

农作物种植格局对遥感分类精度的影响

张荣群¹ 王盛安¹ 高万林¹ 牛灵安² 孙玮健¹ 温利兴³

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193;
3. 曲周县农牧局, 曲周 057250)

摘要: 研究不同作物种植成数、田块形状和田块破碎度对作物遥感分类精度的影响, 是科学评价作物遥感分类精度的基础。采用 GF-1 遥感数据, 以时序植被指数的主要农作物分类结果为基础, 对研究区冬小麦-夏玉米作物种植区的分类精度与种植成分、田块形状和破碎度的关系进行了研究。结果表明, 种植成数与分类精度呈正相关, 田块破碎度、田块形状指数与分类精度呈负相关。

关键词: 作物种植面积; 遥感分类; 种植成数; 田块形状指数; 田块破碎度; GF-1

中图分类号: S127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)10-0318-07

Effects of Crop Planting Structure on Remote Sensing Classification Accuracy

Zhang Rongqun¹ Wang Sheng'an¹ Gao Wanlin¹ Niu Ling'an² Sun Weijian¹ Wen Lixing³

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193, China

3. Quzhou County Agriculture and Pasture Bureau, Quzhou 057250, China)

Abstract: The study of effects of different crop acreage proportions, crop field shape index and crop field fragmentation on accuracy of crop classification by remote sensing provides a basis for scientific evaluation of the latter. Using GF-1 remote sensing data and based on the major crop classification results of the time-series vegetation index, the relationship between classification accuracy of crops (including winter wheat and summer maize) and crop acreage proportion, crop field shape index as well as crop field fragmentation was studied. The research was based on 14 GF-1/WFV NDVI time series data. The timing vegetation index-based crop classification knowledge rules were utilized on the basis of the best NDVI threshold interval of crops to be classified to complete the crops classification and make spatial distribution map. Then, totally 14 classical villages of Quzhou county were selected as sample plots, which included winter wheat - summer corn plots. The land-use ownership boundary map for the 14 classic villages was obtained according to 1:50 000 Quzhou county present land-use map, which was prepared by Quzhou County Land Resources Bureau and China Agricultural University jointly. The spatial distribution map of winter wheat - summer corn and land-use ownership boundary map among land-use survey maps were used to take image masking, and the lots and sample points of winter wheat - summer corn of each classical village region were obtained. Hence, the crop acreage proportion, crop field shape index and crop field fragmentation of winter wheat - summer corn in 14 villages were obtained, and classification accuracy, Kappa index were calculated. In addition, totally 14 groups of sample plot related data were acquired and graphs of relation between all influencing factors and classification accuracy were prepared. The results showed that the crop acreage proportion was positively correlated to classification accuracy, while the crop field fragmentation and crop field shape index were negatively correlated to classification accuracy.

Key words: crop planting acreage; remote sensing classification; crop acreage proportion; crop field shape index; crop field fragmentation; GF-1

引言

农作物种植面积是影响农作物产量估算的重要因素之一,遥感技术因其快速、准确、可靠的特点,已经成为农作物类型识别的重要技术支持^[1-2]。遥感数据分类结果的精度不仅代表该结果数据本身的适用性,还会在以其为输入信息的各种模型中传播,影响模型运算结果乃至最终的决策,对作物长势监测、作物估产等产生影响,因此分类结果的误差分析和精度评价异常重要。

基于混淆矩阵的方法是日前普遍使用的分类精度检验方法^[3-4]。张焕雪等^[5]以总体分类精度和 Kappa 系数作为基于多时相环境星 NDVI 时间序列的农作物(玉米、小麦和大豆)识别结果的精度指标;田海峰等^[6]利用基于真实地表感兴趣区的混淆矩阵精度评价方法,以生产者精度、用户精度、总体精度 3 个指标,对基于 Radarsat-2 影像的复杂种植结构下旱地作物识别的精度进行评价;苏伟等^[7]选取总体分类精度、Kappa 系数、总错分误差和总漏分误差作为综合评价指标,对基于决策树和混合像元分解的玉米种植面积进行精度评价。此外,为了满足不同的目的和要求,还有一些其他的精度评价方法。马丽等^[8]从位置精度和面积总量精度两个方面,通过野外测量获取的样本地块玉米百分比及统计数据对 TM 数据提取的玉米种植面积结果进行评价;许青云等^[9]采用 TM 250 m 分辨率的土地利用覆盖分类数据对 NDVI 时序分类的 2010 年数据进行空间精度分析,在定量方面的精度分析依据《陕西统计年鉴》中的主要农作物播种面积数据与分类数据进行比较,计算分类面积与统计面积的一致性;秦元伟等^[10]在基于中高分辨率卫星遥感数据的县域冬小麦估产中,采用提取面积与统计面积的比值作为提取精度,采用分类结果叠加的方法将冬小麦种植面积提取结果与水浇地分布图进行复合分析判别空间精度。

上述方法主要是基于像元的正确分类与否进行评价,然后基于评价结果调整分类方法或更换高分辨率遥感影像,以提高分类精度。而在农作物分类中,从景观尺度上基于研究区的作物种植格局对分类精度影响进行的研究还比较少。本文以河北省曲周县为实验区,采用 GF-1 遥感数据,以基于时序植被指数的农作物遥感分类结果为基础,分别对研究区内主要农作物的分类精度与种植成数、田块形状和破碎度的关系进行研究。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

研究区为河北省曲周县,位于河北省南部,地处黄淮海平原腹地,辖 5 镇 5 乡(曲周镇、河南疃镇、第四疃镇、槐桥乡、南里岳乡、白寨乡、大河道乡、安寨镇、侯村镇、依庄乡),地处 114°50'30" ~ 115°13'30"E, 36°34'45" ~ 36°57'57"N,曲周县地理位置与行政区划如图 1 所示。曲周县属于华北暖温带半湿润大陆性季风气候区,多年平均气温 13.1℃;无霜期平均 201 d;大于等于 10℃积温 4 472℃;多年平均降水量 556.2 mm;地势由西南向东北倾斜。农作物耕作制度以小麦-玉米为主,棉花或谷子仅种植一季。境内的河流有支漳河、滏阳河、老沙河,属海河流域子牙河和黑龙港水系;以县城为界,分为南北两个单元,南部以漳河冲积物为主,北部以沙河冲积物为主。主要土壤类型为潮土、盐土和褐土,其中潮土占总面积的 95.96%。最近几年,种植的主要农作物有冬小麦、夏玉米、春玉米、棉花、谷子等。

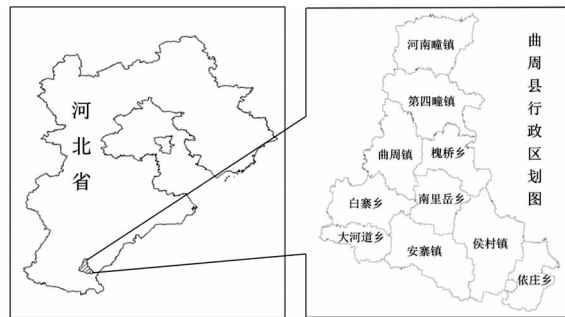


图 1 曲周县地理位置与行政区划图

Fig. 1 Geographic location and administrative zoning of Quzhou county

1.2 数据与研究方法

1.2.1 GF-1/WFV 影像采集与预处理

根据曲周县主要农作物发育时期及遥感影像质量,选取曲周县 2013 年 10 月 26 日—2014 年 10 月 24 日的 GF-1 卫星 14 景 WFV 影像(表 1),GF-1/WFV 影像数据空间分辨率为 16 m,影像通过中国资源卫星中心网站检索获取。

对 GF-1 影像的预处理主要包括辐射定标、大气校正、几何校正。辐射定标是将影像的 DN 值转换为大气顶归一化光谱反射率,大气校正则采用 FLASSH 模型,影像进行正射校正后,以 2014 年 9 月 4 日 Landsat8 OLI 影像(将 8 波段 30 m 的多光谱数据和 15 m 的全色数据进行融合后的数据)作为参考影像进行几何精校正。在大气校正、几何校正的基础上,计算每景影像的归一化植被指数(NDVI),即

表1 曲周县 GF-1 卫星 WFV 影像清单

Tab.1 List of GF-1 images of Quzhou county

序号	成像传感器与轨道圈号	获取时间
1	WFV3-151490	2013-10-26
2	WFV3-160489	2013-11-15
3	WFV1-181654	2013-12-09
4	WFV3-269036	2014-01-03
5	WFV4-271942	2014-03-30
6	WFV4-280162	2014-04-07
7	WFV1-287313	2014-04-14
8	WFV3-332164	2014-05-26
9	WFV2-348046	2014-06-07
10	WFV1-406428	2014-07-26
11	WFV3-439135	2014-08-20
12	WFV2-452195	2014-08-28
13	WFV4-563722	2014-10-17
14	WFV1-581168	2014-10-24

$$V_{NDVI} = \frac{B_{NIR} - B_R}{B_{NIR} + B_R} \quad (1)$$

式中 B_{NIR} ——近红外波段(第4波段)的地表反射率
 B_R ——红光波段(第3波段)的地表反射率

1.2.2 基于时序植被指数的作物遥感分类

作物的物候期分析、遥感影像的时相选取以及阈值区间的设置是基于时序植被指数进行作物遥感分类的关键。农作物的物候期是农作物达到关键生育期所对应的日期^[11],不同作物的物候期不同导致反映农作物生长的 NDVI 时间曲线形态不同,并按一定规律变化^[12],多时相 NDVI 数据的时间变化曲线能够充分表现同一作物在不同生育期及不同作物在同一生育期的差异,分析其 NDVI 曲线变化特征及趋势,可以确定农作物类型^[13-14]。

冬小麦、夏玉米、春玉米、棉花、谷子5种作物作为曲周县主要农作物,是本文的分类对象。进行农作物分类前,根据国家基础地理信息中心牵头制作的全球30m地表覆盖数据(GlobeLand30),获取研究区耕地分布信息并进行掩膜处理,得到研究区的耕地分布。经过掩膜处理,可以避免城镇、村庄内部绿地等与作物具有类似光谱特征地物的影响^[15]。

为了向当地农民和生产单位咨询了解研究区的种植制度和物候时期信息,同时获取主要作物样本点信息,进行了一次外业调查。结合文献[16]中的曲周县作物类型空间分布图和1:50000曲周县土地利用现状图(由曲周县国土资源局和中国农业大学共同制作),本文选取14个具有典型作物种植区且在全县内分布位置较为均匀的村作为样方区,样方区内的各作物GPS分类样本点(表2)坐标获取使用的仪器为北京合众思壮科技股份有限公司出品的集思宝UG903。在ArcGIS 10.0软件支持下,结

合地面调查,将GPS定位的样本点经纬度数据和属性数据转换成shp格式的文件,基于14景GF-1卫星WFV影像NDVI时间序列,通过样本点读取NDVI数据,提取5种作物的标准NDVI变化,使用最大值、最小值、峰值数量、峰值出现时间和关键期阈值方面的统计特征,建立分类知识规则,完成作物分类并制作空间分布图。

表2 作物样本点数量

Tab.2 Number of crop sampling points

作物	冬小麦-夏玉米	棉花	春玉米	谷子
样本点数量	268	124	156	36

1.2.3 遥感分类精度的影响因素

将分类结果与实地调查的农作物类型分布进行比较分析,并结合已有研究,可知农作物种植成数、田块破碎度和各类作物田块的形状指数均对农作物遥感分类结果的精度具有显著影响^[17-21]。农作物种植成数是某一种作物种植面积占总种植面积的百分比^[22];田块破碎度(即集聚程度)计算公式^[23]为

$$P_s = \frac{\sum C_i}{4 \sum S_i} \quad (2)$$

式中 P_s ——每个样方研究区内某类作物的田块破碎度

$\sum C_i$ ——每个样方内某类作物种植范围的总周长

$\sum S_i$ ——每个样方内某类作物种植范围的总面积

周长与面积的数据可以利用ArcGIS 10.0软件中的像元统计功能得到。

田块形状指数^[24]是通过式(3)计算某一田块形状与相同面积的圆或正方形之间的偏离程度来测量田块形状复杂程度,田块形状指数能够反映整体作物种植区的形状复杂程度^[25],田块形状指数越接近1,整体作物种植区形状越简单,田块形状指数越大则越复杂。运用FRAFSTATS 3.4景观指数计算软件^[26]可以得到景观形状指数(Landscape shape index)作为田块形状指数,即

$$L_{SI} = \frac{0.25E}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

式中 E ——某类作物所有田块边界的总长度

A ——某类作物的种植面积

总体技术路线如图2所示。

2 结果与分析

2.1 分类结果

由分类结果可知,冬小麦-夏玉米种植区分布在

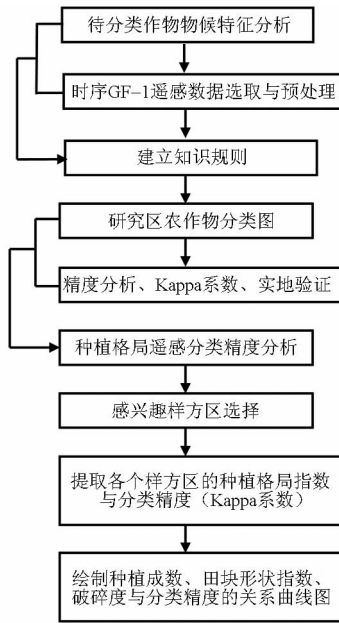


图 2 技术路线图

Fig. 2 Technology roadmap

曲周县大部分地区；棉花的空间分布则主要集中在东南部的依庄乡以及侯村镇的部分区域，这也是传统的棉花种植区；春玉米在全县区域内均有分布，谷子主要四散分布于村庄的周边。总体分类精度为 89.230 8%，Kappa 系数为 0.865 4，由表 3^[27]可知作物分类的一致性达到高度一致；同时通过面积估算精度

作为比较农作物面积提取精度的指标^[28]，冬小麦和夏玉米的面积估算精度均超过 98%。本文提取的冬小麦-夏玉米种植区如图 3a 所示，在曲周县分布广泛，区域分布较为均匀，田块面积较大；根据实地调查结果，其空间位置合理、准确，也具有较好的面积估算精度（表 4），适合作为研究对象进行后续研究。

面积估算精度 K_i 为

$$K_i = \frac{|A_i - A_0|}{A_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中 A_0 ——某类农作物的统计面积

A_i ——某类农作物的分类面积

表 3 Kappa 系数和分类一致性对应关系

Tab. 3 Kappa coefficient and classification of consistency

Kappa 系数	0 ~ 0.40 (不含 0.40)	0.40 ~ 0.80 (不含 0.80)	0.80 ~ 1
分类一致性	一致性差	中度一致	高度一致

2.2 农作物种植格局对遥感分类精度的影响

选取曲周县 14 个具有冬小麦-夏玉米田块的典型村作为样方区，根据曲周县国土资源局和中国农业大学共同制作的 1: 50 000 曲周县土地利用现状图，得到 14 个典型村的土地利用权属界线图；然后利用冬小麦-夏玉米空间分布图（图 3a）与土地利用

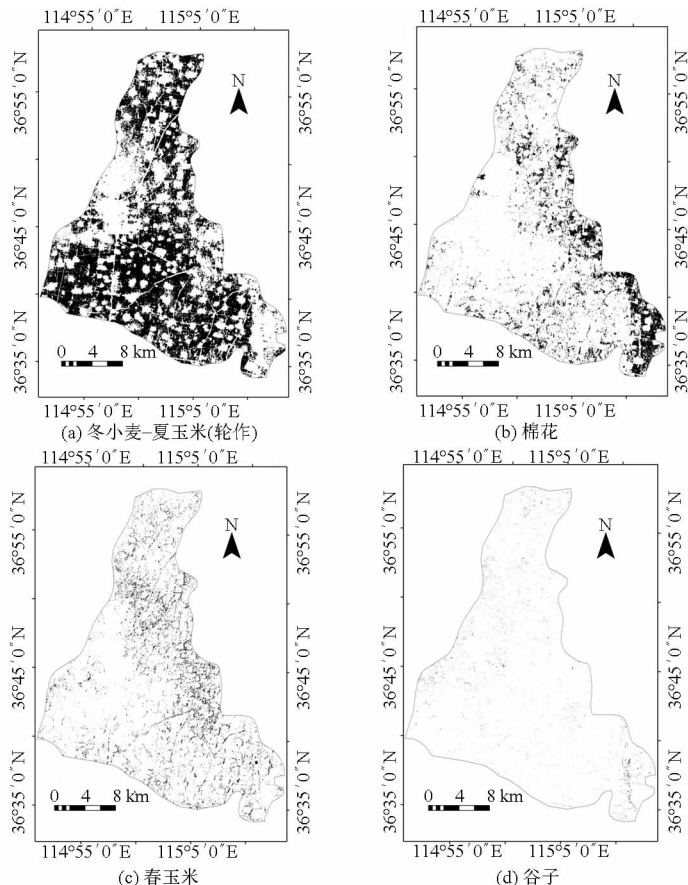


图 3 曲周县主要作物类型空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of main crops in Quzhou county

表4 冬小麦、夏玉米面积估算精度分析
Tab.4 Precision analysis of winter wheat and summer maize acreage

指标	冬小麦	夏玉米
分类面积/hm ²	27 577. 216	27 577. 216
统计面积/hm ²	28 000. 00	27 866. 67
面积估算精度/%	98. 49	98. 96

调查图片中的土地利用权属界线图,进行图像掩膜,得到各个典型村区域内的冬小麦-夏玉米田块和作物验证样本点。基于此,得到14个村的冬小麦-夏玉米的种植成数与田块形状指数、田块破碎度,并计算分类精度——Kappa系数,获取14组样方区的相关数据,制作各影响因素与分类精度的关系曲线(图4~6)。

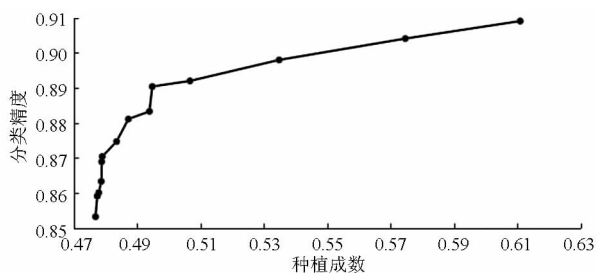


图4 分类精度随作物种植成数的变化关系曲线

Fig.4 Relationship curve of crop acreage proportion and accuracy of crop classification

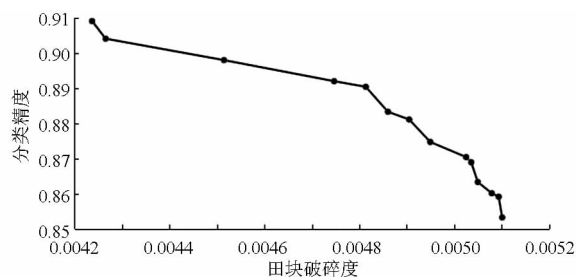


图5 分类精度随田块破碎度的变化关系曲线

Fig.5 Relationship curve of crop field fragmentation and accuracy of crop classification

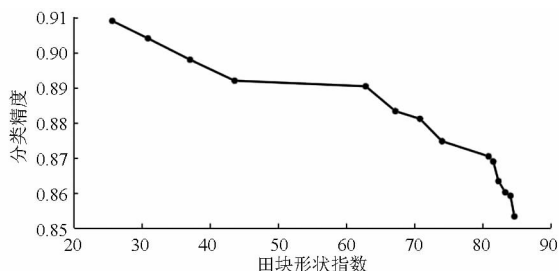


图6 分类精度随田块形状指数的变化关系曲线

Fig.6 Relationship curve of crop field shape index and accuracy of crop classification

不同样方区各作物面积所占百分比不同会对面积估算精度产生影响,由图4可知,随着种植成数的升高,分类精度逐渐提高,所以作物成数相差较大

时,分类精度会受到显著影响;因此同一研究区内,大宗作物和小宗作物的分类精度是有明显差距的。

由图5、图6可知:田块破碎度越大,离散小田块越多,分类精度越小;田块破碎度反映了田块在空间上被分割的破碎程度,从农作物种植格局上说,样方区中的冬小麦-夏玉米田块由离散小田块到连片大田块,分类精度逐步提高,田块破碎度对分类精度影响明显。田块形状指数代表了田块与等面积圆形的相差程度,其值越大,则田块的形状与圆形相差越大,形状越不规则^[29]。随着样方区的变化,当冬小麦-夏玉米田块的田块形状指数呈上升趋势时,分类精度随之下降;由此可知,田块形状指数越大,田块越趋于狭长,分类误差越大。由于曲周县东南部主要为棉花种植区,同时曲周县城周围存在大棚、苗木基地等非耕地,所以样方区位于这些区域时,农作物种植格局的指数差异变化较大,分类精度的变化也较为明显。

因此,在农作物遥感分类中,作物的田块破碎度和田块形状指数会对分类精度产生影响,参与分类的作物在研究区的空间分布与聚集度也会造成一定程度的影响。所以进行某研究区的作物分类时,在提高作物分类精度的过程中,需要注意作物田块破碎度、田块形状指数与作物空间分布对作物分类精度的限制。

2.3 讨论

利用GF-1影像基于时序植被指数的研究区作物分类结果精度较高,可以作为研究区作物分布和提取面积的准真值。本文设计的农作物种植格局因素选取了种植成数、田块破碎度、田块形状指数3个因素;研究结果可以为特定研究区和数据源条件下,农作物种植格局对面积估算精度的影响等问题,提供一定的理论基础。本文首先以16 m分辨率GF-1影像分类得到的曲周县冬小麦-夏玉米种植区为研究对象,研究了农作物种植成数与遥感分类精度的关系;从田块破碎度、田块形状指数2个角度,对以Kappa系数为指标的夏玉米-冬小麦(轮作)田块的分类精度变化趋势进行了分析。研究表明,针对不同的农作物种植格局,研究各因素与农作物种植面积估算精度的关系是十分必要的。

3 结论

(1)基于时序植被指数采用GF-1数据源对曲周县农作物进行分类,冬小麦、夏玉米的种植成数较大,均超过48%,面积估算误差不足2%;可知大宗作物的遥感分类精度相对较高,随着作物种植成数的增加,分类精度呈现提高的趋势,即作物提取面积

的误差逐渐减小。

(2) 采用多级别样方区分析农作物种植格局对作物分类精度影响时, 随着田块破碎度增加, 农作物种植田块越来越破碎, 面积估算误差呈现增大的趋势, 遥感分类精度降低; 随着田块形状指数增加, 作物种植田块逐步趋向狭长分布, 面积提取误差呈增加趋势, 遥感分类精度降低。由于冬小麦-夏玉米种植田块在曲周县东南部的分布零落, 各类指数变化

较小, 当样方区到达该区域后, 面积提取精度出现聚集现象, 这也是遥感分类精度评价中应该注意的问题。

(3) 本文只选取大宗作物冬小麦-夏玉米种植田块作为研究对象, 是为了避免其他因素的影响而单纯地分析农作物种植格局对面积估算误差即分类精度的影响。结果表明, 种植成数与分类精度呈正相关, 田块破碎度、田块形状指数与分类精度呈负相关。

参 考 文 献

- 李鑫川, 徐新刚, 王纪华, 等. 基于时间序列环境卫星影像的作物分类识别[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 169-176.
LI Xinchuan, XU Xin'gang, WANG Jihua, et al. Crop classification recognition based on time-series images from HJ-satellite[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(2): 169-176. (in Chinese)
- 权文婷, 王钊. 冬小麦种植面积遥感提取方法研究[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(4): 8-15.
QUAN W T, WANG Z. Researches on the extraction of winter wheat planting area using remote sensing method[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(4): 8-15. (in Chinese)
- 唐欢, 高娃, 徐丽君, 等. 基于 Landsat TM 影像的半干旱牧区天然打草场面积的遥感监测[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 160-167.
TANG Huan, GAO Wa, XU Lijun, et al. Monitoring forage harvesting area in semi-arid pasture based on Landsat TM images[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(23): 160-167. (in Chinese)
- 田海峰, 王力, 牛铮, 等. 基于新遥感数据源的县域冬小麦种植面积提取[J]. 中国农学通报, 2015, 31(5): 220-227.
TIAN Haifeng, WANG Li, NIU Zheng, et al. Winter wheat planting area extraction based on new remote sensing data at country level[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(5): 220-227. (in Chinese)
- 张焕雪, 曹新, 李强子, 等. 基于多时相环境卫星 NDVI 时间序列的农作物分类研究[J]. 遥感技术与应用, 2015, 30(2): 304-311.
ZHANG Huanxue, CAO Xin, LI Qiangzi, et al. Research on crop identification using multi-temporal NDVI HJ images[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2015, 30(2): 304-311. (in Chinese)
- 田海峰, 邬明权, 牛铮, 等. 基于 Radarsat-2 影像的复杂种植结构下旱地作物识别[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 154-159.
TIAN Haifeng, WU Mingquan, NIU Zheng, et al. Dryland crops recognition under complex planting structure based on Radarsat-2 images[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(23): 154-159. (in Chinese)
- 苏伟, 姜方方, 朱德海, 等. 基于决策树和混合像元分解的玉米种植面积提取方法[J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 289-295, 301.
SU Wei, JIANG Fangfang, ZHU Dehai, et al. Extraction of maize planting area based on multi-temporal remote sensing data in northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 289-295, 301. (in Chinese)
- 马丽, 顾晓鹤, 徐新刚, 等. 地块数据支持下的玉米种植面积遥感测量方法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 147-151.
MA Li, GU Xiaohu, XU Xin'gang, et al. Remote sensing measurement of corn planting area based on field-data[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 147-151. (in Chinese)
- 许青云, 杨贵军, 龙慧灵, 等. 基于 MODIS NDVI 多年时序数据的农作物种植识别[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 134-144.
XU Qingyun, YANG Guijun, LONG Huiling, et al. Crop information identification based on MODIS NDVI time-series data[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(11): 134-144. (in Chinese)
- 秦元伟, 赵庚星, 姜曙千, 等. 基于中高分辨率卫星遥感数据的县域冬小麦估产[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 118-123.
QIN Yuanwei, ZHAO Gengxing, JIANG Shuqian, et al. Winter wheat yield estimation based on high and moderate resolution remote sensing data at county level[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 118-123. (in Chinese)
- 鹿琳琳, 郭华东. 基于 SPOT/VEGETATION 时间序列的冬小麦物候提取方法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 174-179.
LU Linlin, GUO Huadong. Extraction method of winter wheat phenology from time series of SPOT/VEGETATION data[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(6): 174-179. (in Chinese)
- 杨小唤, 张香平, 江东. 基于 MODIS 时序 NDVI 特征值提取多作物播种面积的方法[J]. 资源科学, 2004, 26(6): 17-22.
YANG Xiaohuan, ZHANG Xiangping, JIANG Dong. Extraction of multi-crop planting areas from MODIS data[J]. Resources Science, 2004, 26(6): 17-22. (in Chinese)
- 陈晓苗. 基于 MODIS-NDVI 的河北省主要农作物空间分布研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2010.
CHEN Xiaomiao. A study of the spatial distribution of major crops in Hebei Province based on MODIS-NDVI [D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2010. (in Chinese)

- 14 黄青, 李丹丹, 陈仲新, 等. 基于 MODIS 数据的冬小麦种植面积快速提取与长势监测[J]. 农业机械学报, 2012, 43(7): 163-167.
HUANG Qing, LI Dandan, CHEN Zhongxin, et al. Monitoring of planting area and growth condition of winter wheat in China based on MODIS data[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(7): 163-167. (in Chinese)
- 15 陈燕丽, 莫伟华, 莫建飞, 等. 基于面向对象分类的南方水稻种植面积提取方法[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 163-168.
CHEN Yanli, MO Weihua, MO Jianfei, et al. Object oriented classification for the extraction of rice planting area in South[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(2): 163-168. (in Chinese)
- 16 张荣群, 王盛安, 高万林, 等. 基于时序植被指数的县域作物遥感分类方法研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(增刊): 246-252.
ZHANG Rongqun, WANG Sheng'an, GAO Wanlin, et al. Remote-sensing classification method of county-level agricultural crops using time-series NDVI[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(Supp.): 246-252. (in Chinese)
- 17 何浩, 朱秀芳, 潘耀忠, 等. 尺度变化对冬小麦种植面积遥感测量区域精度影像的研究[J]. 遥感学报, 2008, 12(1): 167-175.
HE Hao, ZHU Xiufang, PAN Yaozhong, et al. Study on scale issues in measurement of winter wheat plant area by remote sensing [J]. Journal of Remote Sensing, 2008, 12(1): 167-175. (in Chinese)
- 18 朱秀芳, 潘耀忠, 张锦水, 等. 训练样本对 TM 尺度小麦种植面积测量精度影响研究(I): 训练样本与分类方法间分类精度响应关系研究[J]. 遥感学报, 2007, 11(6): 826-837.
ZHU Xiufang, PAN Yaozhong, ZHANG Jinshui, et al. The effects of training samples on the wheat planting area measure accuracy in TM scale(I): the accuracy response of different classifiers to training samples[J]. Journal of Remote Sensing, 2007, 11(6): 826-837. (in Chinese)
- 19 李强子, 吴炳方. 作物种植成数的遥感监测精度评价[J]. 遥感学报, 2004, 8(6): 581-587.
LI Qiangzi, WU Bingfang. Accuracy assessment of planted area proportion using Landsat TM imagery[J]. Journal of Remote Sensing, 2004, 8(6): 581-587. (in Chinese)
- 20 张焕雪, 李强子. 空间分辨率对作物识别及种植面积估算的影响研究[J]. 遥感信息, 2014, 29(2): 36-40, 48.
ZHANG Huanxue, LI Qiangzi. Effects of spatial resolution on crop identification and acreage estimation[J]. Remote Sensing Information, 2014, 29(2): 36-40, 48. (in Chinese)
- 21 张焕雪, 李强子, 文宁, 等. 农作物种植面积遥感估算的影响因素研究[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(4): 54-61.
ZHANG H X, LI Q Z, WEN N, et al. Important factors affecting crop acreage estimation based on remote sensing image classification technique[J]. Remote Sensing for Land and Resource, 2015, 27(4): 54-61. (in Chinese)
- 22 李强子, 吴炳方, 许文波. 农作物分类成数的精度检验[J]. 遥感学报, 2004, 8(6): 588-592.
LI Qiangzi, WU Bingfang, XU Wenbo. Accuracy assessment of crop type proportion using GVG instrument on transect line[J]. Journal of Remote Sensing, 2004, 8(6): 588-592. (in Chinese)
- 23 胡潭高, 张锦水, 潘耀忠, 等. 景观破碎度在冬小麦面积抽样设计中的应用研究[J]. 遥感学报, 2010, 14(6): 1127-1138.
HU T G, ZHANG J S, PAN Y Z, et al. Application of landscape fragmentation in winter wheat area sampling design[J]. Journal of Remoting Sensing, 14(6): 1127-1138. (in Chinese)
- 24 尹锴, 赵千钧, 文美平, 等. 海岛型城市森林景观格局效应及其生态系统服务评估[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(2): 128-133.
YIN Kai, ZHAO Qianjun, WEN Meiping, et al. Assessment of landscape pattern effect and ecosystem services of island urban forest[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2014, 26(2): 128-133. (in Chinese)
- 25 毕如田, 高艳. 典型地貌景观指数的多尺度效应分析——以山西省运城市为例[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(3): 338-343.
BI Rutian, GAO Yan. Analysis of multi-scale effect of landscape indices of classical landforms in Yuncheng City, Shanxi Province [J]. Journal of Geo-information Science, 2012, 14(3): 338-343. (in Chinese)
- 26 MCGARIGAL K, CUSHMAN S A. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects [J]. Ecological Applications, 2002, 12(2): 335-345.
- 27 张荣群, 宋乃平, 王秀妮, 等. 盐渍土时空变化信息的图谱可视化分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 230-235.
ZHANG Rongqun, SONG Naiping, WANG Xiuni, et al. Visual analysis of saline soil spatio-temporal variation using Geo-information TuPu[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(9): 230-235. (in Chinese)
- 28 赵庚星, 田文新, 张银辉, 等. 垦利县冬小麦面积的卫星遥感与分布动态监测技术[J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 135-139.
ZHAO Gengxing, TIAN Wenxin, ZHANG Yinwei, et al. Satellite remote sensing monitoring techniques on winter wheat planting area dynamic changes and distribution at Kenli County[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(4): 135-139. (in Chinese)
- 29 张正峰, 杨红, 谷晓坤. 土地整治对平原区及丘陵区田块利用的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 1-8.
ZHANG Zhengfeng, YANG Hong, GU Xiaokun. Effects of land consolidation in plains and hills on plots use[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(3): 1-8. (in Chinese)