

基于异源多时相遥感数据提取灌区作物种植结构

蔡学良^{1,2}, 崔远来^{1*}

(1. 武汉大学水文水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072;
2. International Water Management Institute, Colombo 20075, Sri Lanka)

摘要: 用遥感技术提取灌区作物种植结构需要源影像具有适宜的时空分辨率以适应其动态变化特征。该文综合运用多种遥感影像数据, 将 Landsat ETM+与 MODIS NDVI 数据融合区分灌区土地利用类型, 由融合后的时间系列数据非监督分类结果提取植被指数变化信息, 结合作物系数变化规律运用光谱耦合技术提取作物种植结构。根据该方法将漳河灌区作物种植结构区分为水稻—油菜、水稻—小麦、单季夏季作物以及双季经济作物。由地面统计数据和高分辨率 IKONOS 影像进行了检验, 分类精度达到 91%并且与统计数据相吻合。结果表明该法不仅能提供更为准确的灌区作物种植结构时空信息, 而且节省影像购买成本, 方便灌区尺度遥感应用。

关键词: 遥感, 作物, 光谱耦合技术, 种植结构, ETM+, MODIS

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.023

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-8-0124-07

蔡学良, 崔远来. 基于异源多时相遥感数据提取灌区作物种植结构[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 124—130.

Cai Xueliang, Cui Yuanlai. Crop planting structure extraction in irrigated areas from multi-sensor and multi-temporal remote sensing data[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(8): 124—130.(in Chinese with English abstract)

0 引言

作物种植结构包括对区域作物类型、品种、面积和轮作等多项农业信息的综合, 是农业和灌溉用水管理部门的重要参考数据。灌区由于水源条件的优势普遍存在较高的复种指数, 各种作物的种植面积、区间分布, 乃至灌区内同种作物在不同区域内生育周期的差异都对灌区水肥管理有着直接的影响。传统的逐层统计汇报和实地测量方法误差大、耗时耗力, 且缺乏直观的空间分布信息。而遥感在土地利用、地表覆盖调查等方面具有独特的优势, 近年来在农业、水资源管理方面的应用越来越普及^[1]。

作物种植结构提取是区别于土地利用变化监测的一个较高层次的遥感应用。后者强调“变化”的比较, 根据同一地区不同时间点的遥感影像解译并借助 GIS 平台分析其变化趋势^[2]。作物种植结构的识别需要提取 1 个周期内(通常为 1 a)作物种植及轮作信息, 因此需要时间系列的遥感数据。根据作物指数的变化规律区分作物生育周期, 将此信息与地面调查建立的作物生育周期模型

进行耦合, 即可判断不同的作物类型。在此应用中的两个数据制约因素是影像的时间和空间分辨率。较高的时间分辨率有助于更精确地区分作物生育周期, 而较高的空间分辨率可以获得更精确的地面解译, 减少混合象元的影响^[3]。

用遥感技术提取作物信息的 1 个最常用指标是归一化植被指数(NDVI)。该指标能够综合反映植被在可见光和近红外波段的反射特性, 被广泛应用于作物分类和生长状况评价^[4]。以时间系列植被指数为基础, 很多学者研究了遥感方法提取某种特定类型土地利用/覆盖的方法。DeFries^[5-6]等根据 AVHRR NDVI 变化特征提取了全球森林覆盖密度; Loveland^[7]则运用同源 NDVI 信息直接将全球土地利用区分为 961 个类别; Thenkabail^[8]等融合 AVHRR、SPOT 以及多种其他数据, 提取并计算了亚象元全球灌溉面积; 闫慧敏^[9]等将全国范围内作物分为一熟、二熟、三熟, 提取并分析了其分布规律; 在更小的尺度上, Lee^[10]和 Xin^[11]分别用 AVHRR NDVI 对内蒙古和淮海平原的作物分布规律进行了研究; 张群^[12]对小麦种植面积进行了监测; 徐美^[13]利用多景中巴资源卫星 CBERS 数据提取了青铜峡灌区的作物种植结构, 取得了较好的效果。高分辨率影像如 IKONOS 等也被应用于农业土地利用分类和变化监测的研究中^[14-15]。这些应用通常基于对单一影像的解译, 如 TM^[16]或 MODIS^[17-18]等。如何融合不同数据源以有效利用免费资源获取尽可能多的信息则是农业遥感应用中的一个重要课题^[19-20]。

遥感在农业与水资源管理应用中两个较大的制约因素, 数据源限制和影像处理技术发展水平。数据源的限制主要包括影像空间分辨率和时间分辨率, 在某些应

收稿日期: 2007-10-14 修订日期: 2009-07-14

基金项目: 国家自然科学基金(50579059, 50879060, 50839002); 国家科技支撑计划子题(2006BAD11B08-3)部分研究内容

作者简介: 蔡学良(1979—)男, 湖北大悟人, 博士研究生, 主要从事节水灌溉及灌区水管理技术研究。武汉 武汉大学水文水资源与水电工程科学国家重点实验室, 430072。Email: X.Cai@cgiar.org

*通信作者: 崔远来(1966—)男, 江西武宁人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术及水资源管理方面研究。武汉 武汉大学水文水资源与水电工程科学国家重点实验室, 430072。Email: Cuiyuanlai@263.net

用中对光谱分辨率也有较高的要求。在应用中必须要考虑时、空分辨率的平衡问题, 较高空间分辨率的影像, 一般来说数据购买价格也高。本文探讨了综合运用 Landsat ETM+和 MODIS 影像来提取灌区作物种植结构的方法。将 ETM+影像与 MODIS 250 m 逐月 NDVI 数据融合进行土地利用分类, 提取作物植被指数变化曲线, 通过光谱耦合技术与调查得到的作物系数变化曲线进行匹配, 从而识别出灌区内作物轮作信息。

1 研究区概况

湖北省漳河灌区位于江汉平原中上游与漳山山脉交界处, 年辐射总量 469.3 kJ/cm^2 , 年日照时数 2 112 h 左右, 年均气温 16.9°C , 年均降雨量 960 mm。灌区总面积约 $5\,540 \text{ km}^2$, 主要种植作物为中稻、油菜、小麦、棉花等。灌区主要的轮作类型为中稻—油菜, 其中中稻是最主要的灌溉作物。了解油菜等其他作物的分布及其生育周期变化规律, 对灌区水资源总量管理也具有重要的意义。然而长期以来由于多方面原因, 灌区管理部门很难掌握准确的灌区作物种植面积信息。他们或者只能沿用历史统计数据, 或者通过各水管理机构在当地政府的协助下重新统计, 但是通过不同途径得来的数据往往自相矛盾。基础信息的缺失, 影响灌溉配水决策的科学性, 阻碍了灌区水管理水平的提高。

2 数据及方法

遥感应用中最常见的制约因素是影像数据源问题。较高空间分辨率的影像往往具有较低的时间分辨率, 反之亦然。ETM+影像空间分辨率为 15 m (全色波段) 和 30 m (多光谱波段), 较适宜于灌区尺度的应用, 然而其时间分辨率为 16 d, 加上云的影响和 2008 年底以前较为昂贵的数据采购费用, 使其在农业、水管理中的应用受到限制。中分辨率成像光谱仪 MODIS 搭载在 TERRA 和 AQUA 两颗卫星上, 对地球上大部分区域每天提供 4 次覆盖。MODIS 影像共有 36 个波段, 地面分辨率从 250~1 000 m 不等, 分别适用于大气、陆地和海洋研究。相比其他在陆地地表循环过程研究中应用较多的影像资源如 Landsat 等, MODIS 影像具有较高的时间分辨率而空间分辨率较低, 但作为一种免费数据得到广泛应用。

漳河灌区主要作物水稻及油菜生育期分别为 5—8 月份及 10—次年 4 月份。本文共用到 2 景 ETM+和 12 景 MODIS 影像。ETM+影像获取时间分别为 2000 年 7 月 10 日水稻拔节抽穗期和 2001 年 9 月 15 日水稻收割后。这两景影像上稻田范围内地表反射特性形成鲜明对比, 使得主要作物水稻的判别具有极高的精确度。MODIS 则采用了 2000 年 5 月至 2001 年 4 月之间波段 1 和波段 2 NDVI (250 m) 数据。理论上我们可以采用逐日的 NDVI 变化值, 但是由于南方地区大量的云层影响, 经过对比分析, 最终选择逐月最大合成值 (MVC) 以去除云层影像。另外还有一幅覆盖面积约 100 km^2 的 IKONOS 影像 (精度 1 m) 用于辅助分类判断和精度评估。

2.1 数据预处理

Landsat ETM+影像为经过正交纠正的数据, MODIS 250 m NDVI 数据为 L3 级 V005 产品, 这两种数据均已经过了大量的辐射、几何校正, 一般不需要其他预处理。为了确保不同数据源数据的一致性, 在将所有影像转换到 WGS84/UTM (北 49 区) 坐标系统以后, 仍然采用手持 GPS 地面采集的控制点对所有的影像 (包括 IKONOS) 统一进行了几何校正。Landsat ETM+影像为经过拉伸的灰度值, 通过以下步骤将其转换为大气层外反射率。

灰度值到辐射亮度值转换

$$L_\lambda = gain \times DN + offset \quad (1)$$

或者

$$L_\lambda = \frac{LMax - LMin}{QCalMax - QCalMin} \times (DN - QCalMin) + LMin \quad (2)$$

式中: L_λ ——大气层外辐射亮度值, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$; $gain$ 和 $offset$ ——增益和偏移量, 由影像头文件提供; DN ——象元灰度值; $QCalMin$ 和 $QCalMax$ ——灰度直方图极值 1 和 255; $LMax$ 和 $LMin$ —— $QCalMax$ 和 $QCalMin$ 对应的光谱辐射极值, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, 由影像头文件提供。

辐射亮度值到光谱反射率转换

$$\rho = \frac{\pi \times L_\lambda \times d^2}{ESUN_\lambda \times \cos \theta_s} \quad (3)$$

式中: ρ ——大气外光谱反射率; d ——日地天文单位距离, 由影像获取日期确定; $ESUN_\lambda$ ——大气层顶的波段平均太阳辐照度, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, 可由 Landsat 用户手册查得; θ_s ——太阳天顶角, 由影像头文件提供。

数据融合在遥感领域中已经取得了丰富的成果, 它在农情监测中对于数据扩展、降低成本具有重要的意义^[20]。ETM+数据具有适宜的空间分辨率, MODIS 则具有适宜的时间分辨率, 两者优势互补。以 ETM+全色波段 (15 m) 为基础, 其他波段数据分别与之融合, 得到 1 个包含 24 个波段的宏影像 (ETM+ 6×2 个波段, 不包括热红外, MODIS NDVI 12 个波段)。由此实现影像的时间和空间扩展, 如图 1 所示。

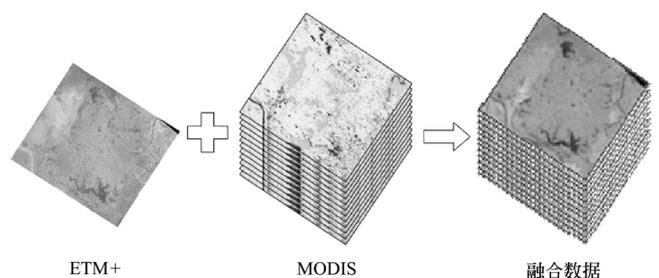


图 1 由 Landsat ETM+影像与 MODIS 时间系列 NDVI 数据融合生成宏影像示意图

Fig.1 Schematic description of merging Landsat ETM+ images and MODIS time series NDVI data into mega data tube

2.2 ISODATA 非监督分类及光谱耦合技术提取作物种植结构

限于人力物力因素，地面真实数据采集往往难以对大范围内固定点形成时间序列，不能提供足够的先验信息。故此对包含时间系列数据的宏影像的分类一般采用 ISODATA 聚类分析方法，将具有相似光谱反射特性及变化特征的象元归类合并为若干类，并统计各个类别的光谱反射特征矩阵。

由地面样本点信息及高精度分辨率影像 IKONOS 作为参照信息，可以识别大部分类别的静态土地利用信息。对于确认存在混合利用的类，由原始宏影像分离出该部分，重新划分为 10 个子类，逐一判别，如此反复，直至所有类别得以区分识别。由此法可以区分农田、林地、道路、水体等地表覆盖类型，得到一个初步的土地利用

类型图，但尚不包括作物种植面积和轮作信息。

包含时间系列数据的宏影像能够提供地面任意一点的变化信息，即 12 个月的 NDVI 变化曲线。NDVI 变化曲线与作物生育周期直接相关，从图 2 左侧宏影像上所提取 3 个典型土地利用类型像元对应的 NDVI 变化曲线如图 2 右侧所示，常绿针叶林的 NDVI 值全年处于较高水平，水稻-油菜轮作区则呈现明显的双峰特征，且水稻具有比油菜更高的 NDVI 峰值以及更短的生育周期，而单季作物只有 1 个峰值。NDVI 的这种变化特征，给作物识别提供了另外一种途径，即不仅仅依赖于 NDVI 定量分析，更重要的是通过 NDVI 变化特征来识别作物。

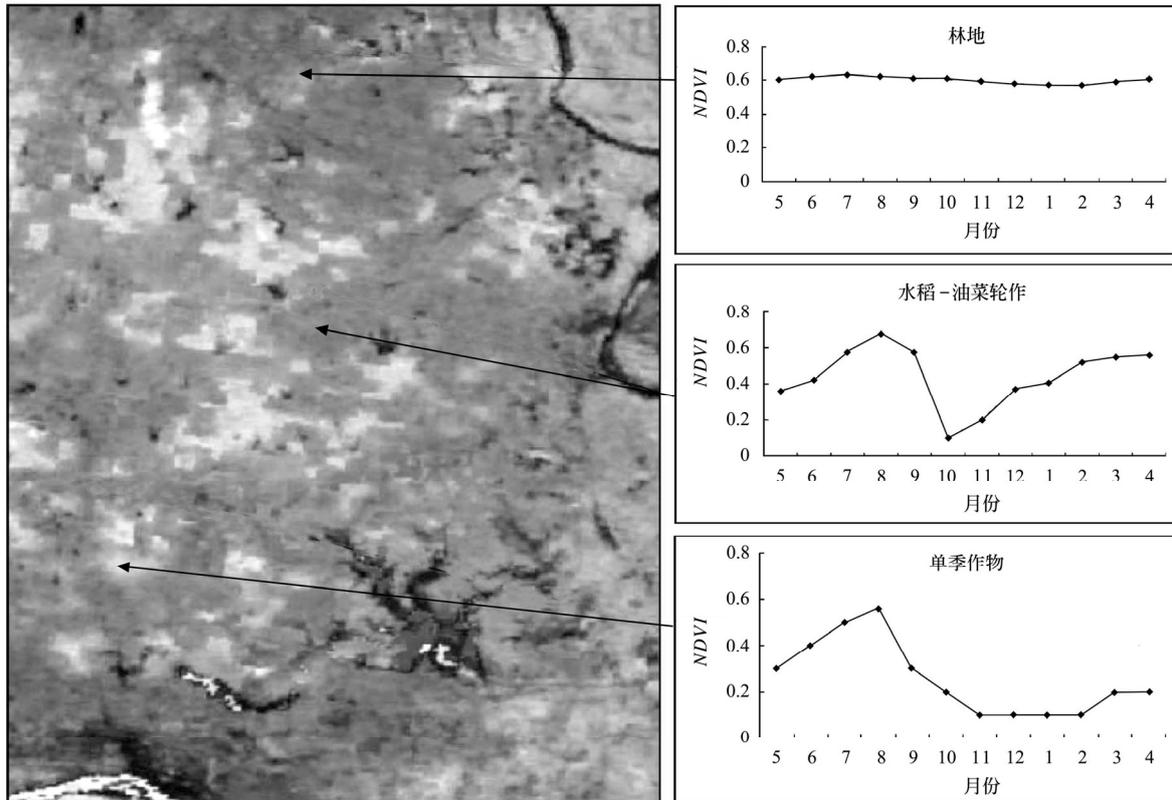


图 2 2000 年 5 月 - 2001 年 4 月 MODIS 宏影像及 3 个典型土地利用类型象元对应 NDVI 变化曲线
Fig.2 MODIS mega data tube of and NDVI variation curves of three pixels of typical land use types from May, 2000 to April, 2001

张峰^[21]等利用逐旬 SPOT 数据提取作物指数斜率变化过程以提取作物关键物候期。作物系数 K_c 为作物潜在蒸发蒸腾量 ET_a 和参考作物蒸发蒸腾量 ET_0 的比值，与植被指数 NDVI 变化规律之间存在着密切的关系^[22]。中国主要农作物需水量等值线图协作组^[23]通过大量的调查试验给出了湖北省主要作物品种分阶段作物系数 K_c ，描绘成随时间变化曲线如图 3 所示。从图上可以明显观察到从作物播种到收获期 K_c 值经历了一个逐渐上升到极大值，然后快速下降的过程。根据作物生育期开始和结束时间，结合漳河灌区实际情况，排列组合可能的作物播种制度，单季种植制度有水稻、油菜、小麦、棉花等，轮作有水稻-油菜、水稻-小麦等，得到不同作物种植制度的 K_c 变化模型。

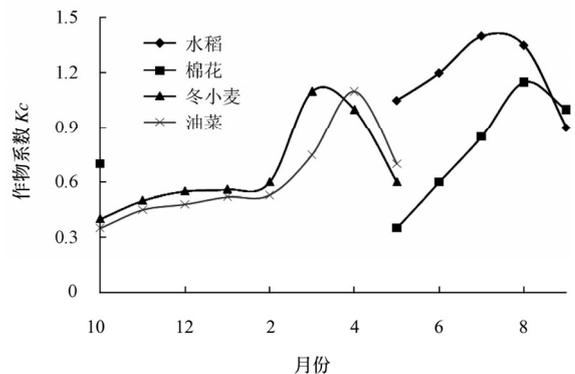


图 3 研究区常见作物作物系数 K_c 值变化曲线
Fig.3 Time variation of crop coefficients K_c of typical crops in the study area

光谱耦合技术 SMT (spectral matching technique) 是广泛应用于高光谱遥感信号解译中的一种技术。它的基本原理就是比较多光谱曲线与已知特征曲线的相似度, 从而对研究对象与目标进行分类^[24]。时间系列 NDVI 具有类似于高光谱的特性, 不过这里时间变化趋势取代了光谱波段, 故可将 SMT 技术应用于时序 NDVI 数据的分析^[25]。这种相似度包括两方面: 曲线形状相似度和曲线数值量级相似度, 只有这两方面都达到指定的吻合程度, 两者才能归属于一类。光谱特征相似度分析 SCS (spectral correlation similarity) 是光谱耦合技术中的一种定量分析方法。SCS 基于皮尔逊相关系数来分析 NDVI 曲线^[26-27], 其计算公式如下

$$r_{uh} = \frac{1}{n-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu_t)(h_i - \mu_h)}{\sigma_t \sigma_h} \right] \quad (4)$$

式中: r_{uh} ——皮尔逊相关系数, 其值介于-1~1 之间, 其值越大, 相似度就越高, 但是本文的应用中负值则没有任何意义; n ——光谱时间序列的长度; $t_i(i=1\sim n)$ ——已知标准类 NDVI 时间序列值; μ_t ——已知类 NDVI 时间序列均值; h_i ——任一目标类别的 NDVI 序列值; μ_h ——该类的均值; σ_t ——标准类系列的标准差; σ_h ——目标类的标准差。

把皮尔逊相关系数代入式 (5), 可以求得光谱相似度 SSV (spectral similarity value) ^[28]

$$SSV = \sqrt{Ed^2 + (1 - r_{uh})^2} \quad (5)$$

式中 Ed ——两点间的欧几里得几何距离。 SSV 值越大, 相似度越高。

提取 ISODATA 非监督分类所产生类别各个时期的 NDVI 平均值, 得到该类别平均植被指数年变化曲线。逐一统计所有类别, 即得到由所有类别各时间段平均 NDVI 所组成的变化特征值矩阵。NDVI 变化区间为-1~1, 而 Kc 值变化范围约为 0.6~1.3。将各种作物的 Kc 值进行归一化处理使其标准值变化区间与 NDVI 相同。结合调查数据和文献资料确定漳河灌区常见作物轮作类型, 如水稻—油菜, 水稻—小麦, 双季经济作物等。排列组合相应 Kc 标准值即得到各轮作类型所对应的 Kc 变化曲线。

表 2 水稻—油菜轮作田块与非监督分类未知类别的光谱特征相似度分析

Table 2 Similarity analysis of rice-rape rotation with other unknown classes derived from unsupervised classification using spectral matching technique

类别	水稻-油菜	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
水稻-油菜	1																			
1	0.96	1																		
2	0.96	0.93	1																	
3	0.97	0.93	0.93	1																
4	0.89	0.91	0.90	0.81	1															
5	0.88	0.82	0.82	0.88	0.86	1														
6	0.87	0.85	0.86	0.80	0.97	0.93	1													
7	0.48	0.49	0.51	0.51	0.32	0.34	0.30	1												

将其与分类 NDVI 特征值矩阵匹配进行光谱特征相似度分析, 逐一计算两两光谱相关度值, 并按该值大小排序, 以合并高相似度类别。

类别合并时需要确定相应 SSV 阈值。虽然 SSV 值越大相似度越高, 然而取决于具体研究对象, 一般并无普适的统一值。本研究中结合 SSV 值大小和 IKONOS 数据来确定各个类别之间的阈值, 对于连续分布的高 SSV 值, 取较小尾值结合高精度分类图加以判断。进而合并相似类, 得到灌区作物种植结构分布图。

3 结果及精度检验

根据融合数据直接得到的漳河灌区静态土地利用分类结果如表 1 所示。

表 1 漳河灌区遥感所得静态土地利用分布

Table 1 Static land use distribution derived from remote sensing in Zhanghe irrigation area

类型	漳河灌区/hm ²	比例/%
水体	46 400	10.7
裸地	47 180	10.9
林地	67 750	15.6
水稻	148 400	34.3
旱作	77 620	17.9
居民点	34 480	8.0
其他	11 330	2.6
合计	433 150	100.0

应用 ISODATA 非监督分类初步将宏影像分为 40 个大类。水体、居民点等非植被类型, 以及大部分林地可直接识别提取。剩余 19 个类对应的平均植被指数变化曲线与上述作物系数典型变化模型进行光谱耦合分析, 分别计算各类别两两之间的光谱相似度并由此合并、识别相似类。以水稻—油菜轮作与该 19 类的相似度分析表为例(表 2), 它与类别 1、2、3 的相似度 SSV 值达到了 0.96 以上, 结合 ETM+土地利用图对 SSV 值最低的类别 1 和 2 进行调查, 可以确认这些类即为水稻—油菜轮作。另外第 4 类和第 6 类, 第 12、13、14 类之间, 第 13 类与第 16 类, 第 14 类与第 17 类之间分别呈现高相关性(>0.95), 应该可以分别合并简化, 但类别归属(轮作)未知。

接上页

类别	水稻-油菜	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
8	0.52	0.57	0.44	0.59	0.30	0.36	0.26	0.71	1											
9	0.40	0.49	0.45	0.36	0.45	0.21	0.31	0.32	0.36	1										
10	0.33	0.31	0.50	0.28	0.36	0.21	0.32	0.50	0.09	0.30	1									
11	0.42	0.50	0.38	0.45	0.24	0.19	0.17	0.60	0.87	0.48	0.12	1								
12	0.40	0.45	0.31	0.46	0.19	0.23	0.15	0.50	0.92	0.33	0.02	0.91	1							
13	0.27	0.32	0.19	0.33	0.11	0.15	0.08	0.42	0.85	0.30	0	0.82	0.95	1						
14	0.26	0.32	0.18	0.31	0.11	0.11	0.07	0.33	0.80	0.34	0	0.86	0.95	0.95	1					
15	0.40	0.49	0.32	0.45	0.26	0.23	0.19	0.45	0.86	0.56	0.03	0.88	0.91	0.91	0.93	1				
16	0.22	0.27	0.15	0.28	0.07	0.09	0.04	0.32	0.78	0.30	0	0.82	0.93	0.96	0.91	0.89	1			
17	0.14	0.07	0.13	0.14	0.04	0.11	0.07	0.09	0.03	0.09	0.10	0.03	0.03	0	0.96	0.01	0	1		
18	0.46	0.50	0.48	0.49	0.28	0.22	0.21	0.73	0.76	0.57	0.33	0.90	0.76	0.67	0	0.74	0.64	0.05	1	
19	0.54	0.48	0.58	0.54	0.32	0.33	0.30	0.84	0.53	0.24	0.59	0.51	0.41	0.30	0.67	0.30	0.24	0.30	0.69	1

图4为3个水稻-油菜轮作类和2个棉花类的NDVI变化曲线图，它们的量级及变化趋势都呈现高度相关性。

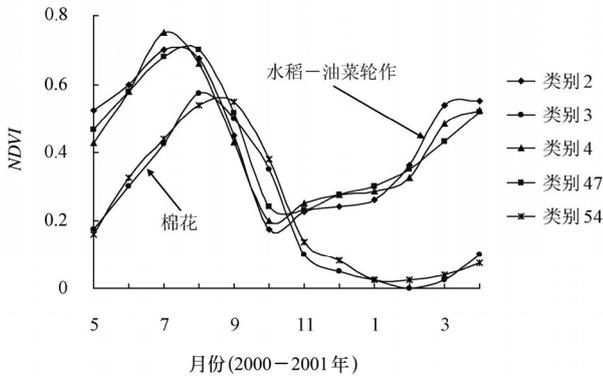


图4 利用光谱耦合技术合并及识别高相似度类
Fig.4 High similarity classes merged and identified by spectral coupling technology

由遥感所提取的漳河灌区种植结构图如图5所示。

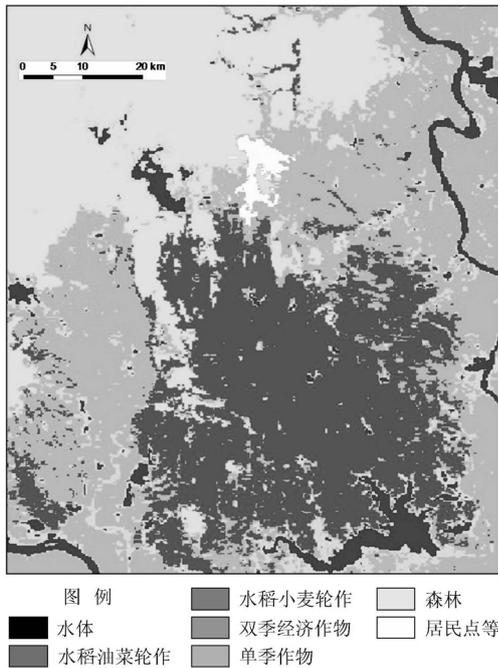


图5 由遥感数据所提取漳河灌区种植结构分布(2000-2001年)
Fig.5 Planting structure distribution derived from remote sensing in Zhanghe irrigation area (2000-2001)

漳河灌区种植结构构成如表3，棉花、花生等约占总作物种植面积的20.37%，水稻-油菜轮作地占35.86%，水稻-小麦轮作占18.46%。沿长江、汉江及沮漳河地区种植着大量经济作物，由于地表真实数据的限制，尚需要地面数据调查才能进一步确定具体作物种类。灌区水稻总种植面积为148 400 hm²，约为漳河灌区设计灌溉面积(17 333 hm²)的86%。耕地复种指数为1.8，高于荆门市统计年鉴统计值1.45。

表3 漳河灌区作物种植结构各轮作所占面积及比例
Table 3 Area distribution of crop rotations

类型	面积/hm ²	比例/%
水稻-小麦	50 439	18.46
水稻-油菜	97 961	35.86
单季作物(棉花、花生等)	55 643	20.37
双季经济作物	69 157	25.31

限于田间真实数据的缺乏，我们采用了精度为1 m(全色波段)，覆盖范围约100 km²的IKONOS影像作为地面真实数据进行误差矩阵分析。1 m分辨率的IKONOS能够很好地表现地表覆盖，目视即可判读大部分地表覆盖类型，如房屋、稻田、田埂以及单棵树木等，但对于旱作种类的区分则略显不足，故将旱作归为一类评估。在IKONOS影像范围内随机取110个点作为精度评估点，逐一对比分类结果图与IKONOS影像图，得到表4所示精度矩阵，其中行所在信息为IKONOS所得实际地表覆盖类型，列所在信息为分类结果。

表4 遥感影像地表利用分类精度评估
Table 4 Accuracy assessment using IKONOS high resolution image

类型	合计	样本数						精度
		水体	裸地	林地	水稻	旱作	居民点	
水体	4	4	0	0	0	0	0	1.00
裸地	15	0	13	0	1	1	0	0.87
林地	12	0	0	11	0	1	0	0.92
水稻	63	0	1	1	59	2	0	0.94
旱作	10	0	1	1	0	8	0	0.80
居民点	6	0	0	0	0	1	5	0.83

表 4 显示,除了旱作之外,其他各个类别都达到了较好的分类精度,总体精度为 91%,而主要作物水稻则达到了 94%。水体因其显著的光谱差异性而具有很高的识别精度,而旱作因地块零散、品种繁多、各种作物光谱反射特性各异,因而识别精度较低。

4 结论与讨论

本文综合运用数据融合和光谱耦合技术,以 MODIS 和 Landsat ETM+这两种具有不同时空分辨率的影像为基础提取灌区作物种植结构信息,成功地分离出漳河灌区主要作物种植结构水稻—油菜,水稻—小麦轮作以及其他作物种植区域。用遥感影像提取的作物种植结构具有直观的时空分布特征,为农作物估产、农业灌溉用水管理、乃至作物种植结构调整提供科学决策依据。光谱耦合技术在作物系数与 NDVI 变化曲线之间起到了巧妙的联接作用,丰富了对非监督分类的后期处理手段。融合 MODIS 和 ETM+影像所得结果继承了两种数据各自的优势(MODIS 的时间分辨率以及 ETM+的空间分辨率),极大地扩展了数据应用潜力。漳河灌区的应用证明该方法具有成本低,精度高,操作性好的特点。

作物种植结构具有动态变化特征和高度的空间变异性。MODIS 的重复访问周期在 1 d 以内,即使考虑到云的影响,一般也能满足捕捉植被变化的需求(如收割等)。融合 MODIS 和 Landsat ETM+后的影像分辨率是 15 m。基本能够区分中国大部分地区灌区尺度的作物种植结构。本文由作物系数生成标准曲线,实际应用中,也可在地面选点采集作物种植结构信息,由对应期间的系列影像提取 NDVI 变化值,从而直接建立标准曲线,相比区域平均作物系数值更能反应局部种植结构特征。

[参 考 文 献]

- [1] Bastiaanssen W G M. Remote Sensing in Water Resources Management: The State of the Art[M]. Colombo, Sri Lanka: IWMI Press, 1998: 118.
- [2] 张继贤. 论土地利用与覆盖变化遥感信息提取技术框架[J]. 测绘科学, 2003, 28(3): 13—16.
Zhang Jixian. Study on Change Detection Framework of Land Use and Land Cover by Remote Sensing[J]. Science of Surveying and Mapping, 2003, 28(3): 13—16. (in Chinese with English abstract)
- [3] 蔡学良. 基于 RS/GIS 技术和 OASIS 模型的灌区尺度节水策略研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2007.
Cai Xueliang. Strategy Analysis on Integrated Irrigation Water Management Using Agro-hydrological Model and RS/GIS[D]. Wuhan: Wuhan University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [4] Liang Shunlin. Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces[M]. [S.L.]: Wiley-IEEE, 2003.
- [5] De Fries R, Hansen M, Townshend J R G, et al. Continuous fields 1 Km tree cover[M]. College Park, Maryland: The Global Land Cover Facility, 2000.
- [6] DeFries R, Hansen M, Townshend J R G, et al. A new global 1km data set of percent tree cover derived from remote sensing[J]. Global Change Biology, 2000, (6): 247—255.
- [7] Loveland T R, Reed B C, Brown J F, et al. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DIS cover from 1-km AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(6/7): 1303—1330.
- [8] Thenkabail P S, Biradar C M, Turrall H, et al. An irrigated area map of the world (1999) derived from remote sensing [R]. Colombo, Sri Lanka: IWMI Research Report, 2006.
- [9] 闫慧敏, 曹明奎, 刘纪远, 等. 基于多时相遥感信息的中国作物种植制度空间格局研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 85—90.
Yan Huimin, Cao Mingkui, Liu Jiyuan, et al. Characterizing spatial patterns of multiple cropping system in China from multi-temporal remote sensing images[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(4): 85—90. (in Chinese with English abstract)
- [10] Lee R, Yu F, Price K P, et al. Evaluating vegetation phenological patterns in Inner Mongolia using NDVI time series analysis [J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(12): 2505—2512.
- [11] Xin J F, Yu Z R, Louise V L, et al. Mapping crop key phenological stages in the north China plain using NOAA time series images[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2002, (4): 109—117.
- [12] 张群, 胡春胜, 陈素英, 等. 多时相遥感影像监测冬小麦种植面积的变化研究--以河北省三河市与大厂回族自治县为例[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14 (3): 180—183.
Zhang Qun, Hu Chunsheng, Chen Suying, et al. Changes of winter wheat planting area detected by using multitemporal remote sensing images-A case study from Sanhe City and Hui Autonomous County of Dachang of Hebei Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2006, 14 (3): 180—183. (in Chinese with English abstract)
- [13] 徐美, 阮本清, 黄诗峰, 等. 灌区作物种植结构遥感监测及其应用[J]. 水利学报, 2007, 38 (7): 879—885.
Xu Mei, Ruan Benqing, Huang Shi-feng, et al. Monitoring of crop variety distribution by remote sensing and its application [J]. Journal Of Hydraulic Engineering, 2007, 38 (7): 879—885. (in Chinese with English abstract)
- [14] 孙丹峰, 杨冀红, 刘顺. 高分辨率遥感卫星影像在土地利用分类及其变化监测的应用研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18 (2): 160—164.
Sun Danfeng, Yang Yihong, Liu Shun. Application of High-Spatial IKONOS Remote Sensing Images in Land Use Classification and Change Monitoring[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18 (2): 160—164. (in Chinese with English abstract)
- [15] 朱海燕, 林爱文. 面向对象的土地利用/覆被变化遥感分析方法研究—基于高分辨率遥感影像[C]. //2007 年中国科学技术协会年会会议论文集. 武汉: [出版者不详], 2007: 1—5.
- [16] 赵庚星, Lin G E. 基于 TM 数字图像的耕地变化检测及其驱动力分析[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 298—301.
Zhao Genxin, Lin G E. TM digital image based cultivated land change detection and driving force analysis in Kenli County of the Yellow River Delta[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(1): 298—301. (in Chinese with English abstract)
- [17] 唐俊梅, 张树文. 基于 MODIS 数据的宏观土地利用/土地

- 覆盖监测研究[J]. 遥感技术与应用, 2002, 17(2): 104—107.
- Tang Junmei, Zhang Shuwen. Application research of MODIS data in monitoring landuse change[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2002, 17(2): 104—107. (in Chinese with English abstract)
- [18] 林文鹏, 王长耀, 储德平, 等. 基于光谱特征分析的主要秋季作物类型提取研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 128—132.
- Lin Wenpeng, Wang Changyao, Chu Deping, et al. Extraction of fall crop types based on spectral analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(9): 128—132. (in Chinese with English abstract)
- [19] 邢素丽, 张广录. 我国农业遥感的应用现状与展望[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 174—178.
- Xing Sulin, Zhang Guanglu. Application status quo and prospect of agriculture remote sensing in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(6): 174—178. (in Chinese with English abstract)
- [20] 钱永兰, 杨邦杰, 雷廷武. 数据融合及其在农情遥感监测中的应用与展望[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 286—290.
- Qian Yonglan, Yang Bangjie, Lei Tingwu. Data fusion and its application prospect in agricultural condition monitoring using remote sensing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(4): 286—290. (in Chinese with English abstract)
- [21] 张峰, 吴炳方, 刘成林, 等. 利用时序植被指数监测作物物候的方法研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 155—159.
- Zhang Feng, Wu Binfang, Liu Chenglin, et al. Methods of monitoring crop phenological stages using time series of vegetation indicator[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(1): 155—159. (in Chinese with English abstract)
- [22] Hunsaker D J, Pinter J P J, Barnes E M, et al. Estimating cotton evapotranspiration crop coefficients with a multispectral vegetation index[J]. Irrigation Science, 2000, 22(2): 95—104.
- [23] 中国主要农作物需水量等值线图协作组. 中国主要农作物需水量等值线图研究[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1993.
- [24] Homayouni S, Roux M. Material mapping from hyperspectral images using spectral matching in urban area [C]. //IEEE workshop in honor of Prof Landgrebe. Washington D C, USA: [s.n.], 2003.
- [25] Thenkabail P S, Gangadhara R P, Biggs T, et al. Spectral matching techniques to determine historical Land use/Land cover (LULC) and irrigated areas using time-series AVHRR pathfinder datasets in the Krishna River Basin, India[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2007, 73(9): 1029—1040.
- [26] SAS Institute. SAS/STAT user's guide and software release, version 8.2[Z]. Cary, NC: SAS Institute, 2004.
- [27] Drake N A, Mackin S, Settle J J. Spectral matching and mixture modelling of SWIR AVIRIS imagery [C]//In Proceedings of the 23rd Annual Conference of the Remote Sensing Society: RSS'97 Observations & Interactions, Reading, 1997: 410—415.
- [28] Granahan J C, Sweet J N. An evaluation of atmospheric correction techniques using the spectral similarity scale[J]. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2001, (5): 2022—2025.

Crop planting structure extraction in irrigated areas from multi-sensor and multi-temporal remote sensing data

Cai Xueliang^{1,2}, Cui Yuanlai^{1*}

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower, Wuhan 430072, China;

2. International Water Management Institute, Colombo 20075, Sri Lanka)

Abstract: Crop planting structure extraction in irrigated areas includes a range of dynamic parameters which require proper spatial and temporal resolution remotely sensed data. The paper seeks to extract crop planting structure by employing multi-temporal images from multi-sensors. Landsat enhanced thematic mapper plus (ETM+) images and moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) normalized difference vegetation index (NDVI) monthly data were res-merged to produce a mega data tube, which was then classified using ISO cluster algorithm. Spectral signature of each class was extracted and identified using spectral matching technique taking crop coefficient curve as reference. In the way Zhanghe Irrigation system in southern China was classified into four classes: rice-rapeseed rotation, rice-wheat rotation, single summer crops, and double economic crops. Accuracy assessment suggests good agreement with statistical data and 91% classification accuracy when using IKONOS high resolution images as Ground Truth data. The application demonstrates the method a cost-efficient and robust approach to extract crop planting structure at irrigation system scale.

Key words: remote sensing, crops, spectral matching technique, planting structure, ETM+, MODIS