

RapidEye 卫星红边波段对农作物面积提取精度的影响

刘 佳,王利民,滕 飞,杨玲波,高建孟,姚保民,杨福刚

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,北京 100081)

摘 要 在传统的可见光与红外波段基础上增加红边波段(690~730 nm)是当前高分辨卫星传感器研制的明显趋势。德国 RapidEye 卫星携带有红边波段传感器,该文基于黑龙江省北安市东胜乡 2014 年 7 月 27 日的 RapidEye 遥感数据,采用监督分类的方法,通过计算有红边参与条件下、无红边参与条件下,玉米、大豆及其他 3 种地物类型的可分性测度、分类精度及景观破碎度等指标,比较分析了 2 种波段组合方式下的红边波段对农作物面积提取精度的影响。其中,监督分类的训练样本是以覆盖研究区的 2 km×2 km 格网为基本单元,在玉米和大豆面积比例等概率原则下,选取了 10 个网格作为训练样本,样方内作物的识别采用目视解译的方式完成。精度验证是采用覆盖研究区的农作物面积本底调查结果评价的,本底调查数据是在 5 m 空间分辨率 Rapideye 数据初步分类基础上,根据多时相 Landsat-8/OLI(Operational Land Imager)数据季节变化规律,结合地面调查,采用目视修正的方法完成。结果表明,有红边参与的玉米、大豆和其他 3 种地物类型识别的总体精度为 88.4%,Kappa 系数为 0.81,玉米、大豆和其他 3 种地物类型的制图精度分别为 93.1%、86.0%和 87.3%;没有红边参与的 3 种地物识别的总体精度为 81.7%,Kappa 系数为 0.71,玉米、大豆和其他 3 种地区类型的制图精度分别为 83.9%、73.4%和 84.6%。通过引入红边波段,3 种地物的总体识别精度提高了 6.7 个百分点,玉米、大豆和其他 3 种地物类型的识别精度分别提高了 9.2 个百分点、12.6 个百分点和 2.7 个百分点。利用 Jeffries-Matusita 方法计算了 3 种地物的可分性测度,玉米-大豆、玉米-其他、大豆-其他的可分性测度分别由 0.84 变为 1.73、1.37 变为 1.81、1.27 变为 1.29;采用破碎度指数计算了景观破碎度,地块数量减少了 69.2%,平均地块面积增加了 2.2 倍,平均地块周长增加了 60.50%,地块面积与周长比增加了 1.0 倍。由上述研究结果可以看出,通过红边波段的引入,增加了地物间的可分性测度,减少了“椒盐”效应造成的景观破碎度的增加,农作物面积识别整体精度得到了提高。目前搭载红边波段的卫星载荷越来越多,即将发射的国产卫星也拟增加红边波段提高作物识别能力,该文研究结果将为国产红边卫星数据在农业上的应用提供参考。

关键词 农作物;遥感;卫星;红边;面积提取

doi :10.11975/j.issn.1002-6819.2016.13.020

中图分类号 S127;TP79

文献标志码 A

文章编号 :1002-6819(2016)-13-0140-09

刘 佳,王利民,滕 飞,杨玲波,高建孟,姚保民,杨福刚. 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. doi :10.11975/j.issn.1002-6819.2016.13.020 http://www.tcsae.org

Liu Jia, Wang Limin, Teng Fei, Yang Lingbo, Gao Jianmeng, Yao Baomin, Yang Fugang. Impact of red-edge waveband of RapidEye satellite on estimation accuracy of crop planting area [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(13): 140-148. (in Chinese with English abstract) doi :10.11975/j.issn.1002-6819.2016.13.020 http://www.tcsae.org

0 引 言

遥感技术具有时效性、客观性和可视性特点,且逐步与统计调查相融合,在农作物种植面积监测中发挥着越来越重要的作用,逐步成为农作物面积信息获取的重要途径^[1-2]。采用多时相数据^[3-5]和增加敏感波段^[6-8]的方法,是提高农作物面积识别精度的 2 个主要方面。其中敏感波段的增加,可以在客观上增加单一时相影像所包含的有效信息量,有助于增强地类的可分性。传统可见光波段的可见光谱卫星载荷一般以蓝(450~520 nm)、绿(520~590 nm)、红(630~690 nm)和近红外(770~890 nm)波段为主^[9]。红边波

段是介于红光波段和近红外波段之间的波段,波段范围为 690~730 nm,植被叶片反射率在这个范围会发生突变,对胁迫胁迫也较为敏感,且受背景信息影响较小,是定量遥感分析的理论基础^[10-13]。随着遥感技术的发展,越来越多的卫星载荷已经开始通过增加多光谱波段来提高卫星应用能力,如德国 RapidEye AG 公司 RapidEye 卫星^[14],美国 Digital globe 公司 Worldview-2 卫星^[15],ESA(European Space Agency,欧洲航天局)的 Sentinel-2 卫星^[16],都包含红边波段传感器,为红边波段作物遥感监测提供了数据保障^[17-20]。从已有研究报道分析,红边遥感监测应用主要集中在地表类型识别、作物参数计算、作物养分含量、作物病害或环境胁迫监测等方面。

大宗农作物^[21]、湿地^[22]、林地^[23]、地表覆盖^[24-25]等内容的分类研究,都不同程度说明了红边波段在面积识别中的作用。如 Kim 等利用 RapidEye 影像对韩国水稻均匀种植区进行了识别研究,通过由红边波段和近红外波段数据构建的 edgNDVI 指数实现了对早熟、中熟和晚熟 3 类不

收稿日期 2015-12-09 修订日期 2016-04-25

基金项目:高分辨率对地观测系统重大专项“高分农业遥感监测与评价示范系统(一期)”

作者简介:刘 佳,女,汉族,湖南人,副研究员,主要从事农业遥感监测业务运行研究。北京,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,100081。Email:liujia06@caas.cn

同水稻品种的识别^[26-27],余宝等使用 EO-1 Hyperion 卫星影像,通过分析油菜花的红边特征建立决策树,对长兴、安吉等地的油菜花种植区域进行了分类提取,总体精度达到 92.6%^[28]。Yeom 利用 RapidEye 影像,对韩国水稻种植区域进行分类提取,红边波段的加入可以略微提高分类精度,尤其在单一时相的情况下^[29]。红边波段参与的农作物参数遥感反演研究以叶面积指数(leaf area index, LAI)监测为主,主要是通过构建红边波段指数等方式实现对 LAI 的估算,涵盖了地面高光谱、航空高光谱和卫星影像 3 个层面的反演研究^[30-31]。基于卫星影像的研究主要包括对单一作物^[32]、混合作物^[33]和森林^[34]叶面积指数的提取,提取方法主要通过构建土壤调节植被指数(soil adjusted vegetation index, SAVI)和归一化红边指数(NDRE, normalized difference red-edge index)等红边参数。如 Delegido 等利用欧洲空间局的 PROBA(Project for On-Board Autonomy) 卫星上搭载的高光谱 CHRIS(compact high resolution imaging spectrometer) 传感器,通过选择 712 nm 的红边波段与 674 nm 波段的组合构建归一化红边指数,表明相比传统的 NDVI,该指数与 LAI 具有更高的相关性(相关系数 0.82,而 NDVI 与 LAI 相关系数为 0.68)^[35]。Adelabu 等利用 RapidEye 影像的红边信息在叶面积指数提取结果基础上对非洲热带草原区域树木受虫害取食严重程度进行了分级^[36]。

作物氮素含量、叶绿素含量、生物量、作物病害与环境胁迫等的研究,红边波段遥感应应用也多有涉及。如利用地面高光谱数据确定 N 含量监测敏感参数^[37-38]、N 素积累量算法^[39]、叶绿素含量估算算法^[40-41]、对比窄波段和宽波段反演效果分析^[42]研究等;基于地面高光谱的红边信息进行作物不同病害的识别^[43]和病害不同等级的分级^[44-45]研究等;森林环切^[46]、城市污染^[47]等逆境监测的研究表明,基于红

边指数可以更早的对受逆境胁迫的树木进行识别。

尽管利用红边波段开展遥感反演、监测研究在不同研究领域都有报道,但由于传感器相对较少、发射时间较短,基于红边波段农作物遥感监测研究仍处于起步阶段,在提高玉米、大豆等大宗农作物识别能力方面的研究也相对较少。本文基于 RapidEye 红边波段卫星影像,对研究区大豆、玉米等大宗农作物进行分类及面积提取,与没有红边波段参与的作物分类结果相比较,分析不同作物在红边波段的波段特征差异,定量研究了红边波段对于玉米、大豆及其他地类的识别能力,初步分析了红边波段对于遥感影像作物识别能力提升作用的机理。搭载有红边波段传感器的国产卫星也即将发射,该文研究可为同类卫星影像尽快应用于中国大宗农作物面积提取提供参考。

1 研究区概况

北安市位于黑龙江省黑河市,地处 47°35'~48°33'N、126°16'~127°53'E,面积 7194 km²。本区地处寒温带,属于大陆性季风气候,常年平均气温 0.2℃,最低气温-42.2℃,最高气温 37.6℃,无霜期 90~130 d,全年平均日照 2 624 h,年降水量 500~700 mm,多集中在春末、夏季和秋初。研究区是松嫩平原向兴安山地过渡的中间地带,耕地 2 333 km²,占总国土面积的 32.7%。黑土是区内分布最为广泛的土壤,也是主要的宜耕土壤,其次是草甸土、暗棕壤和沼泽土。农业是重要的支柱产业之一,主要盛产大豆、玉米、小麦、水稻、马铃薯、甜菜、亚麻及杂粮杂豆,大豆和玉米分别占粮食总播面积的 28.7%和 58.9%(2014 年黑河市社会经济统计年鉴)。图 1 示意的北安市在黑龙江省的位置,以及研究区东胜乡的行政边界。

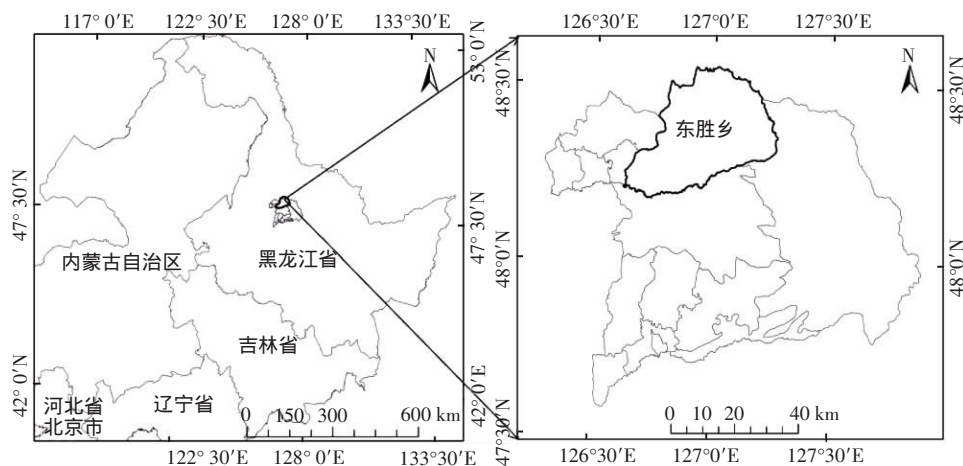


图 1 研究区地理位置示意

Fig.1 Location of study area

2 试验数据获取与预处理

2.1 遥感数据处理

本文主要使用了 2014 年 7 月 27 日的 RapidEye 卫星数据,该卫星于 2008 年 8 月 29 日发射,是全球第一个由 5 颗卫星组成的卫星星座,空间分辨率为 5 m,包括蓝(440~510 nm)、绿(520~590 nm)、红(630~685 nm)、红边(690~730 nm)、近红外(760~850 nm)5 个波段。对获取的

Rapideye 数据进行辐射定标、大气校正和几何精校正等预处理工作。

辐射定标采用的公式如下

$$L_{\lambda}(\lambda_z) = \text{Gain} \cdot \text{DN} + \text{Bias} \quad (1)$$

式中 $L_{\lambda}(\lambda_z)$ 为传感器入瞳处的光谱辐射亮度 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, Gain 为定标斜率, DN 为影像灰度值, Bias 为定标截距, Gain 及 Bias 都由卫星数据供应方提供。

大气校正采用 ENVI/FLAASH 大气校正模块进行,将

RapidEye 卫星传感器的光谱响应函数, 制作成波谱库文件, 输入卫星观测几何及气溶胶模式、光学厚度等参数, 将辐射定标后的影像去除大气影响, 校正结果是地表反射率影像。几何校正则在无控制点条件下采用影像自带的有理多项式系数 (rational polynomial coefficients, RPC) 参数进行, 同时与研究区的本底遥感影像数据进行几何精配准, 使其定位精度达到亚像素级, 满足遥感影像分类定位精度要求。

2.2 地面样方调查

制作覆盖研究区的 $2\text{ km}\times 2\text{ km}$ 格网作为抽样基本单元, 格网内的作物面积比例作为抽样参数, 采用等概率原则进行地面样方抽样。覆盖研究区的网格单元共计 341 个, 其中 244 个是完整网格单元。基于监督分类方法获得研究区作物初步分类结果, 计算每个网格中的大豆和玉米面积, 从小到大进行排序, 最小为 0, 最大 91.11%, 按照 9% 的级差进行分级, 统计每个级别中的频数, 等概率抽取 10 个格网作为监督分类的样方, 不选择边缘位置的格网。采用与后续本底调查中同样的目视解译方法获得 10 个样方内大豆、玉米及其他等 3 种作物类型分布结果。10 个抽样样方总面积 40.0 km^2 , 其中春玉米面积为 8.72 km^2 , 大豆面积 11.50 km^2 , 其他(指研究区内除大豆和玉米外的其他地物, 包括人工次生森林、草地、道路、河流、建筑及蔬菜等其他小宗作物等)为 19.78 km^2 , 分别占样方总面积的 21.80%、28.75% 和 49.45%, 图 2 给出了 10 个样方位置分布。

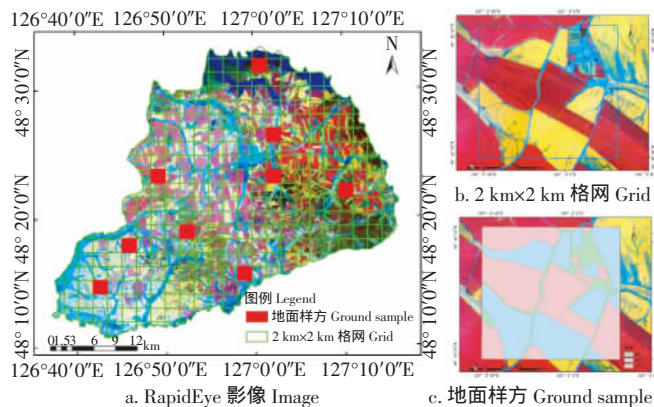


图 2 研究区 RapidEye 影像及样方分布

Fig.2 RapidEye image and distribution of ground sample in study area

2.3 作物发育时期

春玉米发育时期, 春玉米从播种开始, 依次经历出苗、三叶、七叶、拔节、抽雄、乳熟、成熟等发育时期, 研究区每年 4 月下旬开始播种, 8 月上旬成熟, 9 月下旬以后开始收获。播种—出苗、出苗—三叶、三叶—七叶、七叶—拔节、拔节—抽雄、抽雄—乳熟、乳熟—成熟等 7 个生长阶段历时平均分别为 9、9、12、23、15、29 和 19 d, 全生育期所需要的时间约为 116 d。以北安地区 4 月 25 日播种计算, 7 个关键生育期起始日期分别为 5 月 4 日、5 月 13 日、5 月 25 日、6 月 17 日、6 月 22 日、7 月 21 日和 8 月 9 日。

大豆发育时期, 大豆从播种开始, 一般经历种植期、发芽期、早期生长期、出枝期、开花期、结荚期、收割期等发育

时期, 种植期一般位于 6 月份, 通常在种植一至两周内发芽, 在发芽后 25 d 内为早期生长期, 作物高度可以达到 15~21 cm。大豆可生长出 1~6 枝, 一般在发芽 40 d 后。在发芽期(6 月中旬至七月下旬)和开花期(七月中旬至七月下旬)之间的大豆生长情况将决定大豆开花的数量, 并直接影响到大豆的产量; 开花期一般在种植后 45~50 d 左右, 持续约 30 d, 结荚期一般在 7 月下旬和 8 月上旬, 而收割期则一般为 9 月或 10 月份。

综合考虑研究区内作物的发育时期, 选择位于 7 月 27 日的卫星影像进行作物分类识别。该时期正处于春玉米抽雄—乳熟期及大豆结荚期内, 作物生长旺盛, 有利于基于遥感影像的农作物识别及面积提取, 在遥感监测业务中具有普遍性。

2.4 作物分类精度验证影像获取

基于监督分类方案, 利用选择的样方, 采用全部 RapidEye 影像 5 波段数据, 获取研究区监督分类结果。基于 2014 年 6 月 13 日、6 月 29 日、7 月 15 日、8 月 7 日和 9 月 17 日共 5 景 Landsat-8/OLI (Operational Land Imager) 反映的作物光谱变化特征, 结合 2014 年 7~9 月间研究区地面调查获取的解译标志、标定结果, 逐一格网对 RapidEye 监督分类结果进行目视修正。获取了研究区内 5 m 空间分辨率的大豆、玉米和其他地物类型空间分布结果, 并将其作为精度验证的真值。采用覆盖研究区本底分布结果作为验证数据, 可以避免由于验证样方分布不均匀造成的精度验证结果出现偏差的情况, 分析结果更为全面客观。

3 研究方法

3.1 技术思路

该文采用监督分类的方法, 通过计算有红边参与条件下、无红边参与条件下, 玉米、大豆及其他 3 种地物类型的面积分类精度, 比较分析 2 种波段组合方式下的红边波段对农作物面积提取精度的影响。通过计算 2 种分类结果掩模下可分性测度及景观破碎度等指标, 比较红边波段对农作物识别能力的提升作用, 以及对“椒盐”效应的降低能力。藉此分析红边参与分类对面积提取精度影响的原因。其中, 监督分类的样本是上述基于格网单元选择的 10 个样方, 精度验证采用的覆盖研究区农作物面积本底调查结果。作物可分性测度采用了 Jeffries-Matusita 分离度计算方法。景观破碎度采用了地块平均面积、平均周长、面积周长比值等 3 个指标。

3.2 最大似然分类算法

最大似然法(maximum likelihood, ML)也称为最大似估计或极大似然估计, 是一种具有理论性的点估计法。最大似然分类假定每个波段每一类统计呈均匀分布, 并计算给定像元属于特定类别的可能性。除非选择一个可能性阈值, 所有像元都将参与分类。每一个像元被归到可能性最大的那一类里。该方法是遥感影像区域作物识别经常使用的分类算法, 具有分类结果稳定可靠、精度较高的优势。具体算法可参考文献[48~49]。

3.3 精度验证方法

主要基于 5 m 空间分辨率 RapidEye 遥感数据, 结合

地面调查与 30 m 分辨率的 Landsat-OLI 多时相数据,针对整个研究区的玉米、大豆及其他地物类型进行了目视解译,采用目视解译结果对研究结果进行精度验证。采用混淆矩阵、Kappa 系数、总体分类精度、制图精度和用户精度 5 种方式进行分类精度的描述和比较,相关定义及详细表述可参照文献[50-52]。

3.4 可分性测度计算

地表特征可分性的判定方法很多,如 J-M(Jeffries-Matusita) 距离、B 距离、离散度、样本间平均距离、类别间相对距离等。J-M 距离波段指数是研究不同波段组合对地表特征识别提取能力的重要参数。相对于其他指标, J-M 距离被认为更适合于表达不同波段组合的类别可分性^[53]。J-M 距离是基于条件概率理论的光谱可分性指标,公式如下

$$J_{ij} = \left(\int_x (\sqrt{P(X/\omega_i)} - \sqrt{P(X/\omega_j)})^2 \right) \quad (2)$$

式中 $\sqrt{P(X/\omega_i)}$ 为条件概率密度,即第 i 个像元属于 ω_i 个类别的概率。 J_{ij} 的值在 0~2 之间,其大小代表样本间可分离程度的高低。

3.5 破碎度的计算

破碎度表征分类结果被分割的破碎程度,反映景观空间结构的复杂性。本文引入包括作物分类地块平均面积、平均周长、面积周长比值的方法来研究地块破碎度。由于一般情况下,作物大多分块种植,因此通过破碎度的研究,可以在一定程度上反映引入红边波段后作物分类结果影像的准确性。

4 结果与分析

4.1 研究区作物分类目视解译结果

基于北安市东胜乡 2014 年 7 月 17 日 RapidEye 影像,采用监督分类方案,结合目视修正的方法,获取了研究区大豆、玉米及其他地物类型空间分布图,图 3 给出

研究区目视解译结果。由图统计可知,研究区内总面积 1 409.96 km²,其中大豆、玉米和其他类型分别为 342.76、335.76 和 731.48 km²,分别占研究区总面积的 24.3%、23.8%和 51.9%。该结果可以看作是最高识别能力,在分类方法一定的前提下,其优势是能够抵消由于影像本身造成的分类误差,是用来评价农作物面积提取精度、可分性测度的依据。

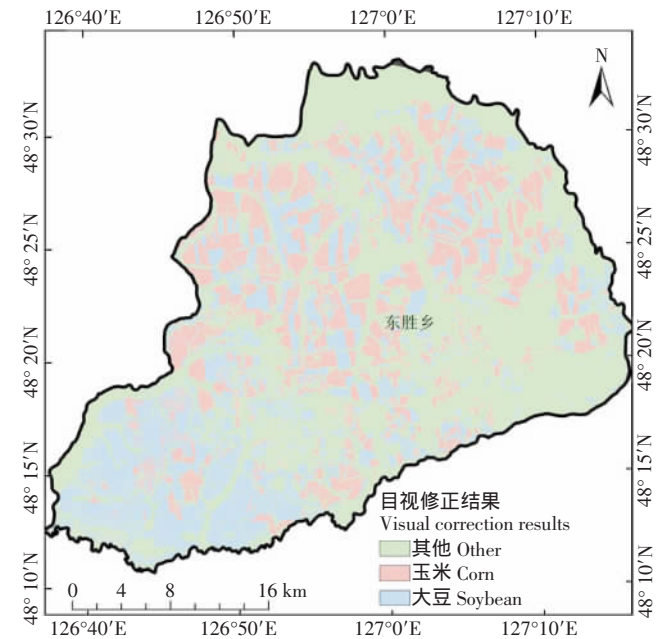


图 3 基于 RapidEye 影像的研究区目视解译结果

Fig.3 Visual correction result of study area based on RapidEye image

4.2 有无红边条件下分类精度的比较

分别将 RapidEye 影像的全部 5 波段和不包括红边的 4 波段数据作为输入数据,均采用基于最大似然分类算法进行监督分类,监督分类结果如图 4 所示。

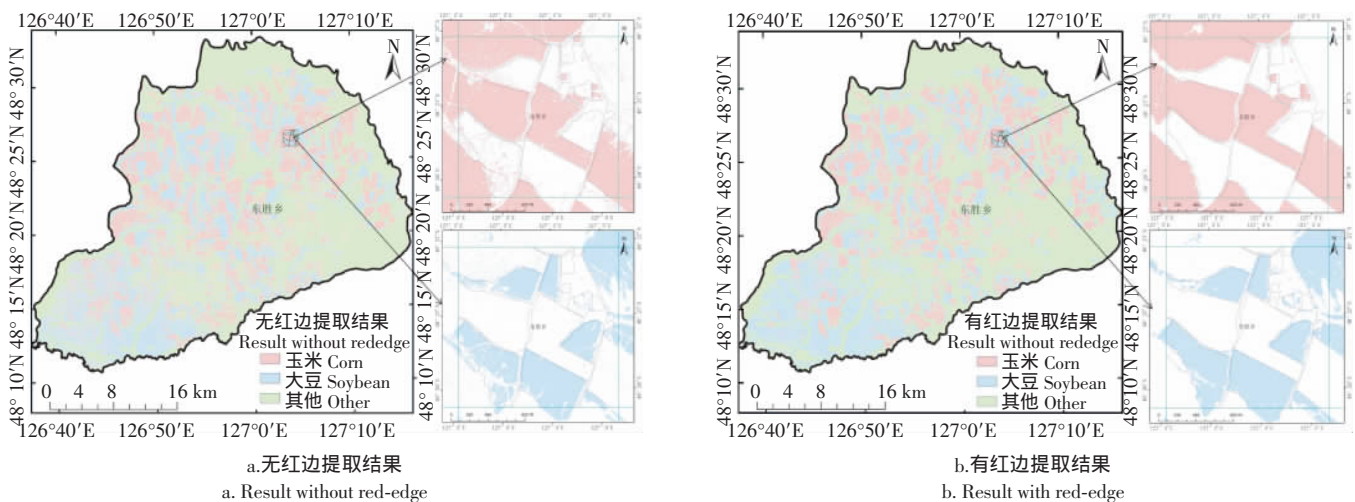


图 4 基于最大似然分类算法的监督分类结果

Fig.4 Result of supervised classification based on maximum likelihood algorithm

利用研究区目视解译结果进行精度评价,无红边条件下和有红边条件下的分类精度分别如表 1 和表 2 所示。从表中可以看出:单时相影像引入红边波段后,作物分类的总体精度由 81.7%提高到 88.4%,绝对精度提高了 6.7 百分点,Kappa 系数由 0.71 提高到 0.81,这表明红边波段的

信息确实提高了作物类型的总体识别精度。具体分析红边波段对不同作物分类结果的影响,可发现引入红边波段后,玉米-大豆、玉米-其他相互的误判面积显著降低,但却使得大豆-其他间的误判面积略有增加,表明红边波段对玉米-大豆、玉米-其他的识别能力较强,但对提高大

豆-其他的分类能力帮助不大。根据波段间统计结果分析,可能的原因是因为增加红边波段后,由于红边波段中大豆和其他两类地物的反射率较为接近,使得作为这两类地物主要区分波段的近红外波段在分类整体过程中的权重有所降低,最终导致分类精度的降低。

表1 无红边条件下的分类精度

作物类型 Crop	玉米 Corn/m ²	大豆 Soybean/m ²	其他 Other/m ²	总计 Total/m ²	制图精度 Mapping accuracy/%
玉米 Corn	281.6	54.7	52.3	388.6	83.9
大豆 Soybean	25.4	251.5	60.6	337.5	73.4
其他 Other	28.7	36.6	618.6	683.9	84.6
总计 Total	335.7	342.8	731.5	1410.0	
用户精度 User accuracy/%	72.5	74.5	90.5		
总体精度 Overall accuracy/%	81.7				
Kappa 系数 Kappa coefficient	0.71				

表2 有红边条件下的分类精度

作物类型 Crop	玉米 Corn/km ²	大豆 Soybean/km ²	其他 Other/km ²	总计 Total/km ²	制图精度 Mapping accuracy/%
玉米 Corn	312.6	4.8	15.6	333.0	93.1
大豆 Soybean	5.2	294.9	77.5	377.6	86.0
其他 Other	17.9	43.1	638.4	699.4	87.3
总计 Total	335.7	342.8	731.5	1410.0	
用户精度 User accuracy/%	93.9	78.1	91.3		
总体精度 Overall accuracy/%	88.4				
Kappa 系数 Kappa coefficient	0.81				

4.3 不同波段组合可分性测度的比较

为了量化分析红边波段对3类地物可分性的影响,利用 Jeffries-Matusita 算法计算3类地物的可分性,有红边条件和无红边条件下可分性测度如表3所示。可以看出,增加红边波段后,玉米-大豆、玉米-其他在2种可分性测度算法下的可分性都有明显增大,分别从0.84增加到1.73,1.37增加到1.81,表明红边波段信息可以使影像更精准地区分玉米、其他两类地物;大豆-其他地物类型可分性略有增大,但增幅很小,从1.27增加到1.29,表明红边波段对于“大豆-其他”情况下的分类贡献较小,无法显著提高两类的识别精度,这与上文作物分类精度的评价结果是一致的。

表3 有无红边条件下不同地物可分性测度结果

样本类型 Sample	无红边 Without red-edge		有红边 With red-edge	
	玉米 Corn	大豆 Soybean	玉米 Corn	大豆 Soybean
大豆 Soybean	0.84		1.73	
其他 Other	1.37	1.27	1.81	1.29

4.4 破碎度分析

为了评价分类结果的破碎度,分别对有红边、无红边和目视解译修正样本影像分类结果进行统计,统计其地块数、总面积和总周长,并计算地块平均面积、平均周长和面积周长比。其中目视修正结果作为标准分类结果以供参照。计算结果如表4所示。

表4 不同分类方法破碎度

项目 Project	无红边 Result without red-edge	有红边 Result with red-edge	目视修正 Result with manual correction
地块数 Fields	918 579	283 184	194 644
总面积 Total area/m ²	1 410	1 410	1 410
总周长 Total perimeter/km	109 472	54 071	36 858
地块平均面积 Average area/m ²	1 535	4 979	7 244
地块平均周长 Average perimeter/m	119	191	189
面积与周长比 Ration of area and perimeter/m	13	26	38

从表4可以看出,引入红边波段后分类结果地块数由918 579降低到283 184,减少了69.2%。地块平均面积从1 535 m²增加到4 979 m²、地块平均周长从119 m增加到191 m、面积周长比从13增加到26,分别增加了224.36%、60.50%和100.00%,且与标准影像相比,有红边的分类结果明显更加符合实际情况,表明红边波段有助于作物分类精度的提升。平均面积、平均周长和面积周长比都表明引入红边波段后,影像的分类结果破碎度下降,有效降低破碎地块数量,有效地抑制了作物监督分类等存在的“椒盐化”现象,这一点从图4中也可以很明显的看出来。

4.5 波段反射率变化分析

依据目视解译获取的本底调查分类结果中的玉米、大豆和其他3类地物,分别统计其RapidEye影像5个波段的反射率平均值,绘制折线图,如图5所示。

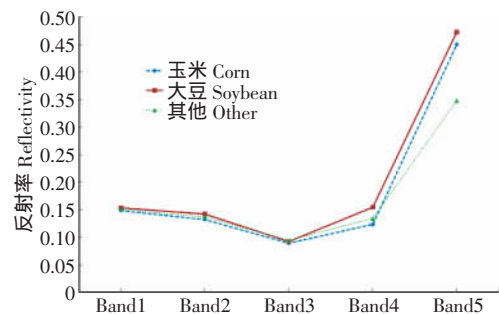


图5 不同地物 RapidEye 影像各波段反射率均值变化曲线
Fig.5 RapidEye image mean reflection curve of different ground object

从图中可以直观的看出第1、2、3波段(分别对应蓝、绿、红波段)3类地物的反射率都十分接近,这表明纯粹利用可见光波段数据进行这3类作物识别是非常困难的。而在传统卫星大多具备的第5波段(近红外),大豆和其他、玉米和其他的差异明显,但是玉米和大豆的差异较小,表明传统5波段卫星影像对于区分识别大豆-玉米的能力较差,这也与本文精度统计结果吻合。而在引入第4波

段(红边波段)后,可以看出,该波段大豆的反射率明显高于玉米,是大豆-玉米分类精度提升的关键因素。从精度评价结果看,玉米误判为大豆、大豆误判为玉米的面积分别由 54.7 km² 降低到 4.8 km²、由 25.4 km² 降低到 5.2 km²;玉米误判为其他、其他误判为玉米的面积分别由 52.3 km² 降低到 15.6 km²、由 28.7 km² 降低到 17.9 km²。而大豆-其他在加入近红外波段后,分类精度并未提高,一方面是由于大豆-其他的近红外波段反射率很接近导致两者无法区分,另一方面考虑到其他地物中包含的矮小人工次生林与大豆光谱响应较为相似,也是造成大豆-其他光谱虽然有所差异,但分类效果却没有显著提升的原因之一。

5 结论与讨论

通过本文研究可以明确,国产卫星传感器中增加红边波段将有利于农作物面积识别精度的提升,有针对性剔除异物同谱类型、优化分类方案将有助单时相数据分类能力的提升。

1)红边波段的引入总体上可以提高作物面积提取精度,以东胜乡为例,引入红边波段后,作物面积提取总体精度由 81.7% 提高到 88.4%,绝对精度提高了 6.7 百分点;Kappa 系数由 0.71 提高到 0.81。红边波段对不同种类作物面积识别精度的提高程度是不同的,区分玉米-大豆的能力显著提高,区分玉米-其他地物的能力也有明显的提升,区分大豆-其他、其他-大豆的能力没有显著提升。

2)红边波段的信息可以有效提高不同地物间的可分性测度,Jeffries-Matusita 方法下玉米-大豆、玉米-其他的分离度分别由 0.84 增加到 1.73,从 1.37 增加到 1.81,表明红边波段使得玉米-大豆、玉米-其他的区分能力显著增强。红边波段的引入,能显著增强作物的识别能力,有效降低了分类结果的破碎度,在一定程度上能减少遥感影像分类中存在的“椒盐化”现象,得到更加科学合理的作物分布及面积提取结果影像。

3)单纯从波谱响应角度来分析,红边波段引入能够显著提升玉米-大豆的响应差异,并远远大于其他波段的差异,是提升玉米-大豆、玉米-其他的主要光谱因素。

本文研究的过程也发现一些问题尚待解决,在某些具体技术方法上存在需要进一步研究提高的地方:1)引入红边波段后,单纯利用一种分类方法分类的总体精度确有提高。但在传统近红外波段分类度较大、异物同谱地物类型存在等场景下,大豆-其他的分辨能力降低,可以考虑在第一次监督分类基础上,对大豆-其他区(即非玉米区)进行第二次分类,并重点使用近红外波段的数据信息,可以进一步对单时相遥感数据的潜力进行挖掘。2)通过波段分析及积累的经验,发现一些作物在红边波段具有较大的差异性,特别是豆科作物类型表现更为明显,该差异产生的生物学机制尚有待深入研究。作物红边波段特征与作物的生长状况、植被特征的关系的进一步明确,将有助于针对性推广红边波段在农作物面积遥感监测中的应用范围,也是红边波段在作物长势、产量等其他农情遥感监测领域应用的基础。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
Liu Jia, Wang Limin, Yang Fugang, et al. Remote sensing estimation of crop planting area based on HJ time-series images[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(3): 199-206. (in Chinese with English abstract)
- [2] 陈水森,柳钦火,陈良富,等.粮食作物播种面积遥感监测研究进展[J].农业工程学报,2005,21(6):166-171.
Chen Shuisen, Liu Qinhuo, Chen Liangfu, et al. Review of research in remote sensing monitoring of grain crop area [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(6): 166-171. (in Chinese with English abstract)
- [3] 王利民,刘佳,杨福刚,等.基于 GF-1 卫星遥感的冬小麦面积早期识别[J].农业工程学报,2015,31(11):194-201.
Wang Limin, Liu Jia, Yang Fugang, et al. Early recognition of winter wheat area based on GF-1 satellite[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(11): 194-201. (in Chinese with English abstract)
- [4] 张健康,程彦培,张发旺,等.基于多时相遥感影像的作物种植信息提取[J].农业工程学报,2012,28(2):134-141.
Zhang Jiankang, Chen Yanpei, Zhang Fawang, et al. Crops planting information extraction based on multi-temporal remote sensing images[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(2): 134-141. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘吉凯,钟仕全,梁文海.基于多时相 Landsat8 OLI 影像的作物种植结构提取[J].遥感技术与应用,2015,30(4):775-783.
Liu Jikai, Zhong Shiquan, Liang Wenhai. Extraction on crops planting structure based on multi-temporal Landsat8 OLI images[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2015, 30(4): 775-783. (in Chinese with English abstract)
- [6] 赵春江.农业遥感研究与应用进展[J].农业机械学报,2014,45(12):277-293.
Zhao Chunjiang. Advances of research and application in remote sensing for agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agriculture Machinery, 2014, 45(12): 277-293. (in Chinese with English abstract)
- [7] Zhang X, Friedl M A, Schaaf C B, et al. Monitoring vegetation phenology using MODIS[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84(3): 471-475.
- [8] 凌春丽,朱兰艳,吴俐民. WorldView-2 影像林地信息提取的研究与实现[J].测绘科学,2010,35(5):205-207.
Lin Chunli, Zhu Lanyan, Wu limin. The research and realization of the forest information extraction based on the WorldView-2 image[J]. Science of Surveying and Mapping, 2010, 35(5): 205-207. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王方永,王克如,李少昆,等.应用两种近地可见光成像传感

- 器估测棉花冠层叶片氮素状况[J]. 作物学报, 2011, 37(6): 1039-1048.
- Wang Fangyong, Wang Keru, Li Shaokun, et al. Estimation of canopy leaf nitrogen status using imaging spectrometer and digital camera in cotton[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(6): 1039-1048.(in Chinese with English abstract)
- [10] 邹红玉, 郑红平. 浅述植被“红边”效应及其定量分析方法[J]. 遥感信息, 2010(4): 112-116.
- Zou Hongyu, Zheng Hongping. The effect and method of quantitative analysis of “red edge” of vegetation[J]. Remote Sensing Information, 2010(4):112-116.(in Chinese with English abstract)
- [11] Elvidge C D, Chen Z K. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indexes[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 54(1): 38-48.
- [12] 王秀珍, 王人潮, 黄敬峰. 微分光谱遥感及其在水稻农学参数测定上的应用研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 9-13.
- Wang Xiuzhen, Wang Renchao, Huang jingfeng. Derivative spectrum remote sensing and it's application in measurement of rice agronomic parameters of rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 18(1): 9-13.(in Chinese with English abstract)
- [13] 王秀珍, 李建龙, 唐延林. 导数光谱在棉花农学参数测定中的作用[J]. 华南农业大学学报:自然科学版, 2004, 25(2): 17-21.
- Wang Xiuzhen, Li Jianlong, Tang Yanlin. Approach the action of derivative spectra for determining agronomic parameters of cotton[J]. Journal of South China Agricultural University: Natural Science Edition, 2004, 25(2): 17-21.(in Chinese with English abstract)
- [14] Dupuy S, Barbe E, Balestrat M. An object-based image analysis method for monitoring land conversion by artificial sprawl use of RapidEye and IRS data[J]. Remote Sensing, 2012, 4(2): 404-423.
- [15] 张振兴, 李宁, 刘阳. 基于 Worldview- 多光谱遥感数据纹理特征提取方法[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(10): 2044-2049.
- Zhang Zhenxin, Li Ning, Liu Yang. Texture features extraction method based on Worldview- multi-spectral remote sensing data[J]. Systems Engineering and Electronics, 2013, 35(10): 2044-2049.(in Chinese with English abstract)
- [16] Richter K, Atzberger C, Vuolo F, et al. Evaluation of Sentinel-2 spectral sampling for radiative transfer model based LAI estimation of wheat, sugar beet, and maize[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations & Remote Sensing, 2011, 4(2): 458-464.
- [17] Upadhyay P, Ghosh S K, Kumar A, et al. Effect on specific crop mapping using WorldView-2 multispectral add-on bands: Soft classification approach[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2012, 6(3):325-336.
- [18] Tigges J, Lakes T, Hostert P. Urban vegetation classification: Benefits of multitemporal RapidEye satellite data[J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 136(5): 66-75.
- [19] Jesús D, Jochem V, Luis A, et al. Evaluation of sentinel-2 Red-edge bands for empirical estimation of green LAI and chlorophyll content[J]. Sensors, 2011, 11(7): 7063-7081.
- [20] Shushanik Asmaryan, Timothy A Warner, Vahagn Muradyan, et al. Mapping tree stress associated with urban pollution using the WorldView-2 Red Edge band[J]. Remote Sensing Letters, 2013, 4(2): 200-209.
- [21] Wilson J H, Zhang C H, Kovacs J M. Separating crop species in northeastern Ontario using hyperspectral data[J]. Remote Sensing, 2014, 6(2): 925-945.
- [22] Carle M V, Wang L, Sasser C E. Mapping freshwater marsh species distributions using WorldView-2 high-resolution multispectral satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2014, 35(13): 4698-4716.
- [23] Le BRIS A, Tassin F, Chehata N. Contribution of texture and red-edge band for vegetated areas detection and identification[J]. 2013 Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium(Igarss), 2013: 4102-4105.
- [24] Schuster C, Förster M, Kleinschmit B. Testing the red edge channel for improving land-use classifications based on high-resolution multi-spectral satellite data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(17): 5583-5599.
- [25] Bindel M, Hese S, Berger C, et al. Evaluation of red-edge spectral information for biotope mapping using RapidEye[J]. Proc Spie, 2011, 8174(1): 772-783.
- [26] Kim H O, Yeom J M. Effect of red-edge and texture features for object-based paddy rice crop classification using RapidEye multi-spectral satellite image data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2014, 35(19): 7046-7068.
- [27] Kim H O, Yeom J M. Sensitivity of vegetation indices to spatial degradation of RapidEye imagery for paddy rice detection: A case study of South Korea[J]. Giscience & Remote Sensing, 2015, 52(1): 1-17.
- [28] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2013, 29(15): 145-152. (in Chinese with English abstract)
- [29] Yeom J M. Effect of red-edge and texture features for object-based paddy rice crop classification using RapidEye multi-spectral satellite image data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2014, 35(19): 7046-7068.
- [30] 黄敬峰, 王渊, 王福民, 等. 油菜红边特征及其叶面积指数的高光谱估算模型[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8):22-26.
- Huang Jingfeng, Wang Yuan, Wang Fumin, et al. Red edge characteristics and leaf area index estimation model using hyperspectraldata for rape[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2006, 22(8): 22-26.(in Chinese with English abstract)
- [31] Darvishzadeh R, Atzberger C, Skidmore A, et al. Mapping

- grassland leaf area index with airborne hyperspectral imagery: A comparison study of statistical approaches and inversion of radiative transfer models[J]. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2011, 66(6): 894–906.
- [32] Ali M, Montzka C, Stadler A, et al. Estimation and validation of RapidEye-based time-series of leaf area index for winter wheat in the Rur Catchment(Germany)[J]. *Remote Sensing*, 2015, 7(3): 2808–2831.
- [33] Kross A, McNairn H, Lapen D, et al. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops[J]. *International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation*, 2015, 34(1): 235–248.
- [34] Pu R, Cheng J. Mapping forest leaf area index using reflectance and textural information derived from WorldView-2 imagery in a mixed natural forest area in Florida, US[J]. *International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation*, 2015, 42(1): 11–23.
- [35] Delegido J, Verrelst J, Meza C M, et al. A red-edge spectral index for remote sensing estimation of green LAI over agroecosystems[J]. *European Journal of Agronomy*, 2013, 46(46): 42–52.
- [36] Adelabu S, Mutanga O, Adam E. Evaluating the impact of red-edge band from Rapideye image for classifying insect defoliation levels[J]. *Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2014, 95(3): 34–41.
- [37] Ramoelo A, Skidmore A K, Cho M A, et al. Regional estimation of savanna grass nitrogen using the red-edge band of the spaceborne RapidEye sensor[J]. *International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation*, 2012, 19(10): 151–162.
- [38] Jain N, Ray S S, Singh J P, et al. Use of hyperspectral data to assess the effects of different nitrogen applications on a potato crop[J]. *Precision Agriculture*, 2007, 8(4/5): 225–239.
- [39] 冯伟, 朱艳, 姚霞, 等. 利用红边特征参数监测小麦叶片氮素积累状况[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(11):194–201.
Feng Wei, Zhu Yan, Yao Xia, et al. Monitoring nitrogen accumulation in wheat leaf with red edge characteristics parameters[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(11): 194–201. (in Chinese with English abstract)
- [40] 薛利红, 杨林章. 采用不同红边位置提取技术估测蔬菜叶绿素含量的比较研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(9):165–169.
Xue Lihong, Yang Linzhang. Comparative study on estimation of chlorophyll content in spinach leaves using various red edge position extraction techniques[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2008, 24(9) :165–169.(in Chinese with English abstract)
- [41] 姚付启, 张振华, 杨润亚, 等. 基于红边参数的植被叶绿素含量高光谱估算模型[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(增刊 2) :123–129.
Yao Fuqi, Zhang Zhenhua, Yang Runya, et al. Hyperspectral models for estimating vegetation chlorophyll content based on rededge parameter[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(Supp.2): 123–129.(in Chinese with English abstract)
- [42] Eitel J U H, Long D S, Gessler P E, et al. Using in-situ measurements to evaluate the new RapidEye(TM) satellite series for prediction of wheat nitrogen status[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(18): 4183–4190.
- [43] Huang W J, Guan Q S, Luo J H, et al. New optimized spectral indices for identifying and monitoring winter wheat diseases[J]. *Ieee Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2014, 7(6): 2516–2524.
- [44] Jiang J, Chen Y, Gong A, et al. Study on inversion models for the severity of winter wheat stripe rust using hyperspectral remote sensing[C]//IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, IGARSS 2007, July 23–28, 2007, Barcelona, Spain, Proceedings. 2007: 3186–3189.
- [45] 王园园, 陈云浩, 李京, 等. 指示冬小麦条锈病严重度的两个新的红边参数[J]. *遥感学报*, 2007, 11(6) :875–881.
Wang Yuanyuan, Chen Yunhao, Li Jing, et al. Two new red edge indices as indicators for stripe rust disease severity of winter wheat[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2007, 11(6): 875–881.
- [46] Eitel J U H, Vierling L A, Litvak M E, et al. Broadband, red-edge information from satellites improves early stress detection in a New Mexico conifer woodland[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(12): 3640–3646.
- [47] Asmaryan S, Warner T A, Muradyan V, et al. Mapping tree stress associated with urban pollution using the WorldView-2 Red Edge band[J]. *Remote Sensing Letters*, 2013, 4(2): 200–209.
- [48] 王增林, 朱大明. 基于遥感影像的最大似然分类算法的探讨[J]. *河南科学*, 2010, 28(11) :1458–1461.
Wang Zenglin, Zhu Daming. A study of maximum likelihood classification algorithm based on remote sensing image[J]. *Henan Science*, 2010, 28(11):1458–1461.
- [49] 王竞雪, 宋伟东, 王伟玺, 等. 基于模糊推理的最大似然分类算法研究[J]. *测绘科学*, 2009, 34(1): 66–68.
Wang Jingxue, Song Weidong, Wang Weixi, et al. Algorithm research of maximum likelihood classification based on fuzzy inference[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2009, 34(1):66–68.
- [50] Congalton R G A. Review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1991, 37(1): 35–46.
- [51] Hay A M. The derivation of global estimation from a confusion matrix [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1988, 9(8): 1395–1398.
- [52] Congalton R G. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensing data[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988, 54(5): 593–600.
- [53] 谭玉敏, 夏玮. 基于最佳波段组合的高光谱遥感影像分类[J]. *测绘与空间地理信息*, 2014, 37(4): 19–22.
Tan Yumin, Xia Wei. Optimum band combination based hyperspectral remote sensing image classification[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2014, 37(4):19–22.

Impact of red-edge waveband of RapidEye satellite on estimation accuracy of crop planting area

Liu Jia, Wang Limin, Teng Fei, Yang Lingbo, Gao Jianmeng, Yao Baomin, Yang Fugang

(Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Adding red-edge waveband (690–730 nm) based on traditional visible light and infrared band is a notable trend of the development of current high resolution satellite sensors. RapidEye satellite carries red-edge waveband sensors. Based on the RapidEye satellite remote sensing data of Dongsheng town, Bei'an city, Helongjiang province on July 27, 2014, and by employing the monitoring classification method, this paper comparatively analyzed the impact of the red-edge waveband on the estimation accuracy of crop planting area under 2 kinds of waveband combinations. The indices including the separable measure, the classification accuracy and the degree of landscape fragmentation of the 3 kinds of ground objects i. e. corn, soybean and the others were computed under the conditions of 2 types of band combinations, which were with or without the involvement of red-edge waveband. Training samples of monitoring classification took the 2 km × 2 km grids covering study area as their basic units. Under the principle of equal probability of corn and soybean area proportion, 10 grids were chosen as training samples. Identification of crop within ground samples employed visual interpretation method. Accuracy verification adopted the background survey results of the crop area covering the study area. Based on the preliminary classification of RapidEye data with spatial resolution of 5 m, the background survey was conducted by using visual observation correction method combined with ground survey according to the seasonal changing rule of multi-temporal Landsat-8/OLI (Operational Land Imager) data. The result showed that, the overall identification accuracy of 3 types of ground objects (corn, soybean and the others) with red-edge was 88.4%, the Kappa coefficient was 0.81, and the mapping accuracies of 3 types of ground objects were 93.1%, 86.0% and 87.3% respectively; the overall identification accuracy of 3 types of ground objects without red-edge was 81.7%, the Kappa coefficient was 0.71, and the mapping accuracies of 3 types of ground objects were 83.9%, 73.4% and 84.6% respectively. By introducing red-edge band, the overall identification accuracy of 3 ground objects was improved by 6.7%, and the identification accuracies of 3 types of ground objects were improved by 9.20%, 12.6% and 2.7% respectively. By employing Jeffries-Matusita method, we calculated the degree of separation of 3 types of ground objects. The degrees of separation between corns and soybeans, corns and the others, as well as soybeans and the others were improved from 0.84 to 1.73, from 1.37 to 1.81, and from 1.27 to 1.29 respectively; by employing fragmentation index, we calculated the landscape fragmentation. The number of land parcels was reduced by 69.2%, with the average parcel area increased by 2.2 times, the average parcel perimeter increased by 60.5%, and the ratio between parcel area and perimeter increased by 1.0 time. So, by introducing red-edge band, the study has improved the separable measure of different ground objects, reduced the increase of landscape fragment caused by "Pepper salt" effect, and improved the overall identification accuracy of crop planting area. Currently, more and more satellites carry red-edge devices, and the domestically-produced satellites to be launched also plan to add red-edge band so as to improve crop identification capacity. The result of this paper will provide a reference for the application of domestically-produced red-edge satellite data in agriculture.

Keywords: crops; remote sensing; satellites; red-edge; area estimation