

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.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.05.018

多种光谱指标构建决策树的水稻种植面积提取

张晓忆^{1,2}, 李卫国², 景元书¹, 葛广秀², 王庆林³

(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; 3. 合肥师范学院, 安徽 合肥 230061)

摘要: 合理选取不同光谱指标制定决策树规则, 能有效提高决策树分类法提取水稻面积的精度。本研究以江苏省淮安市为例, 选取 30 m 空间分辨率 HJ1A 和 16 m 空间分辨率 GF1 多光谱影像, 在对不同地物样点像元光谱特征分析的基础上, 选择地物光谱特征明显的 GF 影像计算 *NDVI*、*EVI*、*DVI* 和 *RVI*, 并提取影像近红外波段反射率, 利用上述 5 种光谱指标确定不同地物分类阈值来对两景影像进行决策树分类, 进而获取淮安市水稻面积和分布情况。结果表明, GF 影像地物光谱特征较明显, 有利于识别不同地物, 可用来确定基于多种光谱指标分类的阈值范围。其中, 水稻判别条件为 $NDVI > 0.70$, $0.25 < DVI \leq 0.45$, $0.53 < EVI \leq 0.80$, $RVI > 5.5$ 且 $0.30 < \rho_{NIR} \leq 0.46$ 。HJ 影像和 GF 影像提取水稻面积的样本精度分别为 87.29% 和 93.70%, GF 影像比 HJ 影像的水稻面积提取精度提高了 6.41 个百分点, 说明利用多种光谱指标构建决策树分类模型是一种有效提取水稻种植面积的方法。

关键词: 水稻; 多光谱遥感; 决策树分类; 种植面积提取

中图分类号: S127 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2016)05-1066-07

Extraction of paddy rice area by constructing the decision tree with multiple spectral indices

ZHANG Xiao-yi^{1,2}, LI Wei-guo², JING Yuan-shu¹, GE Guang-xiu², WANG Qing-lin³

(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; 3. Hefei Normal University, Hefei 230061, China)

Abstract: Accuracy in discriminating paddy rice can be improved effectively via different spectral indices selected rationally to set the decision tree rules. In the study, multispectral images of 30-m resolution HJ1A and 16-m resolution GF1 taken on August 3 in Huaian city of Jiangsu province were compared. Because of better spectral characteristics to identify different surface objects, HJ1A was selected to determine the threshold ranges of *NDVI*, *EVI*, *DVI*, and *RVI*, which should satisfy $NDVI > 0.7$, $0.25 < DVI \leq 0.45$, $0.53 < EVI \leq 0.8$, $RVI > 5.5$ and $0.3 < \rho_{NIR} \leq 0.46$. The threshold of vegetation indices together with reflectance in near-infrared wavelength were used for decision tree classification which was employed for follow-up rice area extraction. The extraction accuracy was lower (87.29%) by HJ image than by GF image (93.7%), suggesting that it is an effective way to extract paddy rice area using decision tree classification model based on multispectral images.

images.

Key words: rice; multispectral remote sensing; decision tree classification; planting area extraction

收稿日期: 2016-02-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171336); 江苏省重点研究计划项目(BE2016730)

作者简介: 张晓忆(1992-), 女, 安徽铜陵人, 硕士研究生, 研究方向为气象灾害遥感监测。(E-mail): 1549263115@qq.com

通讯作者: 李卫国, (E-mail) jaaslwg@126.com

水稻是中国主要粮食作物之一, 快速、精准地获取水稻种植面积及分布信息, 有利于各级农业部门了解水稻长势, 分析病虫害及冷害热害状况, 为指导

区域农业生产和区域水稻产量估算提供可靠依据^[1-3]。比起传统田间调查,遥感技术在保证一定精度的前提下能快速提取水稻面积和分布信息,正成为区域水稻分布专题图绘制的重要手段,而如何提高水稻面积提取精度一直是农业遥感的重点研究问题。景元书等^[4]利用 MODIS 影像,通过计算水稻时间序列增强型植被指数(EVI),分解混合像元有效提取到江西省水稻种植面积。阎静等^[5]使用 NOAA 影像,将归一化差值植被指数(NDVI)和昼夜温差相结合,运用神经网络法分类提取了湖北省水稻面积。低空间分辨率影像(如 MODIS、NOAA 影像等)由于获取方便,时间分辨率高,影像幅宽大,有利于大尺度作物遥感研究,但此类影像空间分辨率较低,较难在小尺度区域(如市、县或乡镇级区域)实现作物种植面积的有效提取。针对低空间分辨率遥感影像应用的不足,黄振国等^[6]利用高空间分辨率 SPOT5 影像,采用非监督分类法较理想地提取湖南省株洲市区的水稻种植面积。韩立建等^[7]利用不同时相的两景高空间分辨率 IRS 影像监督分类提取水稻种植面积,提取精度达 97.63%。高空间分辨率影像由于空间分辨率高,使得小尺度区域的作物面积提取精度有很大提升,但这类影像幅宽较小,一般无法实现大范围(如县域)的作物面积监测。针对低、高空间分辨率影像单独使用的不足,中空间分辨率影像(如 HJ、Landsat 影像等)的使用越来越受到重视,此类影像有较好的时相性和广域性(监测范围广),适用于县域乃至市域的作物生长变化监测研究。如葛广秀等^[8]选用 HJ 星影像,采用 NDVI 密度分割法有效获取江苏省沭阳县冬小麦种植面积。李卫国等^[9]选用 Landsat TM 影像,采用面向对象分类法提取冬小麦种植面积,提取精度达 94.16%。但使用单一光谱指标(如 NDVI、EVI 等)确定阈值来提取作物面积,仍存在混合像元被误判的可能。因此,如何将中、高空间分辨率影像有效结合解决混合像元问题也就成为当前作物种植面积遥感提取精度研究的热点问题。

本研究以江苏省淮安市为例,选取 30 m×30 m 空间分辨率 HJ1A 和 16 m×16 m 空间分辨率 GF1 多光谱影像,在对不同类型地物提取样点像元光谱特征分析的基础上,计算不同地物光谱特征明显的 GF 影像的 NDVI、EVI、差值植被指数(DVI)、比值植被指数(RVI)和近红外波段反射率,通过分析不同类型地物

5 种光谱指标值确定阈值范围,通过制定分类规则对两景影像进行决策树分类,进而获取淮安市水稻种植面积及其空间分布状况,旨在为江淮区域水稻面积提取提供一种较为实用的方法。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

淮安市位于江苏省中北部,面积 10 072 km²,下辖清河区、清浦区、淮阴区、淮安区、涟水县、洪泽县、盱眙县、金湖县。地理坐标在北纬 32°43'00"~34°06'00",东经 118°12'00"~119°36'30"。地形地貌以平原为主,盱眙境内西南部有丘陵分布,大部分地区海拔高度在 50~100 m。常年平均气温在 14.5℃左右,多年平均降水量在 1 000 mm 左右,属北亚热带季风气候区,作物一年两熟,是典型的小麦(油菜)—水稻连作区,八月上旬主要农作物有水稻、蔬菜、玉米、甘薯、大豆、莲藕等。2015 年当地主栽水稻品种有武运粳 27 号、连粳 7 号、淮稻 5 号、南粳 9108 和盐粳 11 号等,直播稻一般在小麦收获时播种,移栽稻在 6 月中下旬插秧。

1.2 遥感影像数据

本研究选用 30 m×30 m 空间分辨率 HJ1A/CCD2 和 16 m×16 m 空间分辨率 GF1/WFV4 两景多光谱遥感影像,成像时间均为 2015 年 8 月 3 日,此时水稻处于拔节期,为营养生长的中后期,大田水稻叶面积指数高,植被光谱特征明显,便于遥感分析。影像于中国资源卫星遥感数据共享平台下载获得,影像覆盖范围包括淮安市全境。两景影像波谱范围包括蓝光、绿光、红光和近红外波段。

1.3 遥感影像预处理

利用已有 WGS1984 投影坐标的江苏省参考影像,对 HJ 影像和 GF 影像进行几何校正,其中每景影像采集的地面控制点不少于 1 000 个,以保证几何校正误差控制在 1 个像元之内。再对两景影像分别进行辐射定标和 FLAASH 大气校正,辐射定标是通过中国资源卫星应用中心网站来查询影像的辐射定标系数再进行公式转换,将各波段 DN 值转化为辐亮度数据;大气校正通过 ENVI 软件的 FLAASH 模块,输入对应的传感器和影像参数,选择事先查询设定好的波谱响应文件,将辐亮度数据转化为反射率数据。进行完上述处理后,用淮安市行政边界切割影像,再分别计算切割后的两景影像,得到相应的

NDVI 影像, DVI 影像, EVI 影像和 RVI 影像, 为接下来做决策树分类提取水稻面积做准备。

NDVI^[10]、DVI^[11]、EVI^[12] 和 RVI^[13] 的构建方程如公式(1)所示,

$$\begin{aligned}
 NDVI &= \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \\
 DVI &= \rho_{NIR} - \rho_{red} \\
 EVI &= \frac{2.5 \times (\rho_{NIR} - \rho_{red})}{\rho_{NIR} + 6 \times \rho_{red} - 7.5 \times \rho_{blue} + 1} \\
 RVI &= \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{red}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

其中 ρ 表示各波段反射率值。

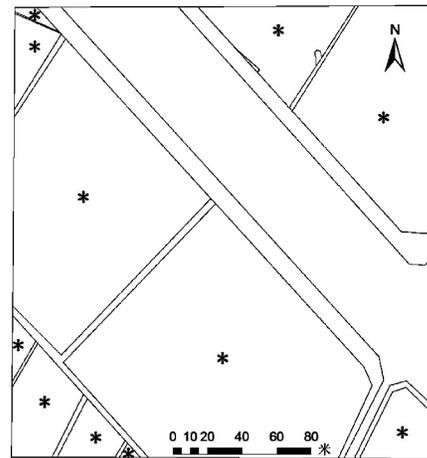
为了提取不同类型地物的波段信息, 通过前期 GPS 定点调查, 确定研究区为 5 类典型地物, 分别为水体、水稻、房屋道路、林地和以蔬菜为代表的大叶作物(包括玉米、大豆、甘薯等)。对两景影像的各类典型地物分别提取不少于 500 处样点像元, 并对提取的各类地物样点像元的各波段反射率分别进行统计分析。样点像元的选择需保证随机且均匀分布, 且避免选择各类地物混合的像元。

1.4 面积精度验证

通过实地调查构建田间样方并统计水稻信息, 再用样方边界切割影像, 最后将切割影像的水稻面积与样方实际水稻面积进行对比, 形成样方精度。利用随机的小空间尺度样方进行分析, 更利于判断水稻的空间分布和面积提取精度。

田间实地调查需在淮安市 4 个县和市区境内的水稻种植基地分别选取 2 个约 300 m×300 m 样方, 共建立 10 个样方。样方的选取应具有代表性, 样方间有一定距离间隔, 保证样方内有一定面积的水稻,

并存在一定比例的其他地物类型。利用美国 Trimble 公司 Juno SB 手持 GPS 采集地理坐标, 测量每个样方的各类典型地物的面积及分布范围, 便于后续遥感影像精校正和面积精度评估检验。图 1 为涟水县高沟镇孙庄与丁庄交汇处采集的一处样方, 中间为省道, 道路两旁为防护林带, 两侧均种有大范围水稻, 由 GIS 统计可知该样方面积 8.39 hm², 其中水稻面积 5.08 hm²。



水稻田地以 * 作标记。

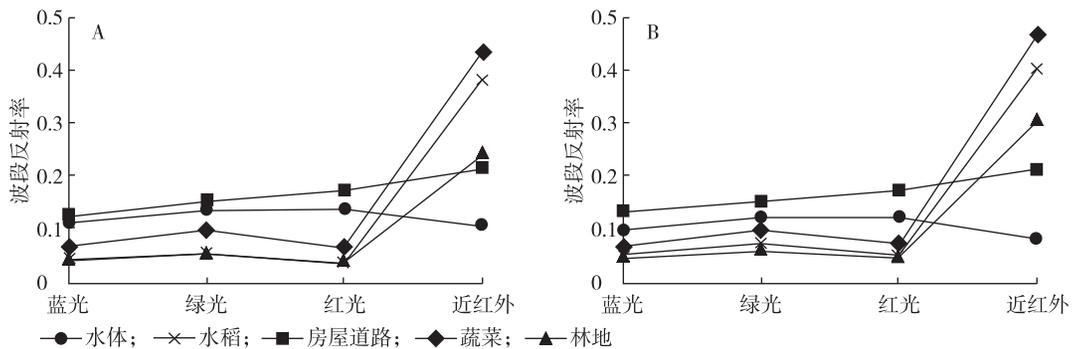
图 1 GPS 采集的一处田间样方示意图

Fig.1 The sketch map of a certain quadrat in the area captured by GPS

2 结果与分析

2.1 不同地物光谱特征分析

分别统计 HJ 影像和 GF 影像不同类型地物的样点像元各波段反射率值并计算均值, 可得到两景影像提取的不同地物光谱均值曲线图, 如图 2 所示。



A: 30 m HJ 影像; B: 16 m GF 影像。

图 2 不同地物光谱均值曲线图

Fig.2 The spectral mean value graphs of different surface objects

由图 2 可知两景影像都能反映各类地物的光谱特征。非植被区与植被区的光谱特征明显不同,水体对可见光和近红外波段的吸收率都高,所以各波段反射率低;房屋道路包括各类水泥建筑、柏油马路,复合材料等,特点是对可见光和近红外波段的反射率较高;而植被区由于叶绿素的作用,各类植被有相似的光谱特征,表现为可见光波段反射率低而近红外波段反射率高,如水稻、蔬菜和林地等。各类植被由于自身差异,同一时相的生长状态和内部构造不尽相同,光谱特征虽然类似,但仍有差异,可通过计算各种植被指数甚至差异明显的近红外波段反射率得以体现。

虽然两景影像中各类地物的光谱特征类似,但相比 HJ 影像,GF 影像各地物的光谱特征区分更加明显,如 GF 影像中的水稻和林地的可见光波段反射率差别更明显,且林地的近红外波段反射率明显高于房屋道路。原因是 GF 影像空间分辨率高,更易提取典型地物样点像元,得到的各类地物光谱特征代表性更好,更利于反映各类地物光谱特征的差异性;同时由于样点像元选取的随机性,影像间的数

值会有一些的差异。

2.2 不同地物植被指数信息与决策树规则建立

为了统一两景影像的决策树分类规则且尽可能提高水稻面积提取精度,本研究选取地物光谱特征代表性好的 GF 影像,计算 GF 影像中不同类型地物样点像元的 $NDVI$ 、 DVI 、 EVI 、 RVI 值,统计并剔除坏点,来确定各类地物在上述 4 种植被指数和近红外波段反射率的阈值分布情况。图 3 描述了 GF 影像各类地物光谱指标的阈值分布情况,由于植被区与非植被区光谱特征差异显著,可先通过 $NDVI$ 区分出水体和房屋建筑。虽然不同植被各项光谱指标的阈值有差异,但由于光谱特征的相似性,不同植被在某一指标的阈值范围多有重叠,所以不能通过单一光谱指标将水稻、林地和蔬菜等完全区分。本研究使用 4 种植被指数 ($NDVI$ 、 DVI 、 EVI 、 RVI) 和近红外波段反射率共 5 种光谱指标,对两景影像进行决策树分类,分类规则及阈值参照图 3,进而提取 2015 年淮安市水稻面积。其中水稻判别条件为同时满足 $NDVI > 0.70$, $0.25 < DVI \leq 0.45$, $0.53 < EVI \leq 0.80$, $RVI > 5.5$ 和 $0.30 < \rho_{NIR} \leq 0.46$ 。

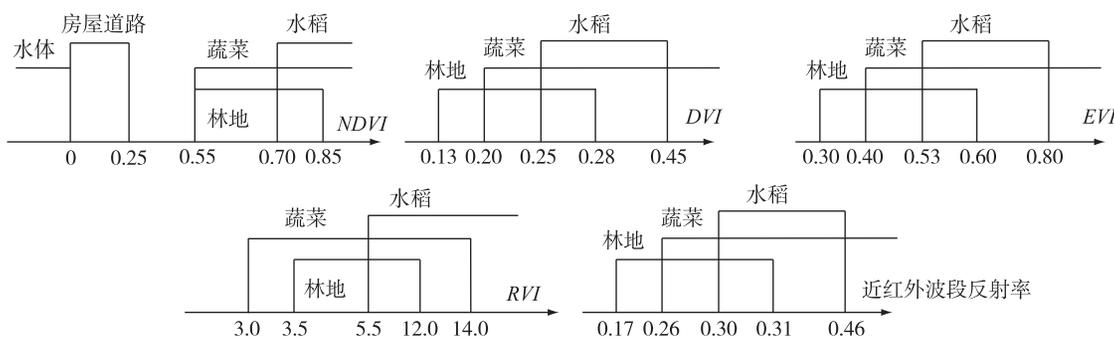


图 3 GF 影像各类地物植被指数及近红外波段反射率阈值分布

Fig.3 The threshold ranges distribution of vegetation indexes and near-infrared reflectance by GF image

在决策树分类过程中,两景影像 $NDVI$ 值在 0.25 到 0.55 的像元无法被分类到任一地物类型,因为这部分是混合像元,多由各类植被与房屋道路或水体混合组成,无法具体划分其类别。而混合像元在分类图中一般分布在道路房屋与水体外围,在田块边界处也有分布,为简化分析过程,将这类像元统一划分为房屋道路,不参与水稻面积的统计。同时也存在少量像元,经 5 种光谱指标划分后仍不能确定属于哪种植被(水稻、林地或蔬菜)类型,可通过目视解译分析其分布规律与地理方位确定其

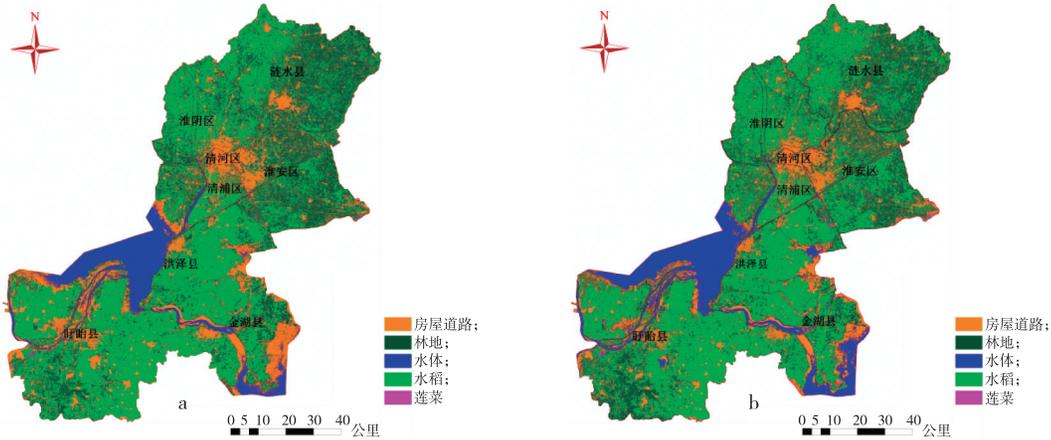
类别。

2.3 影像分类与面积精度验证

图 4 分别为 HJ 影像和 GF 影像的决策树分类结果。由图 4 可知两景影像典型地物分类布局基本相同,水稻在淮安市 4 县 4 区都有种植,利用 ArcGIS 软件对分类影像进行统计,HJ 影像和 GF 影像决策树分类提取的淮安市水稻面积分别为 $260\ 875\ \text{hm}^2$ 和 $272\ 147\ \text{hm}^2$,将淮安市农业部门提供的 2015 年水稻种植面积数据 $292\ 668\ \text{hm}^2$ 做为标准参照数据,可知 HJ 影像和 GF 影像的水稻面积提取精度分别

为 89.14% 和 92.99%。GF 影像提取的水稻面积精度高,是因为影像空间分辨率高,决策树法对不同类型地物进行了有效区分,水稻田块周边的混合像元

比例减少,小的水稻田块得以识别,水稻面积提取能力增强。



a: HJ 影像; b: GF 影像。

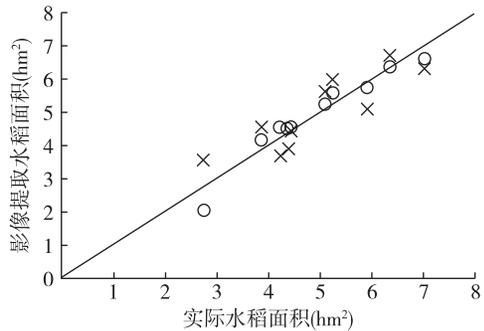
图 4 基于决策树规则的淮安市遥感影像地物分类

Fig.4 The classification of multiple surface objects in Huaian city based on decision tree rules

用 GPS 采集的田间样方边界分别切割决策树分类后的两景影像,并统计影像和实际样方的水稻面积,制作 1:1 散点图(图 5)。由图 5 可知,10 个田间样方的影像提取面积与实测面积的比值都较为集中地分布于 1:1 线两侧,说明两景影像提取面积与田间样方统计面积较为一致。计算得到 HJ 影像和 GF 影像的平均样本精度分别为 87.29% 和 93.70%,均方根误差 (RMSE) 分别为 0.62 hm² 和 0.30 hm²,这表明经过决策树分类后,16 m×16 m 空间分辨率的 GF 影像水稻面积提取精度高于 30 m×30 m 空间分辨率的 HJ 影像,较适用于水稻面积的遥感精确提取。

2.4 区域水稻种植空间特征分析

将两景影像地物分类图中表示水体、林地、蔬菜和房屋道路的像元掩膜去除,只保留水稻像元信息,可得到 HJ 影像和 GF 影像提取的淮安市水稻分布专题图(图 6)。由图 6 可见,两景影像提取的水稻分布信息大体相同,洪泽县、金湖县和盱眙县的水稻以大范围集中种植为主,而涟水县、淮阴区、淮安区及市区的水稻以小田块分散种植为主。对比图 6a 图 6b 可知,GF 影像对水稻面积的提取效果更好,如涟水县东部和淮安区东部的小块水稻区域在 GF 影像上更多地被提取出来;而对聚集的大范围水稻田块,两景影像的面积提取能力基本相同。表明,基于



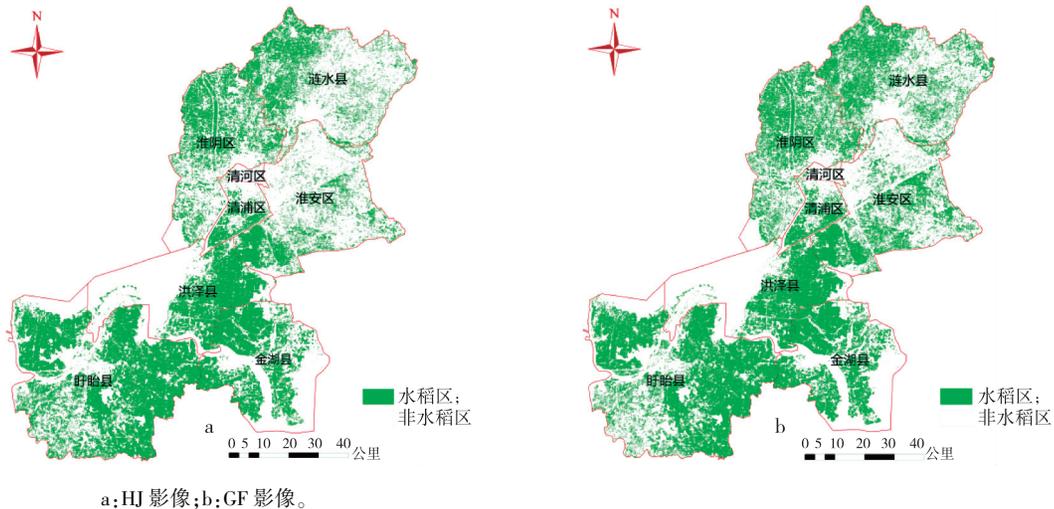
x: 30 m HJ 星影像; o: 16 m GF 星影像

图 5 田间样方的水稻统计面积与决策树分类的影像提取面积比较

Fig.5 Relationship between extracted and actual paddy rice area at the sampling quadrats

NDVI、DVI、EVI、RVI 和近红外波段反射率共 5 种光谱指标对淮安市各地物进行决策树分类提取水稻面积及分布状况是可行的,而且影像空间分辨率越高,越有利于水稻信息的提取。

由图 6 可知 2015 年淮安市除市区外,各个区县都有大面积的水稻种植,其中洪泽县东部、金湖县北部、盱眙县东部及北部有大范围集中种植的水稻田块,而涟水县西部、淮阴区北部、淮安区西南部有大范围分散种植的水稻田块。一些集中连片的水稻种植区可合理规划或建设为水稻生产示范基地,发展



a: HJ 影像; b: GF 影像。

图 6 淮安市水稻分布专题图

Fig.6 The paddy rice area distribution in Huaian city

规模化生产;一些分散或零星的水稻种植区也可适当调整种植规划,开展多元化种植,以增加农业产值。另外,水稻种植面积遥感专题图也可为县级农业部门在水稻种植区划、种植补贴等措施制定方面提供数据参考。

3 讨论

前人利用遥感方法对作物面积提取做了很多研究,大部分是利用 NOAA/AVHRR、TERRA/MODIS、Landsat/ETM+和 SPOT/CCD 等国外卫星影像进行研究^[4-7,14-15],而对利用中高分辨率的 HJ/CCD、GF1/WFV 和 ZY-3/CCD 等国内卫星影像^[8-9,16]的研究较少。作物种植面积遥感提取研究多以单个县级行政区域为主,而针对大区域如某一地级市域的研究鲜有报道。提取作物面积的分类方法有很多,如监督分类法^[17]、非监督分类法^[18]和决策树分类法^[19-20]等。决策树分类法提取作物面积不仅精度高,而且在构建决策树规则时无需实地测定大量样本数据,可方便应用多源数据对各类地物分类,机理性强,但前人构建决策树规则时大多是利用单景影像提取单个植被指数进行,选取植被指数较少,明显缺少对多植被指数与波段光谱指标的综合选择研究。因为地物的某一光谱指标阈值范围可能会有重合,所以尽可能多地选取分类指标构建决策树分类模型,才能将光谱特征相近的不同地物有效区分开。

本研究选用同时相 30 m×30 m 空间分辨率

HJ1A 和 16 m×16 m 空间分辨率 GF1 多光谱影像,选取常用并易于分析的 4 种植被指数 *NDVI*、*DVI*、*EVI*、*RVI* 和光谱特征变化明显的近红外波段反射率,共 5 种光谱指标构建决策树规则,对淮安市各类地物进行分类并提取水稻面积。结果表明,利用 5 种光谱指标构建决策树分类模型是一种有效提取水稻面积的方法,HJ 影像和 GF 影像面积样本精度分别为 87.29%和 93.70%,对比可知 16 m×16 m 空间分辨率 GF1 多光谱影像对水稻面积的提取精度更高,较适用于水稻面积的遥感提取。

运用多种光谱指标构建决策树规则提取水稻种植面积是一种新的尝试,可将各类像元尽可能精确归类,最大程度细化水稻光谱信息,便于达到精确、大面积提取水稻种植面积的目的。本研究虽利用多种光谱指标构建决策树模型进行了水稻种植面积提取,但仍存在大量混合像元未区分的问题。混合像元大多由植被区与非植被区组合而成,其中也包含一定的水稻面积。16 m×16 m 空间分辨率影像的水稻种植面积提取精度比 30 m×30 m 空间分辨率影像高,是由于空间分辨率越高,混合像元所占面积越少,位于田块边缘、小块的水稻田地能更多地被提取,所以混合像元的存在是中低空间分辨率影像提取水稻种植面积精度不高的主要原因。在今后研究中,有必要结合线性光谱混合模型^[4]、多时相影像结合判定^[7,21]或遥感融合^[22]等方法来优化决策树分类模型,调整决策树规则及其范围,来解决混合像

元水稻高效识别的问题。

参考文献:

- [1] 康婷婷,居为民,李秉柏. 水稻叶面积指数遥感反演方法对比分析[J]. 江苏农业科学,2015,43(5): 366-371.
- [2] 李卫国,李 花. 利用 HJ-1A 卫星遥感影像进行水稻产量分级监测预报研究[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(4): 385-390.
- [3] 汤 斌,王福民,周柳萍,等. 基于地级市的区域水稻遥感估产与空间化研究[J]. 江苏农业科学,2015,43(11): 525-528.
- [4] 景元书,李 根,黄文江. 基于相似性分析及线性光谱混合模型的双季稻面积估算[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 177-183.
- [5] 阎 静,王 汶,李湘阁. 利用神经网络方法提取水稻种植面积——以湖北省双季早稻为例[J]. 遥感学报,2001,5(3): 227-230.
- [6] 黄振国,陈仲新,刘芳清,等. 利用 SPOT5 影像提取水稻种植面积的研究——以湖南株洲市区为例[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2013, 39(2): 137-140.
- [7] 韩立建,潘耀忠,贾 斌,等. 基于多时相 IRS-P6 卫星 AWiFS 影像的水稻种植面积提取方法[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 137-143.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] ROUSE J W, HASS R H, DEERING D W, et al. Monitoring the vernal advancement and retro-gradation (green wave effect) of natural vegetation [M]. USA: National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center(NASA / GSFC), 1974.
- [11] JORDAN C F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor [J]. Ecology, 1969, 50: 663-666.
- [12] HUETE A R, JUSTICE C, LEEUWEN W. MODIS vegetation index (MOD13) algorithm theoretical basis document [M]. USA: National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center(NASA / GSFC), 1999.
- [13] BIRTH G S, MCVEY G. Measuring the color of growing turf with a reflectance spectrophotometer [J]. Agronomy Journal, 1968, 60: 640-643.
- [14] 陈刘凤,林开平,胡宝清,等. 基于 Landsat8_OLI 数据的甘蔗种植面积监测[J]. 南方农业学报,2015,46(11): 2068-2072.
- [15] 孟彩彩,谢跟踪,李鹏山,等. 海口市农用地格局时空变化分析[J]. 南方农业学报,2014,45(3): 520-526.
- [16] 李 峰,赵 红,赵玉金,等. 基于 HJ-1 CCD 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.
- [17] 张 群,胡春胜,陈素英,等. 多时相遥感影像监测冬小麦种植面积的变化研究——以河北省三河市与大厂回族自治县为例[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 180-183.
- [18] 李卫国,赵丽花. 中高分辨率遥感影像在小麦监测中的比较[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(4): 736-739.
- [19] 易冰冰,卓 莉,叶 涛,等. 决策回归树提取水稻面积的关键特征波段[J]. 遥感信息, 2015, 30(3): 80-84.
- [20] 李 杨,江 南,吕 恒,等. 基于水稻特征波段的决策树分类研究[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(2): 11-14.
- [21] 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.
- [22] 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.

(责任编辑:陈海霞)