

基于光谱特征和颜色特征的油菜提取研究

王东¹ 方圣辉¹ 王政²

(1. 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉 430079; 2. 纽卡斯尔大学工程学院, 纽卡斯尔 NE1 7RU)

摘要: 大区域油菜空间分布的准确提取是油菜估产、食用油保障及农业管理的基础。花期油菜不仅光谱特征发生变化,其黄色花朵与同时期植被在视觉上的差异也相当显著。本文基于2016年油菜盛花期的湖北省GF-1 WFV影像,利用NGVI表征光谱特征,HSV变换后的H、S、V分量表征颜色特征,按NGVI、H、S、V顺序逐级确定油菜和非油菜分离阈值,实现油菜提取;对提取结果首先用混淆矩阵进行精度评定,并与支持向量机方法进行精度对比,然后用农业统计数据对油菜提取面积进行验证。基于本文方法提取的油菜总体精度为94.51%,Kappa系数为0.89,分别比支持向量机方法提高约4个百分点和0.1;与统计面积相比,省级尺度油菜提取面积相对误差为-14.14%,市级、县级尺度决定系数分别为0.837($n=17$)、0.738($n=83$)。此外,将本文方法应用到GF-2 PMS影像上,其结果与油菜参考图相比,油菜提取面积相对误差为-8.33%,空间一致性为91.67%。本研究方法简单有效,可以为大区域油菜制图提供一种全新、高效的解决方案。

关键词: 油菜;花期;NGVI;HSV变换;GF-1 WFV

中图分类号: S127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)03-0158-08

Extraction for Oilseed Rape Based on Spectral Feature and Color Feature

WANG Dong¹ FANG Shenghui¹ WANG Zheng²

(1. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2. School of Engineering, Newcastle University, Newcastle NE1 7RU, UK)

Abstract: Large scale management of spatial distribution of oilseed rape is essential for grain yield estimations, ensuring edible oil supply and sustainable agricultural management. Flowering period is the special growth stage of oilseed rape. Spectral feature of oilseed rape in this period changes largely. Furthermore, the sense of sight for oilseed rape also has a big difference against with other vegetation types during flowering period. Thus, spectral feature and color feature in the flowering stage can be set as the unique features for identifying oilseed rape as well as the basis of oilseed rape extraction. NGVI, a flowering-contained detecting indicator, was used to represent spectral feature of oilseed rape in the flowering period. H, S and V components were conducted as color feature of oilseed rape after processing colorimetric transformation from RGB color space to HSV color space. And then, the samples of oilseed rape and non-oilseed rape, which were interpreted on wide field view (WFV) images from Gaofen satellite no. 1 (GF-1) combined Google Earth images and field investigation, were analyzed to determine the thresholds of NGVI, H, S, and V successively. Afterwards, oilseed rape in Hubei Province of China in 2016 was extracted based on GF-1 WFV images that obtained in full-flowering stage, which was evaluated by confusion matrix and compared with traditional support vector machine (SVM) method. Meanwhile, the GF-1 WFV-estimated planting acreage of oilseed rape was validated against agricultural census data. As a result, the sample evaluation achieved 94.51% of overall accuracy and 0.89 of Kappa coefficient, which improved four percentage points and 0.1 compared with SVM method, respectively. The result against statistical data had -14.14% of relative error at provincial level as well as 0.837 ($n=17$) and 0.738 ($n=83$) of decision coefficients at municipal level and county level. Moreover, the method was applied on panchromatic and multi-spectral (PMS) image from GF-2 and validated by

收稿日期: 2017-12-04 修回日期: 2017-12-23

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2013AA102401)

作者简介: 王东(1989—),男,博士生,主要从事遥感图像处理和农业遥感研究,E-mail: timdong@whu.edu.cn

通信作者: 方圣辉(1964—),男,教授,博士生导师,主要从事遥感图像处理与定量遥感研究,E-mail: shfang@whu.edu.cn

reference oilseed rape map. The relative error of oilseed rape extraction was -8.33% and spatial consistency was 91.67% . Therefore, this study proposed a simple, effective and robust oilseed rape extraction strategy in large-regional scale based on satellite imagery of full-flowering period.

Key words: oilseed rape; flowering period; NGVI; HSV transformation; GF-1 WFV

0 引言

油菜是主要的经济作物,是食用油的基本来源^[1-2],主要种植于气候温和的国家和地区^[3-4],中国油菜种植面积及总产量常年居世界第一位^[5]。油菜是我国唯一的越冬油料作物^[6],对于优化农作物种植结构、提高土地利用有重要作用。因此,准确、高效地识别和提取油菜具有重要的研究价值和实践意义。

相较于传统调查方法,遥感具有覆盖范围大、时效性强、信息丰富的特点,对于农作物面积估算、时空分布研究具有独特优势^[7-8]。已有油菜提取相关研究大多基于油菜花期独特光谱特征来实现^[6],主要包括:利用高光谱遥感通过光谱匹配、拟合等技术实现油菜提取,如 PAN 等^[1]利用多尺度光谱特征拟合方法对 Hyperion 影像油菜样本端元与实测光谱进行拟合,从而提取油菜种植区域;余宝等^[6]基于油菜从花期到荚果期红边位置蓝移特征,利用 Hyperion 影像分析红边阈值从而构建决策树实现油菜提取;WILSON 等^[9]选择 7 个 BBCH 生长期进行田间光谱测量,利用逐步分离分析方法评估油菜和同时期其它作物的分离性,得到不同时期分离油菜和其它作物的最佳波段。利用花期油菜与其他作物植被指数差异明显的特征实现油菜提取方面,钟仕全等^[10]基于 CBERS-02B 影像典型地物在各波段的统计直方图特征,构建差值植被指数并设定阈值提取出云南省罗平县的油菜种植区域;王凯等^[11]根据花期油菜归一化植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI)减小的特征,利用 8 个时期的 MODIS-NDVI 数据构建决策树实现湖北省油菜提取。利用传统分类方法实现油菜提取方面, BRECKLING 等^[12]基于 Landsat 和 IRS 数据采用马氏距离分类方法结合区域增长修正算法提取出德国北部的转基因油菜种植区域;WANG 等^[13]利用 SVM 等监督分类器对 Landsat-5 TM 数据的油菜和其它地物进行分类,证明了无参分类器优于参数分类器;王立辉等^[14]以湖北省潜江市 CBERS-02B 卫星影像为数据源,验证了线性光谱分解技术提取油菜种植面积的有效性。

分析上述研究,主要存在以下缺陷:高光谱数据波段特殊,光谱拟合方法难以推广到多光谱数据。

目前植被指数阈值法主要使用中低分辨率遥感影像,缺少高分辨率遥感影像的应用。传统分类方法存在样本依赖性。近年来,我国高分系列卫星发展迅速,具有幅宽大、空间分辨率高、时间分辨率高的特点,对于大区域农作物制图有重要意义^[15-17]。基于以上分析,本文拟依据盛花期油菜的光谱特征和颜色特征,利用检测油菜花的植被指数(NGVI)^[4]和 HSV 颜色空间构建一种油菜提取方法,以 GF-1 WFV 影像为数据源,实现湖北省油菜种植区域提取,并将该方法应用到 GF-2 PMS 影像,以验证方法的鲁棒性。

1 研究区和数据

1.1 研究区

湖北省地处我国中部,长江流域中段,位于 $29^{\circ}05' \sim 33^{\circ}20'N$, $108^{\circ}21' \sim 116^{\circ}07'E$,中部平原、四面环山,省内江河湖泊众多,属于亚热带季风性湿润气候区,光照充足,热量丰富,雨水充沛,且雨热同季。据中国统计年鉴,湖北省油菜种植面积和产量常年位居全国第一,约占全国 1/6。省内最大油菜生产区为沿长江、汉江的江汉平原,主要包括荆州、天门、潜江、仙桃及武汉、孝感、宜昌、荆门部分区域;其次为东部平原区,主要包括黄冈、黄石、鄂州、咸宁和武汉、孝感部分区域;此外为鄂中北区域,主要包括荆门、襄阳、宜昌、孝感部分区域;事实上,除鄂西高山地区,全省均适宜油菜生长。

1.2 数据收集及预处理

1.2.1 卫星数据

卫星数据包括:从遥感集市下载的覆盖湖北省范围的 2016 年 3 月中下旬的 GF-1 WFV 影像,西部和东南部山区影像云覆盖量较大;从湖北高分数据中心获取的一景覆盖当阳市部分区域的 2016 年 3 月 18 日的 GF-2 PMS 影像。GF-1 WFV 影像预处理包括:利用 ENVI 5.3 实现辐射定标和大气校正;利用有理函数模型结合影像的 rpc 文件、ASTER DEM 数据实现正射校正;将预处理完成的 GF-1 WFV 影像拼接并用湖北省矢量文件进行裁剪。GF-2 PMS 多光谱影像预处理过程和 GF-1 WFV 一致,全色影像进行正射校正,在此基础上,利用 ENVI 5.3 的 Gram-Schmidt(G-S)融合工具进行融合处理,得到 1 m 分辨率融合影像,并对融合影像进行目视

解译,得到油菜参考图。

1.2.2 辅助数据

辅助数据包括:中国统计年鉴、湖北统计年鉴和湖北农村统计年鉴,从国家统计局和湖北统计局网站下载,用于结果验证;但 2016 年农业厅仅公布了省级、市级统计数据,根据 20 多年统计年鉴数据分析,每年变化量约为 0.2%,具有较高的稳定性,因此可以用 2015 年的统计数据代替未公布区域的数据。ASTER GDEM V2 数据,是 2015 年发布的分辨率为 30 m,且精度更高的全球数字高程模型数据,从地理空间数据云网站下载,用于正射校正。

1.2.3 样本收集

样本收集包括实地调查和影像解译,其中实地调查主要于 2015、2016 年在武穴市油菜基地和武穴市区北侧进行,共 2 734 个样本点。影像解译的基础是盛花期时油菜花的颜色特征,根据田间实验及调查,油菜和非油菜在田间、彩色照片、卫星影像上均有显著区别,利用盛花期影像可以正确解译油菜和非油菜样本;对照农业气象站记录,本研究中的遥感数据均处于盛花期。因此,本文利用 ENVI 5.3 的 ROI 工具,结合 Google Earth,在 GF-1 WFV 影像上选取更多样本,共获得 1 356 个油菜训练 ROI (46 405 像元)和 698 个验证 ROI (25 237 像元),525 个非油菜训练 ROI (76 624 像元)和 139 个验证 ROI (46 949 像元)。

2 研究方法

2.1 技术路线

本文基于油菜与非油菜在花期的光谱、颜色差异提出油菜提取方法,如图 1 所示,主要流程包括:利用 GF-1 WFV 影像、Google Earth 影像和田间调查数据解译样本,GF-1 WFV 影像和 GF-2 PMS 影像预处理,目视解译油菜参考图,进行 HSV 变换、NGVI 计算并构建油菜提取决策方法,利用 GF-1 WFV 影像提取湖北省油菜并验证其精度,利用 GF-2 PMS 影像提取油菜并对比分析其结果。

2.2 植被指数模型

在本研究中,非植被像元均为噪声,因此,剔除非植被像元是首要任务。NDVI 是植被生长过程中常用的一个参数,是一种通用的区分植被和非植被的指标^[18-19],其公式定义为

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

式中 NDVI——归一化植被指数

ρ_{nir} ——近红外波段反射率

ρ_{red} ——红波段反射率

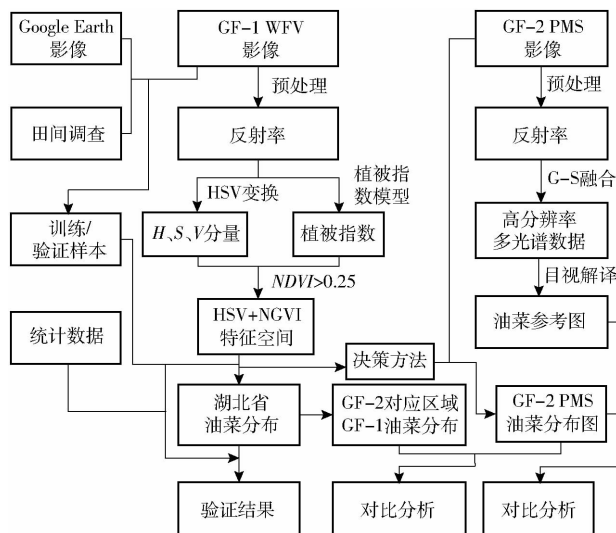


图 1 基于 HSV 变换的油菜提取流程图

Fig. 1 Flow chart of oilseed rape extraction based on HSV transformation

在油菜花期,由于油菜花的反射,油菜的反射率发生重大改变^[1,4,20-21],因此,利用光谱变化识别油菜有重要意义。FANG 等^[4]利用花期无人机影像反演油菜植被覆盖率时发现,有花和无花植被覆盖率模型差异很大,并发现 550 nm 和 900 nm 反射率定义的新植被指数 NGVI 能够很好地区分有花和无花样本;此外,花期油菜在 520 ~ 600 nm 和 760 ~ 900 nm 的反射率在一定程度上都高于其它植被^[4,11,22]。GF 卫星影像的绿波段和近红外波段与上述波段相近,因此可以将 FANG 等^[4]研究中的 NGVI 推广到 GF 卫星影像,辅助决定像元是否含花,其公式定义为

$$NGVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{green}}{\rho_{nir} + \rho_{green}} \quad (2)$$

式中 ρ_{green} ——绿波段反射率

2.3 HSV 变换

利用颜色特征可以有效识别地物类别^[23-25],油菜在花期的另一个明显特征即是呈现亮黄色花朵,因此,利用颜色特征辅助油菜识别是一个新的突破。在目标识别和提取研究中,HSV 变换是一个有效并被广泛应用的处理方法^[24,26-27]。在 HSV 颜色空间中, H 分量($0^\circ \sim 360^\circ$)代表颜色, S 分量($0 \sim 1$)代表颜色纯度, V 分量($0 \sim 1$)代表颜色亮度。遥感影像一般表示为 RGB 颜色空间,利用标准颜色空间转换实现 RGB 空间到 HSV 空间的转换,这种转换方法不包含过多复杂函数,是一种对于卫星影像处理非常高效的像元级转换方法^[24,26,28],转换公式为

$$V = \max(R, G, B) \quad (3)$$

$$S = \frac{V - \min(R, G, B)}{V} \quad (4)$$

$$H = \begin{cases} 0 & (V = \min(R, G, B)) \\ \text{mod} \left(\frac{60(G - B)}{V - \min(R, G, B)} + 360, 360 \right) & (V = R) \\ \frac{60(B - R)}{V - \min(R, G, B)} + 120 & (V = G) \\ \frac{60(R - G)}{V - \min(R, G, B)} + 240 & (V = B) \end{cases} \quad (5)$$

式中 R ——红波段反射率
 G ——绿波段反射率

B ——蓝波段反射率

2.4 油菜提取方法

经过大量植被像元和非植被像元分析,利用 NDVI 不小于 0.25 可去除非植被像元。对掩膜后的影像进行 NGVI 计算、HSV 变换,得到油菜和非油菜样本基于 GF-1 WFV 影像的 NGVI 和 H 、 S 、 V 值,为了方便后续分析,对 H 分量进行归一化处理,图 2 为油菜和非油菜样本的上述特征值的直方图分布。

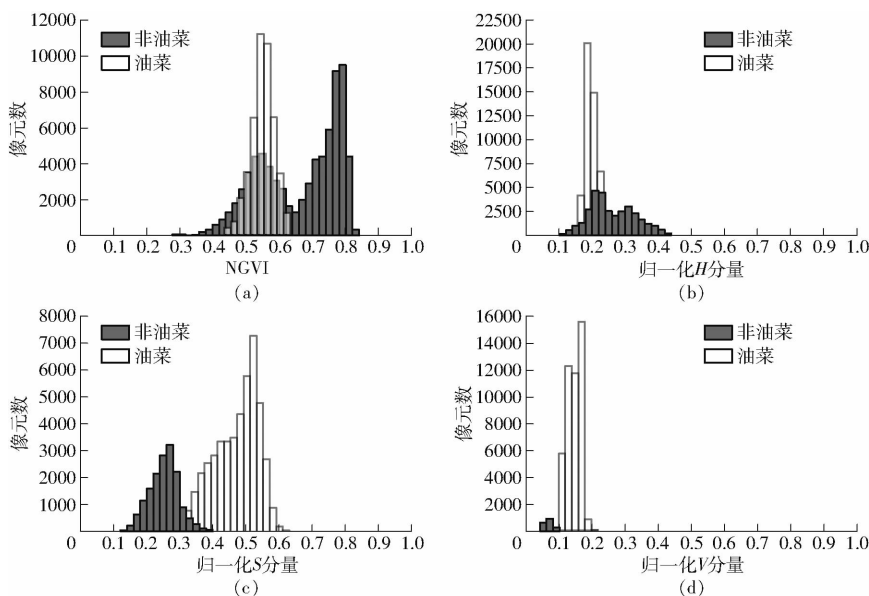


图 2 油菜和非油菜样本分析

Fig. 2 Samples analysis of oilseed rape and non-oilseed rape

油菜提取方法主要包含如下 4 步:

(1) 利用 NGVI 判定样本是否含花。图 2a 为全部样本的 NGVI 分布,非油菜样本 NGVI 取值范围完全包含油菜样本,这是由于非油菜包含地物类型较多,既有长势旺盛的植被类型(如小麦等),也有处于生长期早期的植被类型(如玉米、棉花等)。因此,仅仅依靠 NGVI 难以完全区分油菜和非油菜,但可利用 NGVI 取值范围 $[0.35, 0.65]$ 排除大量非油菜样本,辅助油菜精确提取。

(2) 利用 H 分量区分黄色和其他颜色。对所有样本按步骤(1)中油菜 NGVI 阈值范围进行掩膜,图 2b 为掩膜后的油菜样本和非油菜样本归一化处理值分布,可见,经 NGVI 掩膜后的 H 分量能较好地区分油菜和非油菜。油菜 H 分量为 $[0.167, 0.264]$,处于黄色值域范围 $(0.167, 0.25)$,这是由于盛花期油菜冠层为亮黄色;非油菜则为 $[0.1, 0.5]$,范围较大,这是由于非油菜的冠层既有均一植被的绿色,也有土壤和植被混合的颜色。

(3) 利用 S 分量辅助区分黄色和其他颜色。经 H 分量判定后,油菜和非油菜仍存在部分混淆; S 分

量代表纯度,油菜类型单一,非油菜类型则存在混合,因此可以用 S 分量辅助区分油菜和非油菜。图 2c 为步骤(2)样本经 H 分量阈值范围掩膜后的 S 分量分布,油菜和非油菜分离性很高, S 分量阈值为 0.3。

(4) 利用 V 分量精确区分油菜和非油菜。经 S 分量判定后,油菜和非油菜已基本区分开,但仍存在少量混淆;所有样本均为植被类型,则 V 分量代表绿波段反射率,而花期油菜的绿波段反射率一般大于同时期的其它植被^[22],因此 V 分量可以辅助区分油菜和非油菜。图 2d 为步骤(3)样本经 S 分量阈值范围掩膜后的 V 分量分布,油菜与非油菜已完全分开,阈值为 0.09。

综上,本文提取油菜的参数范围为

$$\begin{cases} 0.35 \leq NGVI \leq 0.65 \\ 0.167 \leq H \leq 0.264 \\ S \geq 0.3 \\ V \geq 0.09 \end{cases} \quad (6)$$

2.5 验证

湖北省油菜提取结果验证包括精度评价以及与

统计数据进行比较。其中精度评价利用 1.2.3 节中的验证样本进行混淆矩阵分析,计算总体精度、Kappa 系数、油菜提取用户精度和生产者精度;此外,利用应用最广且精度相对较高的支持向量机(Support vector machine, SVM)对湖北省 GF-1 WFV 影像进行分类,对比分析本文方法与 SVM 方法的油菜提取精度。与统计数据比较分为省级、市级、县级 3 个尺度的面积对比,其中省级尺度用相对误差表示验证精度,相对误差公式定义为

$$R_E = \frac{S_e - S_r}{S_r} \times 100\% \quad (7)$$

式中 R_E ——相对误差 S_e ——提取面积
 S_r ——参考面积

市级、县级尺度用决定系数(R^2)表示验证精度。GF-2 PMS 影像油菜提取结果验证依据油菜参考图进行,包括油菜提取面积相对误差和空间一致度。空间一致度为:油菜提取结果与参考图之间油菜分布一致的像元数占参考图中油菜像元数的百分比。

3 结果与分析

3.1 湖北省 2016 年油菜提取结果及分析

3.1.1 油菜提取结果及精度验证

图 3 为利用本文方法,基于 GF-1 WFV 影像提取的湖北省 2016 年油菜分布图。油菜主要分布在江汉平原、湖北省东部和中北部区域,与农业厅统计的三大油菜产区位置相符。其中江汉平原种植面积为 $4.78 \times 10^5 \text{ hm}^2$,湖北省东部区域种植面积为 $2.28 \times 10^5 \text{ hm}^2$,湖北省中北部区域种植面积为 $2.06 \times 10^5 \text{ hm}^2$,三大产区油菜种植面积占全省种植总面积的 78.23%,与 80% 农业厅统计数据吻合。

表 1 为混淆矩阵分析结果,与 SVM 方法相比,本文方法总体精度提高约 4 个百分点,Kappa 系数提高约 0.1,油菜用户精度提高约 1 个百分点,生产者精度提高约 11 个百分点;此外,本文方法为非监

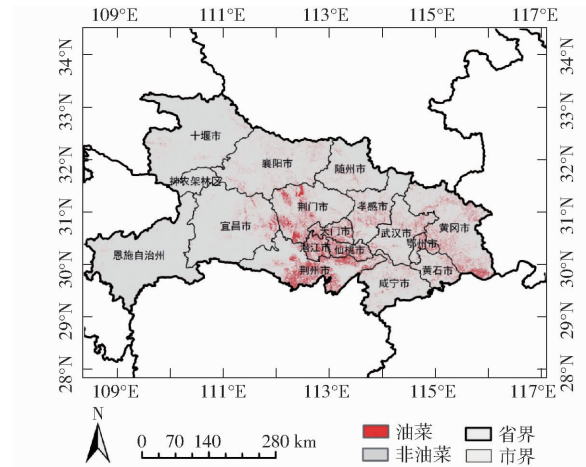
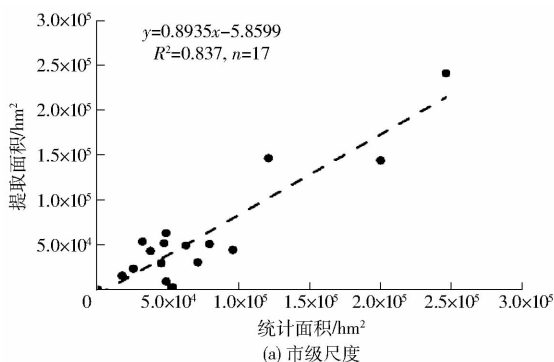


图 3 基于 GF-1 WFV 影像提取的湖北省 2016 年油菜分布图

Fig. 3 Oilseed rape distribution map of Hubei Province in 2016 based on GF-1 WFV images

表 1 油菜提取结果精度分析

Tab. 1 Accuracy analysis of oilseed rape extraction

方法	总体精度/%	Kappa 系数	用户精度/%	生产者精度/%
本文方法	94.51	0.89	91.40	93.04
SVM	90.65	0.79	90.06	82.33

督方法,在应用过程中不受样本影响,且计算效率高,因此,基于本文方法进行油菜提取有一定的科学意义。

利用本文方法提取的湖北省 2016 年油菜种植面积为 $1.01 \times 10^6 \text{ hm}^2$,统计数据为 $1.17 \times 10^6 \text{ hm}^2$,相对误差为 -14.14%。图 4 为市级和县级尺度的油菜提取面积与统计数据的拟合结果,其中市级尺度 R^2 为 0.837 ($n = 17$),县级尺度 R^2 为 0.738 ($n = 83$),相关性在 0.01 检验水平下均显著。进一步分析可知,恩施自治州、十堰市、咸宁市 3 个市的油菜提取面积与统计数据相差较大,其原因为覆盖这 3 个市的影像云量较多,从而影响油菜提取结果。恩施、十堰、咸宁 3 个市地形以山地为主,油菜种植面积相对较少;其它地区结果与统计数据相比,相关

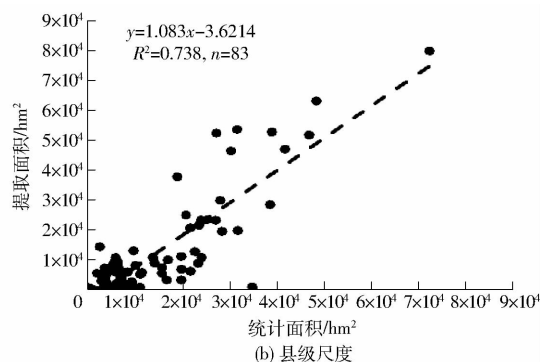


图 4 油菜提取面积与统计面积比较

Fig. 4 Comparison between estimated oilseed rape acreage and statistical acreage

性较高;而统计数据获取工作量大且没有详细的空间分布信息,因此,利用本文方法提取油菜种植区域有一定的实际价值。

3.1.2 不同油菜种植区提取效果

湖北省地形相对复杂,油菜种植区多样,主要包括:主种油菜兼种其它作物种植区、主种小麦兼种油菜种植区、山区油菜种植区3类。其中第1类主要分布于长江、汉江流域的油菜主产区,第2类主要分布于襄阳、随州等地,第3类主要分布于山区、山区与平原交汇区。随机选取3类种植区部分影像,分析利用本文方法提取油菜的效果如图5所示。图5a、5d、5g、5j代表第1类种植区,图5a位于荆门市钟祥市内、图5g位于天门市内,图像尺寸均为150像元×150像元,图5d、5j为对应的油菜(红色区域)提取结果。图5b、5e、5h、5k代表第2类种植区,图5b位于襄阳市枣阳市内,图5h位于襄阳市老河口市内,图像尺寸均为150像元×150像元,图5e、5k为对应的油菜提取结果。图5c、5f、5i、5l代表第3类种植区,图5c位于襄阳市保康县内,图5i位于宜昌市当阳市内,图像尺寸均为500像元×500像元,图5f、5l为对应的油菜提取结果。可见,利用本文方法对不同种植区的油菜均有较好的提取效果,与实际情况相符。因此,利用本文方法可以有

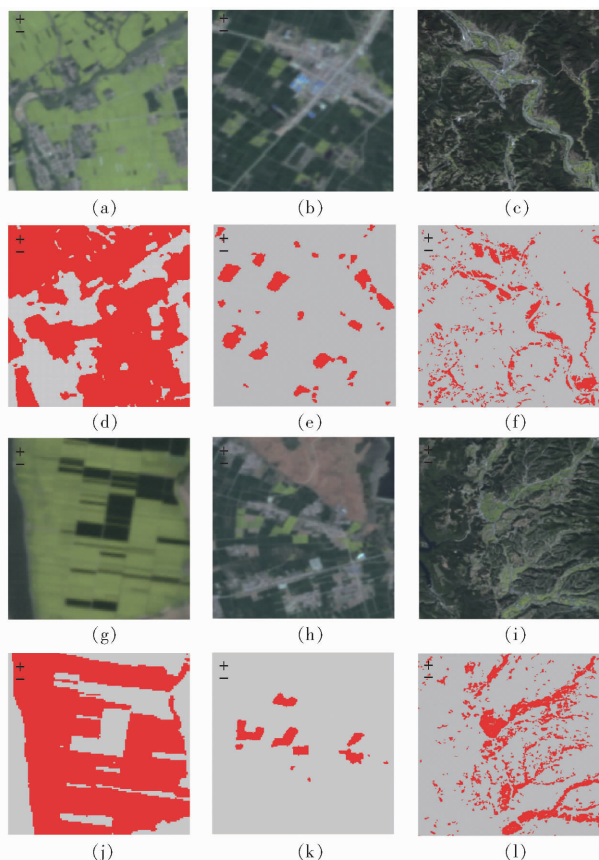


图5 不同油菜种植区油菜提取结果

Fig. 5 Extraction results of oilseed rape in different regions

效地提取油菜种植区域,对于大范围油菜种植区调查及制图具有重要意义。

3.2 GF-2 PMS 影像油菜提取结果及分析

将本文方法应用到 GF-2 PMS (获取时间为2016年3月18日)的G-S融合影像上,提取GF-2油菜分布,其结果如图6所示。其中,图6a为油菜参考图,油菜面积为 $8.40 \times 10^3 \text{ hm}^2$,图6b为本文方法提取的油菜结果,油菜面积为 $7.70 \times 10^3 \text{ hm}^2$,即相对误差为-8.33%。经空间分析,图6a完全包含图6b,油菜提取的空间一致度为91.67%。图6c为图6a与图6b空间不一致区域,主要分布于油菜田块边界区域,该区域主要为油菜、杂草、土壤的混合,因此光谱及颜色均存在混淆,利用本文方法不能精确区分该部分区域。但基于GF-2 PMS影像提取油菜的总体精度、空间一致度均较高,因此本文方法具有较好的鲁棒性,能应用到有相似波段设计的其它影像上。

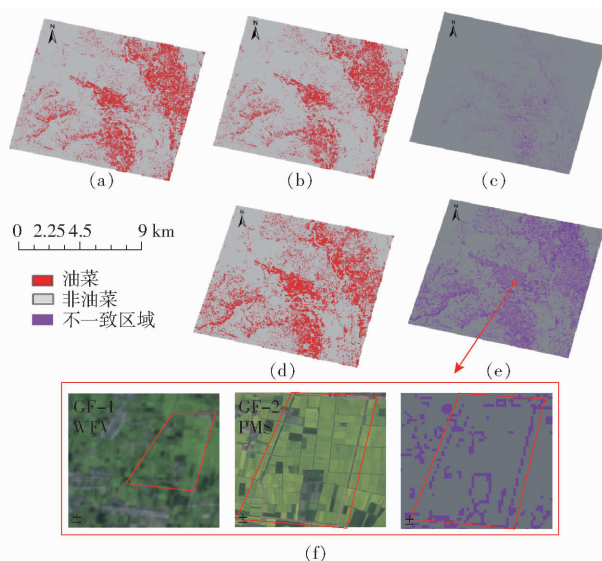


图6 GF-2 PMS 影像油菜提取结果及其与对应区域 GF-1 WFV 影像油菜提取结果对比分析

Fig. 6 Oilseed rape extraction results of GF-2 PMS image and comparative analysis with GF-1 WFV-derived oilseed rape results of corresponding region of GF-2 PMS image

将油菜参考图利用双线性采样方式重采样为16m分辨率作为参考影像,与同区域GF-1 WFV影像(获取时间为2016年3月21日)油菜提取结果对比,图6d为GF-1 WFV影像油菜提取结果,图6e为图6d与参考影像不一致区域(GF-1 WFV与GF-2 PMS经配准裁剪后,图6e、6d空间范围略小于原GF-2 PMS影像)。GF-1 WFV影像油菜提取面积为 $9.64 \times 10^3 \text{ hm}^2$,参考影像为 $8.31 \times 10^3 \text{ hm}^2$,相对误差为13.76%。经过空间分析,油菜提取的空间一致度为

78.94% ;空间不一致区域主要分布于油菜田块边界、小田块区域,其原因为GF-1 WFV 影像分辨率远低于GF-2 PMS影像。如图6f所示,红框区域内GF-2 PMS影像部分小田块非油菜在GF-1 WFV影像中表现为油菜,且GF-2 PMS影像非常清晰的田埂区域在GF-1 WFV中也表现为油菜,因此与GF-2 PMS相比,GF-1 WFV存在过提取现象,这是影像分辨率引起的固有问题。

4 结论

(1) 研究结果理想,油菜提取总体精度为

94.51%,比支持向量机方法提高4个百分点,为油菜提取研究提供了一种简单、精确的策略。

(2) 本文方法估算的湖北省油菜种植面积与统计数据相关性较高,在不同油菜种植区均能有效、准确地提取油菜,因此,本文方法不仅能快速估算油菜种植面积,还能提供准确的空间信息,为大区域油菜制图提供了可能性。

(3) 将本文方法应用到GF-2 PMS影像取得了非常好的效果,因此,本文方法具有一定的通用性,是一种非监督方法且计算效率高,从而解决了传统分类方法的样本随机性问题,具有重要的应用价值。

参 考 文 献

- PAN Z, HUANG J, WANG F. Multi range spectral feature fitting for hyperspectral imagery in extracting oilseed rape planting area [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2013, 25: 21 - 29.
- ZHANG X, HE Y. Rapid estimation of seed yield using hyperspectral images of oilseed rape leaves [J]. Industrial Crops and Products, 2013, 42: 416 - 420.
- NOWOSAD K, LIERSCH A, POPLAWSKA W, et al. Genotype by environment interaction for seed yield in rapeseed (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model [J]. Euphytica, 2016, 208(1): 187 - 194.
- FANG S, TANG W, PENG Y, et al. Remote estimation of vegetation fraction and flower fraction in oilseed rape with unmanned aerial vehicle data [J]. Remote Sensing, 2016, 8(5): 416.
- 白敬, 徐友, 魏新华, 等. 基于光谱特性分析的冬油菜苗期田间杂草识别 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 128 - 134. BAI Jing, XU You, WEI Xinhua, et al. Weed identification from winter rape at seedling stage based on spectrum characteristics analysis [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(20): 128 - 134. (in Chinese)
- 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. SHE Bao, HUANG Jingfeng, SHI Jingjing, et al. Extracting oilseed rape growing regions based on variation characteristics of red edge position [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(15): 145 - 152. (in Chinese)
- GERSTMANN H, MILLER M, GLER C. Optimization of spectral indices and long-term separability analysis for classification of cereal crops using multi-spectral RapidEye imagery [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2016, 52: 115 - 125.
- ZHANG X, XIONG Q, DI L, et al. Phenological metrics-based crop classification using HJ-1 CCD images and Landsat 8 imagery [J]. International Journal of Digital Earth, 2017(3): 1 - 22.
- WILSON J, ZHANG C, KOVACS J. Separating crop species in Northeastern Ontario using hyperspectral data [J]. Remote Sensing, 2014, 6(2): 925.
- 钟仕全, 陈燕丽, 莫建飞, 等. 基于中巴02B星遥感数据的油菜识别技术研究 [J]. 国土资源遥感, 2010, 22(2): 77 - 79. ZHONG Shiquan, CHEN Yanli, MO Jianfei, et al. Colefeature extraction from CBERS-02B remote sensing images [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2010, 22(2): 77 - 79. (in Chinese)
- 王凯, 张佳华. 基于MODIS数据的湖北省油菜种植分布信息提取 [J]. 国土资源遥感, 2015, 27(3): 65 - 70. WANG Kai, ZHANG Jiahua. Extraction of rape seed cropping distribution information in Hubei Province based on MODIS images [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2015, 27(3): 65 - 70. (in Chinese)
- BRECKLING B, LAUE H, PEHLKE H. Remote sensing as a data source to analyse regional implications of genetically modified plants in agriculture—oilseed rape (*Brassica napus*) in Northern Germany [J]. Ecological Indicators, 2011, 11(4): 942 - 950.
- WANG Y, HUANG J, WANG X, et al. Oilseed rape planting area extraction by support vector machine using landsat TM data [M]. Springer US, 2008.
- 王立辉, 黄进良, 孙俊英. 基于线性光谱混合模型的油菜种植面积遥感监测方法研究 [J]. 遥感信息, 2010(3): 61 - 66. WANG Lihui, HUANG Jinliang, SUN Junying. Study on remote sensing monitoring of rape acreage based on linear spectral mixture model [J]. Remote Sensing Information, 2010(3): 61 - 66. (in Chinese)
- 黄健熙, 贾世灵, 武洪峰, 等. 基于GF-1 WFV影像的作物面积提取方法研究 [J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(增刊): 253 - 259. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2015S041&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.S0.041.
- HUANG Jianxi, JIA Shiling, WU Hongfeng, et al. Extraction method of crop planted area based on GF-1 WFV image [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(Supp.): 253 - 259. (in Chinese)
- 徐磊, 巫兆聪, 罗飞, 等. 基于GF-1/WFV与MODIS时空融合的森林覆盖定量提取 [J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(7): 145 - 152. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170718&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.07.018.
- XU Lei, WU Zhaocong, LUO Fei, et al. Quantitative extraction of forest cover based on fusing of GF-1/WFV and MODIS data [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(7): 145 - 152. (in Chinese)

- 17 SONG Q, ZHOU Q B, WU W B, et al. Mapping regional cropping patterns by using GF-1 WFV sensor data[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(2): 337-347.
- 18 BECK P, ATZBERGER C, HOGDA K, et al. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: a new method using MODIS NDVI[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 100(3): 321-334.
- 19 KERN A, MARJANOVIĆ H, BARCZA Z. Evaluation of the quality of NDVI 3g dataset against Collection 6 MODIS NDVI in central Europe between 2000 and 2013[J]. Remote Sensing, 2016, 8(11): 955.
- 20 PENUELAS J, FILELLA I, SERRANO L, et al. Cell wall elasticity and Water Index (R970 nm/R900 nm) in wheat under different nitrogen availabilities[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(2): 373-382.
- 21 BEHRENS T, MILLER J, DIEPENBROCK W. Utilization of canopy reflectance to predict properties of oilseed rape (*Brassica napus* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) during ontogenesis[J]. European Journal of Agronomy, 2006, 25(4): 345-355.
- 22 SULIK J J, LONG D S. Spectral indices for yellow canola flowers[J]. International Journal of Remote Sensing, 2015, 36(10): 2751-2765.
- 23 BURGOS-ARTIZU X P, RIBEIRO A, GUIJARRO M, et al. Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 75(2): 337-346.
- 24 PEKEL J F, CECCATO P, VANCUTSEM C, et al. Development and application of multi-temporal colorimetric transformation to monitor vegetation in the desert locust habitat[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2011, 4(2): 318-326.
- 25 HAMUDA E, MC GINLEY B, GLAVIN M, et al. Automatic crop detection under field conditions using the HSV colour space and morphological operations[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2017, 133: 97-107.
- 26 PEKEL J F, VANCUTSEM C, BASTIN L, et al. A near real-time water surface detection method based on HSV transformation of MODIS multi-spectral time series data[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 140: 704-716.
- 27 LESSEL J, CECCATO P. Creating a basic customizable framework for crop detection using landsat imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2016, 37(24): 6097-6107.
- 28 SMITH A R. Color gamut transform pairs[J]. ACM Siggraph Computer Graphics, 1978, 12(3): 12-19.

(上接第149页)

- 15 刘超. 轴流泵系统技术创新与发展分析[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(6): 49-59. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150608&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.06.008.
LIU Chao. Researches and developments of axial-flow pump system[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(6): 49-59. (in Chinese)
- 16 杨帆, 刘超, 汤方平, 等. 基于全流道模拟的泵装置出水通道水力特性分析[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(3): 83-89. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140315&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.03.015.
YANG Fan, LIU Chao, TANG Fangping, et al. Analysis of hydraulic performance of outlet passage based on simulation of steady flow in whole passage of axial-flow pumping system[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(3): 83-89. (in Chinese)
- 17 LU Weigang, DONG Lei, WANG Zhaofei, et al. Cross influence of discharge and circulation on head loss of conduit of pump system with low head[J]. Applied Mathematics and Mechanics: English Edition, 2012, 33(12): 1533-1544.
- 18 杨帆, 刘超, 孙丹丹, 等. 轴流泵装置虹吸式出水通道内流机理数值分析[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(6): 60-65, 91. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150609&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.06.009.
YANG Fan, LIU Chao, SUN Dandan, et al. Numerical investigation of internal flow mechanisms of siphon outlet passage in pumping system[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(6): 60-65, 91. (in Chinese)
- 19 周大庆, 刘敏, 陈会向. 虹吸式出水通道轴流泵装置全流道空化特性[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2017, 45(1): 128-132.
ZHOU Daqiang, LIU Min, CHEN Huixiang. Siphon outlet conduit on full passage cavitation characteristics of axial-flow pumping unit[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2017, 45(1): 128-132. (in Chinese)
- 20 梁金栋, 陆林广, 徐磊, 等. 轴流泵装置导叶出口水流速度环量对出水通道水力损失的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 55-60.
LIANG Jindong, LU Linguang, XU Lei, et al. Influence of flow velocity circulation at guide vane outlet of axial-flow pump on hydraulic loss in outlet conduit[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 55-60. (in Chinese)
- 21 中华人民共和国水利部. 水泵模型及装置模型验收试验规程: SL140—2006[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.