$  作为参考影像的样方小麦种植面积,计算结果见表 2。从表 2 可以看出, $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 、 $8\text{ m}\times 8\text{ m}$  和  $16\text{ m}\times 16\text{ m}$  融合影像的小麦种植面积精度存在差异,其中, $8\text{ m}\times 8\text{ m}$  和  $16\text{ m}\times 16\text{ m}$  融合影像小麦种植面积提取精度较为接近,且均高于  $2\text{ m}\times 2\text{ m}$  融合影像, $8\text{ m}\times 8\text{ m}$  融合影像精度为 96.41%, $16\text{ m}\times 16\text{ m}$  融合影像精度 96.73%,整体来看, $16\text{ m}\times 16\text{ m}$  融合影像小麦种植面积提取精度最高。说明, $16\text{ m}\times 16\text{ m}$  融合影像适合江苏省冬小麦种植的田块分布特征,有利于冬小麦种植面积的遥感准确提取。

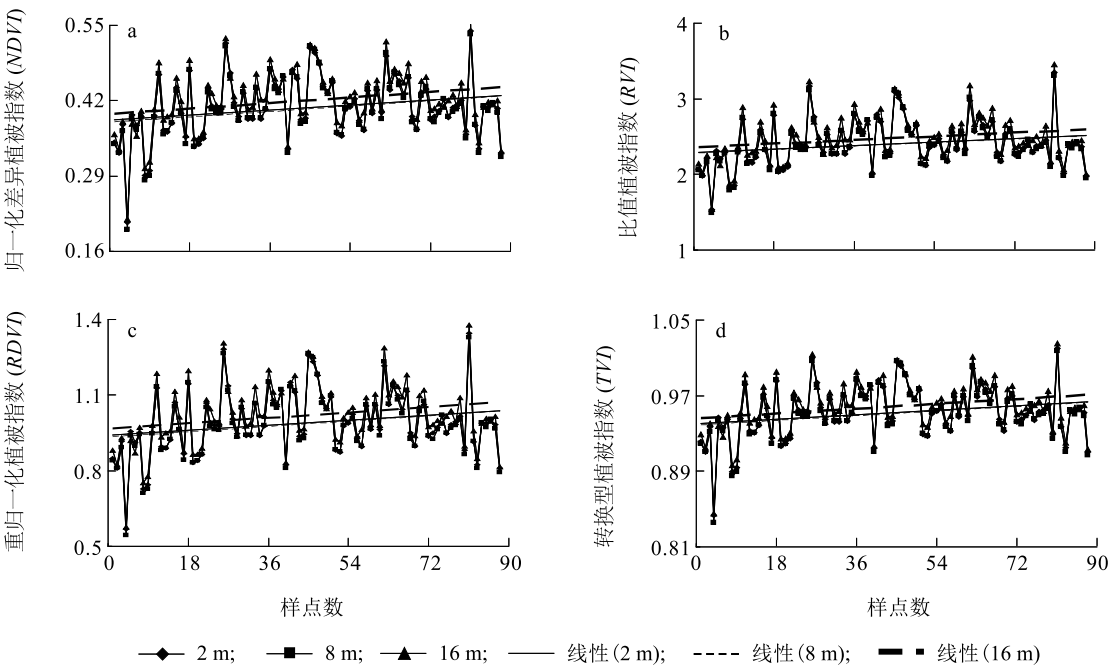


图2 不同尺度融合影像植被指数散点分布特征  
Fig.2 Distribution characteristics of vegetation indices scattered points in different scale fusion images

表2 不同尺度融合影像面积精度  
Table 2 Accuracy of different scale fusion images

融合影像	面积 (hm <sup>2</sup> )		面积精度 (%)	
	样方一	样方二	样方一	样方二
2 m×2 m	1 905.8	1 685.46	93.50	93.87
8 m×8 m	1 762.86	1 493.64	98.51	94.05
16 m×16 m	1 719.71	1 547.31	96.10	97.43
GF	1 789.52	1 588.08		

GF:作为参考影像的样方小麦种植面积。

3 讨论

近年来,关于遥感影像融合方法的研究有很多,但不同空间尺度影像融合却不多,尤其是基于中国自主研发的 GF-1 卫星和 HJ 卫星影像的融合在作物监测中少有报道。本研究通过对 GF-1 空间分辨率 2 m 全色影像重采样,生成 8 m×8 m 和 16 m×16 m 全色影像,将此三景全色影像分别与 HJ-1 空间分辨率 30 m 多光谱影像进行主成分变换融合,生成 2 m×2 m、8 m×8 m、16 m×16 m 3 种不同尺度的多光谱影像,并进行融合质量评价以及光谱特征值和基于非监督分类的面积精度比较。结果表明,3 种尺度融合影像均值差异不大,分别为 81.20、79.26

和 79.44。平均梯度值和标准差差异明显,其中 16 m×16 m 融合影像最为显著,其值分别为 6.74 和 19.93,融合影像质量较原始多光谱影像质量发生明显改善,突出了丰富的植被光谱信息,有利于冬小麦种植面积的提取。从 3 种融合影像冬小麦种植面积提取精度可以看出,16 m×16 m 融合影像冬小麦种植面积的提取精度最理想,精度为 96.73%。综上所述,16 m×16 m 空间分辨率的遥感影像比较适合江苏省田块分布特征,有利于冬小麦种植面积遥感准确提取。

本研究选用 GF-1 空间分辨率 2 m 全色影像与 8 m 多光谱影像进行融合,作为研究区域冬小麦种植面积提取精度的验证参考,即运用高分辨率影像

作为识别标志,代替传统人工田间调查方法,在满足精度要求的情况下,节省了大量人力物力。本研究利用非监督分类方法提取冬小麦种植面积信息,其他分类方法(如监督分类等)是否适合本研究,将在下一步研究中进行探索。虽然 GF-1 影像覆盖度较同等分辨率卫星影像幅宽较大,但用于大范围农作物面积、长势以及产量等监测预报研究时,较难实现县级区域全覆盖,有必要考虑利用多源高空间分辨率影像数据。基于本研究的研究结果,空间分辨率 $16\text{ m}\times 16\text{ m}$ 的卫星遥感影像比较适合江苏省冬小麦种植田块的分布特征,在今后的研究中可以考虑使用相同空间分辨率的遥感影像数据,比如使用空间分辨率为 $15\text{ m}\times 15\text{ m}$ 的 Landsat8/OLI 影像或空间分辨率为 $19\text{ m}\times 19\text{ m}$ 的 Spot4/CCD 影像等,可以在满足区域作物遥感监测要求的情况下,大大降低影像购买成本,使卫星遥感监测技术更好地服务于县级农业管理的信息需求。

#### 参考文献:

- [1] 许文波,张国平,范锦龙,等.利用 MODIS 遥感数据监测冬小麦种植面积[J].农业工程学报,2007,23(12):144-149.
- [2] 李卫国,李正金,王纪华,等.基于 ISODATA 的冬小麦籽粒蛋白质含量遥感分级监测[J].江苏农业学报,2009,25(6):1247-1253.
- [3] 张建国,李宪文,吴延磊,等.面向对象的冬小麦种植面积遥感估算研究[J].农业工程学报,2008,24(5):156-160.
- [4] 田海峰,王力,牛铮,等.基于新遥感数据源的冬小麦种植面积提取[J].中国农学通报,2015,31(5):220-227.
- [5] 李卫国,李正金.基于 CBERS 卫星遥感的冬小麦产量估测研究[J].麦类作物学报,2010,30(5):915-919.
- [6] 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.
- [7] 王备战,冯晓,温暖,等.基于 SPOT-5 影像的冬小麦拔节期生物量及氮积累量监测[J].中国农业科学,2012,45(15):3049-3057.
- [8] 郭明权,王长耀,牛铮.利用多源时序遥感数据提取大范围水稻种植面积[J].农业工程学报,2010,26(7):240-244.
- [9] 顾晓鹤,韩立建,王纪华,等.中低分辨率小波融合的玉米种植面积遥感估算[J].农业工程学报,2012,28(3):203-209.
- [10] 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.
- [11] 赵丽花.基于遥感数据的小麦长势空间变异监测研究[D].徐州:中国矿业大学,2011.
- [12] DEERING D W, ROUSE J W, HAAS R H, et al. Measuring forage production of grazing units from Landsat MSS data[J]. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment, 1975, 2: 1169-1178.
- [13] BIRTH G S, MCVEY G. Measuring the color of growing turf with a reflectance spectroradiometer[J]. Agronomy Journal, 1968, 60: 640-643.
- [14] ROUSE J W, HAAS R H, SCHELL J A, et al. Monitoring the vernal advancement of re-vegetation of natural vegetation[M]. USA: National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center(NASA/GSFC), 1974.
- [15] ROUJEAN J L, BREON F M. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 51: 375-384.

(责任编辑:陈海霞)