

文章编号: 1007 4619(2007)02 0282-07

多时相 MODIS 影像水田信息提取研究

张友水^{1,2}, 原立峰^{1,3}, 姚永慧¹

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710069; 3. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 水稻种植及其分布信息是土地覆被变化、作物估产、甲烷排放、粮食安全和水资源管理分析的重要数据来源。基于遥感的水田利用监测中, 通常采用时序 *NDVI* 植被指数法和影像分类法分别进行 AVHRR 和 TM 影像的水田信息获取。针对 8 天合成 MODIS 陆地表面反射比数据的特点和水稻生长特征, 选取水稻种植前的休耕期、秧苗移植期、秧苗生长期和成熟期等多时相 MODIS 地表反射率影像数据, 通过归一化植被指数、增强植被指数及利用对土壤湿度和植被水分含量较敏感的短波红外波段计算得到的陆表水指数进行水田信息获取。将提取结果与基于 ETM+ 影像的国土资源调查水田数据, 通过网格化计算处理并进行对比分析, 结果表明, 利用 MODIS 影像的 8 天合成地表反射率数据, 进行区域甚至全国的水田利用监测是可行的。

关键词: 水田; 地表反射率; 陆表水指数; 多时相 MODIS 影像

中图分类号: TP79/TP391 文献标识码: A

Study on Extraction of Paddy Rice Fields from Multitemporal MODIS Images

ZHANG You-shui^{1,2}, YUAN Li-feng^{1,3}, YAO Yong-hui¹

(1. State Key Laboratory of Resources and Environment Information System, CAS, Beijing 100101, China;

2. Department of Urban and Resource Sciences, Northwest University, Shanxi Xi'an 710069, China;

3. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Sichuan Chengdu 610041, China)

Abstract Information of paddy rice fields and their spatial distribution is the data source for land use and land cover changes, crop yield estimates, methane emission estimates, food security, and water resources management. A number of studies have explored the potential of remote sensing images to identify paddy rice fields. Those studies that identified paddy rice fields used image classification procedures for TM images and temporal development of the *NDVI* for AVHRR images. 8-day composite MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Surface Reflection products (MOD09A1) provide the potential for the improved characterization of vegetation at large spatial scale. According to the different paddy rice growth stages, multitemporal MODIS images were selected by the flooding and transplanting period, growing period, maturation period, and the fallow period after harvest. Three vegetation indices, Normalized Difference Vegetation Index (*NDVI*), Enhanced Vegetation Index (*EVI*), and Land Surface Water Index (*LSWI*) using the short wave infrared band sensitive to soil moisture and leaf moisture content, were calculated to extract information of paddy rice fields. We compared the paddy rice fields dataset to the dataset extracted from ETM+ images and produced at 40 km gridded data. The results show that the paddy rice extracting algorithm of time-series MODIS data could be applied to monitor paddy rice fields at large spatial scales.

Key words paddy rice fields; surface reflectance; Land Surface Water Index; multitemporal MODIS images

收稿日期: 2005-08-10 修订日期: 2006-03-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 40401048)。

作者简介: 张友水 (1974—), 男, 中国科学院地理科学与资源研究所博士后。主要从事遥感与地理信息系统应用研究, 现在西北大学工作。已发表论文 10 余篇。E-mail: zhangyoushui@sina.com

1 引言

水稻是世界主要粮食作物之一, 水田面积占世界耕地面积的 15%, 农田灌溉用水约占全球淡水资源使用量的 70%^[1,2]。水稻也是全球甲烷排放变化的重要影响因素, 影响着全球的大气成分和气候, 大气中甲烷的变化量中至少有 10% 是由于季节性生长的水稻引起的^[3]。水稻种植对各种温室气体(甲烷是大气中一种主要的温室气体)排放和水资源利用产生重要的影响, 因此, 进行区域和全球尺度的作物估产、甲烷排放、粮食安全和水资源管理分析, 需要有最新并且有更高分辨率的作物种植尤其是水稻种植数据。20 世纪 80 年代末至 90 年代初, 曾多次进行全球尺度的水田利用调查, 在获取水田种植和分布状况信息的基础上, 进行了全球尺度的甲烷排放和气候分析, 这些研究中水田信息的获取较为粗糙, 水田信息的空间分辨率一般为 $0.5^{\circ} - 5^{\circ}$ 的经纬度^[4]。区域尺度上, 亚洲的水田种植数据是 20 世纪 70 年代采用各国相关部门的统计数据得到的, 并编绘成 1:450 万比例尺的水田分布图^[3]。目前最新的亚洲水稻种植分布图是 20 世纪 90 年代初通过统计数据得到的, 有些学者据此研究了亚洲水田的甲烷排放量。卫星遥感技术为水田监测提供了方便, 遥感影像由于时间分辨率高、覆盖范围大以及低成本的优势, 使得利用遥感影像进行农作物种植和长势监测以及遥感估产越来越受到重视。

利用遥感技术和方法进行水稻田种植和长势监测在国内外已有研究, 通过监测农作物的光谱变化, 研究农作物的反射光谱与叶面积指数、生物量、农作物产量、叶绿素含量等作物农学参数之间的关系, 可以为作物长势监测和遥感估产提供依据。如吴炳方等利用 NOAA AVHRR 和 SPOT VGT 影像的 *NDVI* 数据进行农作物长势综合监测, 通过实时作物长势监测和作物生长趋势分析, 定性和定量分析作物生长状况并进行年际间的生长过程对比, 从而为早期的产量预测提供信息^[5]。王人潮等分析了水稻产量与其光谱的关系, 建立单产估算模式并利用 NOAA 资料进行水稻总产估计^[6]。Shao 等利用多时相雷达卫星来进行水稻长势监测和估产^[7]。水稻种植情况及其面积的准确获取是估产研究的基础, 以前的水稻田监测研究一般采用陆地卫星 TM 影像和 NOAA AVHRR 影像, 其中 TM 影像的利用主要是通过单一时相的影像分类方法在较为精细尺度上进行水田监测, 而

AVHRR 影像的应用则主要通过时序归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index *NDVI*) 的差异结合知识的手段监测水田利用情况^[8-10]。近年来, 随着高光谱分辨率遥感的应用, 使得遥感可以直接对水稻进行微弱光谱差异的定量分析, 从而在水稻种植、长势监测和估产研究与应用中表现出一定优势。新一代传感器影像 MODIS 提供了覆盖 0.4—14 μ m 电磁波谱范围的 36 个波段数据, 具有 250 500 和 1000m 三种空间分辨率。MODIS 陆地科学工作组提供了一系列的 MODIS 产品给用户, 这些产品中包括 8 天合成的地表反射比数据, 该产品对水稻田监测具有一定优势, 主要表现为: 时间分辨率高; 相对 AVHRR 影像, 具有更高空间分辨率 (500m) 以及具有改进的大气校正算法等。MODIS 影像提供的短波红外段对植被含水量和土壤水分敏感, 从而有利于水稻田利用监测。在水稻生长初期, 影像中水田是移栽后秧苗和水体的混合, 使得水田的光谱特征较为特殊, 采用短波红外波段参与计算的陆表水指数 (Land Surface Water Index *LSWI*) 的值不断增长, 可以考虑采用多期影像的 *LSWI* 辅助进行水田信息提取^[11]。

因此, 本研究的主要目的是尝试采用时序 MODIS 影像进行大范围水稻田信息提取研究。采用水稻在可见光、近红外及短波红外波段的光谱特征, 结合水稻生长发育规律, 通过时序 MODIS 影像的 *NDVI*、*LSWI* 和增强植被指数 (Enhanced Vegetation Index *EVI*) 提取研究区水稻种植信息。并采用 30m 空间分辨率的 ETM+ 影像提取的水田信息, 在基于网格基础上对本研究提取的信息进行了精度分析与评价。

2 研究区概况及数据选取

2.1 研究区概况

选择的研究区位于中国东部, 主要覆盖安徽南部、江西东北部、江苏南部、浙江北部和上海市, 面积约为 21 万 km^2 , 其中北部属于长江中下游平原区, 南部为丘陵山地区。研究区主要作物类型是水稻, 水稻轮作为“一年两熟”, 特别是每年 5—6 月份雨水充足, 气候温暖, 适合水稻生长。其中 4 月上旬为水稻移栽期, 4 月上旬至 6 月下旬为水稻生长期, 6 月下旬至 7 月上旬为成熟期, 7 月上旬为收获期。晚稻的移栽期为 7 月中旬, 返青期为 8 月上旬, 抽穗期为 9 月上旬, 收获期为 10 月下旬。水稻移栽后的

生长发育期划分为生育前期(移栽至有效分蘖终止期)、中期(有效分蘖终止期至开始抽穗,包括无效分蘖期和幼穗形成期)和后期(开始抽穗至成熟期)。前期遥感植被指数与常年比较呈缓慢上升趋势;中期雨水充足,养分消耗大,植被指数较高;后期植被指数变化较平缓,下降幅度较慢。

2.2 MODIS影像数据选取

在研究区数据选取上,选取空间分辨率为 500m,具有 8 天合成的 MODIS 陆地表面反射比数据(MOD09A1)作为数据源。MOD09A1 数据是全球和区域气候模型以及地表能量平衡模型的重要数据源,同时也可以进一步处理成地面相关的产品进行地表特征研究。MOD09A1 数据包含 7 个波段,由 MODIS 1B 产品的 1—7 波段通过大气和气溶胶校正以及卷云等处理所得。8 天合成的 MOD09A1 数据经过了多级数据处理,通过不同轨对应波段像素的质量或标记值进行了重叠区域的合成,不同轨的数据通过标记值与第三波段(蓝波段)最小值进行合成。合成算法首先剔除低质量数据(如坏数据)或较弱观测区域数据,然后在数据质量和观测区域相同的情况下,选择第三波段最小值进行影像合成(<http://edcdaac.usgs.gov/MOD09/MOD09ProductInfo>)。MOD09A1 数据较高的时间分辨率,较好的大气校正处理和光谱特征使得其对进行地表特征如水稻田利用监测等研究有一定优势。

根据研究区主要作物类型及物候情况,同时考虑到研究区水稻为“一年两熟”型,根据研究区水稻农事历选取了 5 个时相的 8 天合成地表反射率影像进行水稻种植信息提取,这 5 个时相包括了水田休耕期及水稻各个生长时期。5 个时相分别是 2005 年的 3 月 6—13 日(可认为该时段处于水稻休耕期),4 月 7—14 日(处于秧苗移植期,也是泡田插秧期)和 5 月 1—8 日(秧苗生长期),以及 2004 年 7 月 3—10 日(水稻成熟收割期)和 9 月 5—12 日(第二季水稻生长期)的 8 天合成影像。通过 MODIS 投影转换工具进行投影变换,在此基础上选取研究区域。为了更准确地提取信息,还采用了其他相关辅助数据,如研究区 2000 年 ETM+ 影像及其解译的土地利用类型图、1:25 万 DEM 数据以及部分地区的 1995 年 1:25 万比例尺土地利用专题图。在这里需要说明的是,ETM+ 影像提取的是水田数据,该数据是中国科学院组织实施的国家土地覆盖工程中的一个类别,该类基于单一时相 ETM+ 影像提取。本研究提

取的水稻种植数据,从严格意义上说,在某种情况下两者并不完全等同。但为了叙述方便,论文中有时称为水田。

3 研究区水田信息获取

3.1 光谱选择与植被指数计算

图 1 为研究区有代表性的 2005 年 5 月 1—8 日合成影像中主要地物类型样本点在 7 个波段反射率的均值,其中第一波段为红波段,第二和第五波段为近红外波段,第三波段为蓝波段,第四波段为绿波段,第六和第七波段为短波红外波段。其中云的反射率在 7 个波段中均较高,水体和城镇用地的反射率均较低,且在 7 个波段间的反射率相差不大,相对来说,水田、林地和旱地的光谱反射率较为接近。考虑地物光谱可分性和波段重复情况,可选择部分光谱进行信息提取。

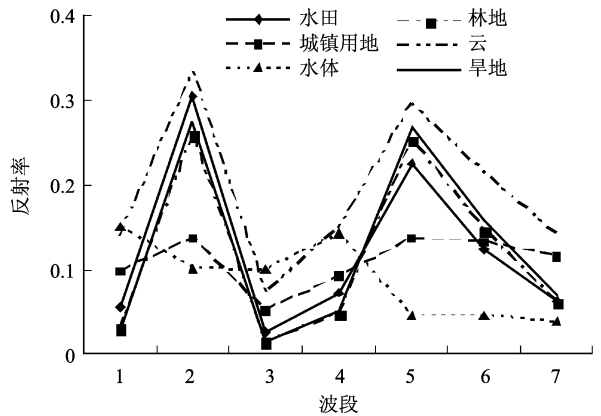


图 1 2005 年 5 月 1—8 日合成影像中主要地物的光谱反射率

Fig. 1 The reflectance curves of typical objects in MODIS 8 day surface reflectance images from May 1 to 8, 2005

基于遥感的水稻田信息获取过程,主要是依据水稻田与其他地物的光谱特征甚至是物候差别提取出水稻信息。本研究利用 8 天合成影像的三种植被指数,通过生物物理特征进行水田信息提取,植被指数 $NDVI$ 、 $LSWI$ 和 EVI 是通过植被在蓝光波段(459—479nm)、红光波段(620—670nm)、近红外波段(第二波段,841—876nm)和短波红外波段(第六波段,1628—1652nm)的反射率计算所得,即:

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

$$LSWI = (\rho_{nir} - \rho_{swir}) / (\rho_{nir} + \rho_{swir}) \quad (2)$$

$$EVI = 2.5 \times (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + c_1 \times \rho_{red} - c_2 \times \rho_{bhe} + L) \quad (3)$$

式中, ρ 为反射率; $L = 1$ 为土壤调节参数; 参数 C_1 和 C_2 分别为 6.0 和 7.5。NDVI 与叶面积指数 LAI 相关性较高, 但 NDVI 有一些局限如植被覆盖较密时出现饱和现象, 并且对大气条件和土壤背景敏感。LSWI 利用了对水体敏感的短波红外波段, 对处于泡田插秧期的水田监测有较好的效果。由于蓝光波段对大气影响较敏感, 常用于进行大气校正, EVI 利用蓝光波段来修正大气对红光波段的影响, 构建了一个同时校正土壤和大气的反馈机制。EVI 可以提高对高生物量区的敏感度, 通过削弱叶冠背景信号和降低大气的影响来改善对植被的监测, 与 NDVI 互为补充^[12-13]。

根据水稻生长特征, 通过 4 个时相影像的分析就可以识别水田信息, 这 4 个时相分别是收割休耕期、秧苗移植期、秧苗生长期和成熟期、收割期。秧苗移植期水田的水深一般在 2—15 cm, 影像中的水

田是表层水体和秧苗的混合光谱特征。在移植的 50—60 天后, 水稻冠层几乎覆盖整个水田, 收割前成熟期水稻的叶和径水分减少, 绿叶也随之减少。表 1 为研究区相同位置的水田在 5 个时相的三种植被指数值 (通过样本点的平均值求得), 表中第一行代表 8 天合成影像的日期, 其中 2004 年 9 月 5—12 日的 8 天合成影像属于第二季水稻生长期。表中 3 月初的 LSWI 和 EVI 值是 5 个时相中最低的, 与 3 月初相比, 4 月初的 NDVI 值下降, LSWI 和 EVI 值明显上升。5 月初的 NDVI LSWI 和 EVI 值在 5 个时相中几乎最高。7 月初早稻进入成熟收割期, NDVI LSWI 和 EVI 值低于 5 月初的值。9 月初是第二季水稻生长的抽穗期, NDVI 值低于 5 月初接近 7 月初的值, LSWI 和 EVI 的值高于 7 月份的值, 与 5 月初的 LSWI 和 EVI 相比, LSWI 值低于 5 月初, 但 EVI 高于 5 月初的值。

表 1 研究区不同时相 8 天合成影像中水田的 NDVI LSWI 和 EVI

Table 1 NDVI LSWI and EVI of multi temporal 8 day composite MODIS surface reflectance images in test area

	2005 年 3 月 6—13 日	2005 年 4 月 7—14 日	2005 年 5 月 1—8 日	2004 年 7 月 3—10 日	2004 年 9 月 5—12 日
NDVI	0.5753	0.5252	0.6757	0.5937	0.5854
LSWI	0.2061	0.2776	0.4348	0.3150	0.3776
EVI	0.2972	0.3569	0.4277	0.3991	0.5965

3.2 水田信息提取

分析试验区影像和区域特点, 为了尽可能准确地提取水田信息, 需要进行水田与林地、旱地、云、水体和城镇用地的识别处理。

研究区水稻耕种方式为浅水浸型和中等水浸型, 可利用对水体和植被较为敏感的波段或植被指数来监测混合的水体和水稻。NDVI 和 LSWI 分别对植被和水体比较敏感, 通过多时相的 NDVI 和 LSWI 变化可以识别蓄水和移植期的水田并信息提取。由于种植方式不完全相同, 导致 LSWI 值存在接近甚至超过 NDVI 或 EVI 值的可能性, 给水田信息提取带来了困难。通过对研究区多时相 MODIS 影像的 NDVI LSWI 和 EVI 变化特征分析研究, 可看出在一年的绝大部分时间里水田 EVI 值高于 LSWI 值, LSWI 值在 5 月初略高于 EVI 值。从表 1 中可看出, 一年中很少有 8 天合成地表反射率影像中的 $NDVI < LSWI$ 或 $EVI < LSWI$ 通过这种关系可提取影像中的大部分水田信息, 下一步就是进行容易混分像元的剔除和

选取。

林地和水稻的光谱特征相似, 但林地与水稻的植被指数随时间变化的规律不同。林地和水稻田的识别在于林地的 NDVI 值长时间保持较高且稳定, 而水田的 NDVI 值则变化相对较大, 在泡田插秧期和水稻收割后的 NDVI 值偏低。本研究中 7 月份水稻生长晚期或已收割水田的 NDVI 值明显低于 5 月份的 NDVI 值, 而林地则没有变化, 据此可从影像中剔除林地像元。研究区南部为丘陵区, 水田一般分布在海拔 100m 之下, 通过高程阈值可剔除影像中林地和旱地等非水田像元。

旱地与水田的光谱特征较为接近, 在上一步工作基础上, 本研究 2005 年 5 月 1—8 日影像中存在水田第二波段反射率明显大于旱地的反射率, 而第六波段反射率明显小于旱地反射率这一现象, 据此可剔除旱地像元。

针对存在少量云覆盖的现象并且每个时相影像中云的分布不固定这一特点, 通过 2005 年 5 月 1—8 日合成影像中第二波段的反射率 ≥ 0.3 和第六波段的反射率 ≥ 0.21 这一特征, 可作为云层的识别标

志。水体和水田的特征也有差别,传统的方法通过影像分类提取信息。通过多时相 8天合成反射率影像的 $NDVI$ 和 $LSWI$ 分析,水体的 $NDVI \leq 0.05$ 且 $NDVI \leq LSWI$ 因为水稻田的蓄水时间较短,如果某地类在 4 个时相影像中有 3 个时相被确定为水体,则该地类就可确定为水体类型。城镇用地 $NDVI$ 值在几个时相中明显较低,通过简单的 $NDVI$ 阈值可将该地类剔除。

4 水稻种植的空间分布及提取方法分析

4.1 研究区水稻信息的空间分布

由于影像的空间分辨率为 500m,像元覆盖区域较大且存在混合像元较多的现象,难以进行实地的精度验证,可采用 ETM+影像的水田信息提取结果对本研究获取结果进行分析评价。ETM+影像水田信息直接采用 2000 年全国土地覆盖调查的结果,对照试验区 2004 年 ETM+影像略作修正。表 2 为两种结果的比较,ETM+影像提取的水田面积为

77378.4km²,MODIS 影像提取的水田面积为 87719.4km²。其中同属于 MODIS 影像和 ETM+影像提取结果的水田面积为 50753.5km²,分别占两种影像提取水田总面积的 57.9%和 65.6%。图 2(a)为将试验区 ETM+影像中提取的水田专题图栅格化并生成 500m 网格的水田数据,图 2(b)为基于 8 天合成的 MODIS 地表反射率影像提取的水田信息。从图 2 中可看出,水田在整个试验区都有分布,其中试验区北部属于长江中下游平原区,水田斑块较大且分布比较连续,试验区南部为丘陵区,水田斑块小且分布比较破碎。图 2(b)中水田的分布与图 2(a)中水田的分布相似,但也存在差异,如研究区西北部 MODIS 影像提取的水田少于 ETM+影像的提取结果。再者,图 2(b)中研究区南部存在较多的水田,而图 2(a)中 500m 网格中低比例的水田分布较少。不一致的结果主要是由两种影像本身提取水田的误差造成的,如 ETM+影像中水田信息的提取采用一期影像,造成水田与其他地类特别是旱地存在误分。总的来说,研究区两种影像水田提取的结果有较好的空间一致性。

表 2 研究区 MODIS and ETM+影像水田信息提取结果比较

Table 2 Spatial agreements between paddy rice pixels of MODIS and ETM+ images in test area /km²

水田 1(MODIS)	水田 2(ETM+)	水田 3(MODIS 和 ETM+)	以 MODIS 或 ETM+ 结果为准的 空间一致性比较		ETM+结果的 500m 网格 阈值(50%)提取
			MODIS	ETM+	
87719.4	77378.4	50753.5	57.9%	65.6%	64834.9

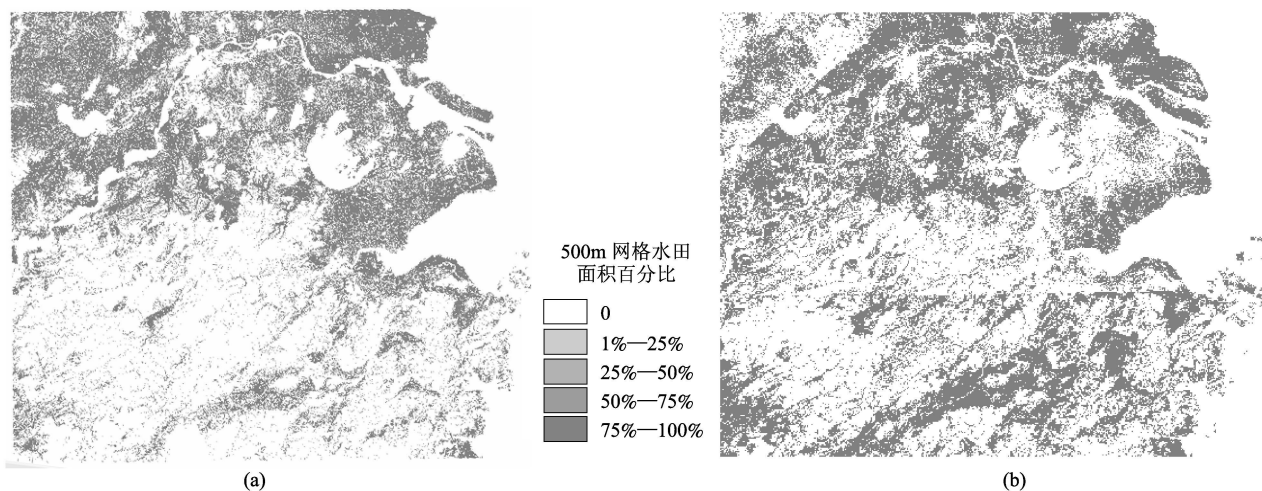


图 2 两种影像水田信息提取的空间分布

(a) ETM+影像提取结果; (b) 8天合成 MODIS 地表反射率影像提取结果

Fig 2 Spatial distribution of paddy rice fields in test area as extracted from

(a) ETM+ images, (b) MODIS 8 day surface reflectance images

4 2 提取结果的定量分析与评价

不同平台遥感数据获取的地表专题信息是以像元作为统计单元的栅格数据。由于空间分辨率的不同,信息提取的尺度效应不同,不便于直接利用多源数据获取的专题信息进行相关比较和分析,因而不能充分发挥已有数据的效益。因此,多源数据的网格化是解决这一问题的有效方法之一。网格化数据具有匹配和融合多源数据的优势,特别适合空间模型的构建、实现和表达,同时数据的网格化也是许多图形绘制、科学计算和空间模型实现的基础工作。

在 500m 网格水田数据中,每个网格的面积为 $250000m^2$,每一基本网格中含有水田的百分比含量值越大,说明土地利用类型越单一,反之说明越复杂。用基于 ETM+ 影像提取的,并以 500m 网格单元百分比表示的水田数据对 MODIS 影像提取的水田信息进行质量分析和评价,需要选取合适的百分比含量阈值,阈值的确定取决于网格的大小和 MODIS 影像的分辨率,因为 500m 空间分辨率像元不一定能识别该像元内面积较小的水田信息,阈值的选取对提取结果的评价很重要。图 3 为 500m 网格中水田数据分布的累积频率图。从图中可看出,当 500m 网格中水田的百分比含量值接近 80% 时,累积频率才为 0.4 这反映研究区基于 500m 网格尺度的水田分布比较连续。因此,可确定网格中水田百分比含量的阈值为 50%,该阈值从 ETM+ 影像中提取的水田面积为 $64834.9km^2$,约占总面积的 83.8% (表 2)。

采用两种数据进行分析评价,首先进行 MODIS 影像和 ETM+ 影像水田提取结果的分析,利用

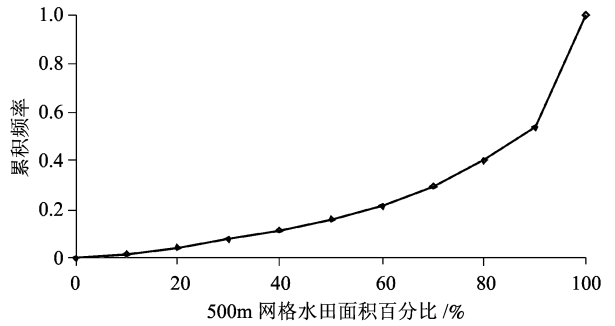
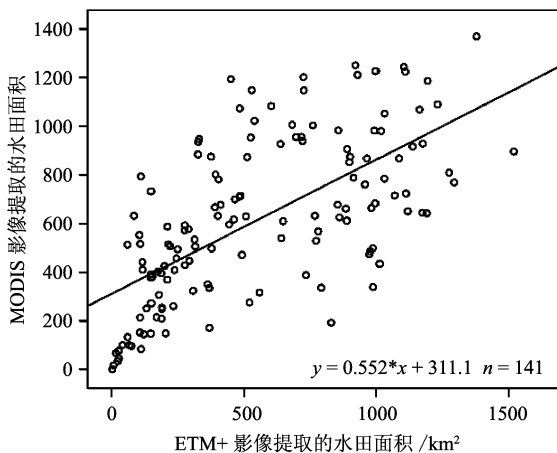


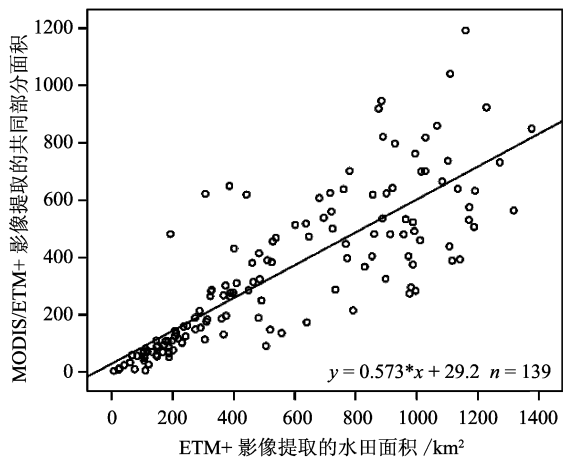
图 3 基于 500m 网格分析的研究区 ETM+ 影像水田信息提取的累积频率图

Fig 3 The cumulated frequency of paddy rice fields extracted from ETM+ images in 500m grid data

$40km \times 40km$ 的网格单元分别与 MODIS 影像和 ETM+ 影像的水田提取结果进行叠置分析,相当于县域范围的分析。利用网格单元代替县级行政单元对研究区水田数据进行网格化计算并表达水田的空间分布,比用行政单元的表达方式更接近于实际。图 4 (a) 为研究区 8 天合成 MODIS 地表反射率影像的水田提取结果与 ETM+ 影像的水田提取结果在 $40km \times 40km$ 网格范围水田面积的相关分析图。其中纵轴为 MODIS 影像提取的水田数据,横轴为 ETM+ 影像提取的水田数据,其相关系数为 0.650 均方根误差为 $251.1km^2$ 。进一步分析可知,在相同范围内,北部平原区 MODIS 影像水田提取的面积总体上略小于 ETM+ 影像水田提取的面积,而南部丘陵区正好相反。这反映出地形因素对土地利用进而对水田信息的提取有着明显影响,南部丘陵区水田分布较分散且斑块面积较小,容易与旱地混分,造成



(a)



(b)

图 4 $40km \times 40km$ 网格的水田信息提取结果的相关分析

Fig 4 Comparisons of paddy rice fields from MODIS images and ETM+ images in $40km$ grid data

MODIS影像中提取的水田面积偏多。图4(b)为两种影像水田信息提取的共同部分(纵轴)与ETM+影像的水田提取结果(横轴)之间的相关分析图。从图中可看出两者具有很好的相关性,其相关系数明显高于图4(a)的相关系数,为0.820。其中均方根误差为 151.7km^2 。这表明如果在已有从ETM+影像中提取的水田参考信息,MODIS影像提取的水田信息能够适时地进行每年的水田种植面积监测。

5 结 论

本研究针对水稻生长状况,特别是水稻泡田插秧期和生长期冠层的光谱及其变化特征,采用时序MODIS影像的植被指数变化特征进行大区域水田种植监测,避免了单一时相的影像分类带来的缺陷。与其他方法不同的是,本研究采用MODIS影像的短波红外波段进行水田信息提取,由于短波红外波段对植被水分和土壤湿度较为敏感,因此,采用LSWI对处于泡田插秧期的水田进行监测具有很好的效果,避免了过去进行植被监测时单纯使用NDVI和LAI的缺陷。通过试验区的水田信息提取及分析评价表明,采用8天合成的MODIS地表反射率影像进行大区域水稻田信息提取是可行的。

当然,研究中也存在一些缺陷,主要表现在:(1)时间分辨率的限制。由于采用的是8天合成的影像,为了消除或减弱大气的影响,选用蓝色波段最小值的像素进行8天影像的合成,这有可能忽略了处于泡田插秧期的水稻种植信息。(2)影像中残存云的影响。尽管合成的影像在一定程度上去除了云,但并不能完全消除云的影响,从而影响了水田信息提取。由于水田种植地区尤其是中国长江中下游地区雨量较充足,云的普遍存在影响了水田信息提取。(3)其他地类如湿地和旱地等的影响。湿地和处于灌溉期或雨水期的旱地与水稻田的光谱特征相似,与水稻田的LSWI特征也相似,通过研究区土地利用专题图可部分消除湿地和旱地的影响。另外,影像空间分辨率的影响也是显而易见的,空间分辨率影响了分类制图的精度,如果具有100—200m空间分辨率的影像,水稻田监测精度将会得到很大的提高。

水稻是中国最主要的粮食作物,经济的迅速发展导致土地利用特别是水田利用状况发生了很大变化,因此,水稻的长势监测和产量估算对国民经济建设具有重要意义。通过试验区的研究表明,利用MODIS影像可进行大区域水稻田种植监测,可为区

域甚至全国的粮食安全、水资源管理和甲烷排放等分析提供及时的并且比NOAA AVHRR影像分辨率更高的水稻种植数据。

致 谢 本文研究得到了中国科学院地理科学与资源研究所周成虎研究员的悉心指导与帮助,在此表示感谢!

参 考 文 献 (References)

- [1] IRRI 1993—1995 IRRI Rice Almanac Rice [M]. Manila International Rice Research Institute 1993
- [2] Sanad M, Merrey D, Vermillion D, et al Irrigation Management Strategies for Improving the Performance of Irrigated Agriculture [J]. *Outlook on Agriculture* 1992 21: 279—286
- [3] Xiao X M, Stephen Boles, Liu J Y, et al Mapping Paddy Rice Agriculture in Southern China Using Multi-temporal MODIS Images [J]. *Remote Sensing of Environment* 2005 95: 480—492
- [4] Matthews E, Fung J, Lerner J Methane Emission from Rice Cultivation: Geographic and Seasonal Distribution of Cultivated Areas and Emissions [J]. *Global Biogeochemical Cycles* 1991 5: 201—217.
- [5] Wu B F, Zhang F, Liu C L, et al An Integrated Method for Crop Condition Monitoring [J]. *Journal of Remote Sensing* 2004 8(6): 498—514 [吴炳方, 张峰, 刘成林等. 农作物长势综合遥感监测方法 [J]. 遥感学报 2004 8(6): 498—514.]
- [6] Wang R G, Huang J F. Rice Yield Estimation Using Remote Sensing Data [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002 [王人潮, 黄敬峰. 水稻遥感估产 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.]
- [7] Shao Y, Fan X T, Liu H, et al Rice Monitoring and Production Estimation Using Multitemporal RADARSAT [J]. *Remote Sens Environ* 2001 76: 310—325
- [8] Fang H, Wu B, Liu H, et al Using NOAA AVHRR and Landsat TM to Estimate Rice Area Year by year [J]. *International Journal of Remote Sensing* 1998 3: 521—525.
- [9] Okamoto K, Kawashira H. Estimating of Rice planted Area in the Tropic Zone Using a Combination of Optical and Microwave Satellite Sensor Data [J]. *International Journal of Remote Sensing* 1999 5: 1045—1048.
- [10] Van Niel T G, McVicar T R, Fang H, et al Calculating Environmental Moisture for Per field Discrimination of Rice Crops [J]. *International Journal of Remote Sensing* 2003 24: 885—890
- [11] Xiao X M, Boles S, Froking S, et al Observation of Flooding and Rice Transplanting of Paddy Rice Fields at the Site to Landscape Scales in China Using VEGETATION Sensor Data [J]. *International Journal of Remote Sensing* 2002 23: 3009—3022
- [12] Liu Y J, Yang Z D, et al MODIS Image Processing Principle and Its Algorithm [M]. Beijing: Science Press, 2001. [刘玉洁, 杨忠东等. MODIS遥感信息处理原理与算法 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- [13] Xiao X M, Zhang Q Y, Scott Salesska, et al Satellite-based Modeling of Gross Primary Production in a Seasonally Moist Tropical Evergreen Forest [J]. *Remote Sensing of Environment* 2005 94: 105—122.