

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

苗翠翠^{1,3}, 江南^{2*}, 彭世揆³, 吕恒², 李扬³, 张瑜³, 王妮³, 李军⁴

(1. 无锡市自来水总公司, 无锡 214031; 2. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210097;

3. 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037; 4. 无锡市城乡给排水设计院, 无锡 214031)

摘要: MODIS 植被指数时间序列产品能够连续反映植被的覆盖情况, 是农作物遥感测量的重要数据源。本文选取江苏省为研究区, 利用 2008 年 23 个时相的 MODIS NDVI 数据, 采用 S-G 滤波法进行时间序列的重构, 提高 NDVI 时间序列信息的真实性。另结合农作物物候历、种植结构、地面调查样本等辅助资料, 将水稻植被指数时间序列曲线参量化为水稻物候生长期的关键值——生长周期的起始时间、生长幅度、生长长度以及生长过程的 NDVI 最大值。最后, 利用这些关键值确定分类规则, 采取决策树分类器, 建立区域水稻种植面积提取模型, 总体提取精度为 87.5%, 其表明 MODIS 植被指数时序数据及本文研究方法在农作物信息提取中的有效性。

关键词: NDVI 时间序列; S-G 滤波; 生长周期关键值; 决策树分类

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00273

1 引言

近年来, 江苏省的水稻总产值一直稳居全国前列, 单产居全国水稻主产省之首。如何对水稻的种植及产值情况进行全方位监控预测, 是国家发展和预防经济危机的重点之一。早在 1979 年, 陈述彭院士就开始倡导利用遥感技术进行作物估产^[1]。我国农情遥感监测已有 20 余年的研究历史, 但由于土地辽阔、地形复杂、种植结构多样性等, 在某些关键技术和应用运行方面仍然需要加强研究和改进^[2]。

NDVI 时间曲线分析法, 目前被广泛应用于水稻、小麦的面积提取中。范磊^[3]等利用 MODIS 卫星数据提供的红波段和近红外波段计算冬小麦的 NDVI, 并建立 NDVI 值和麦苗长势的对应关系。S S Young, Running SW^[4-5]通过对植被季相节律、物候特征和植被类型的 NDVI 年变化曲线分析, 进行分类。Bradley C · Reed^[6]等人将 NDVI 应用于植

被生长动态时间序列剖面构建、物候特征提取、植被分类等诸多方面。另外, Wu B F^[7]在利用时序 NDVI 数据提取作物过程中, 采用最小二次方拟合的分析, 依据作物轮作规律和生长周期性特征, 去除了影像中云污染的影响。曹云峰^[8]等人针对 MODIS-NDVI 时间序列中存在的噪声, 比较了 TimeSat 中的 3 中滤波算法, 研究了原始数据质量差异对滤波算法的保真性的影响, 以及不同滤波算法对原始高质量数据保真性的差异, 最终得出 S-G 滤波法对原始数据的提升效果最优。Jönsson 和 Eklundh^[9]提出了非对称高斯函数拟 (Asymmetric Gaussians, S-G) 算法, 指出其拟合性能优于 BISE 和基于傅里叶变换的滤波算法。Chen Jin^[10-11]等利用改进的 S-G 算法对时间序列的 NDVI 数据进行滤波处理, 指出其滤波方法优于 Sellers 等提出的快速傅里叶变换算法。

本文旨在探讨原始 NDVI 时间序列中存在的噪声对面积提取带来的影响。通过分析 NDVI 时

收稿日期: 2010-10-02; 修回日期: 2010-12-22.

基金项目: 国家高技术研究发展专项“国家粮食主产区粮食作物种植面积遥感测量与估产业务系统”(2006AA120101)。

作者简介: 苗翠翠(1984-), 女, 硕士研究生, 主要从事遥感与地理信息系统研究。Email: cream1010@163.com

* 通讯作者: 江南(1961-), 男, 教授, 博士生导师。主要从事国土资源遥感与地理信息系统开发研究。

E-mail: njiang@njnu.edu.cn

间序列与作物物候特征的相关性,采用了 S-G 滤波法平滑时间序列曲线,提高了 NDVI 时间序列所表达信息的真实性;确定最优分类规则,以利提取研究区的水稻种植面积。

研究区介于东经 116°18′~121°57′E,北纬 30°45′~35°20′N 之间。属亚热带和暖温带过渡地带,具有明显的季风气候特征。全省面积约 1 067 万 hm²,其中,耕地面积约为 500.84 万 hm²。年日照时数 2000~2600h,年平均气温 13~16℃,无霜期 200~240 天,年均降雨量 800~1200mm。光热条件好,降水比较丰富,适于喜温和中温作物的生长。粮食作物主要以水稻、麦类为主,经济作物则有棉花、花生、油菜、黄麻、蚕桑等。水稻主产于苏南,麦与花生集中产于徐淮地区,苏北地区还产玉米、高粱等粮食作物,油菜多产于太湖流域。

2 基于 NDVI 时序的水稻遥感监测分析

2.1 数据的预处理

实验源数据来自 NASA 提供的 MOD13 系列 16 天合成的 NDVI 植被指数数据(类型为陆地 2 级标准数据产品)。数据的预处理:(1)几何校正与重采样,并提取 NDVI 波段。(2)利用已有省界对合并后的 23 波段图像进行剪切,提取研究区域。(3)建立 MODIS-NDVI 时间序列曲线。图 1 为农作物的原始 MODIS-NDVI 年序列曲线图,图上横坐标-波段所对应的实际时间表格如表 1 所示。

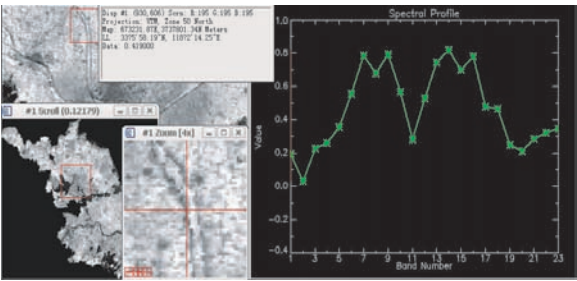


图 1 平滑处理前的农作物 NDVI 时间序列图
(Row:930,Column:606)
Fig. 1 Crops NDVI time-series before smoothing

2.2 基于 TIMESAT 软件的 NDVI 时序平滑处理分析

MODIS 数据在经过处理后形成的 NDVI 时间序列,具有极好的空间分析功能。但高时间分辨率的优点使之在频繁接收数据的同时,受到太阳光照

角度、云以及观测视角等影响,导致数据的真实性欠缺。因而,在分析时间序列和作物间的物候关系前必须对原始时间曲线进行平滑预处理。

S-G 滤波是 Savitzky 和 Golay^[12] 提出的平滑滤波器,可以简单地理解为一种权重滑动平均滤波,其权重取决于滤波窗口的宽度以及平滑多项式最小二乘拟合的次数。

表 1 波段与实际时间对应表
Tab. 1 Corresponding table of band and the actual time

波段	天数	波段	天数	波段	天数
Band1	001	Band9	129	Band17	257
Band2	017	Band10	145	Band18	273
Band3	033	Band11	161	Band19	289
Band4	049	Band12	177	Band20	305
Band5	065	Band13	193	Band21	321
Band6	081	Band14	209	Band22	337
Band7	097	Band15	225	Band23	353
Band8	113	Band16	241		

注:表 1 的天数指从 2008 年第 1 天开始算起,波段间以 16 天间隔递增。

本次研究采用一种专门处理时间序列噪声的软件—TIMESAT^[13-14],平滑效果明显且能充分反映出 NDVI 长时间变化的趋势。图 2、图 3 即是平滑处理前后的 NDVI 曲线对比图。

2.2.1 典型地物的 NDVI 时间序列分析

通过研究连续的 NDVI 时间序列,将曲线波动与作物一年内植被变化情况相结合,达到动态监测大范围区域农作物的目的。图 4 是经过滤波平滑处理后选取的四种典型地类的 NDVI 曲线变化:

从图 4 可见,各种作物的 NDVI 时间曲线与其实际生长周期植被的生长变化基本吻合。水体的 NDVI 值常年小于 0.1;居民地的 NDVI 曲线呈现轻微波动,NDVI 值始终小于 0.4;林地的 DNV I 值常年保持高的变化趋势;而各类作物则由于轮作模式的不同,以及物候差别,呈现出不同的波动趋势。江苏地区的耕作模式属于一年一熟的复种式,种完冬小麦接种水稻。因此,某些耕种点的 NDVI 曲线在一年内呈现两个峰值,分别为冬小麦和水稻的抽穗期,这是农作物提取的重要信息依据。

2.2.2 典型地物的物候生长关键值分析

利用时间序列分析方法,依据植物物候变化信息,可从植被指数时间序列中提取出一些重要的物候参数(见图 5)。

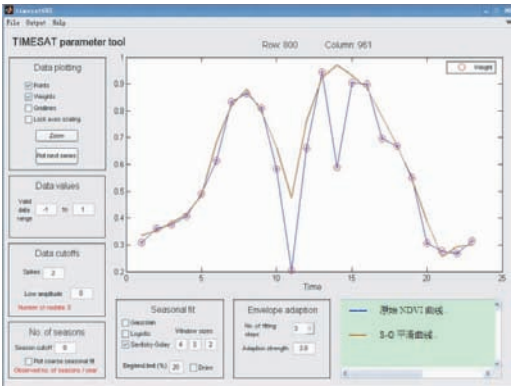


图 2 NDVI 时间序列曲线拟合效果对比图
Fig. 2 Comparison chart of fitting results for NDVI time-series curves

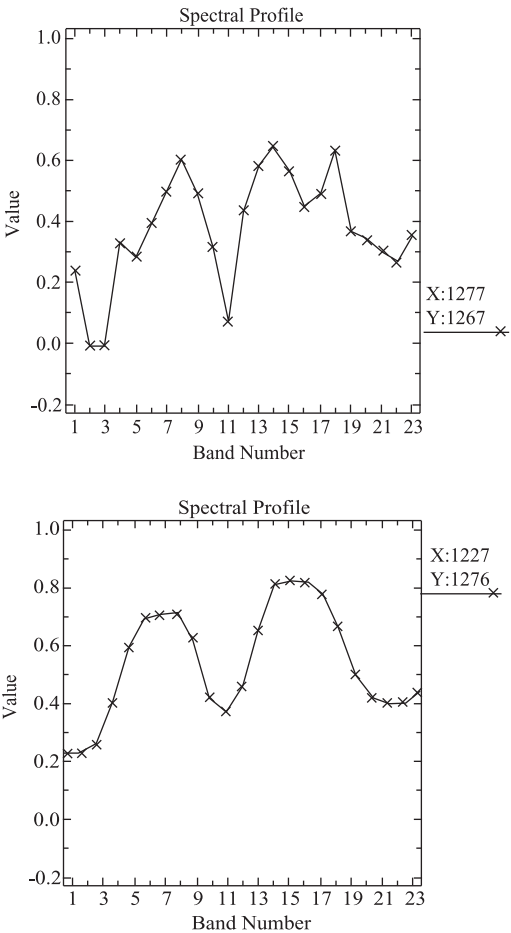


图 3 S-G 滤波处理前后的 NDVI 时间曲线对比图
Fig. 3 Comparison chart of NDVI time-series curve (before and after S-G filtering processing)

其中,a 表示生长季开始,b 表示生长季结束,c、d 表示 NDVI 增长到或减小到生长季中 NDVI 最大值的 90%,e 为生长季中 NDVI 最大值,f 为生长

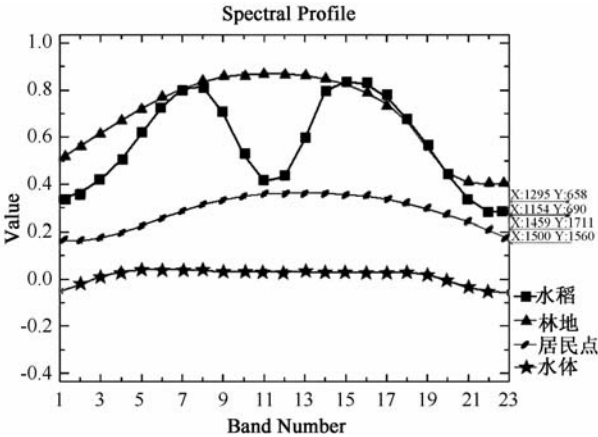


图 4 NDVI 时间序列平滑后典型地类的时间曲线图
Fig. 4 Time curves of typical ground objectives after NDVI time-series smoothing

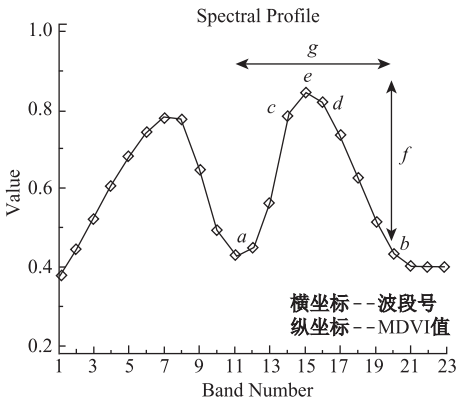


图 5 生长周期关键值参考示意图
Fig. 5 Schematic diagram of the key values of the growth cycle

季 NDVI 幅度(生长季中 NDVI 最大值减去 NDVI 最小值),g 为生长季长度。

NDVI 平滑时间曲线,反映了各种地表植被类型在一年内的 NDVI 波动情况。利用 TIMESAT 软件,提取江苏省所有植被的生长期关键信息—作物生长周期的开始、结束时间、生长期长度、幅度以及生长周期中的 NDVI 最大值。

从图 6 可以看出,在 Band 3 处开始出现生长迹象。根据表 1 波段和时间的对应关系,此处对应的实际时间为 2008 年 2 月中旬左右,即冬小麦在经过越冬期后开始逐渐进入返青拔节期,这与实际相符。

在冬小麦的 NDVI 开始回升后,Band 5-Band 6 处仍然有少量的生长迹象,认为是林地,林地在上一冬季叶子脱落,NDVI 值开始下降,直到次年 3 月份才开始回升,在图上对应的波段正好是 band 5

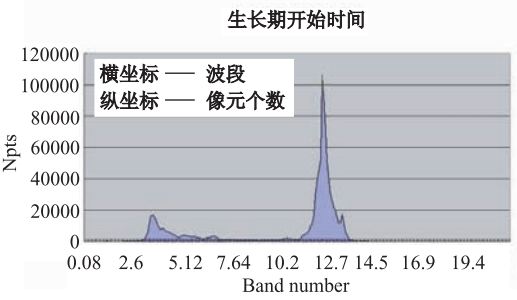


图 6 生长季开始时间—像元数图

Fig. 6 Relationship between start time of growing season and the number of map pixels

左右,直到 10 月份都一直保持稳定增长。

图 6 第二个高峰出现在 Band11 处,对应的时间为 2008 年 6 月上旬,此时水稻刚刚进入移栽期,逐步进入分蘖、拔节期,和实际农业普查数据基本一致。可见,经过 SG 滤波平滑后得到的图像所提取的关键信息具有显著的指导意义。

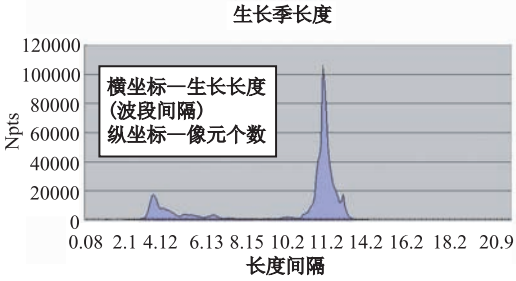


图 8 生长季长度—像元数

Fig. 8 Relationship between length of growing season and the number of map pixels

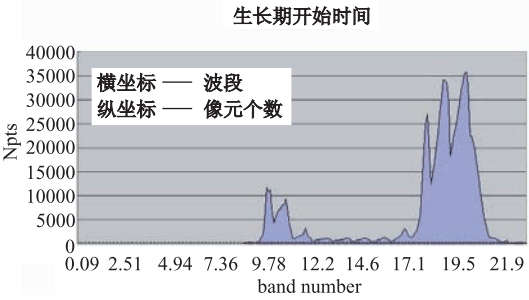


图 7 生长季结束时间—像元数图

Fig. 7 Relationship between end time of growing season and the number of map pixels

研究区的冬小麦经过了抽穗—灌浆期,进入收获时间。根据 2008 年农普数据显示,冬小麦因前期生育期的推迟,于 4 月下旬至 5 月初才进入扬花期,收获时间大概在 5 月中上旬,反应到 MODIS 波段上为 Band 9。

在图 7 中,Band 11-Band 15 之间显示出少量的作物迹象。根据江苏省的作物种类,同时结合统计局提供的作物物候期得出如下结论:此处作物的动态迹象为江苏省春玉米的生长结束期,比冬小麦的收获时间延后。由于播种时间和冬小麦的生长期重叠,仅仅依靠分析 NDVI 时间序列曲线并不能区别出春玉米;但通过提取的其他物候期关键信息,我们可以设定阈值,通过训练规则,将它与冬小麦、水稻等区分开。

水稻在经过孕穗—抽穗—成熟,进入收获期,灌浆成熟时间大概是 9 月上旬到 10 月下旬。由于 2008 年 10 月下旬冷空气下雨的影响,江苏地区的水稻收获进度稍微推迟,大概为 11 月初,显示在图上的波段为 Band 20。

在 Band 17-Band 21 结束时间的像元数占面积范围很大。分析得出,在此期间,林地和草地的 NDVI 值也开始逐步下降,冬天叶子脱落,二者的生长结束,直到来年的三月份,其 NDVI 才开始上升,并一致保持很高的趋势。

生长季长度是指农作物从生长周期开始到生长结束的时间间隔,能直观反映出作物的生长期长短。水体和建筑基本上没有所谓的生长期,通过这个也可以直接在影像上将水体和建筑类的剔除。

根据常年统计的物候数据,研究区水稻的生长期一般在 5 月上旬—10 月下旬,对应 MODIS-16 天合成的 NDVI 波段图像上为 Band9-Band21,长度间隔为 12,和图中显示的长度间隔 12 的位置出现峰值基本情况一致。

图 9 是江苏省 MODIS 植被数据在年变化过程中各个像元点的 NDVI 最大值所对应的像元个数,此数据关键在于区分林地和其他农作物。林地的生长期从 3 月份开始,4 月份达到最大值,直到 10 月份都保持很高的值;在水稻孕穗前后二者的光谱特征基本相似。但是研究连续的 NDVI 曲线发现,随着时间的变化,二者逐渐呈现出显著差异:林地的 NDVI 值长期保持较高且稳定,一年中至少有 10 个时间 NDVI 值超过 0.6;而水稻的 NDVI 值则呈现明显的波动性,在插秧期和收割期的 NDVI 相对偏低。利用 TIMESAT 提取的 amplitude(生长期幅度)图像,可以将水稻和林地区分开。

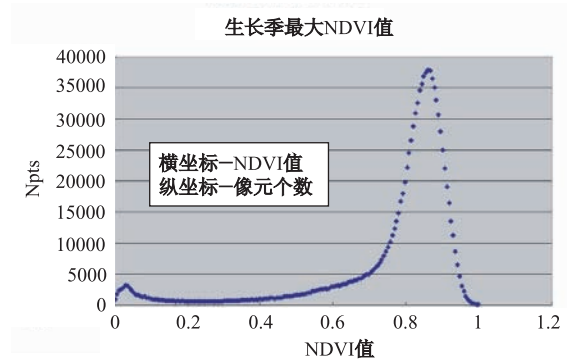


图 9 生长周期中 NDVI 最大值-像素数
Fig 9 Relationship between maximum NDVI in growing season and the number of map pixels

2.2.3 决策树分类法分析

决策树分类法凭借其直观、可操作性强、计算效率高等优点深得研究者的青睐。特别是在多时相的农作物遥感技术中,较以往技术有了很大的提高。除了利用作物的光谱信息,还将一些其他关键属性信息加以结合,包括不同作物间的不同物候期、数字地形模型、坡度等足以区分作物种类的关键性资源。

(1)目标变量和分类变量
此次研究重点提取江苏省的水稻面积,而将区域中的水体、居民点,以及干扰水稻提取的林地进行排除。即参与决策树分类的目标变量最终确定为 4 类:水稻、水体、居民点、林地。而用于分类的变量主要是参考 NDVI 时间序列和提取的物候期关键值进行分析;共有如下几类:像元 NDVI 值 (NDVI)、生长周期的开始 (start)、结束时间 (end)、生长季长度 (length)、生长季幅度 (amplitude),以及生长周期的最大值 (NDVI_{max})。

表 2 决策树分类中的目标变量以及分类变量表

Tab.2 Target variables and classification variables in a decision tree classification

变量	目标变量	分类变量
类别	水体	NDVI 值 (NDVI)
	居民点	生长周期开始时间 (start)
	林地	生长周期结束时间 (end)
	水稻	生长季长度 (length)
		生长周期 NDVI 最大值 (NDVI _{max})

(2)训练区的选取与纯化 最终生成的 MODIS-NDVI 数据中包含了大量的特征信息(各个像元点

的 NDVI 值、不同作物间的物候期关键值等);然而由于混合像元的存在,进行分类提取前必须对训练区进行纯化。通常样本选择越精确,分类精度越高。因此,我们针对同一地物选择多个训练区。根据之前的背景资料和预处理数据结合其在影像上表现出的色调、纹理等特征,在研究区影像图上选择几类训练区,通过专业软件多次训练,使其分布尽量均匀。

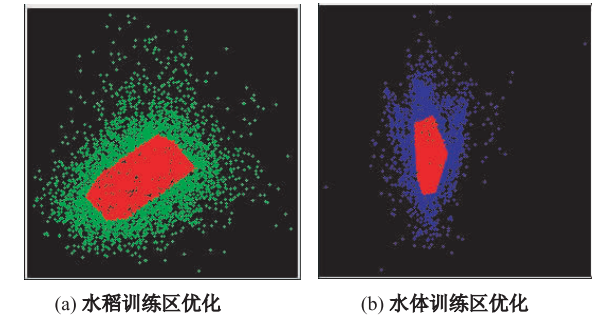


图 10 水稻和水体的训练区优化
Fig. 10 Training area optimization for (a) paddy land and (b) water body

2.3 水稻种植面积的提取

针对本次试验的遥感数据,在对平滑后的 4 类典型地物的 NDVI 时间序列进行分析的基础上,结合作物的生物特征及地表植被变化规律,确定了如下的分类规则:

(1)先剔除水体,阈值设为 $NDVI < 0.2$;通过选用不同时相的数据(2008 年 4 月份、8 月份,此时间段小麦和水稻 NDVI 接近峰值,不会干扰到水体的剔除)。在此范围,水稻、林地和该区间没有任何交集;而水体则是几乎含盖了该区间内的所有像元点,故将满足此条件的像元归为水体类别。

(2)其次剔除居民点,阈值设为 $0.2 < NDVI < 0.5$ and $start = 0$ and $end = 0$ and $amplitude = 0$ and $length = 0$;居民地建筑在一年内植被理想状态下不应有大的波动,且 NDVI 值明显高于水体。采用多个时间的数据对该枝节的规则在训练区中进行训练,最终得出该区间 98.9%的像元都属于居民点。

(3)剔除林地,阈值设为 $3.5 < start < 6.8$ and $NDVI_{max} > 0.6$,林地一年内的 NDVI 都保持较高值,呈现动态的小幅波动。

(4)提取水稻信息,训练规则为 $11 < start <$

13.5 and $18 < \text{end} < 20$ and $\text{amplitude} > 0.25$ and $\text{NDVImax} > 0.5$, 计算得到的训练区中水稻占了此区间像元点的 99.5%, 根据规则训练的基本要求, 将水稻提取出来。

(5)最后, 将剩下的其他地物归为决策树分类中的其他类。

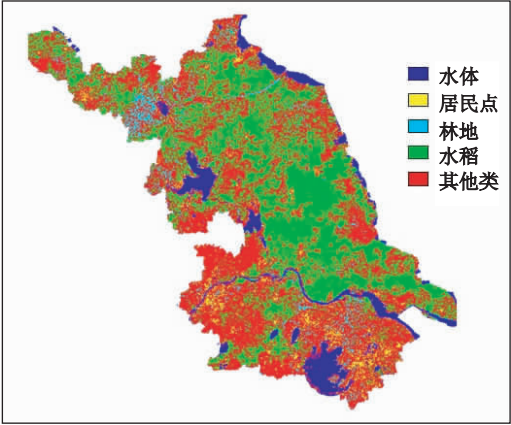


图 11 江苏省的水稻面积的提取图

Fig. 11 Paddy land extraction of Jiangsu Province

3 结果与讨论

本次试验采用了如下两种方法进行精度评估:

(1)混淆矩阵分析法 将分类结果中的水体、水稻、居民地, 以及林地与纯化后的训练区进行混淆矩阵分析。精度达到 93.6%, Kappa 系数为 0.92; 训练区的选择间接决定了最终的分类精度, 故结果存在一定的误差。

(2)最终分类统计得出水稻面积约为 251.35 万 hm^2 。根据江苏农业网的农业经济统计显示 2007 年江苏省水稻种植面积为 222.81 万 hm^2 。农普数据显示的 2007 年的水稻面积为 222.63 万 hm^2 。根据农业统计数据推断利用 NDVI 和物候期关键值提取江苏省水稻面积精度约为 88%。

水稻提取面积之所以高于统计面积的原因, 在于水稻生长季的分类统计中混有部分林地、草地和瓜果蔬菜等作物; 同时混合像元的存在也成为分类精度受限的一个重要原因。但是此精度对于低分辨率的 MODIS 影像来说, 是可行的。

本文利用 NDVI 时间序列和作物物候期关键值的方法进行了江苏省水稻面积的提取, 我们得到如下结论:

(1)S-G 滤波重建 NDVI 时间序列曲线的方法, 在针对江苏省水稻作物的提取中起到了关键作用。此次试验的研究重点是将传统的 NDVI 时间序列曲线分析法能够与作物的物候生长期关键值相结合。不同地物呈现的不同光谱特性, 以及在生长周期中具备的独特的生长期要素, 都成为提取水稻等农作物的重要信息, 从而将光谱特性相近的作物类型, 通过生长周期的不同而严格区分开。因此, 生长周期的关键物候信息提取是本次研究的重要成果。

(2)物候现象是作物过去和现在各种环境因素的综合反映。因此, 物候现象可以作为环境因素影响的指标, 也可以用来评价环境因素对于农作物影响的总体效果。如何更充分地利用物候期的有用信息来指导农作物提取、种植空间分布信息统计、作物产量面积预估等各方面都应该引起我们的重视。

同时, 对提取后的江苏省水稻分布与高分辨率的遥感影像进行对比分析发现, 在研究方法中仍存在不足之处:

(1)混合像元的存在降低了分类精度。低分辨率的遥感数据中存在大量同物异谱或者异物同谱的像元, 严重降低了分类精度。

(2)耕作模式不同导致分类方法不同。目前, 很多学者利用 MODIS 进行作物实时监测和预控^[15-18]已达到一定规模, 然而受低分辨率的影响, 提取的作物精度还不能满足实际应用的需求。本次试验成果对于大范围内水稻种植面积测量方法的研究有着重要的理论和实际价值。但在实际运行中, 由于中国地多人广, 各个省县的耕种模式不同, 给利用多时相的时间序列分类造成一定的困难, 增加了分类的不准确性。如需在更大范围内进行试验, 则需根据研究区域特定的物候情况及耕种模式分析, 因地制宜, 制定符合该地区的分类规则。

参考文献:

[1] 唐华俊. 农作物空间格局遥感监测研究进展[J]. 中国农业科学, 2010, 43(14): 2879 - 2888.
[2] 周清波. 国内外农情遥感现状与发展趋势[J]. 中国农业资源与区划, 2004, 25(5).
[3] 范磊, 程永政, 刘婷, 等. 基于 MODIS 数据的河南省冬小麦长势监测研究[J], 河南农业科学, 2008(8).
[4] Young S S and Wang C Y. Land-cover Changes Analysis of China Using Global-scale Pathfinder AVHRR

- Land Cover (PAL) Data [J]. *Int J Remote Sensing*, 2001, 22(2):1457 - 1477.
- [5] 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
- [6] Reed B C, Brown J F, Vander zee D, *et al.* Measuring Phenological Variability from Satellite Imagery [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1994, 5(5):703 - 710.
- [7] 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.
- [8] 曹云峰, 王正兴, 等. 3 种滤波算法对 NDVI 高质量数据保真性研究[J]. *遥感技术与应用*, 2010, 25(1).
- [9] Jönsson P, Eklundh L. Seasonality Extraction by Function-fitting to Time Series of Satellite Sensor Data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, 40(8):1824 - 1832.
- [10] Sellers P, Tucker C, Collatz G, *et al.* A Global 10 by 10 NDVI Data Set for Global Studies. Part 2: The Generation of Global Fields of Terrestrial Biophysical Parameters from the NDVI [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15(17):3519 - 3545.
- [11] Jin Chen, Per Jönsson, Masayuki Tamura, *et al.* A Simple Method for Reconstructing a High-quality NDVI Time-series Data Set Based on the Savitzky-Golay Filter [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91:332 - 344.
- [12] Savitzky A, Golay M J E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures [J]. *Analytical Chemistry*, 1964, 36:1627 - 1639.
- [13] Jonsson P and Eklundh L. TIMESAT: A Program for Analyzing Time-series of Satellite Sensor Data [J]. *Computers and Geosciences*, 2004, 30:833 - 845.
- [14] Jonsson P and Eklundh L. Seasonality Extraction by Function Fitting to Time-series of Satellite Sensor Data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, 40(8):1824 - 1832.
- [15] 张明伟, 周清波, 陈仲新, 等. 基于 MODIS 时序数据分析的作物识别方法 [J]. *中国农业资源与区划*, 2008, 29(1).
- [16] 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] 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.
- [18] 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.

Extraction of Paddy Land Area Based on NDVI Time-series Data: Taking Jiangsu Province as an Example

MIAO Cuicui^{1,3}, JIANG Nan², PENG Shikui³, LV Heng², LI Yang³,
ZHANG Yu³, WANG Ni³, LI Jun⁴

(1. Wuxi Water Corporation, Wuxi 214031, China;

2. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China;

3. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

4. Wuxi City & Country Water-Supply & Drainage Engineering Design Institute, Wuxi 214031, China)

Abstract: As a kind of crucial data which was able to reflect the continuous coverage of vegetation on the earth surface, the long time-series MODIS NDVI products have already become a reliable data source used in remote sensing for crop measurement. In this paper, a long time-series and high-resolution (250m) MODIS data in 2008 was used to extract the area of the paddy land in Jiangsu Province, China. In the beginning, an annual time-series NDVI dataset of the study area was built up by pre-processing, and a reconstruction of time-series based on Savitzky-Golay filter provided this study excellent images with the better visual effect and NDVI temporal profile. Considering the paddy phenological calendar, the identifiers of

paddy were parameterized as starting time, range, extent, and maximum of NDVI during the growth period. In the end, through comparing the phenological key values, a reasonable classification rule was generated based on the thresholds of phenological key values, and a decision tree classifier was constructed to extract Paddy land area, whose precision was 87.5%. It turned out the feasibilities of long time-series MODIS NDVI data and our classification strategy adapted to the extraction of crop land area.

Key words: NDVI time-series; S-G filter; phenology key value; decision tree classifier.

(上接第 176 页)

little better in transport superiority degree, and the level of traffic is comparatively well in Hebei. The result maps reveal the regional difference and the distribution pattern of Hebei, and the result of this paper is provided as reference for traffic planning and major function regions zoning. Furthermore, the per-capita GDP and the transport superiority degree of every county was compared and analyzed. The computation result is that the per-capita GDP of 2006 presents a not very strong positive correlation with the transport superiority degree for each county with a correlative coefficient of 0.408.

Key words: transport superiority degree; main function region; GIS; Hebei Province