

# 湿地植被成象光谱遥感研究

童庆禧 郑兰芬 王晋年  
王向军 董卫东 胡远满 党顺行

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

**摘要** 该文论述了成象光谱信息在鄱阳湖湿地进行植被光谱识别分类与生物量制图的部分研究结果, 研究如何从高光谱分辨率图象上有效地定量提取植被生物物理参量以及湿地植被类型识别, 包括(1)基于多高度大气订正后的反射率图像获取;(2)导数光谱分析与生物量制图;(3)基于光谱波形匹配的湿地植被分类、识别。

**关键词** 成象光谱, 导数光谱波形分析, 生物量, 植被光谱匹配识别

## 1 前言

成象光谱技术以其高光谱分辨率已成为地表植被地学过程对地观测的强有力的工具, 表现在(1)由于它是“连续”光谱, 使得根据光谱数据库光谱直接匹配识别植被类型和土地覆盖类型成为可能;(2)超多波段信息使得根据混合光谱模型进行混合象元分解获取“子象元”信息的能力得到提高;(3)高光谱分辨率植被信息将对传统的植被指数予以改进以定量获取植被生物物理参量(LAI, 生物量, 光合有效吸收系数 APAR 等);(4)根据成象光谱获取的光谱吸收特征信息可以实现植被生物化学成分定量制图。

目前在世界上已有 30 余台航空成象光谱仪正在运行;此外美国、日本、欧空局的 MODIS、GLI、MERIS 等航天成象光谱仪即将发射, 而以 HSI 为代表的成象光谱小卫星也即将于 1996 年底发射。如何利用这些高光谱数据并充分发展以上 4 个方面的特点进行植被定量对地观测, 就是我们面临的重要任务。其关键所在是算法发展与应用。它是连结遥感数据、地面测量、光谱模型和应用的工具。目前对成象光谱图象进行植被光谱分析的算法可分为 4 类。

(1) **光谱植被指数(SVI)** 光谱植被指数可以提取植物生物物理参数的定量信息<sup>[1]</sup>, 这是一般的遥感应用 SVI 的初衷。根据成象光谱信息发展 SVI 将主要基于光谱波形分析<sup>[2]</sup>。在这一方面仍然需要发展更适宜的高光谱分辨率光谱指数; 并建立这些

新指数与植被参量的定量联系。

(2) **光谱匹配** 利用光谱数据库光谱进行光谱匹配可以直接识别地物成分。美国 JPL 最早发展了二值编码光谱匹配, Kruse<sup>[3]</sup> 将其应用于单矿物的识别, 由于植被光谱的特点, 在植被识别方面光谱匹配算法应用很少见著报道。

(3) **混合光谱** 考虑到图象每个象元均是一些“最终光谱单元”的线性混合, 根据成象光谱图象的超多波段结构, 建立方程求解每个“最终光谱单元”的分布图象变得可行<sup>[4]</sup>。然而对植被而言, 混合光谱往往是非线性的<sup>[5]</sup>, 这种算法仍需改进。

(4) **模型反演** 植被光谱模型反演植被生物物理参量是定量遥感重要趋势。利用 PROSPECT—SAIL 植被光谱模型进行 AVIRIS 成象光谱数据反演研究表明一些植被参数(叶绿素浓度)可以反演, 而植被结构参数 LAI(叶面积指数)和  $\theta$ (叶片透过率)信息难以直接反演<sup>[6]</sup>。植被参量的反演应同时具备多角度和高光谱分辨率信息。

该文着重探讨成象光谱图象导数光谱波形分析模型及其在湿地植被识别和生物量制图方面的应用研究。

## 2 成象光谱信息获取

1995 年 12 月, 作为中国国家遥感中心研究发展部的中国科学院遥感应用研究所与日本国宇宙开发事业团合作在我国江西鄱阳湖湿地开展了航空遥感试验, 进行了鄱阳湖湿地植被遥感监测研究。

试验中采用了中国科学院上海技术物理研究所

本项研究系国家自然科学基金委重大基金项目资助并为国家遥感中心与日本国家宇宙开发事业团合作项目, 研究中得到 3-Link Systems Pte Ltd. 公司提供 ENVI 软件支持, 在此一并致谢。

收稿日期: 1996 年 10 月 9 日; 收到修改稿日期: 1996 年 10 月 23 日

研制的模块式航空成象光谱仪(MAIS),在光谱区域 440 ~ 2491nm 选择了 30 个波段,IFOV 为 3.0mrad (VIS)、4.5mrad (SWIR),FOV 为 90°,扫描速度 10 行 /s,动态范围 12bit。

航空成象光谱数据获取区域为 N28°49'—N29°04', E116°01'—E116°19' 飞行时天空晴朗无云,根据 1995 年 12 月 21 日的气象站资料:(都昌站与南昌站)平均气温 6.6℃,最高气温 12.9℃,最低气温 1.1℃,北京 14 时的温度为 12.8℃,相对湿度 40%,气压 1025.0Pa,北风,风速 3m/s。

数据获取时间:1995 年 12 月 21 日 11:47—13:59

地面分辨率: 航高 2500m 时 7.5m(VIS)、11.25m (SWIR)

航高 1500m 时 4.5m(VIS)、6.75m (SWIR)

航高 800m 时 2.4m(VIS)、3.6m (SWIR)

为了对航空成象光谱数据进行定标和大气校正,我们选择了 5 个定标点进行与飞行同步的地面光谱测量。所用仪器为美国 SE590 和 IRIS-V 两台野外光谱仪。

在研究区选择了典型地物类型进行野外调查、采样分析和野外准同步光谱测量。对每一样品点的调查内容包括 GPS 定位、光谱测量、植被类型、植被盖度、生物量、植物含水量、生化成分含量(粗纤维、脂肪、蛋白质等)、土壤类型、土壤水份、土壤中矿物成分含量等。所获取的成象光谱图象用基于 IDL(交互式数据处理语言)的 ENVI 图象处理软件生成的图象立方体来表达(封面图 1)。

### 3 表观反射率图象获取

由于大气影响、遥感器的漂移、地形效应等因素的影响,航空成象光谱仪获取的图象地物光谱信息受到歪曲,无法与地面或实验室光谱匹配,光谱模型的算法也难以实施。因此成象光谱图象定标、大气纠正是获取表观反射率图象以及光谱定量应用的一个关键环节。Norman. T. O' NEILL 综述了航空遥感大气校正算法与模型<sup>[7]</sup>,针对成象光谱图象而言主要有以下几种:①“平坦地”纠正模型;②对数剩余法模型;③经验模型;④ ATREM 模型<sup>[8]</sup>;⑤光谱混合模型;⑥辐射传输模型的 LOWTRAN7 和 6S 模型;⑦ ARVI 模型<sup>[9]</sup>。

该文采用多高度大气纠正模型获取表观反射率图象,计算方法如下:

#### 航空成象光谱仪辐射定标

成象光谱数据分析的第一步是将成象光谱仪的输出转换为能量值。则:

$$L_{\lambda} = (DN \text{ 值} - \text{偏移量 } O) / \text{响应率 } G \quad (1)$$

#### 多高度大气纠正

成象光谱仪所获取的辐射能量  $L(\lambda)$  与地物反射率  $\rho(\lambda)$  之间关系<sup>[9]</sup>为:

$$L(\lambda) = L_p(\lambda) + \rho(\lambda) [E(\lambda) T(\lambda) / \pi] / [1 - S(\lambda) \rho(\lambda)] \quad (2)$$

其中:  $L_p(\lambda)$  为程辐射;  $E(\lambda)$  为到达地面的太阳辐射的辐照度;  $S(\lambda)$  为地面向上反射辐射的大气后向散射系数。

由于  $S(\lambda) \rho(\lambda)$  通常非常小,在研究中可忽略不计,上式简化为:

$$L(\lambda) = L_p(\lambda) + L_g(\lambda) \cdot T(\lambda) \quad (3)$$

其中:  $L_g(\lambda)$  为地面反射辐射能量值;  $T(\lambda)$  为大气透过率。

$$T(\lambda) = \exp(-\tau \sec \beta) \quad (4)$$

其中:  $\beta$  为观察天底角;  $\tau$  为大气光学厚度。

由于气溶胶、瑞利散射及气体吸收均是随大气高度变化。

设  $\tau = kh$ ,  $h$  为高度(km),  $k$  为衰减系数。这样,

$$\text{大气透过率: } T(\lambda) = \exp(-kh \cdot \sec \beta) \quad (5)$$

利用多高度数据计算衰减系数  $k$ , 进而获得大气透过率实现大气纠正。

## 4 导数光谱波形分析

传统植被指数可以表达成光谱反射率的一阶或二阶导数乘以系数  $k$  的形式,不同研究者所提出的植被指数,可以认为是反映波形形态变化的反射率光谱的  $n$  阶导数,而这种光谱  $n$  阶导数的实质是表达了植物叶绿素、水、氮等生物化学元素吸收波形的变化,是这些吸收物质的丰度与状态的光谱指标<sup>[10]</sup>。

在连续光谱波段的成象光谱图象中导数光谱将是强有力的波形分析手段。早在 60 年代,分析化学中已成功地应用导数分光光度法进行化学成分识别。一阶、二阶、高阶导数光谱可减少低频的背景噪声和分辨重叠光谱。Demetriades-shah 等综述了遥感中高分辨导数光谱的应用潜力<sup>[11]</sup>。以下我们将从遥感信息传输的各个环节,根据辐射传输过程对成象光谱信息的导数光谱进行分析。导数光谱分析模型具

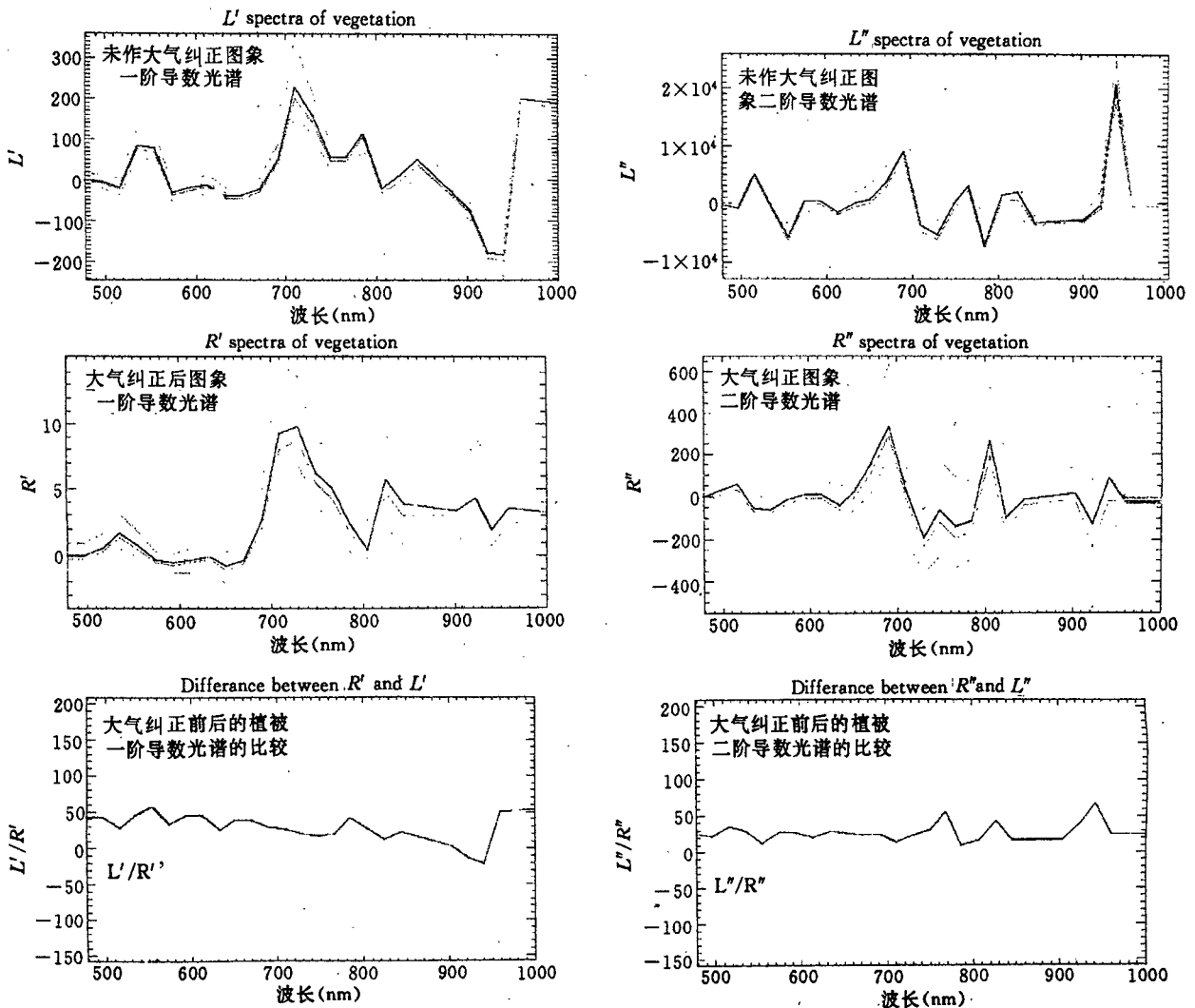


图 2 导数光谱减少成像光谱图象大气影响

Fig.2 Derivative spectra to reduce the influence of the atmospheric effect

有一系列的优越性，主要有：

4.1 导数光谱波形分析能部分消除大气效应

成像光谱图象所获得的能量与地物反射率  $\rho$  之间有如下关系：

$$L = T \cdot E \cdot \rho + L_p$$

一阶导数：

$$\frac{dL}{d\lambda} = TE \cdot \frac{d\rho}{d\lambda} + \rho T \cdot \frac{dE}{d\lambda} + E\rho \cdot \frac{dT}{d\lambda} + \frac{dL_p}{d\lambda} \quad (6)$$

二阶导数：

$$\begin{aligned} \frac{d^2L}{d\lambda^2} = & TE \cdot \frac{d^2\rho}{d\lambda^2} + \rho T \cdot \frac{d^2E}{d\lambda^2} + E\rho \cdot \\ & \frac{d^2L_p}{d\lambda^2} + 2\rho \cdot \frac{dTdE}{(d\lambda)^2} + 2E \cdot \frac{dTd\rho}{(d\lambda)^2} \\ & + 2T \cdot \frac{d\rho dE}{(d\lambda)^2} \end{aligned} \quad (7)$$

如果地物光谱形态急骤变化，则  $\frac{d\rho}{d\lambda}$  与  $\frac{d^2\rho}{d\lambda^2}$  将会远远大于上式中右边其它各项，这时：

$$\frac{dL}{d\lambda} = TE \cdot \frac{d\rho}{d\lambda} + \Delta\sigma_1 \quad (8)$$

$$\frac{d^2L}{d\lambda^2} = TE \cdot \frac{d^2\rho}{d\lambda^2} + \Delta\sigma_2 \quad (9)$$

$\Delta\sigma_1$  和  $\Delta\sigma_2$  主要包含程辐射  $L_p$ 、大气透射率  $T$  和太阳辐照度  $E$  随波长变化的波形信息，利用 5S 模型模拟研究表明，除大气气体吸收波段外，这些参数随波长近似为线性函数<sup>[12]</sup>，故而  $\Delta\sigma_1 \rightarrow 0$ ， $\Delta\sigma_2 \rightarrow 0$ 。

比较未经大气纠正的植被 MAIS 图象光谱的导数光谱  $L'(\lambda)$ 、 $L''(\lambda)$  和经过大气纠正的植被 MAIS 图象光谱  $\rho'(\lambda)$ 、 $\rho''(\lambda)$ ，我们可以发现二者的波形形态相似。由  $L'$  与  $\rho'$ ， $L''$  与  $\rho''$  的比值(图 2)可以看到  $\Delta\sigma_1$  与  $\Delta\sigma_2$  的影响，在大多数波段  $\Delta\sigma_1 \rightarrow 0$ ， $\Delta\sigma_2 \rightarrow 0$ ，只是在大气气体吸收波段  $0.94\mu\text{m}$  和  $0.770\mu\text{m}$  处， $L'$  与  $\rho'$ ， $L''$  与  $\rho''$  差别较大，因此在对地物的分析应用中必须剔除位于大气气体吸收处的这些窄波段。

### 4.2 导数光谱波形分析可能消除植被光谱中土壤成分的影响

植被覆盖反射率( $\rho$ )光谱主要是植被反射率( $\rho_v$ )和土壤反射率( $\rho_s$ )这两种光谱的混合,其混合模型如下<sup>[13]</sup>:

$$\rho = (1 - e^{-2cLAI})\rho_v + e^{-2cLAI}\rho_s \quad (10)$$

其中:  $LAI$  为叶面积指数;  $c^2 = k^2 - \beta^2$ ,  $k$  为吸收系数,  $\beta$  为散射系数。则:

$$d^n \rho / d\lambda^n = (1 - e^{-2cLAI}) d^n \rho_v / d\lambda^n + e^{-2cLAI} d^n \rho_s / d\lambda^n \quad (11)$$

其中:  $n=1, 2, 3, \dots, n$  为导数阶数。

根据对土壤光谱反射模型的分析可以认为: 土壤的单散射率、反照率光谱在可见光、近红外光谱区随波长是线性方程或二阶方程。尽管在  $0.7\mu\text{m}$  和  $0.87\mu\text{m}$  处有铁(Fe)的吸收,但波形变化较缓。经对地面反射、辐射的导数分析,土壤光谱的影响即可在很大程度上得以消除,即  $d^n \rho_s / d\lambda^n \rightarrow 0$  (图3)。

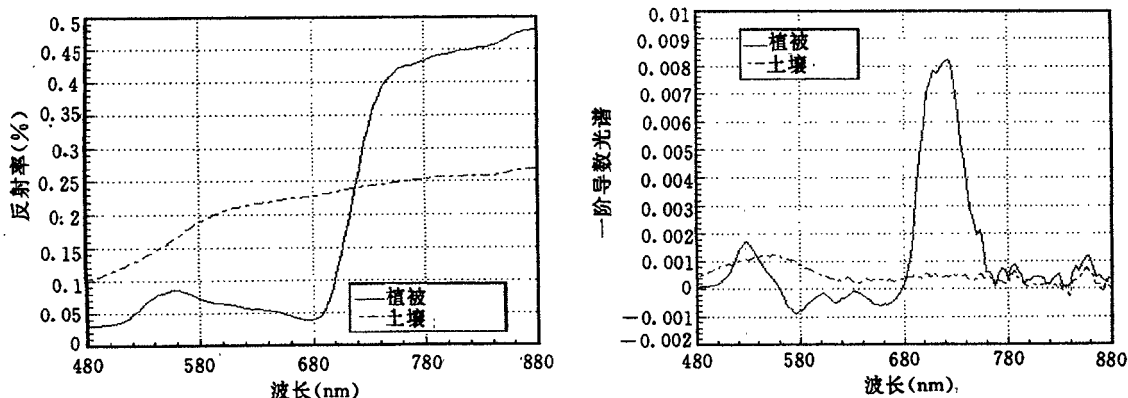


图3 导数光谱减少植被土壤影响

Fig.3 Derivative spectra to reduce the influence of soil in vegetation

### 4.3 导数波形分析能反映植物的本质特征

Allen 等<sup>[14]</sup>的叶片“平板”光谱模型中参数只有折射率  $\eta$ 、入射角  $\alpha$ 、“平板”的透过率  $\theta$  和层数,这其中只有  $\eta$  和  $\theta$  随波长而变化,可以认为,通常  $\eta$  随波长变化很小,可假设为常数 1.4。因此只有透过率  $\theta$  为波长的函数。则:

$$d^n \rho / d\lambda^n \propto d^n \theta / d\lambda^n \quad (12)$$

实际上植物叶片的透过率  $\theta$  随波长的变化是因为植物中各种生物化学成分吸收所致。 $\theta$  与植物中色素、水等吸收物质的吸收系数  $k$  之间的关系如下<sup>[13]</sup>:

$$\theta = (1 - k) e^{-k} - k^2 \int_k^\infty x^{-1} e^{-x} dx \quad (13)$$

植物光谱吸收系数  $k(\lambda)$  是植物叶中不同生物化学成分含量( $C_i$ )与每个成分吸收系数( $k_i$ )的代数和:

$$k(\lambda) = \sum k_i(\lambda) C_i \quad (14)$$

$$\text{则: } d^n \rho / d\lambda^n \propto d^n \theta / d\lambda^n \propto \sum C_i d^n k_i / d\lambda^n \quad (15)$$

由此可知,植物光谱维方向的特征信息主要集中在由植物叶片中生物化学成分含量的变化形成的

吸收波形处。植物光谱的导数实质上反映了植物内部物质(叶绿素及其它生物化学成分)的吸收系数波形的变化,导数光谱是这些物质的光谱指示剂。

这就是植被遥感中导数光谱波形分析的意义。在成象光谱图象中,由于具有连续的光谱图象特征,它的导数光谱能很好地表达植物中不同类型生物化学成分的吸收特征叠加波形,而且,高阶导数与某种吸收成分的浓度成正比。因此通过植被导数光谱的分析可以获得植物中吸收物质(叶绿素、水、木质素等)的含量信息。

### 5 导数光谱波形的生物量分析

在传统的 MSS、TM、AVHRR、SPOT、JERS-1 遥感图象中,在可见和近红外波段范围内只有几个离散的波段,因此在植被分析中,只能采用植被指数进行生物量制图。成象光谱图象以其高光谱分辨率使得“连续”的波形变换成为可能。在研究中,应用导数光谱的波形分析来实现成象光谱图象植被生物量制图。考虑到导数光谱增强了高频信息,导致了较大的噪声的特点,在分析中利用波长  $\lambda_1$  到  $\lambda_2$  之间导数波形积分作为植被因子  $\varphi$ 。其中  $\lambda_1$  与  $\lambda_2$

之间应包含所分析物体的重要光谱特征。

$$\varphi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (d^r \rho / d^r \lambda) d\lambda \quad (16)$$

由于 555—800nm 波段包含了叶绿素吸收和叶细胞反射的重要波形信息, 因此在对植被生物量的遥感分析中, 我们取  $\lambda_1=555\text{nm}$   $\lambda_2=800\text{nm}$ 。

由公式(11)和(16)可知: 植被因子  $\varphi = (1 - e^{-2cLAI})\varphi_\infty$ ,

其中:  $\varphi_\infty$  是全植被覆盖时  $LAI \rightarrow \infty$  的光谱导数在 500—800nm 之间的积分, 可以定义为常数  $A$ , 则我们可以从  $\varphi$  中获取  $LAI$ :

$$LAI = -(1/2C) \ln\{1 - (\varphi/A)\} \quad (17)$$

由上式可知, 如果  $\varphi=A$ , 则  $LAI \rightarrow \infty$ , 如果  $\varphi=0$ , 则  $LAI \rightarrow 0$ 。

为了将这里的植被因子和  $NDVI$  等其它的植被指数进行比较, 我们定义一个规一化植被因子  $\Phi$ :

$$\Phi = \varphi / A \quad (18)$$

为评价比较规一化植被因子  $\Phi$  的性能, 我们根据地面几个点的光谱测量数据计算了植被覆盖率 ( $f$ ) 与规一化植被因子  $\Phi$  之间的关系:

$$f = -0.1199 + 1.5433\Phi \quad (19)$$

相关系数  $r=0.9831$ 。

植被生物量与规一化植被因子  $\Phi$  间的关系可用下式表达:

$$\begin{aligned} M_T &= (M_T / M_L) \cdot (M_L / LAI) \cdot LAI \\ &= -(2c)^{-1} (Lr)^{-1} (LSA)^{-1} \ln(1 - \Phi) \end{aligned} \quad (20)$$

其中:  $M_T$  为地上干生物量的总和;  $M_L$  是叶干生物量;  $Lr$  为叶生物量占全部生物量的比例;  $LSA$  为特定叶面积指数。

式中  $Lr$  与  $LSA$  均依赖于植物类型, 不同植物类型的  $Lr$  与  $LSA$  难以从遥感图象直接获得。对研究区而言, 用实地测量数据(图版 I 图 4a, b) 进行回归分析可得到如下关系:

$$\text{生物量: } M_T = -2156.33 \ln(1 - \Phi) - 579.74 \quad (21)$$

根据上式可以获得研究区的生物量的分布图, 图版 I 图 4 清晰显示出研究区的生物量的空间分布。由图版 I 图 4 可以看出: 沿水域向湖滩洲方向, 随高程和水热条件的变化, 植被类型依次出现蓼子草、苔草、荻群丛。生物量也随之发生变化, 从 0 到 1200mg/m<sup>2</sup> 递增, 呈现明显的梯度分布态势。

## 6 光谱波形匹配模型与植被分类识别

成象光谱数据的连续高光谱分辨率使得利用光

谱数据库的光谱进行光谱匹配分类成为可能。在成象光谱技术发展的初期, 针对  $AIS$  数据, 美国 JPL 发展了 SPAM 软件对光谱进行二值编码后利用哈密距离实现快速光谱匹配。Boardman<sup>[15]</sup> 则应用光谱角度填图(SAM) 直接实现光谱匹配分类。该文应用光谱波形的匹配模型, 其流程如下:

(1) 光谱数据库选择“最终光谱单元”。

(2) “最终光谱单元”光谱重采样。

图象光谱分辨率一般低于地面光谱测量的光谱分辨率。需要根据仪器光谱响应函数将光谱数据库光谱重采样与图象光谱波段和光谱分辨率一致。重采样后得到与图象波段相一致的光谱反射率数据。

(3) 根据重采样后的“最终光谱单元”光谱求  $n$  阶导数得到最终光谱单元波形矢量。

(4) 光谱图象低通滤波后对  $\rho_i$  求  $n$  阶导数得到图象光谱波形矢量。

(5) 计算最终光谱单元波形矢量与图象光谱波形矢量之间的超维空间的距离进行相似性评价。

考虑到两组光谱矢量的规一化问题, 采用“广义余弦夹角”测定相似性。

$\alpha$  给出了两类光谱的广义角度差异,  $\alpha$  值域为  $0 \sim \pi/2$ , 当  $\alpha=0$  时表明两类光谱完全相似, 而  $\alpha=\pi/2$  时则两类光谱完全不同。

(6) 获得不同“最终光谱单元”的  $\alpha_i$  图象以实现光谱匹配和分类。

应用上述方法我们对鄱阳湖地区所获得每个最终光谱单元进行识别和分类, 在研究中共选取了 7 个地面实况点(或 7 个不同的植被类型), 它们的基本地理、生物特征信息如下:

**第 1 地面实况点:** 河漫滩藜蒿苔草类型

经纬度: E116° 21.38', N28° 59.00'

植物: 藜蒿、苔草、碎米荠

生物量: 1144.6g/m<sup>2</sup>(鲜重) 553.6g/m<sup>2</sup>(干重)

土壤类型: 潜育化草甸土

土壤含水量: 26.4%

覆盖度: 活植物 87.4%, 枯植物 5.9%, 土壤 6.7%

地面光谱测量(SE590): Po01.dat — Po03.dat

**第 2 地面实况点:** 河漫滩苔草类型

经纬度: E116° 21.35', N28° 58.83'

植物: 苔草、藜蒿、蓼子草、碎米荠

生物量: 371.5g/m<sup>2</sup>(鲜重) 244.5g/m<sup>2</sup>(干重)

土壤类型: 草甸土

土壤含水量: 33.8%

覆盖度: 活植物 27.3%, 枯植物 48.7%, 土壤 24.0%

地面光谱测量(SE590): Po04.dat: 河漫滩苔草植被光谱

### 第3地面实况点: 坡地苔草类型

经纬度: E116° 21.38', N28° 58.83'

植物: 苔草、野古草、芦苇、委陵菜

生物量: 874.1g/m<sup>2</sup>(鲜重) 507.8g/m<sup>2</sup>(干重)

土壤类型: 草甸土

土壤含水量: 21.6%

覆盖度: 活植物 32.7%, 枯植物 62.3%, 土壤 5.0%

地面光谱测量(SE590): Po05.dat: 坡地苔草植被光谱

### 第4地面实况点: 高苔草类型

经纬度: E116° 21.48', N28° 58.77'

植物: 苔草、藜蒿

生物量: 880.3g/m<sup>2</sup>(鲜重) 457.9g/m<sup>2</sup>(干重)

土壤类型: 草甸土

土壤含水量: 43.2%

覆盖度: 活植物 90%, 土壤 10%

地面光谱测量(SE590): Po06.dat 割草地苔草植被光谱

Po07.dat: 高苔草植被光谱

### 第5地面实况点: 湖滩旱苗蓼类型

经纬度: E116° 21.68', N28° 57.70'

植物: 旱苗蓼

土壤类型: 沼泽土

土壤含水量: 33.1%

覆盖度: 活植物 45.2%, 土壤 54.8%

地面光谱测量(SE590): Po08: 湖滩旱苗蓼植被光谱

### 第6地面实况点: 茂密苔草-荻群丛

经纬度: E116° 19.33', N28° 53.97'

植物: 苔草、荻、藜蒿、碎米茅

生物量: 鲜重 1704.4g/m<sup>2</sup> 干重 762.2g/m<sup>2</sup>

土壤类型: 草甸土

土壤含水量: 45.2%

覆盖度: 活植物 91.2%, 土壤 8.8%

地面光谱测量(SE590): Po09: 苔草-荻群丛植被光谱

### 第7地面实况点: 湖滩干沼泽地碎米茅群丛

经纬度: E116° 19.62', N28° 53.33'

植物: 碎米茅、荻、茭白

土壤类型: 沼泽土

土壤含水量: 32.6%

覆盖度: 活植物 42.2%, 土壤 57.8%

地面光谱测量(SE590): Po14: 碎米茅单植物光谱

Po15: 碎米茅群丛植被覆盖光谱

对于每一个地面实况点所获得的“最终光谱单元”植被类型, 均可得到光谱波形相似度图象, 设置阈值, 获得每一类型的分布。以藜蒿、苔草、以及藜蒿苔草混合植被(第1实况点)为例, 图版 II 图 5d 中表示了藜蒿植被光谱(Po02.dat)、苔草植被光谱(Po03.dat)以及藜蒿苔草混合植被光谱(Po01.dat)。经光谱波形匹配, 分别获得藜蒿植被分布(图版 II 图 5b)、河漫滩苔草植被分布情况(图版 II 图 5c)和河漫滩藜蒿苔草混合植被分布(图版 II 图 5a), 图版 II 图 5e 为一河漫滩剖面的光谱波形相似度变化情况, 由图中可看到植被类型的变化。同样, 对每一种类型的光谱进行匹配, 获得鄱阳湖南矶乡典型湿地的植被分类图(封四图版 III 图 6), 所分类型为藜蒿-苔草混合群丛、藜蒿群丛、滩洲苔草群丛、河漫滩苔草群丛、坡地高苔草群丛、湖滩旱苗蓼群丛、苔草-茭白混合群丛、茭白-碎米茅混合群丛、芦苇群丛、白沙质和河滩地、潮湿沼泽或浅水区、水域等 12 个类型。封四图版 III 图 6 中植被显示了 MAIS 成像光谱图象所能识别的大多数湿地植物, 这是目前该研究区最详细的植被分类图, 是利用常规数据和传统的方法在研究区很难得到的结果, 它为研究鄱阳湖湿地生态系统提供了重要的基础信息。

## 7 结束语

通过应用高光谱分辨率成像光谱遥感信息进行鄱阳湖湿地植被识别分类与生物量制图研究表明, 成像光谱遥感在植被生态环境研究方面具有巨大的潜力, 但是需要发展有效的算法和模型以处理和分析成像光谱数据。为此, 该文在以下 4 个方面进行了研究, 并得到如下结论。

(1) 基于多高度的成像光谱图象的大气校正算法是一种有效的方法, 据此可反演获得地表反射率图象, 是图象光谱与野外光谱得以匹配的关键。

(2) 对光谱指数本质的理论分析表明, 光谱指数可统一到反应光谱波形形态的导数光谱。导数光谱具有部分消除大气效应以及植被光谱中土壤成分影

响的能力。而且导数光谱主要反映了由于植物中叶绿素等吸收物质的吸收产生的波形变化,因此可作为高光谱分辨率植被指数。

(3) 研究提出并应用了针对高光谱分辨率图象的植被因子  $\varphi$ , 建立它与叶面指数 ( $LAI$ ) 之间的理论模型。研究表明, 植被因子  $\varphi$  与地面植被覆盖率有较高的线性相关性。同时我们在鄱阳湖湿地建立了植被因子  $\varphi$  与生物量之间经验模型, 据此进行了鄱阳湖湿地的生物量制图。但对于不同类型的植被而言, 植被因子  $\varphi$  与生物量之间的关系不同, 需要在分类基础上计算生物量, 这是进一步的工作要探讨的问题。

(4) 利用成象光谱遥感实现植被识别的核心是光谱匹配模型, 研究提出了基于光谱波形的匹配算法, 即用广义夹角测度图象光谱导数与地面光谱导数矢量之间的相似度, 实现光谱匹配与植被光谱识别与分类。应用该算法在鄱阳湖湿地成功地识别了各种湿地植被类型, 完成了湿地植被分类图。这种基于光谱波形的匹配模型具有广泛的应用价值, 将光谱数据库与成象光谱图象密切地结合起来, 实现地物直接识别与分类。

### 参 考 文 献

- [1] Baret F., Guyot G. Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and APAR Assessment. *Remote Sens. Environ.*, 1991, **35**: 161—173.
- [2] Miller J. R., Hare E. W., Wu, J. Quantitative Characterization of the Vegetation Red Edge Reflectance. 1. An Inverted Gaussian Reflectance Model. *Int. J. Remote Sens.*, 1990, **11** (10): 1755—1773.
- [3] Kruse, E. A. Kierein-Young, K. S., Boardman, J. W. Mineral mapping at Cuprite Nevada with a 63-channel Imaging Spectrometer. *Photo. Eng. and Remote Sens.*, 1990, **56**: 83—92.
- [4] Adams J. B., Smith, M. O., Gillespie, A. R. Imaging Spectroscopy: Data Analysis and Interpretation Based on Spectral Mixture Analysis. in *Remote Geochemical: Elemental and Mineralogical Composition* (Pieters and Englert, Eds.), 1991.
- [5] Huete A. R. Separation of Soil-plant Spectral Mixtures by Factor Analysis. *Remote Sens. Environ.*, 1986, **19**: 237—251.
- [6] S. Jacquemoud Inversion of the Prospect+SAIL Canopy Reflectance Model from AVIRIS Equivalent Spectra: Theoretical study. *Remote Sens. Environ.* 1990, **44**: 281—292.
- [7] O'NEILL, N. T. Atmospheric Correction of Airborne BRDF to Yield Surface BRDF: Nomenclature, Theory and Methods. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1995.
- [8] Gao B. C., Goetz A. F. H. Column Atmospheric Water Vapor and Vegetation Liquid Water Retrieval from Airborne Imaging Spectrometer data. *J. Geophys. Res.*, 1990, **95**, D4: 3649—3564.
- [9] Kaufman Y. J., Tanre D. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1992, **30**: 261—270.
- [10] R. B. Myneni, F. G. Hall, P. J. Sellers, A. L. Marshak. The Interpretation of Spectral Vegetation Indexes. *IEEE, TRANS, on Geoscience and Remote Sensing*, 1995, **33** (2).
- [11] Demetriades-Shah T. H., Steven M. D., Clark, J. A. High Resolution Derivative Spectra in Remote Sensing. *Remote Sens. Environ.*, 1990, **33**: 55—64.
- [12] Baret F., Jacquemoud, S., Guyot G., Leprieux C. Modeled Analysis of the Biophysical Nature of Spectral Shifts and Comparison with Information Content of Broad Bands. *Remote Sens. Environ.*, 1992, **40**: 1—20.
- [13] Price, J. C. Estimating Leaf Area Index from Satellite Data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1993, **31**: 727—734.
- [14] Allen W. A., Gausman H. W., Richardson A. J., Thomas J. R. Interaction of Isotropic Light with a Compact Plant Leaf. *J. Opt. Soc. Am SP* (10), 1969, 1376—1379.
- [15] Boardman J. W. Inversion of High Spectral Resolution Data, in Image Spectroscopy of the Terrestrial Environment (G. Vane, Ed.). (1990) *Proc. SPIE* 1298, 1990, 222—233.

### 作者简介

童庆禧,男,1935年10月生,研究员1961年毕业于原苏联敖德萨水文气象学院农业气象专业。70年代开始从事遥感技术和应用研究工作。主持国家“六五”、“七五”和“八五”等一系列遥感技术和应用方面的攻关课题,自80年代中期至今主要研究领域为高光谱分辨率遥感技术发展与应用研究。近年来与美国、日本、澳大利亚等国进行了该领域的合作研究并将该领域拓宽到植被和环境方面。发表论文约30余篇。

## Study on Imaging Spectrometer Remote Sensing Information for Wetland Vegetation

Tong Qingxi Zheng Lanfen Wang Jinnian  
Wang Xiangjun Dong Weidong Hu Yuanman Dang Shunxing  
(*Institute of Remote Sensing Applications, CAS Beijing 100101*)

**Abstract** The paper presents some results of vegetation spectral identification, classification and biomass mapping by hyperspectral imaging spectrometry in Poyang Lake wetland, China. The study focuses on how to retrieve canopy biophysical characteristics and how to identify vegetation types from hyperspectral image effectively. The main approaches are as follows. ① Retrieval of apparent surface reflectance from imaging spectrometer imagery, based on Multiheight technique; ② Derivative spectral analysis and biomass estimation; ③ Wetland vegetation identification and classification based on spectral waveform matching.

**Key words** Imaging spectral, Derivative spectral analysis, Biomass, Spectral match and identification of vegetation

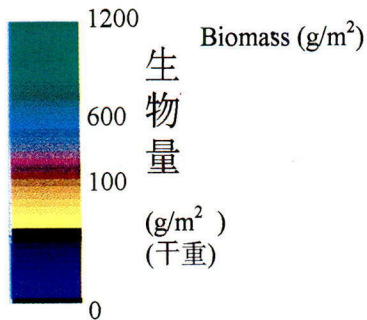
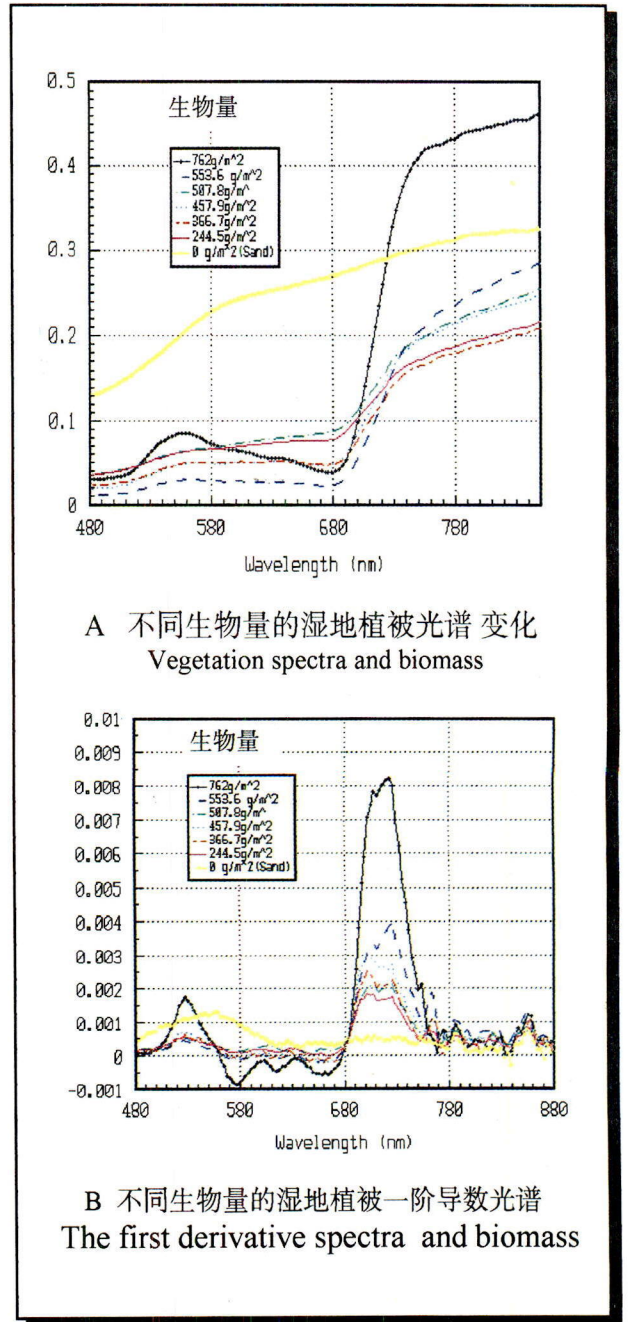
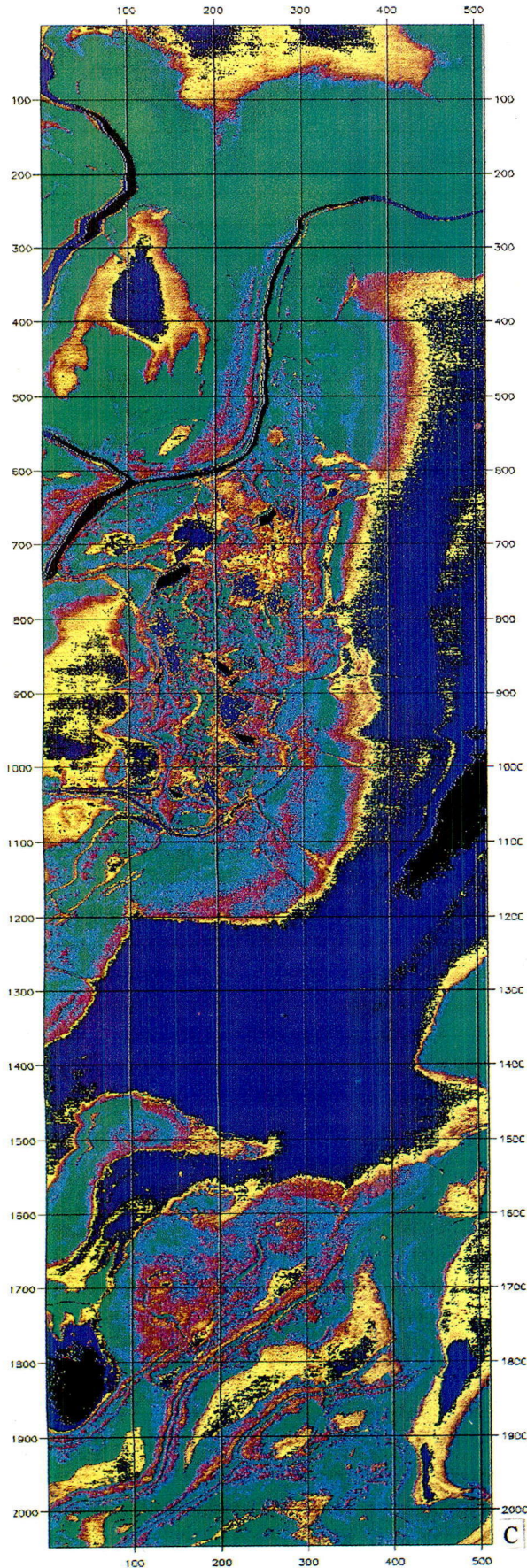
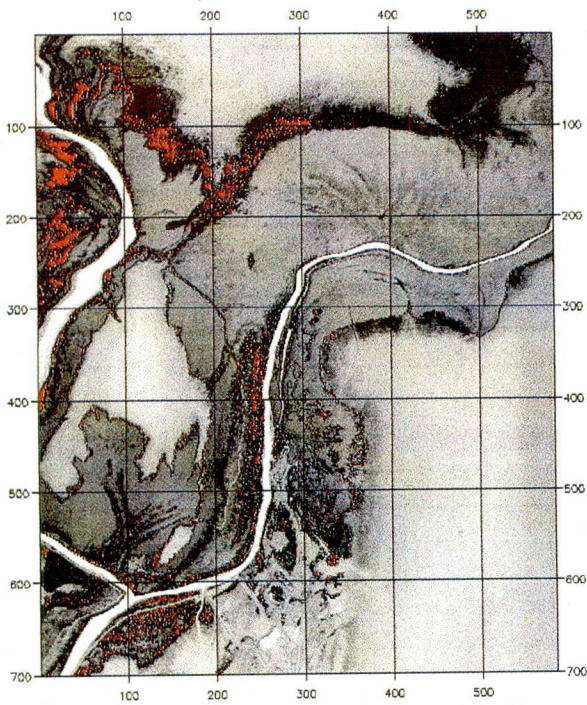
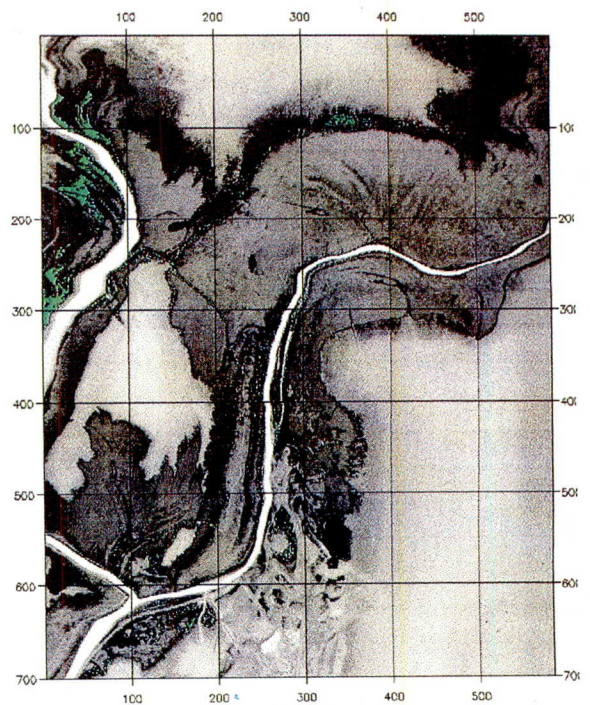


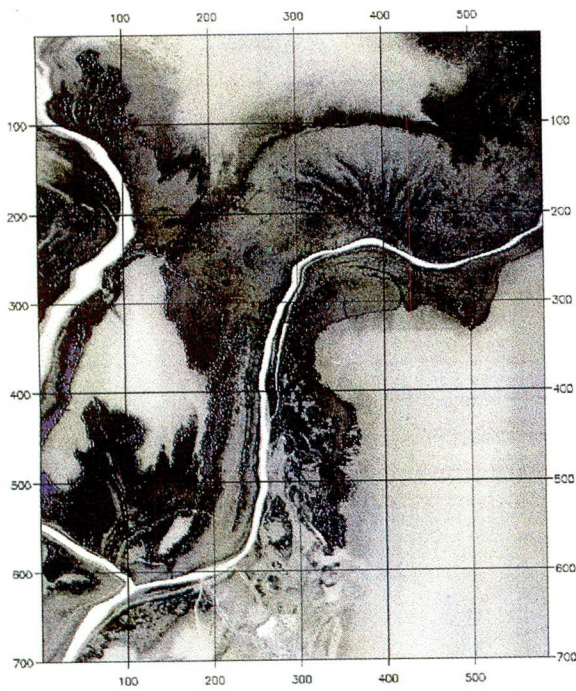
图4 成像光谱图象获取的鄱阳湖湿地典型区生物量分布图



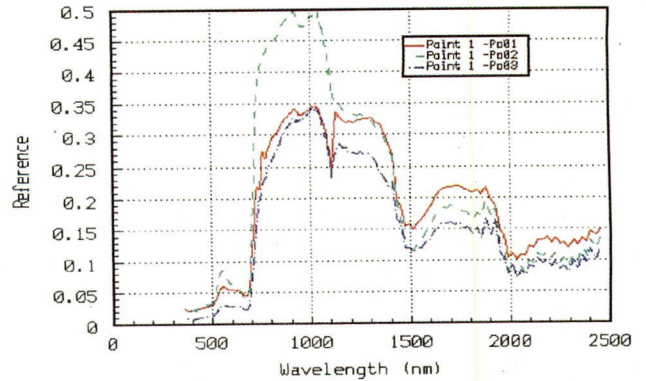
a “最终光谱单元” Po01的光谱波形相似度图象  
(相似度角度<0.01为红色区域)



b “最终光谱单元” Po02的光谱波形相似度图象  
(相似度角度<0.01为绿色区域)



c “最终光谱单元” Po03的光谱波形相似度图象  
(相似度角度<0.01为蓝色区域)



d “最终光谱单元” Po01, Po02, Po03的光谱

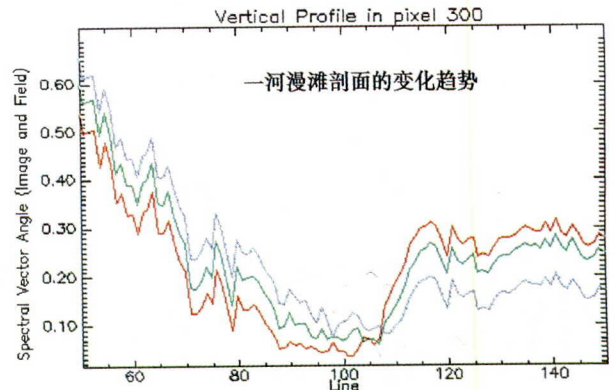


图5 植被光谱波形匹配识别结果图

注: 以第一地面实况点黎蒿与苔草混合光谱(Po01), 黎蒿光谱(Po03)作为“最终光谱单元”进行光谱波形匹配

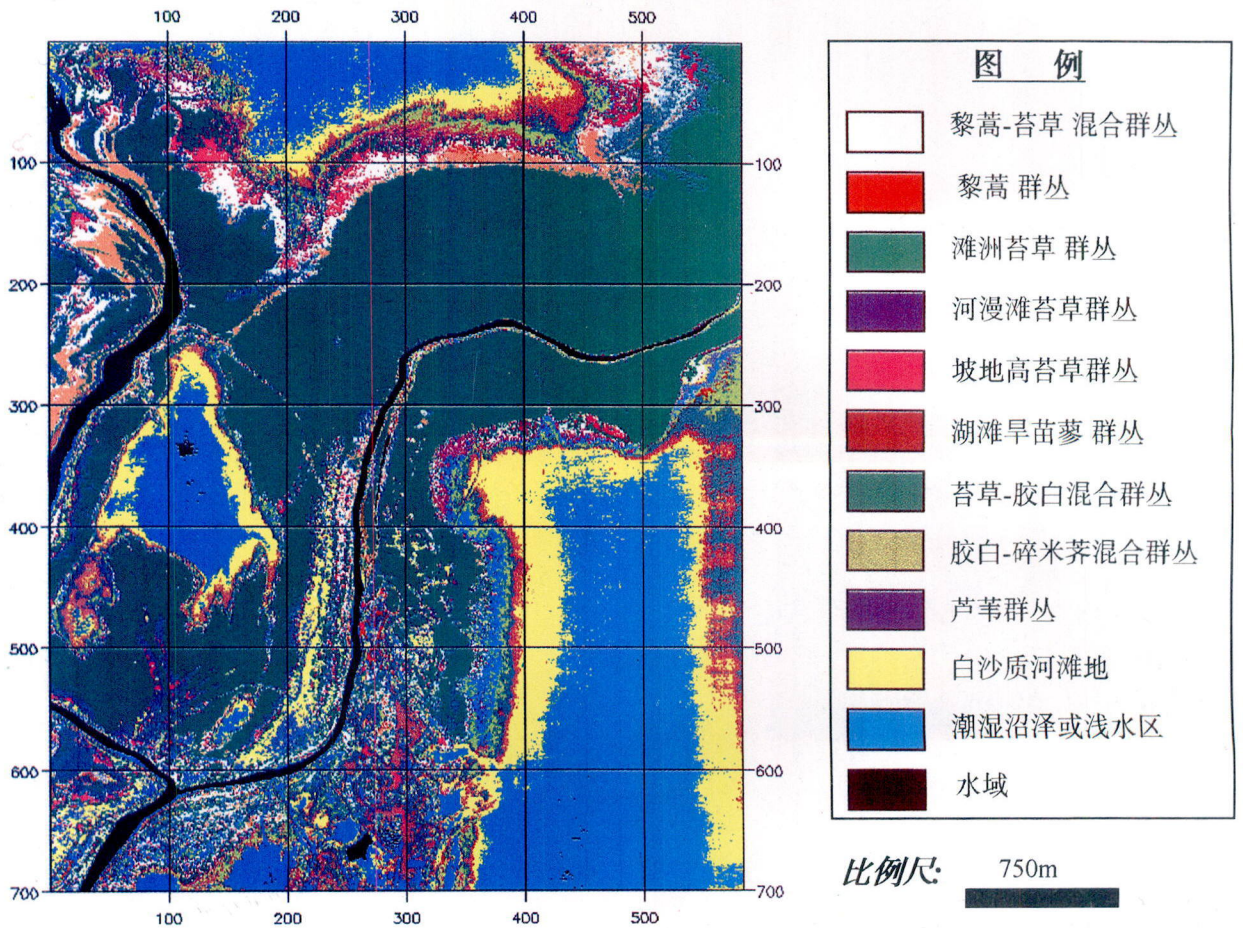


图6 鄱阳湖湿地南矶乡北植被光谱分类图(波形匹配识别结果)

# 遥感学报

(季刊 1997 年创刊)

1997 年 2 月 第 1 卷 第 1 期

# JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Quarterly, Started in 1997)

Vol. 1 No. 1 Feb. 1997

编辑 《遥感学报》编辑委员会  
北京市德胜门外大屯路遥感所  
邮政编码 100101

Editor: Editorial Board of Journal of Remote Sensing  
P.O.Box: 9718, Beijing, 100101 China

主编 徐冠华  
出版 科学出版社  
北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码: 100717

Chief Editor: Xu Guanhua

Publisher: Science Press  
16, Donghuangchenggenbeijie Street  
Beijing, 100717, China

印刷装订 中国科学院印刷厂  
总发行处 北京报刊发行局  
订购处 全国各邮电局  
国外总发行 中国国际图书贸易总公司 (中国国际书店)  
北京 399 信箱

Distributed Abroad: China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian)  
P.O.Box 399, Beijing, China