doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.S0.040

基于时序植被指数的县域作物遥感分类方法研究*

张荣群¹ 王盛安¹ 高万林¹ 孙玮健¹ 王建仑¹ 牛灵安² (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)

摘要:准确地获取农作物种植面积信息是农业管理部门及时掌握农作物生产信息的基础。基于时序植被指数的作物遥感分类方法,可以充分发挥遥感技术周期短、速度快和宏观性强的特点,克服单时相遥感数据的"同物异谱"和 "异物同谱"导致的混分问题。以河北省曲周县作物遥感分类为例,在研究待分类作物的最佳 NDVI 阈值区间的基础上,探讨了基于时序植被指数的农作物分类知识规则建立方法。分类结果显示研究区 2014 年各类作物的种植 面积分别为:冬小麦 27 776.61 hm²、夏玉米 27 776.61 hm²、春玉米 2 582.73 hm²、棉花 6 485.94 hm²、谷子 277.65 hm²。用总体分类精度、Kappa 系数和统计数据对分类精度进行了验证,总体分类精度为 89.166 7%,Kappa 系数为 0.857 4,与统计数据的相对误差分别为冬小麦 - 0.80%、夏玉米 - 0.32%、春玉米 - 3.15%、棉花 - 2.71%、 谷子 4.12%。研究结果表明该方法可为县域农作物种植面积遥感调查提供技术依据。 关键词:农作物 遥感分类 归一化植被指数 时间序列 决策树

中图分类号: S127 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2015)S0-0246-07

Remote-sensing Classification Method of County-level Agricultural Crops Using Time-series NDVI

Zhang Rongqun¹ Wang Sheng'an¹ Gao Wanlin¹ Sun Weijian¹ Wang Jianlun¹ Niu Ling'an²
(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)

Abstract: Getting all kinds of crop planting area information accurately is the Agricultural Information Management Department's main responsibility in order to master the basis of crop production information in an efficient manner. A remote sensing classification method was used based on time-series NDVI that is gathered by using Landsat8 satellite equipped with remote sensing technology. This remote sensing technology possessed a short cycle, performed its analysis in a very speedy manner and used a strong microscope to closely analyze the area it has been assigned to. Based on the analysis of the time-series spectrum character curve, crop type identification and acreage extraction can be effectively achieved. This helped to overcome the confusing agricultural crops classification problem caused by "same object with different spectra" and "foreign body with spectrum" by using a single temporary remote sensing image. In order to accurately ascertain the planting area for the various kinds of crops for providing technical support, the best NDVI threshold range for the crops was studied and the various crop classification rules were explored. The Quzhou County, Hebei Province was taken as the study area, and a distribution map of the study area was made based on this information which was gathered in 2014. Throughout five time phases of Landsat satellite data gathered in 2014, a study on the classification of remote sensing for planting area of winter wheat, summer maize, spring corn, cotton, and millet in the study area was conducted. Classification results can be shown for 2014 with all kinds of crops in the study area, respectively: winter wheat is 27 776. 61 hm², summer corn is 27 776. 61 hm², spring corn is

* 国家自然科学基金资助项目(41271419)

收稿日期: 2015-10-28 修回日期: 2015-11-09

作者简介:张荣群,教授,博士生导师,主要从事农业信息化与 3S 技术综合应用研究, E-mail: zhangrq@ cau. edu. cn

2 582. 73 hm², cotton is 6 485. 94 hm², and millet is 277. 65 hm². Using the Kappa coefficient and statistical data to verify the accuracy of this classification, the result shows that the winter wheat, summer corn, spring corn, cotton and millet can be effectively identified, with an overall classification accuracy of 89. 166 7%, along with a Kappa coefficient of 0.857 4. Compared with the statistical data, the relative margin of error for individual crops is as follows: winter wheat -0.80%, summer corn -0.32%, spring corn -3.15%, cotton -2.71%, millet 4.12%. This paper proves that mass crop planting areas can be precisely obtained from analyzing the time-series data of remote sensing images with a medium spatial resolution. It also proves that this method can provide a technical basis for using remote sensing to investigate crop planting areas at a county level.

Key words: Crops Remote sensing classification

NDVI Time series Decision-trees

引言

华北平原是典型的温带季风气候,夏季普遍高温,雨热同期,水热条件配合得当,使农作物在旺盛的生长期内能够得到充足的热量和水分,不同农作物的物候期常存在交叉,导致不同作物之间有明显的光谱重叠,单时相的遥感影像只能捕捉到农作物某一时刻的电磁波谱特征,会出现异物同谱现象。植物的物候学特征使其在不同生长发育阶段表现出不同的光谱特性,多时相 NDVI 数据能够充分刻画出同一作物在不同生育期阶段的光谱差异,依据农作物生长发育过程的光谱变化特征和时序遥感NDVI 信息,可以为准确提取作物种植面积信息提供技术支持^[1-2]。

国内外学者的研究表明,利用时序遥感影像植 被指数和农作物物候特征进行作物种类识别,是一 种行之有效的方法。Jakubauskas 等^[3]采用谐波算 法对 NOAA/AVHRR-NDVI 时序数据进行研究,得 到作物分类信息。Turner 等^[4]在非洲半干旱地区, 基于3个时相的 SPOT-XS 影像,结合使用非监督分 类与监督分类方法,得到了满足精度要求的水稻作 物分布图。Young 等^[5]和 Running 等^[6]基于植被类 型物候特征的先验知识,利用植被类型 NDVI 的年 变化曲线对植被类型进行分类。Badhwar 等^[7]和 Richards^[8]发现采用多时相数据分类能够获得植被 生物物候学的辅助信息,提高不同农作物间的区分 能力,从而显著提高分类精度。贾建华等^[9]、Conese 等[10]比较了单时相和多时相的分类结果,发现多时 相遥感数据获得的信息能极大改善分类精度。刘佳 等^[11]利用 HJ 时间序列数据针对河北省衡水市主要 作物类型提取农作物全生育期波谱特征曲线,采用 NDVI 阈值的决策分类技术进行了冬小麦、夏玉米、 春玉米、棉花、花生和大豆等主要农作物的种植面积 遥感识别。苗翠翠等^[12]采用 SG 滤波算法对 23 个 时相的 MODIS-NDVI 数据进行时间序列的重构,结 合物候历确定分类规则,采取决策树分类器完成了 2008年江苏省区域水稻面积的提取。 竞 霞 等 [13] 选 用多时相 Landsat TM 数据,结合冬小麦的波谱和时 相信息,利用多时相 NDVI 提取了北京地区的冬小 麦种植信息,监测了北京各郊区县的冬小麦种植结 构调整情况。贾树海等^[14]基于不同农作物类型之 间的物候特征差异,借助3个时期的遥感影像提取 农作物的不同 NDVI 特征值和影像的特征信息,采 用监督分类的方法,对花生的种植面积进行了分类 制图。张健康等^[15]运用多时相的 TM/ETM + 遥感 影像数据和13幅时间序列的 MODIS EVI 数据,通 讨决策树识别模型,对黑龙港地区的主要作物进行 遥感分类。郝卫平等^[16]选用 14 个时相 MODIS NDVI 250 m 16 d 影像和 2005 年 Landsat ETM + 30 m影像,结合地面调查数据,对东北三省 2007 年 主要作物进行了遥感分类制图,获取了东北三省主 要农作物的空间分布格局。

上述文献主要是对不同种类农作物的识别方 法进行研究,而以一个行政区域内的所有大宗农 作物进行系统分类的研究还很少。本文以河北省 曲周县作为研究区域,采用多时相决策树分类 法^[17-18],依据作物样本点的 NDVI 时序曲线物候 特征差异结合物候资料设定分类规则,利用决策 树分类法结合分层掩膜法,对研究区内的冬小麦、 夏玉米、春玉米、棉花等大宗农作物及小宗作物谷 子进行分类研究。

1 数据和方法

1.1 研究区概况

曲周县位于河北省南部、邯郸市东北部, 114°50′22.3″~115°13′27.4″E、36°35′43″~36°57′00″N 之间(图1)。处于海河流域,地势由西南向东北倾 斜,属暖温带半湿润大陆性季风气候区,四季分明, 年平均降水量为556.2 mm,降水主要集中在7— 9月份,年平均气温13.1℃,7月份平均气温为 26.8℃,1月份平均气温为-2.9℃。全县总面积 667 km²,耕地面积4.8万 hm²,约占全县总面积的 71.96%。境内的河流有支漳河、滏阳河和老沙河, 属海河流域子牙河和黑龙港水系;以县城为界,分为 南北2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,主要种植 的农作物有冬小麦、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 Quzhou County location and administrative zoning map

1.2 数据预处理

在实地调查和物候期分析基础上,选取了5个时期的 Landsat8 卫星遥感影像(表1),其中第2幅影像见图2。并以比例尺1:50000 土地利用现状 图和经图像镶嵌、融合处理后的 2015 年 8 月 6 日的 GF1-PM 影像(空间分辨率2 m)作为数据处理 的辅助数据。为保证数据质量,在进行作物分类前,对 Landsat8 OLI 影像进行了辐射校正、大气校 正、几何校正及图像配准等预处理,图像预处理所 有数据的坐标参考系统均使用 WGS_1984_UTM_Zone_50N。

表 1 曲周县 Landsat8 卫星影像清单 Tab.1 List of Landsat8 image of Ouzhou County

		- •
序号	影像传感器与轨道号	获取日期
1	LANDSAT_8-OLI-123-35	2014年4月13日
2	LANDSAT_8-OLI_TIRS-123-35	2014 年 4 月 29 日
3	LANDSAT_8-OLI_TIRS-123-35	2014 年 8 月 19 日
4	LANDSAT_8-OLI_TIRS-123-35	2014 年 9 月 4 日
5	LANDSAT_8-OLI-123-35	2014年10月6日

Landsat8 OLI 影像的辐射校正利用 ENVI 5.2 软件自带的 Radiometric Correction 功能实现,先对 影像进行辐射定标,然后利用 FLAASH 模块对影像 进行大气校正。基于实地调研时利用差分 GPS 获 取的建筑物、道路交叉等明显且分布均匀的控制点 16个,对经过辐射校正、正射校正和研究区裁剪的 2015 年8月6日的 GF1-PM 影像,在 ArcGIS 10.0 软 件中进行配准和几何精校正,然后以此为基准影像 对 5幅 Landsat8 OLI 影像进行几何精校正,误差控 制在1个像元以内。



图 2 2014 年 4 月 29 日曲周县 Landsat8 OLI 影像 Fig. 2 Landsat8 OLI image of Quzhou County on April 29th, 2014

1.3 方法与步骤

研究技术路线如图 3 所示,首先对遥感影像进行预处理,然后结合外业 GPS 定位点,建立样本点, 提取所有参与分类的农作物时序 NDVI 数据,绘制 不同作物的 NDVI 时间序列曲线。利用预处理后的 遥感影像数据,计算每幅影像的归一化植被指数 (NDVI)。通过分析待分类作物 NDVI 曲线图的变 化特征,确定分类知识规则,提取出各类作物并进行 精度评价。NDVI 计算公式为

$$V_{\rm NDVI} = \frac{B_{\rm NIR} - B_{\rm R}}{B_{\rm NIR} + B_{\rm R}} \tag{1}$$

式中 B_{NIR}——近红外波段(第5波段)的地表反 射率

B_R——红光波段(第4波段)的地表反射率



2 结果分析与讨论

2.1 知识规则的建立

2.1.1 主要农作物发育期

曲周县冬小麦一般是10月上旬播种,中旬开 始出苗,11月中旬进入分蘖期,12月上旬分蘖停 长,12月中旬进入越冬期,翌年3月份开始返青起 身,4月份进入拔节期,是冬小麦的生长旺盛期, 6月上旬开始收割,冬小麦生长期约8个月。冬小 麦收获后一般播种夏玉米,冬小麦-夏玉米的种植 模式是华北平原的传统轮作模式。夏玉米早的在 6月上旬开始播种,随着出苗和成长,8月中旬达 到生长鼎盛期,9月中旬夏玉米开始收获,近4个 月的生长季经历了出苗、三叶、七叶、拔节、抽雄、 吐丝、乳熟、成熟等发育时期。春玉米是曲周县近 几年开始较多种植的作物类型,每年播种一季,苗 期生长缓慢,一般是在3月中旬开始播种并覆盖地 膜,播种约10d左右开始出苗,4月份下旬进入拔 节期,5月份处于抽雄、吐丝时期,长势较盛,6月 中旬开始乳熟,7月中旬成熟收获。棉花仅种植一 季,一般在4月中旬、下旬开始播种,5月上旬开始 出苗,6月份现蕾,7月份开花,8月中旬开始吐絮, 9月中旬开始陆续收获,直到10月下旬,有的甚至 到11月上旬才停止生长,生长季达到6个月。谷 子每年一般仅种植一季,播种主要集中在5月中 旬,6月下旬—7月中旬为拔节期,7月下旬进入抽 穗期,9月上旬收获(表2)。

Tab. 2 Major crop development periods								
发了	育期	冬小麦	夏玉米	春玉米	棉花	谷子		
10 月	上旬		成熟					
	中旬	播种						
	下旬	出苗			停长			
11 月	上旬							
	中旬	分蘖						
	下旬							
12 月	上旬							
	中旬	越冬						
	下旬							
1月	上旬							
	中旬							
	下旬							
2 月	上旬							
	中旬							
	下旬	返青						
	上旬							
3 月	中旬	起身		播种				
	下旬			出苗				
	上旬	拔节						
4 月	中旬							
	下旬	抽穗		拔节	播种			
5 月	上旬	开花		抽雄	出苗			
	中旬	乳熟				播种		
	下旬			吐丝		出苗		
6月	上旬	成熟			现蕾			
	中旬		播种	乳熟				
	下旬		出苗			拔节		
7月	上旬				开花			
	中旬		拔节	成熟				
	下旬					抽穗		
8月	上旬		抽雄					
	中旬		吐丝					
	下旬							

表 2 主要农作物发育期

2.1.2 作物光谱特征曲线的建立

上旬

中旬

下旬

9月

作物光谱特征曲线通过 GPS 外业定位调查获 取,在 ArcGIS 10.0 软件支持下,将 GPS 定位点的 样地经纬度数据和属性数据转换成 shp 文件,在遥 感图像上进行地面样点定位,读取地面样点的遥 感监测信息。在预处理后的遥感数据基础上,按 照式(1)提取归一化植被指数 NDVI,并根据样本 点的时序 NDVI,绘制不同作物类型的 NDVI 曲线 (图 4)。

乳熟

成熟

吐絮

2.2 NDVI 阈值的设置

在分类过程中,首先利用 NDVI 阈值的设定,提 取植被区域。由图 4 可知 4 月 29 日抽穗期冬小麦



图 4 曲周县主要作物 NDVI 变化特征 Fig. 4 NDVI changing characteristics of major crops in Quzhou County

与拔节期春玉米的 NDVI 差异较大,利用该时期的 遥感影像 NDVI 分布图,可以将冬小麦和春玉米的 空间分布区别开来;8 月 19 日,谷子的 NDVI 与棉 花、夏玉米的 NDVI 差异最大,利用该时期的遥感影 像 NDVI,可将谷子从谷子、棉花和夏玉米 NDVI 分 布图中提取出来;9 月 4 日夏玉米与棉花的 NDVI 差 异最大,利用该时期的遥感影像 NDVI,可以从棉花 和夏玉米 NDVI 图中将 2 种作物区别开来。利用 9 月 4 日遥感影像提取的夏玉米分布图与 4 月 29 日 遥感影像提取的小麦分布图叠加对比发现,夏玉米 和冬小麦的分布一致,这与实地调查的情况相符,即 该地区粮食作物复种制度为冬小麦-夏玉米轮作 制度。

为了知识规则的可读性好,用 NDVI_{xy}表示不同时相影像的 NDVI,其中 x 取值范围为 1~12,表示 月份;y 取值范围为 1~3,表示上旬、中旬、下旬;如 NDVI₈₂表示 8 月中旬 NDVI。最终各种作物识别的 NDVI 阈值为:

(1)满足以下条件的像元为非植被:NDVI₈₂ ≤
 0.67,NDVI₉₁ ≤ 0.62。

(2)满足以下条件的像元为冬小麦-夏玉米:
 NDVI₄₂ > 0.5, NDVI₈₂ > 0.67, NDVI₉₁ > 0.7。

(3)满足以下条件的像元为春玉米:0.455 <
 NDVI₄₂ ≤ 0.5, NDVI₄₃ > 0.47, NDVI₈₂ > 0.67, 0.62 ≤
 NDVI₉₁ < 0.7。

(4)满足以下条件的像元为棉花: NDVI₄₂ ≤
0.5, NDVI₄₃ < 0.2, NDVI₈₂ > 0.76, 0.65 < NDVI₉₁ ≤
0.7。

(5)满足以下条件的像元为谷子: NDVI₄₂ ≤
0.455,0.2 ≤ NDVI₄₃ ≤ 0.47,0.67 < NDVI₈₂ < 0.7,
0.62 < NDVI₉₁ ≤ 0.65, NDVI₁₀₁ > 0.47。

- 2.3 分类结果与精度验证
- 2.3.1 分类结果

利用多时相遥感数据提取的NDVI数据集和每

种农作物识别的最佳阈值范围,采用决策树分类方法 实现了曲周县农作物种植面积的信息提取,获得了 2014年曲周县5种农作物的分布面积和空间分布 格局(图5)。5种农作物的种植面积分别为冬小麦 27776.61 hm²、夏玉米27 776.61 hm²、春玉米 2582.73 hm²、棉花6485.94 hm²、谷子277.65 hm²。 从图5可以发现,冬小麦-夏玉米轮作制度分布在曲 周县大部分地区;棉花则主要集中在东南部的依庄 乡,是曲周县传统的棉花种植区;春玉米全县均有分 布,在县城周围相对集中,是曲周县蔬菜、树苗等经 济作物发展较好的区域,种植春玉米省工省时,便于 年度间作物调整;谷子分布也比较均匀,主要分布于 村庄的周边,用于农民自给自足。



图 5 曲周县 2014 年作物类型空间分布图 Fig. 5 Spatial distribution of crops in Quzhou County in 2014

2.3.2 精度验证

采用被正确分类的像元总数除以总像元数的总体分类精度^[19]、Kappa 系数^[20]以及与统计数据比较^[13,21-23]3种方法对分类结果进行了精度验证。总体分类精度和 Kappa 系数分别为 89.166 7%、0.8574。依据 Kappa 系数在 0.80~1 之间为分类高度一致、0.40~0.80(不含 0.80)之间为中度一致、0~0.40(不含 0.40)之间一致性差的遥感影像分类精度判别原则^[24-25],本文 5种农作物的遥感分类精度都达到了高度一致。与统计数据比较,作物面积分类误差百分率分别为 -0.80%、-0.32%、-3.15%、-2.71%、4.12%(表 3)。冬小麦、夏玉米、棉花等作物种植面积较大,地块连片分布,面积估算精度较高;而谷子、春玉米等种植规模较小,分

布零散,对分类结果造成一定影响。

表 3 主要作物面积提取精度分析

Tab. 3 Precision analysis of main crop planting areas

指标	冬小麦	夏玉米	春玉米	棉花	谷子
分类面积/hm ²	27 776.61	27 776.61	2 582.73	6 485.94	277.65
统计面积/hm ²	28 000.00	27 866.67	2 666.67	6 666.67	266.67
误差/%	- 0. 80	- 0. 32	- 3. 15	- 2. 71	4.12

2.4 讨论

中高分辨率遥感影像是农作物分类中最主要的 数据源,对于多时相影像,由于时间变化引起的光谱 及空间特征的变化也是非常有用的信息。在农作 物分类过程中,单时相图像无论其具有多少波段, 都较难区分同期播种生长的作物类型,利用多时 相遥感信息,考虑农作物在不同生长发育阶段的 光谱差异性原理,发现农作物归一化植被指数在 不同物候期存在较大差别。因此通过作物生长期 选择最佳时相的遥感数据,然后利用时序植被指 数进行作物分类,可以有效减小异物同谱现象的 干扰,具有实用性。将分类结果与实地调研得到 的作物分布类型和作物面积统计数据比较分析可 以发现,各类农作物的面积比例、种植破碎度对作 物遥感识别精度具有显著影响,这需要今后进一 步深入研究。

3 结论

(1)由于不同农作物类型之间的物候特征存 在差异,利用多时相遥感影像提供的植被物候信息,结合不同农作物在发育过程中的季节性光谱 差异进行作物识别,降低了"异物同谱"现象的干扰,采用多时序植被指数相对于单时相分类会使 分类精度获得较大提高。对于基于时序植被指数 的农作物分类方法,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该项工作的关 键。根据作物物候期,扩大目标作物与其他地物 的差异,最大程度降低提取困难。利用时间序列 数据和多光谱数据的结合,提高对光谱维和时间 维的作物特征识别的效果。

(2)通过时序植被指数进行作物提取主要是针 对作物物候特征差异进行的,在提取作物种植面积时 以阈值法按照一定阈值范围和知识规则设计决策树, 能有效提取大宗作物,对小宗作物分类也有一定的 分析提取能力。总体分类精度分别为 89.166 7%, Kappa 系数为 0.857 4。总体上讲,作物分类的总体精 度较高,技术上具有可行性。根据分类结果,曲周县冬 小麦面积为 27 776.61 hm²、夏玉米为 27 776.61 hm²、春 玉米面积为 2 582.73 hm²、棉花为 6 485.94 hm²、谷 子为 277.65 hm²,与统计数据的相对误差分别为 -0.80%、-0.32%、-3.15%、-2.71%、4.12%, 分类精度较高。由作物面积精度分析可以发现,作 物提取面积的误差与作物种植规模和统计面积呈正 相关,可知当作物种植规模较小且作物地块较为零 散时,作物提取的误差相对较大。

(3) 基于 Landsat8 卫星采用时序植被指数进行 县域作物分类,还有一些需要改进的地方。由于一 些地块的农作物类型的种植面积不足 900 m²,小于 Landsat8 的最小像元面积,因此会与周边地物形成 混合像元,混合像元会产生分类结果的不确定性问 题。结合各类作物面积提取精度分析结果,冬小麦、 夏玉米、棉花等作物种植面积较大,地块连片分布、 较为规整,面积提取精度较高;而谷子、春玉米等种 植规模较小,分布零散,甚至有很多破碎、狭长地块, 面积提取精度相比较小。由此可知农作物的种植成 数(即面积比例)和地块的形状指数等对分类精度 影响明显,随着种植面积的增加,地块越趋于齐整, 作物的面积提取精度越高。因此,在农作物种植面 积遥感估算和误差分析的研究中,注意农作物种植 地块特征等对分类精度的影响是十分必要的,也是 下一步需要深入研究的内容。

参考文献

- 马丽,徐新刚,刘良云,等. 基于多时相 NDVI 及特征波段的作物分类研究[J]. 遥感技术与应用,2008,23(5):520-524.
 Ma Li, Xu Xingang, Liu Liangyun, et al. Study on crops classification based on multi-temporal NDVI and characteristic bands
 [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(5): 520-524. (in Chinese)
- 2 Murthy C S, Raju P V, Badrinath K V S. Classification of wheat crop with multi-temporal images performance of maximum likelihood and artificial neural networks[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(23): 4871-4890.
- 3 Jakubauskas M E, Legates D R, Kastens J H. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data[J]. Computers and Electronic in Agriculture, 2002, 37(1-3): 127-139.
- 4 Turner M D, Congalton R G. Classification of multi-temporal SPOT-XS satellite data for mapping rice fields on a west African floodplain[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(1): 21-41.
- 5 Young S S, Wang C Y, Land-cover change analysis of China using global-scale pathfinder AVHRR land cover(PAL) data, 1982 1992[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(8): 1457 – 1477.
- 6 Running S W, Loveland T R, Pierce L L, et al. A remote sensing based vegetation classification logic for global land cover analysis

[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 51(1): 39-48.

- 7 Badhwar G D. Classification of corn and soybeans using multi-temporal thematic mapper data [J]. Remote Sensing of Environment, 1984, 16(2): 175 - 182.
- 8 Richards J A. Thematic mapping from multi-temporal image data using the principal components transformation [J]. Remote Sensing of Environment, 1984, 16(1): 35-46.
- 9 贾建华,刘良云,竞霞,等. 基于多时相 MODIS 监测冬小麦的种植面积[J]. 遥感信息,2005(6):49-51. Jia Jianhua, Liu Liangyun, Jing Xia, et al. Monitoring planting area of winter wheat based on multi-temporal MODIS images[J]. Remote Sensing Information, 2005(6):49-51.(in Chinese)
- 10 Conese C, Maselli F. Use of multitemporal information to improve classification performance of TM scenes in complex terrain [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1991,46: 187-197.
- 11 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 CSAE, 2015, 31(3): 199-206. (in Chinese)
- 12 苗翠翠, 江南, 彭世揆, 等. 基于 NDVI 时序数据的水稻种植面积遥感监测分析——以江苏省为例[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(2): 273-280.

Miao Cuicui, Jiang Nan, Peng Shikui, et al. Extraction of paddy land area based on NDVI time-series data: taking Jiangsu Province as an example[J]. Journal of Geo-Information Science, 2011, 13(2): 273 - 280. (in Chinese)

- 13 竞震,刘良云,张超,等.利用多时相 NDVI 监测京郊冬小麦种植信息[J].遥感技术与应用,2005,20(2):238-242. Jing Xia, Liu Liangyun, Zhang Chao, et al. Monitoring planting information of Beijing winter wheat utilizing multi-temporal NDVI [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2005, 20(2):238-242. (in Chinese)
- 14 贾树海,杨亮,王潇雪,等.基于多时相遥感影像的花生种植面积提取——以彰武县北部为例[J].国土与自然资源研究,2014(1):68-70.

Jia Shuhai, Yang Liang, Wang Xiaoxue, et al. The area extraction of peanut in sandy soils based on multi-temporal remote sensing images-taking north of Zhangwu County as an example[J]. Territory & Natural Resources Study, 2014(1): 68-70. (in Chinese)

- 15 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, Cheng Yanpei, Zhang Fawang, et al. Crops planting information extraction based on multi-temporal remote sensing images[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(2):134-141. (in Chinese)
- 16 郝卫平,梅旭荣,蔡学良,等.基于多时相遥感影像的东北三省作物分布信息提取[J].农业工程学报,2011,27(1): 201-207.

Hao Weiping, Mei Xurong, Cai Xueliang, et al. Crop planting extraction based on multi-temporal remote sensing data in northeast China [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 201 – 207. (in Chinese)

- 17 潘耀忠,张锦水,朱文泉,等.粮食作物种植面积统计遥感测量与估产[M].北京:科学出版社,2013.
- 18 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 decision tree and mixed-pixel unmixing methods [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9):289-295, 301. (in Chinese)

- 19 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 CSAE, 2015, 31(11): 194-201. (in Chinese)
- 20 邓书斌, 陈秋锦, 杜会建, 等. ENVI 遥感图像处理方法 [M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- 21 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 Yinhui, 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)

- 22 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]. Resource Science, 2004, 26(6):17-22. (in Chinese)
- 23 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 county level [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(5): 220-227. (in Chinese)
- 24 Congalton R G, Green K. Assessing the accuracy of remotely sense data: principles and practices [M]. Boca Raton: Lewis Publications, 1999.
- 25 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)