

杨沈斌, 景元书, 王琳, 等. 2012. 基于 MODIS 时序数据提取河南省水稻种植分布 [J]. 大气科学学报, 35(1): 113-120.

Yang Shen-bin, Jing Yuan-shu, Wang Lin, et al. 2012. Mapping rice paddy distribution in Henan Province based on multi-temporal MODIS imagery [J]. Trans Atmos Sci, 35(1): 113-120.

基于 MODIS 时序数据提取河南省水稻种植分布

杨沈斌^{1,2}, 景元书², 王琳², 王钊³

(1. 中国气象局 河南省农业气象保障与应用技术重点实验室, 河南 郑州 450003;

2. 南京信息工程大学 应用气象学院, 江苏 南京 210044; 3. 陕西省农业遥感信息中心, 陕西 西安 710015)

摘要: 以河南省为研究区, 利用 2009 年多时相 8 d 合成 MODIS 地表反射率产品提取水稻种植分布。根据稻田含水量变化特征及水稻生长规律, 构建水稻种植分布提取流程。为减少云等噪声的影响, 对地表水含量指数 (I_{LSW} , land surface water content index) 和增强型植被指数 (I_{EV} , enhanced vegetation index) 的时序数据进行平滑重建。然后, 依据豫北和豫南稻区水稻物候期差异, 分别建立标准水稻 I_{EV} 生长线, 以计算像元尺度的水稻相似性指数作为影像分类的特征波段。同时, 对重建的 I_{LSW} 和 I_{EV} 时序数据分别进行主成份分析, 选择各自的前 3 个成份作为特征波段。在此基础上, 采用支持向量机分类算法对组建的特征波段进行分类, 提取影像中水稻的种植分布。结果显示, 提取的河南省水稻种植分布与实际吻合较好, 豫北稻区水稻分布呈现集中连片的特征, 多分布在沿黄河两岸, 而豫南稻区水稻种植广泛, 多在大型水库灌区周边及沿淮和低洼易涝地区。与各地区水稻统计面积相比, MODIS 提取的水稻面积平均相对误差为 6.56%, 根均方误差为 5.63 km²。受到混合像元影响, 以及个别地区水稻种植分散且面积相对较小, 使该地区水稻面积相对误差超过 $\pm 60\%$ 。

关键词: 监督分类; 多时相分析; 主成份分析; 水稻物候期; 水稻种植分布

中图分类号: P49 文献标识码: A 文章编号: 1674-7097(2012)01-0113-08

Mapping rice paddy distribution in Henan Province based on multi-temporal MODIS imagery

YANG Shen-bin^{1,2}, JING Yuan-shu², WANG Lin², WANG Zhao³

(1. Henan Key Laboratory of Agrometeorological Ensuring and Applied Technique, CMA, Zhengzhou 450003, China;

2. School of Applied Meteorology, NUIST, Nanjing 210044, China;

3. Shaanxi Remote Sensing Information Center for Agriculture, Xi'an 710015, China)

Abstract: Multi-temporal 8-day composite MODIS Surface Reflectance Product of 2009 were used to map the distribution of rice paddy in Henan Province. By taking into consideration the characteristic of rice cultivation and the rice growth patterns, a scheme for rice mapping has been proposed. In this scheme, to reduce the influence of factors like cloud, the time series of land surface water content index (I_{LSW}) and enhanced vegetation index (I_{EV}) were calculated from MODIS imagery and two different filters were applied to rebuild the time series data. Then, the principal component analysis method was employed to reduce the dimensionality of the times series data, with the first three components as I_{LSW} and I_{EV} respectively reserved as feature bands. Another feature band is the rice similarity index, which was obtained by calculating the similarity index between a standard rice growth curve of I_{EV} and the temporal curve of I_{EV} for each pixel. However, there were obvious differences in rice phenology between

收稿日期: 2011-04-01; 改回日期: 2011-07-10

基金项目: 中国气象局农业气象保障与应用技术重点开放实验室开放基金(AMF200902); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY(QX)200906022); 国家自然科学基金资助项目(40901238); 江苏省“青蓝工程”资助项目; 江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 杨沈斌(1981—), 男, 江苏大丰人, 博士, 副教授, 研究方向为农业遥感、农业气象, jaasyang@163.com.

the north and south rice planting regions in Henan Province. Based on the obtained rice GPS samples a standard rice growth curve of I_{EV} was established for each region. Finally, support vector machine (SVM) classification method was used to retrieve rice distribution from the feature bands. The results showed that the obtained rice distribution in Henan Province is well consistent with the real situation. Rice mainly distributed on both sides of the Yellow river in the north of Henan Province, while it distributed along the Huaihe River or around large reservoirs in the south of Henan Province. Compared with the statistical data, the rice area obtained from MODIS data bears a mean relative error of 6.56% and a Root Mean Square Error of 5.63 km². Because of mixed pixels and dispersed rice distribution in some regions, the relative error can be larger than $\pm 60\%$. However, the proposed rice mapping scheme based on the temporal MODIS data still shows its advantages in rice distribution mapping for large-scale areas.

Key words: supervised classification; multi-temporal analysis; principal component analysis; rice phenology; rice planting distribution

0 引言

利用卫星遥感技术监测农作物的生产在农情监测和农业研究中得到广泛应用。水稻是中国主要的粮食作物,及时、准确的获取水稻生产信息(种植面积、长势和产量),对加强水稻生产管理,指导水稻生产,确保中国粮食安全具有重要意义。

随着遥感技术的发展,大量研究采用 Landsat TM/ETM+、IRS-P6 和 HJ-1A/B 卫星数据进行水稻种植分布和面积的提取 (Okamoto and Fukuhara, 1996; 韩立建等, 2007; 李扬, 2010)。这些数据具有较高的空间分辨率,能够获取从县级至更大尺度的水稻种植分布,但由于影像时间分辨率较低,且时常受到云等不利天气条件的影响,影像数据无法保障 (Wardlow and Egbert, 2008)。星载雷达能够全天候、全天时获取水稻种植分布信息,但由于影像存在一定的斑点噪声,且受到极化、入射角、波段等雷达参数的限制,在大区域水稻面积提取研究中还存在较多的不确定性 (杨沈斌等, 2007, 2008; Bouvet and Le, 2011)。因此,利用 MODIS 卫星数据在一定程度上解决了时间分辨率和空间分辨率不能同时满足的矛盾。另外 8 d 合成或 16 d 合成的 MODIS 影像数据在较大范围上降低了云等噪声对地表信息的影响,有利于大区域农业生产的动态、稳定监测。例如, Xiao et al. (2005) 运用多时相 MODIS 产品 MOD09A1 计算了 I_{NDV} (normalized difference vegetation index)、 I_{EV} (enhanced vegetation index) 和 I_{LSW} (land surface water content index) 指数,依据水稻生长规律和稻田含水量信息提取中国南方的水稻种植分布。该方法还运用到东南亚地区 (Xiao et al., 2006; Sakamoto et al., 2009) 及中国其他地区 (郑长春等, 2009; Peng et al., 2011) 的水稻分布提取。张

春林等 (2007) 则根据水稻 LAI (leaf area index) 的时序变化特征,并结合数字高程 (digital elevation model; DEM) 从多时相 MODIS 影像中提取水稻种植面积,与统计面积相比相对误差小于 13%。吕婷婷和刘闯 (2010) 利用 MODIS 影像计算 I_{NDV} 和 I_{NDS} (normalized difference soil index) 指数,对时间序列进行主成份变换,并作为特征波段输入到支持向量机分类算法 (support vector machines; SVM),提取了泰国耕地信息和水稻分布。顾晓鹤等 (2008) 则采用水稻生长相似性原理,运用 MODIS-EVI 时序数据构建水稻种植相似性指数,并实现水稻面积的提取。上述研究均显示 MODIS 在大区域水稻面积提取中具有较强的优势,为水稻信息的大范围、低成本、高精度遥感提取建立了新的思路。

本文选择河南省作为研究区域,利用时序 MODIS 产品数据 MOD09A1 提取该省水稻种植分布。依据河南省水稻生产布局特点,结合从影像中提取的时序 I_{EV} (enhanced vegetation index) 和 I_{LSW} (land surface water content index) 数据,以及水稻相似性指数提取研究区域水稻种植分布,并利用统计年鉴和 HJ-1A CCD2 影像对获取的水稻分布结果进行精度验证和分析。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

河南省位于黄河中下游,地跨黄、淮、汉水 3 大流域,处于亚热带向暖温带过渡地带,年平均气温 12~15℃,年降水量 600~1 000 mm,是典型的稻麦两熟区。为保障水稻生产用水,河南省水稻种植坚持“以水定稻”的原则,在沿黄和沿淮地区、大型水库灌区和低洼易涝地区种植水稻。2007 年以来,河南省水稻种植面积约 60×10^4 hm²,约占全省粮食作

物面积的 5.6% ,主要分布在豫北和豫南两大稻区。豫北稻区包括沿黄河中下游两岸的新乡、濮阳、开封和郑州等地,种植常规粳稻,生长期从 5 月上旬至 10 月中旬。豫南稻区则主要包括信阳、南阳和驻马店市,品种以杂交籼稻为主,生长期从 4 月下旬至 9 月中旬。两稻区水稻种植多以小麦水稻、油菜水稻轮作为主。在水稻生长季内还种有玉米、棉花、大豆和花生等农作物。

1.2 MODIS 数据

从 USGS EROS 数据中心获取了 2009 年覆盖河南省的 46 景 8 d 合成 MODIS 地表反射率产品 (MOD09A1) 数据,空间分辨率为 500 m。该数据拥有 7 个光谱波段,由 MODIS 1B 产品的 1~7 波段经过大气和气溶胶校正及卷云处理获得。另外还包含两个 QA (quality assurance) 波段,分别标记光谱波段和地表反射率数据的质量和状态。

1.3 辅助数据

从中国资源卫星应用中心获取了 2 景处在 2009 年水稻生长初期的 HJ-1A CCD2 影像,其成像时间均为 7 月 3 日,轨道号分别为 455-72 和 455-76。该数据空间分辨率为 30 m。根据影像头文件信息,对影像进行了辐射定标。同时以 2005 年 Landsat TM 卫星数据为参照,对 HJ-1A CCD2 数据进行了几何精校正。两景影像分别覆盖豫北和豫南稻区,对本文分类结果的验证提供了重要的参考。还获取了研究区 2009 年 60 个水稻差分 GPS 样方数据,并结合 Google Earth 高清影像和 HJ-1A CCD2 数据,额外提取了 40 处水稻样方。样方主要分布在沿黄河中下游两岸的连片水稻种植区和豫南信阳、驻马店等水稻种植区。豫北稻区样方大小为 500 m × 500 m,豫南稻区样方大多为 300 m × 300 m。从河南省统计年鉴获取了 2009 年各市主要农作物播种面积,并根据实地调查,记录了豫北和豫南稻区水稻生长发育期的基本情况(表 1)。从表 1 可以看出,豫北稻区水稻生育期较豫南稻区平均推迟约 10~20 d。

表 1 2009 年豫北和豫南稻区水稻发育期概况

Table 1 General situation of rice phenology in the north and south rice planting areas in Henan Province in 2009

稻区	播种期	移栽期	抽穗期	收割期
豫北稻区	05-01—05-12	06-15—06-25	08-10—08-25	09-30—10-20
豫南稻区	04-20—04-30	05-25—05-31	08-04—08-15	09-15—09-30

2 研究方法

在水稻生长早期,稻田需要保持一定深度的水层,与同期其他农田(玉米、大豆、花生和棉花等)相比,具有较高的地表含水量,有利于 MOD09A1 中的短波红外数据对稻田的识别(郑长春等 2009)。另外 8 d 合成的 MOD09A1 数据能够反映水稻生长规律,有助于通过比较其他农作物与水稻的生长特征曲线来提高稻田识别能力。依据上述特点,选择对地表水分含量变化敏感的 I_{LSW} 指数和能够抑制大气、土壤背景对植被信息影响的 I_{EV} 指数,作为提取区域稻田分布的重要指标(Xiao et al., 2005)。为此,建立水稻面积提取流程,如图 1 所示。

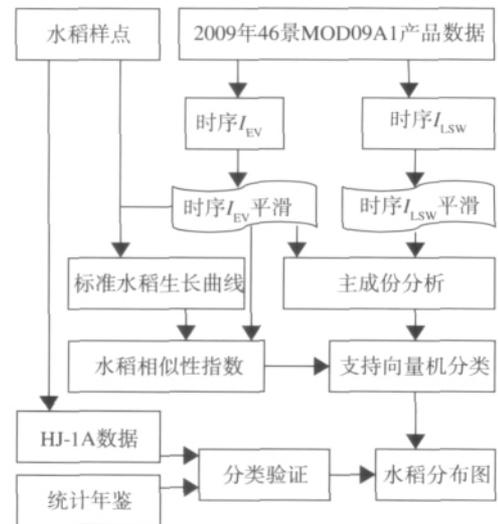


图 1 水稻种植分布提取流程

Fig. 1 Flow chart of retrieving rice planting area in Henan Province

首先,利用 MOD09A1 数据建立时序 I_{EV} 和 I_{LSW} 。为降低云对时序数据的影响,分别采用 Savitzky-Golay 滤波算法 (Eklundh and Jonsson, 2009) 和临近最大值插值法 (Peng et al., 2011) 重建时序数据。随后根据水稻物候期,选择水稻移栽至成熟的时序 I_{EV} 和 I_{LSW} 数据,分别进行主成份分析,并选择前 3 个波段作为水稻面积提取的特征波段。另外,根据水稻样方,利用重建的时序 I_{EV} 建立标准水稻生长曲线,计算研究区每个像元的时序 I_{EV} 与水稻生长曲线的相似性指数,作为水稻分类的另一个特征波段(顾晓鹤等,2008)。水稻面积提取采用 SVM 分类算法。参考水稻样方及相似性指数图,建立水稻训练样本,从特征波段组合中提取水稻种植面积。最后,结合 HJ-1A CCD2 影像及河南省统计

年鉴对提取结果进行验证。

然而,河南省豫北和豫南稻区水稻物候期差异较大,为提高面积提取精度,分别对两大稻区按照流程提取水稻面积。同时,参考 2005—2009 年河南省统计年鉴,将常年无水稻种植地区排除,确定参与分类的豫北稻区包括濮阳、安阳、新乡、焦作、开封、郑州、洛阳、平顶山、周口和商丘市;豫南稻区包括南阳、驻马店和信阳市。为此,分别建立豫北和豫南稻区标准水稻 I_{EV} 生长曲线。值得提出的是,尽管平顶山、周口及商丘市处于河南省中部,但其水稻物候期与豫北地区水稻物候期相近。

2.1 时序 I_{EV} 和 I_{LSW} 指数的重建

针对获取的时序 MOD09A1 产品数据,分别计算 I_{EV} 和 I_{LSW} 指数,如公式 (1) 和 (2) 所示:

$$I_{EV} = \frac{2.5 \times (\rho_{nir} - \rho_{red})}{(1 + \rho_{nir} + 6.0 \times \rho_{red} - 7.5 \times \rho_{blue})}; \quad (1)$$

$$I_{LSW} = \frac{(\rho_{nir} - \rho_{swir})}{(\rho_{nir} + \rho_{swir})}. \quad (2)$$

式中: ρ_{blue} 、 ρ_{red} 、 ρ_{nir} 和 ρ_{swir} 分别表示 MOD09A1 数据蓝光波段 (0.459 ~ 0.479 μm)、红光波段 (0.620 ~ 0.670 μm)、近红外波段 (0.841 ~ 0.876 μm) 和短波红外波段 (1.628 ~ 1.652 μm) 反射率。

由于云层和恶劣大气条件对 MOD09A1 数据的影响,使得时序 I_{EV} 和 I_{LSW} 数据存在一定的噪声,需要进行去云处理并估算缺损值。为此,针对时序 I_{EV} 数据,选择 Savitzky-Golay 滤波算法。该方法既能够有效抑制噪声,又能够保持水稻 I_{EV} 时序变化规律,已被广泛用于水稻时序指数的平滑重建 (Jons-son and Eklundh 2002)。在滤波时,根据 MOD09A1 产品提供的 QA 波段生成二值数据 (受云污染的像元值为 0, 否则为 1) 作为滤波权重。另外,设置滤波

窗口大小为 4,平滑多项式的次数为 2。然而,时序 I_{LSW} 数据具有较大的波动性,主要反映地表含水量的变化。为处理云的影响,参考 Peng et al. (2011) 的方法,采用临近最大值插值法估算受云影响的 I_{LSW} 数据。其中,滤波窗口设置为 4。时序数据的重建结果如图 2 所示。可以看出 I_{EV} 和 I_{LSW} 时序数据得到了较好的平滑重建。

2.2 水稻 I_{EV} 指数生长线及相似性指数

时序 I_{EV} 指数能够有效反映水稻生长规律,一般在水稻抽穗期达到最大值。考虑到水稻生长规律的相似性,即水稻生育期相近、生长状态相似,采用水稻生长曲线相似性原理,建立基于时序 I_{EV} 数据的标准水稻生长曲线,计算每个像元在水稻生长期的时序 I_{EV} 与标准水稻生长曲线的相似性指数来提高识别水稻的能力 (顾晓鹤等 2008)。由于豫北稻区与豫南稻区水稻生育期差异较大,分别建立两区域的标准水稻生长曲线。其中,豫北稻区标准水稻生长曲线从时序 22 至 38,豫南稻区为时序 19 至 35。根据获取的水稻样方数据,取各时相水稻 I_{EV} 指数的平均值,建立曲线如图 3 所示。相似性指数的计算如公式 (3) 所示:

$$S_{EVI} = \sum_{i=1}^n |P'_i - P_i|. \quad (3)$$

式中: S_{EVI} 为相似性指数; P'_i 为像元第 i 时序的 I_{EV} 值; P_i 为标准水稻生长曲线对应第 i 时序的 I_{EV} 值。计算后的水稻相似性指数如图 4 所示。图中像元的 S_{EVI} 越小,则表明该像元 I_{EV} 的时序特征越接近标准水稻生长曲线。据统计,图中水稻样方区域的相似性指数平均值为 1.16,最大值为 2.26,最小值为 0.32,标准差为 0.47。

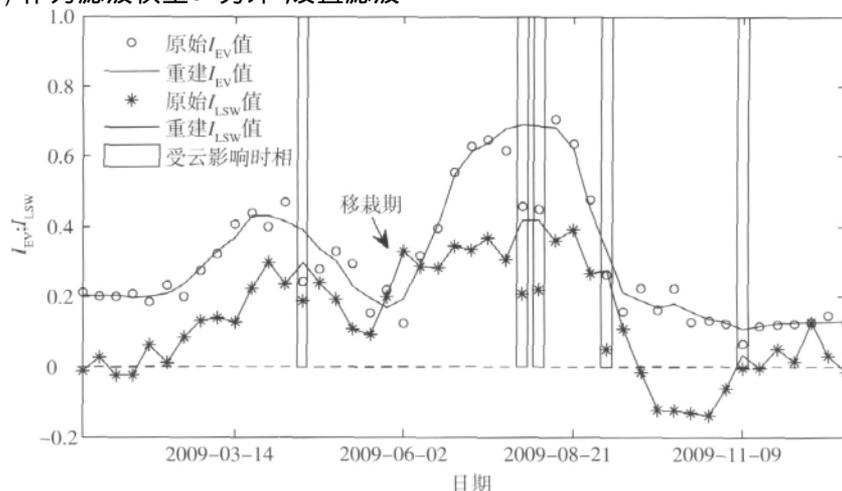


图 2 某像元 I_{EV} 和 I_{LSW} 时序数据重建

Fig. 2 Filtered curves of I_{EV} and I_{LSW} for one pixel

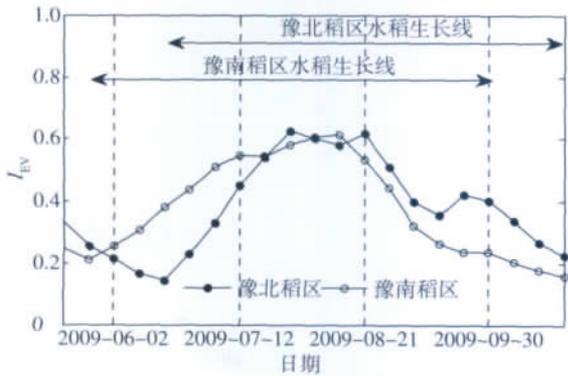


图 3 豫北和豫南稻区 I_{EV} 时序水稻生长线
 Fig. 3 Paddy rice growth curve acquired from MODIS I_{EV} time series in the north and south areas of Henan Province respectively

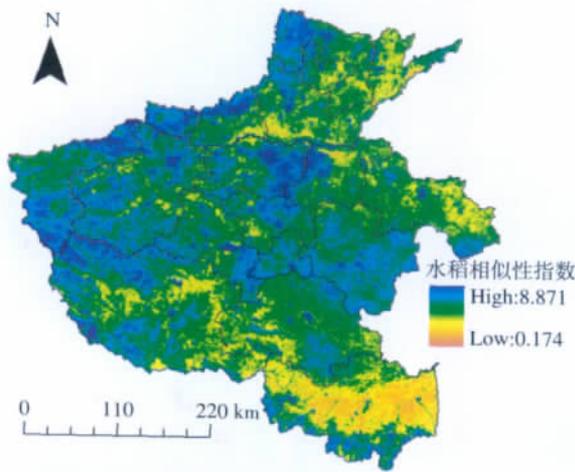


图 4 研究区水稻的相似性指数
 Fig. 4 The similarity index of rice paddy in the study area

2.3 影像分类

采用 SVM 算法提取水稻种植面积。该算法是一种建立在统计学习理论基础之上的机器学习方法,在解决小样本、非线性和高维模式识别中具有明显的优势 (Mountrakis et al. 2011)。结合重建的时序 I_{EV} 和 I_{LSW} 数据,以及水稻相似性指数,对多波段影像进行分类。然而,为减少水稻与其他农作物在时序数据中的相关性,采用主成份分析方法分别对时序 I_{EV} 和 I_{LSW} 数据进行特征变换。取各自结果的前 3 个波段作为特征波段参与到影像分类中。另外,根据获取的地面水稻样方和水稻相似性指数图,提取水稻训练区。在 ENVI 4.7 中选用 SVM 分类方法对影像进行分类。其中,选用径向基核函数, γ 值取 0.143, 惩罚参数为 150, 其他参数为默认值。

3 结果

3.1 河南省水稻种植分布

将豫北和豫南稻区水稻分类结果进行必要的分类后处理(包括筛选和集聚),并将分类图镶嵌后输出为矢量数据格式,获取了河南省水稻种植分布(图 5)。从图中可以看出,豫北稻区水稻主要分布在沿黄河中下游两岸,为引黄河水灌溉的沿黄稻区。其中,水稻种植面积较大的地区有濮阳、新乡和开封市,呈现集中种植分布特征,水稻面积约占整个豫北稻区水稻种植面积的 87.23%。相比上述三个地区,郑州、洛阳、平顶山、周口和商丘市水稻种植多分散在水库、河流沿岸,呈现小片集中的分布特征。例如,平顶山水稻集中分布在白龟山水库南岸及沙河沿岸少部分地区;周口水稻主要分布在贾鲁河沿岸,而郑州市水稻主要分散在黄河的南岸地区。

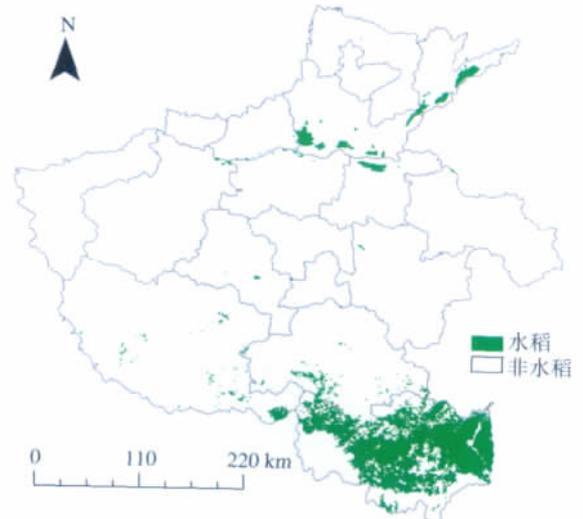


图 5 河南省水稻的分布
 Fig. 5 Distribution of rice paddy in Henan Province

豫南稻区水稻多种植在沿淮河及其支流两岸和水库周边。其中,信阳水稻种植面积最大,约占豫南稻区水稻面积的 92.3%,集中分布在沿淮及其支流两岸和低洼易涝地区。南阳水稻面积约占豫南稻区面积的 5.16%,主要分布在鸭河口水库和丹江口水库周边、唐河与夹河两岸部分地区以及桐柏县。驻马店水稻则主要集中分布在薄山水库周边,以及小洪河和汝河两岸部分地区。

从上述水稻种植分布的情况可以看出,河南省充分利用各地区水资源的分布特点种植水稻,在豫北地区形成多个集中连片的水稻种植区,而在豫南稻区的沿淮区域形成范围广、面积大的水稻种植区。

3.2 精度验证

图 6 以对数形式比较了河南省各地水稻统计面积与 MODIS 获取的水稻面积。可以看出,两者吻合较好,确定系数达到 0.981,均方根误差为 5.63 km²,平均相对误差达到 6.56%。大部分地区提取的水稻面积相对误差在 -21% ~ 17% 之间,但提取的信阳水稻面积(550.54 km²)与统计面积(440.1 km²)相对误差达到 79.94%;开封、安阳水稻面积相对误差分别为 65.79% 和 -78.21%。由此可见,对于个别水稻种植区,利用 MODIS 时序影像提取水稻面积的精度还不够理想。

为了进一步检验 MODIS 时序影像提取水稻面积的有效性,利用获取的两景 HJ-1A CCD2 数据对获取的水稻分布图进行验证。首先,根据水稻样方资料对 HJ-1A 影像进行目视判读和监督分类,获取影像中无云区域的水稻种植分布;然后,对水稻分类图进行矢量化,并与 MODIS 提取的相应区域水稻分布图进行比较,如图 7 所示。

图 7a 显示了 7 月 3 日新乡—濮阳地区水稻种植的情况。该时期豫北稻区处在水稻返青期。图像中暗色区域为灌水后集中连片的稻田,具有明显区

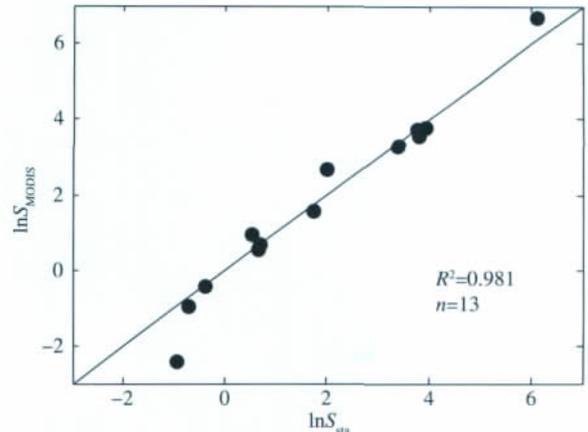


图 6 河南省各地区 2009 年水稻统计面积与 MODIS 提取面积的比较

Fig. 6 Comparison between statistical data and MODIS derived results of rice area in Henan Province in 2009

别于其他地物的颜色、纹理和空间分布特征。图 7b 和 7c 分别显示了从 HJ-1A 和 MODIS 提取的水稻分布图。可以看出,提取的水稻空间分布特征与实际水稻分布吻合较好。以 HJ-1A 水稻分布图为准,MODIS 提取的该区域水稻面积相对误差为 38.4%。

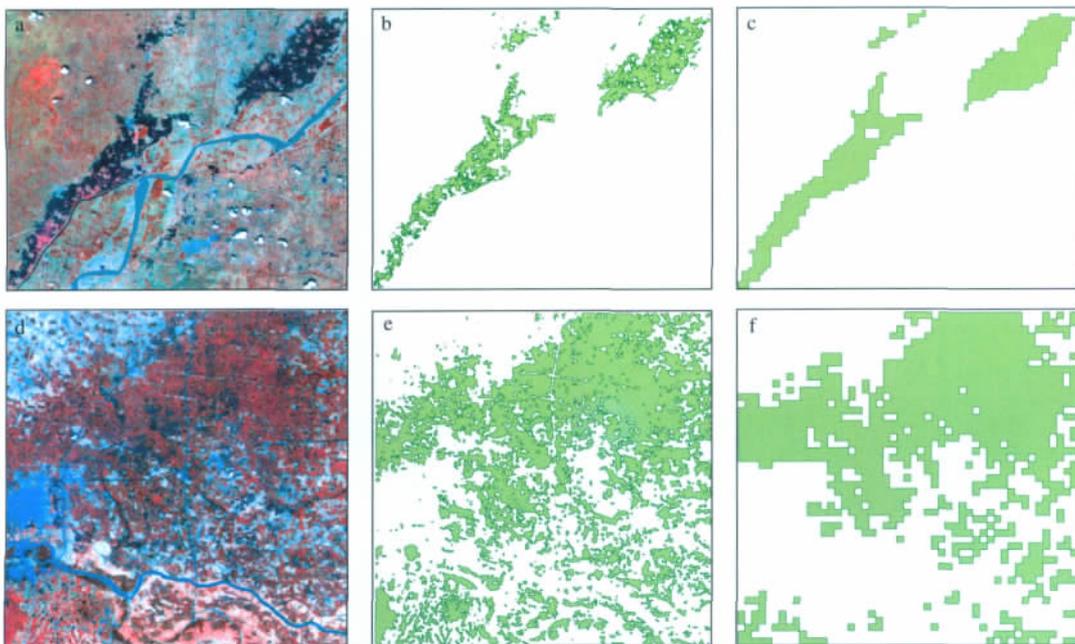


图 7 新乡—濮阳(区 I)和信阳(区 II)部分区域水稻分类图验证(a、b、c 分别是区 I HJ-1A 假彩色合成(R: 4; G: 3; B: 2)、HJ-1A 水稻分类和 MODIS 水稻分类;d、e、f 分别是区 II HJ-1A 假彩色合成(R: 4; G: 3; B: 2)、HJ-1A 水稻分类图和 MODIS 水稻分类)

Fig. 7 Validation of rice paddy map on part of Xingxiang-Puyang district(Region I) and part of Xinyang district (Region II) a. HJ-1A false color composite image for Region I; b. rice map from HJ-1A for Region I; c. the map from MODIS for Region I; d. HJ-1A false color composite image for Region II; e. rice map from HJ-1A for Region II; f. the map from MODIS for Region II

图 7d 显示了信阳市息县地区假彩色合成图。豫南稻区水稻移栽期较早,该地区水稻在 7 月 3 日处于分蘖旺期。因此在影像中稻田呈现深红色,与花生(亮蓝色)和棉花地(粉红色)颜色差异明显。比较图 7e 和 7f 中水稻分类图,可以看出,从 MODIS 提取的水稻分布与 HJ-1A 水稻分布大体一致,但影像南部地区存在一定的差别,即 MODIS 对该地区小片面积的水稻识别能力有限。以 HJ-1A 数据中提取的水稻面积为标准,MODIS 提取的水稻面积相对误差为 8.18%。

4 讨论

水稻生长早期稻田充满水层,且稻田内秧苗矮小稀疏,有利于 MODIS 传感器对稻田的识别。再结合豫北和豫南稻区的水稻 I_{EV} 生长曲线,计算像元尺度的水稻相似性指数,并选用 SVM 分类算法,能够识别大区域水稻种植分布。

为降低云对影像数据的影响,分别采用 Savitzky-Golay 和最大值插值法对 I_{EV} 和 I_{LSW} 时序数据进行重建,保障了像元尺度数据时序变化的连贯性。然而,MODIS 影像在 2009 年豫南稻区水稻移栽期间受云影响严重,使反映该地区水稻移栽期农田含水量变化的 I_{LSW} 估计值与实际情况有较大偏差。另外,荷塘与稻田具有相似的 I_{LSW} 变化特征,容易造成误判。经过平滑重建后的水稻 I_{EV} 时序则较好的显示出水稻生长变化。从图 4 可以看出,利用重建后的水稻 I_{EV} 时序生长曲线计算水稻相似性指数,能够反映出河南省水稻种植的大体分布,在影像分类中起到重要的作用。然而,影像分类结果受到混合像元的影响,在部分地区与统计面积相比,相对误差超过 $\pm 60\%$ 。值得提出的是,根据水稻统计面积,河南省 8 个地级市水稻种植面积少于 10 km^2 ,其中豫北稻区的安阳、周口和商丘水稻统计面积均小于 1 kha,使具有中等分辨率的 MODIS 影像在识别种植相对分散或面积较小的稻田时存在一定的困难。因此,可结合高空间分辨率光学影像对地形相对复杂、水稻种植分散且面积较小的稻区进行面积的提取,来弥补 MODIS 影像在区域水稻面积提取中的不足。

选择 SVM 分类算法进行水稻面积的提取。该方法具有较好的稳定性,但需要选定最佳的参数组合。本文选择适用性较好的径向基核函数来确定分类目标与特征波段之间的非线性关系(苏高利和邓芳萍,2006) γ 参数则设置为特征波段数的倒

数,惩罚参数的设定参考相关文献(吕婷婷和刘闯,2010)其他取算法默认值。考虑到 MODIS 影像在不同年份受到云等噪声影响的情况不同,该参数组合需要进一步的调试,以验证该水稻种植分布提取流程在其他地区和年份水稻面积提取中的可靠性。

5 结论

依据水稻独特的种植方式和生长规律,利用 MODIS 时序数据提取大区域水稻种植分布具有明显的优势。河南省的豫北和豫南稻区水稻生育期存在差异,采用分稻区提取水稻种植分布能够减少分类中的不确定性;另一方面,根据两稻区水稻 I_{EV} 生长曲线计算水稻相似性指数作为影像分类的特征波段之一,有助于提高影像分类的精度。然而,混合像元使提取的水稻面积与统计面积存在一定的偏差,在下一步研究中将考虑加入混合像元分类算法以完善本文的水稻种植分布提取方法。

致谢:河南省农业科学研究所王来刚博士为本文研究提供了帮助和支持。谨致谢忱!

参考文献:

- 顾晓鹤,韩立建,张锦水,等.2008.基于相似性分析的中低分辨率复合水稻种植面积测量法[J].中国农业科学,41(4):978-985.
- 韩立建,潘耀忠,贾斌,等.2007.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,23(5):137-143.
- 李扬.2010.基于环境卫星数据的水稻面积空间抽样研究[D].南京:南京林业大学森林资源与环境学院.
- 吕婷婷,刘闯.2010.基于 MODIS 数据的泰国耕地信息提取[J].农业工程学报,26(2):244-250.
- 苏高利,邓芳萍.2006.关于支持向量回归机的模型选择[J].科技通报,22(2):154-158.
- 杨沈斌,申双和,张萍萍,等.2007.ENVISAT ASAR 数据用于大区域稻田识别研究[J].南京气象学院学报,30(3):365-370.
- 杨沈斌,李秉柏,申双和,等.2008.基于多时相多极化插值图的稻田识别研究[J].遥感学报,12(4):613-619.
- 张春林,林晶,吴振海,等.2007.基于 MODIS 数据的水稻种植面积监测方法研究[J].自然资源学报,22(1):1-8.
- 郑长春,王秀珍,黄敬峰.2009.多时相 MODIS 影像的浙江省水稻种植面积信息提取方法研究[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,35(1):98-104.
- Bouvet A, Le T T. 2011. Use of ENVISAT/ASAR wide-swath data for timely rice fields mapping in the Mekong River Delta[J]. Remote Sens Environ, 115(4):1090-1101.
- Eklundh L, Jonsson P. 2009. TIMESAT 3.0 Software Manual [M]. Sweden: Lund University.
- Jonsson P, Eklundh L. 2002. Seasonality extraction and noise removal by

- function fitting to time-series of satellite sensor data [J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 40(8): 1824-1832.
- Mountrakis G, Im J, Ogole C. 2011. Support vector machines in remote sensing: A review [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66(3): 247-259.
- Okamoto K, Fukuhara M. 1996. Estimation of paddy rice field area using the area ratio of categories in each pixel of Landsat TM [J]. *Int J Remote Sens* 17(9): 1735-1749.
- Peng D L, Huete A R, Huang J F, et al. 2011. Detection and estimation of mixed paddy rice cropping patterns with MODIS data [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* , 13(1): 13-23.
- Sakamoto T, Phung C V, Kotera A, et al. 2009. Analysis of rapid expansion of inland aquaculture and triple rice-cropping areas in a coastal area of the Vietnamese Mekong Delta using MODIS time-series imagery [J]. *Landscape and Urban Planning* 92(1): 34-46.
- Wardlow B D, Egbert S L. 2008. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: An assessment for the U. S. Central Great Plains [J]. *Remote Sens Environ* 112(3): 1096-1116.
- Xiao X M, Boles S, Liu J Y, et al. 2005. Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images [J]. *Remote Sens Environ* 95(4): 480-492.
- Xiao X M, Boles S, Froking S, et al. 2006. Mapping paddy rice agriculture in South and Southeast Asia using multi-temporal MODIS images [J]. *Remote Sens Environ* 100(1): 95-113.

(责任编辑: 张福颖)