

## 基于实测光谱数据的太湖水华和水生高等植物识别\*

李俊生<sup>1</sup>, 吴迪<sup>1</sup>, 吴远峰<sup>1</sup>, 刘海霞<sup>2</sup>, 申茜<sup>2</sup>, 张浩<sup>2</sup>

(1: 中国科学院对地观测与数字地球科学中心, 北京 100080)

(2: 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘要:** 水华和水生高等植物的识别对于内陆水质遥感监测至关重要, 其分布状况既可以用于表征水生植物的分布状况, 从而间接反映水质分布状况, 又可以进一步利用非水华和水草的水体遥感数据进行水质参数反演. 然而, 常用的多光谱遥感数据很难精确识别水华和水草, 只有高光谱遥感数据能够捕捉水华、水草和水体细致的光谱差异, 从而对水华和水草进行精确识别. 但是目前还缺乏基于高光谱遥感数据的水华和水草识别的系统性研究. 以太湖为研究区, 于2006年7月和10月开展了2次水面光谱测量实验, 获取了水华、浮叶植物、沉水植物和水体的反射率光谱. 在光谱分析的基础上, 首先建立了4种光谱指数, 进而利用这4种光谱指数建立了水华、浮叶植物、沉水植物和水体的判别公式, 并利用2006年10月水面实验测量的光谱数据训练得到了判别公式中的阈值. 通过2006年7月水面实验测量的光谱数据的检验, 证明提出的判别公式能够很好的识别水华和水草, 获得了较高的识别精度.

**关键词:** 水华; 水草; 高光谱遥感; 识别; 光谱指数

### Identification of algae-bloom and aquatic macrophytes in Lake Taihu from *in-situ* measured spectra data

LI Junsheng<sup>1</sup>, WU Di<sup>1</sup>, WU Yuanfeng<sup>1</sup>, LIU Haixia<sup>2</sup>, SHEN Qian<sup>2</sup> & ZHANG Hao<sup>2</sup>

(1: *Center for Earth Observation and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, P.R.China*)

(2: *Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, P.R.China*)

**Abstract:** Identification of algae-bloom and aquatic macrophytes plays a significant role in inland water quality monitoring by remote sensing, which can be used to reflect the water quality status indirectly, and then the result of water can be used to retrieve water quality parameters. However, the mostly used multi-spectral remote sensing data cannot accurately identify algae-bloom and water grass. Only hyperspectral remote sensing data, as the data can be distinguished the subtle differences of the spectral characteristics between algae-bloom and water grass, can be used to identify algae-bloom and water grass with high accuracy. Unfortunately, there have been few of profound researches on the identification of algae-bloom and water from hyperspectral remote sensing data. Lake Taihu is selected to be the study area. Two experiments were carried out in Lake Taihu in July and October of 2006. Reflectance spectra of the floating vegetation, submerged vegetation, algae-bloom, and water were measured. Based on the analysis of the measured spectra, four spectral indexes were defined to build up formulas for identification of the four items. Reflectance spectra measured in October 2006 were used to determine the threshold values in the identification formulas, and reflectance spectra measured in July 2006 were used to validate the identification formulas. The identification results were very good.

**Keywords:** Water-bloom; water grass; hyperspectral remote sensing; identification; spectral index

水生高等植物通常称之为水草, 根据它在水中的生长状态分为: 挺水植物、浮叶植物、漂浮植物和沉水植物<sup>[1]</sup>. 水草对内陆水体的物理和化学环境有显著的改善作用<sup>[2-4]</sup>, 水草密集的地方水质状况一般会比较好. 因此, 水草的分布状况对于分析内陆水质的分布情况具有重要意义. 水华是一种在淡水中的由藻

\* 中国科学院知识创新重大项目(KZCX1-YW-14-2)和国家自然科学基金项目(40801127)联合资助. 2008-11-03 收稿; 2008-12-03 收修改稿. 李俊生, 男, 1979年生, 博士, 助理研究员; E-mail: hrsjsli@gmail.com.

类大量繁殖引起的自然生态现象<sup>[1,5]</sup>。水华目前缺乏严格的定义,一般认为水华是指大量的飘浮或者悬浮在水面上的藻类。发生水华的水域一般都处于严重的富营养化状态。因此,水华的分布状况对于分析内陆水质的分布情况同样具有重要意义。水华、浮叶植物和挺水植物位于水面以上,遮挡了水体,其遥感数据无法用于反演水质参数。沉水植物大部分叶片位于水面以下,其遥感数据是水草和水体的混和光谱,很难利用该混和光谱反演水质参数。因此,利用水体遥感数据反演水质参数的时候,也需要首先把水草和水华识别出来,然后利用非水华和水草的普通水体遥感数据参与水质参数反演运算<sup>[6]</sup>。由此可见,水华和水草的识别对于内陆水质遥感监测至关重要,水华和水草的分布状况既可以用于表征水生植物的分布状况,从而间接反映水质分布状况,又可以进一步利用非水华和水草的水体遥感数据进行水质参数反演。

目前有很多研究利用多光谱遥感数据监测水华分布<sup>[7-12]</sup>,但是这些研究通常忽略了水草和混浊水体对于水华识别的影响。也有一些研究利用多光谱遥感数据监测水草分布<sup>[13-18]</sup>,但是通常忽略了水华和混浊水体对水草识别的影响。而且,由于水草和水华的光谱与植被光谱具有一定的相似性,多光谱遥感数据难以准确识别水华和水草。只有高光谱遥感数据才能够捕捉水草和水华之间细致的光谱差异,从而对水华和水草进行准确识别。然而目前还缺乏基于高光谱遥感数据的水华和水草识别的系统性研究。

本文以太湖为研究区,开展水华和水草的高光谱遥感识别方法研究。太湖既有草型湖区,又有藻型湖区,蓝藻水华连年爆发,因而是水华和水草的识别方法研究的理想实验区。而且,太湖污染比较严重,是国家环境保护重点的“三湖”之一,开展太湖的水华和水草识别研究可以为太湖的水质监测服务。水草包括浮叶植物、挺水植物和沉水植物,由于挺水植物和浮叶植物都是大部分叶片位于水面以上,它们的光谱比较相似,因此本文下面将浮叶植物和挺水植物作为一类,统称浮叶植物。

为了获取用于建立识别方法的训练样本数据和用于检验识别方法的测试样本数据,本文于2006年7月和10月开展了2次太湖水面测量实验,获取了水华、浮叶植物、沉水植物和水体的反射率光谱。在光谱分析的基础上,面向4种地物的识别建立4种归一化光谱指数:叶绿素光谱指数(CSI)、藻青蛋白光谱指数(PSI)、水草光谱指数(MSI)和近红外平均反射率指数(ARNI)。利用这4种光谱指数建立水华、浮叶植物、沉水植物和水体的判别公式。然后利用训练样本数据确定判别公式中的阈值,并利用检验样本数据对这些判别公式进行检验,进而分析本文建立的水华和水草识别方法的优缺点。

## 1 实验数据获取

实验数据是水华和水草的高光谱遥感识别方法建立和验证的基础。建立识别方法需要训练样本数据,检验识别方法需要测试样本数据。为了检验识别方法在不同季节的适用性,训练样本和检验样本最好在不同的季节获取。于2006年7月和10月在太湖开展了2次实验,在水面测量了典型的浮叶植物、沉水植物、水华和水体的反射率光谱。光谱测量使用ASD便携式地物光谱仪FieldSpec® Pro FR,其波长响应范围为350-2500nm,其中350-1000nm的光谱分辨率为3nm。

浮叶植物、沉水植物、水华和水体的照片如图1所示。2006年7月和10月太湖实验测量的浮叶植物、沉水植物、水华和水体的反射率光谱分别如图2和图3所示。由于900nm以后水体的反射率值比较低,因而受噪声影响比较大,因此仅使用350-900nm的反射率数据。而且这样做还有另外一个好处:很多卫星遥感器的波长范围都介于350-900nm之间,因而本文的研究结果容易经过修改应用于这些卫星遥感数据。

## 2 水华和水草识别方法

### 2.1 定义4种光谱指数

从2006年7月和10月太湖实验测量的浮叶植物、沉水植物、水华和水体的反射率光谱中抽取每种地物一条光谱作为该种地物的代表反射率光谱,抽取原则是每类地物的代表反射率光谱值介于该类地物全部反射率光谱值的中间。最终得到4种地物的代表反射率光谱如图4所示。浮叶植物、沉水植物、水华和水体(尤其是水体)的反射率光谱有一些特征反射峰和反射谷,分别是555nm附近的反射峰(Peak1)、625nm附近的反射谷(Vale1)、650nm附近的反射峰(Peak2)、675nm附近的反射谷(Vale2)、700nm附近的

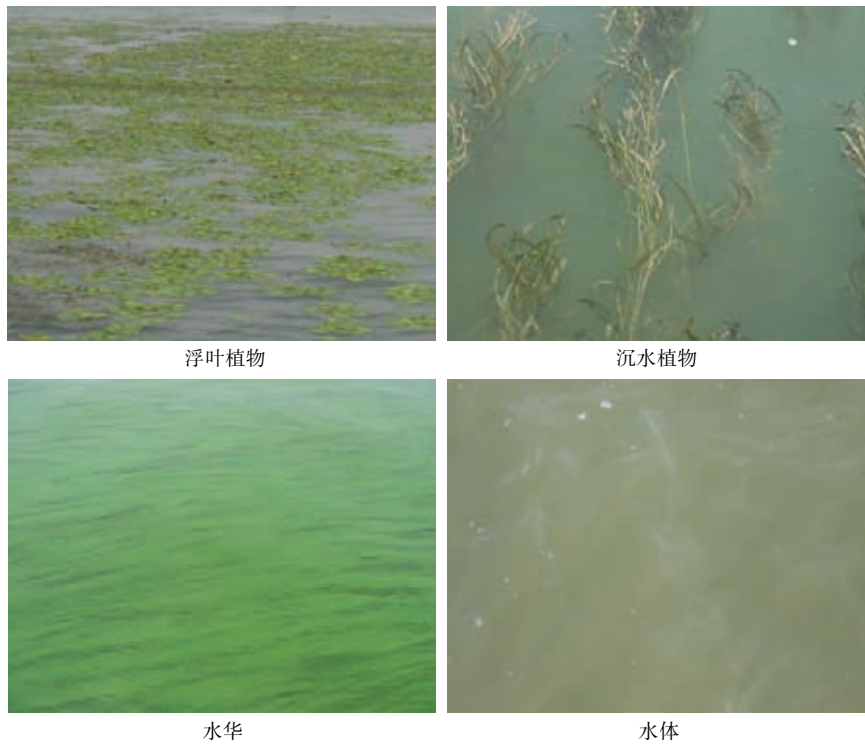


图 1 浮叶植物、沉水植物、水华和水体的照片

Fig.1 Photos of the floating vegetation, submerged vegetation, algae-bloom and water

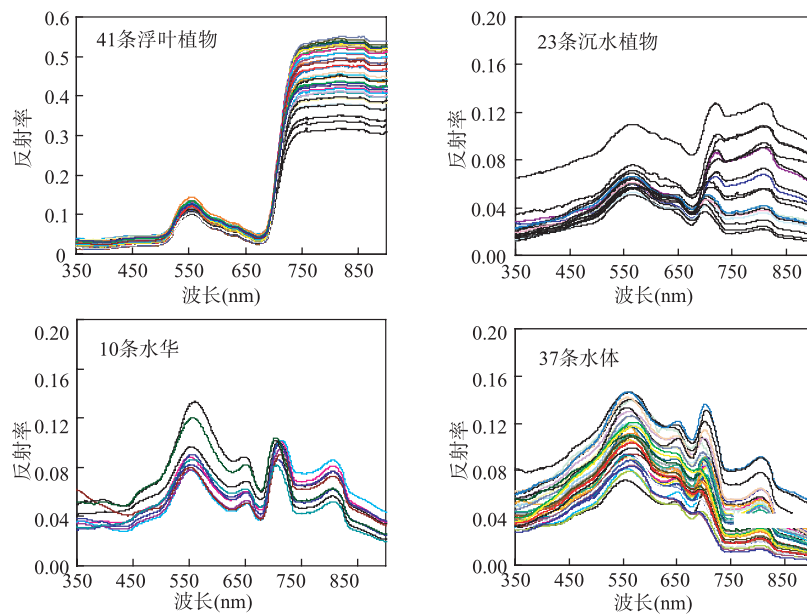


图 2 2006 年 7 月浮叶植物、沉水植物、水华和水体的反射率光谱

Fig.2 Reflectance spectra of the floating vegetation, submerged vegetation, algae-bloom and water measured in July 2006

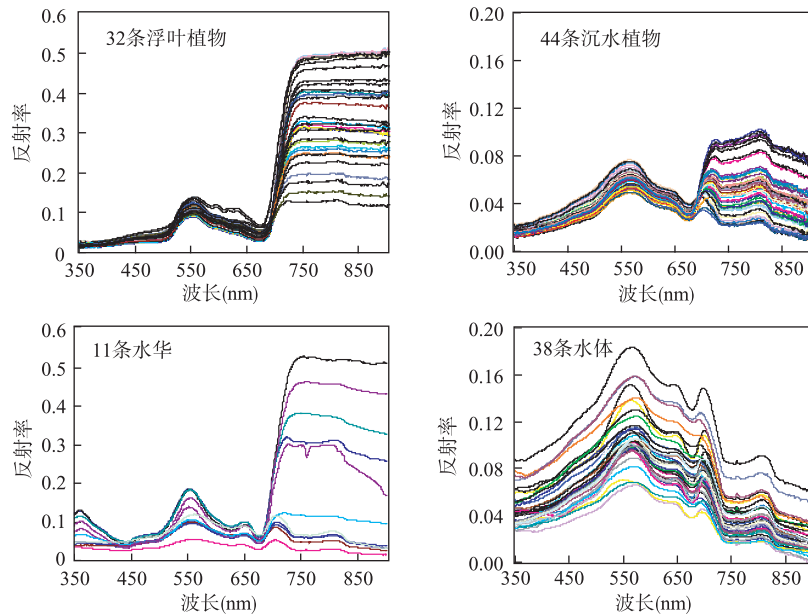


图3 2006年10月浮叶植物、沉水植物、水华和水体的反射率光谱  
Fig.3 Reflectance spectra of the floating vegetation, submerged vegetation, algae-bloom and water measured in October 2006

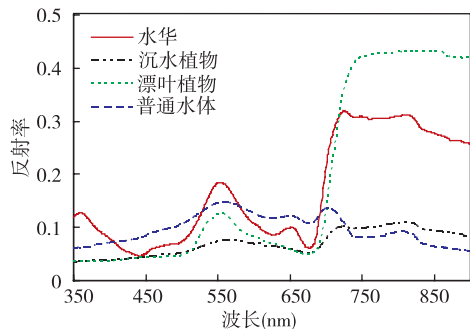


图4 浮叶植物、沉水植物、水华和水体的代表反射率光谱

Fig.4 Representative reflectance spectra of the floating vegetation, submerged vegetation, algae-bloom and water

反射峰(Peak3)、815nm附近的反射峰(Peak4)(图4)。这些特征波长的反射率最能够体现四种地物的反射率差异,因此本文建立主要基于这些特征的归一化光谱指数,从而为四种地物的识别提供依据。

2.1.1 叶绿素光谱指数 本文定义一个叶绿素光谱指数(Chlorophyll Spectral Index, *CSI*):

$$CSI = (R(\text{peak3}) - R(\text{vale2})) / (R(\text{peak3}) + R(\text{vale2})) \quad (1)$$

其中,  $R(\text{peak3})$  是 700nm 附近反射峰的反射率,  $R(\text{vale2})$  是 675nm 附近反射谷的反射率。

叶绿素(包括藻类中的叶绿素和水草叶片中的叶绿素)在 675nm 附近有强吸收峰<sup>[19]</sup>, 在反射率光谱上面表现为谷值。在 675nm 附近吸收峰两侧有两个吸收谷, 在反射率光谱上表现为反射峰, 其中左面的峰值波长在 650nm 附近, 右面的峰值波长在 700nm 附近。

*CSI* 与叶绿素浓度成正比。水华的叶绿素浓度非常高, 远高于水体, 因此 *CSI* 可以作为区分水华和水体的判别标志之一。水草中也含有高浓度的叶绿素, *CSI* 也可以作为区分水草和水体的判别标志之一。但是, *CSI* 无法区分水华和水草。

2.1.2 藻青蛋白光谱指数 本文定义一个藻青蛋白光谱指数(Phycocyanin Spectral Index, *PSI*):

$$PSI = (R(\text{peak2}) - R(\text{vale1})) / (R(\text{peak2}) + R(\text{vale1})) \quad (2)$$

其中,  $R(\text{peak2})$  是 650nm 附近反射峰的反射率,  $R(\text{vale1})$  是 625nm 附近反射谷的反射率。

藻类中含有藻青蛋白, 藻青蛋白在 625nm 附近有一个吸收峰<sup>[19]</sup>, 在反射率光谱上表现为谷值。由于反射率光谱在 675nm 附近由于叶绿素强吸收也存在一个反射谷, 导致 650nm 附近的反射率光谱形成反射

峰. 藻类浓度越高, 藻青蛋白浓度越高, 625nm附近的反射谷越明显, 同时650nm附近的反射峰也越明显. 如果藻类浓度比较低, 650nm附近有时不会形成反射峰, 而仅仅形成一个肩部.

*PSI* 与藻类(藻青蛋白)浓度成正比. 650nm附近的反射峰(或肩部)是藻类的特征, 不是水草的特征, 水草的反射率在645–660nm基本上是单调下降的, 因此*PSI*可以作为区分水华和水草的判别标志之一. 由于水体中藻类的浓度比较低, *PSI*的值也会比较小, 因此*PSI*也可以作为区分水华和水体的判别标志之一. 但是, *PSI*无法区分水体和水草.

2.1.3 水草光谱指数 本文定义一个水草光谱指数(Macrophytes Spectral Index, *MSI*):

$$MSI = (R(\text{peak3}) - R(\text{peak4})) / (R(\text{peak3}) + R(\text{peak4})) \quad (3)$$

其中,  $R(\text{peak3})$ 是700nm附近反射峰的反射率,  $R(\text{peak4})$ 是815nm附近反射峰的反射率.

*MSI*反映了700nm以后反射率的下降速度. 对于水草而言, 由于叶绿素细胞在近红外的强烈反射导致反射率在700nm以后下降缓慢, 因而*MSI*的值会比较小. 对于水体, 由于水体在700nm以后的强烈吸收, 水体反射率在700nm以后迅速下降, 因而*MSI*的值会比较大. *MSI*可以作为区分水体和水草的判别标志之一.

2.1.4 近红外平均反射率指数 本文定义一个近红外平均*R*指数(Average Reflectance in Near-infrared Index, *ARNI*):

$$ARNI = R(750-820\text{nm}) \quad (4)$$

其中,  $R(750-820\text{nm})$ 是750–820nm反射率的均值.

浮叶植物的叶片漂浮在水面以上, 虽然浮叶植物的光谱仍然可能是植被和水体的混和光谱, 但是浮叶植物的影响占主导地位, 反射率在近红外波段的值比较大. 沉水植物的大部分叶片在水面以下, 沉水植物的光谱是植物叶片和水体的混和光谱, 由于水体在近红外的强烈吸收, 导致反射率在近红外波段的值比较小. *ARNI*可以作为区分浮叶植物和沉水植物的判别标识.

## 2.2 基于光谱指数判别水草和水华

利用前面建立的4个光谱指数建立水华、浮叶植物和沉水植物的判别公式. 判别公式中的阈值需要利用训练样本进行训练, 训练得到的阈值能够使得训练样本的识别效果最好.

2006年10月太湖实验测量了11条水华光谱、32条浮叶植物光谱、44条沉水植物光谱和38条水体光谱; 2006年7月太湖实验测量了10条水华光谱、41条浮叶植物光谱、23条沉水植物光谱、37条水体. 10月太湖实验测量的反射率光谱数据的数量更多, 而且反射率(尤其是水华的反射率)的高低变化更大. 利用10月太湖实验数据作为训练样本更合适, 训练得到的阈值的适用性更高. 下面就利用2006年10月太湖实验数据作为训练样本, 分别训练得到每种地物判别公式中的阈值.

2.2.1 水华判别公式 水华的叶绿素浓度和藻青蛋白浓度都比较高, 水体的叶绿素浓度和藻青蛋白浓度小于水华, 因此利用*CSI*和*PSI*都可以区分水华和水体. 水草不含藻青蛋白, 利用*PSI*可以区分水华和水草. 虽然, 仅利用*PSI*就可以判别水华, 但是为了提高水华判别的精度和可靠性, 最好同时使用*CSI*和*PSI*两个指数, 即:

$$CSI \geq CSI(\text{阈值 } 1), \text{ 并且 } PSI \geq PSI(\text{阈值 } 1) \quad (5)$$

利用2006年10月的水华、水草和水体的反射率数据训练公式中的阈值, 使得*CSI*(阈值1)和*PSI*(阈值1)能够最好的区分水华光谱, 得到以下结果:  $CSI(\text{阈值 } 1) = 0.27$ ,  $PSI(\text{阈值 } 1) = 0.02$ . 此时, 水华判别公式(5)变为:

$$CSI \geq 0.27, \text{ 并且 } PSI \geq 0.02 \quad (6)$$

2.2.2 水草判别公式 沉水植物的光谱是植物和水体的混和光谱, 其光谱受水体影响强烈, 光谱形状和水体有一定的相似性, 很难利用简单的判别标识区分它们, 因而需要利用尽可能多的沉水植物和水体光谱的光谱特征的区别来建立判别标识: 水草的叶绿素浓度比较高, 利用*CSI*可以区分水草和水体; 水草在近红外的反射率比较大, 利用*MSI*可以区分水草和水体. 水草不含藻青蛋白, *PSI*值较小, 利用*PSI*可以区分水草和水华. 沉水植物和浮叶植物的光谱形状比较接近, 主要区别是浮叶植物的反射率的值更高, 利用*ARNI*可以区分它们. 综上, 利用*CSI*、*MSI*、*PSI*和*ARNI*4个光谱指数一起建立沉水植物和浮叶植

物的判别标识. 沉水植物判别公式如下:

$$CSI \geq CSI(\text{阈值 } 2), \text{ 并且 } PSI < PSI(\text{阈值 } 2), \text{ 并且 } MSI < MSI(\text{阈值 } 2), \text{ 并且 } ARNI < ARNI(\text{阈值 } 2) \quad (7)$$

浮叶植物判别公式如下:

$$CSI \geq CSI(\text{阈值 } 2), \text{ 并且 } PSI < PSI(\text{阈值 } 2), \text{ 并且 } MSI < MSI(\text{阈值 } 2), \text{ 并且 } ARNI \geq ARNI(\text{阈值 } 2) \quad (8)$$

利用 2006 年 10 月的水华、水草和水体的反射率数据训练得到公式(7)和(8)中的阈值, 即:  $CSI(\text{阈值 } 2)=0.1$ ;  $PSI(\text{阈值 } 2)=0.02$ ;  $MSI(\text{阈值 } 2)=0.2$ ;  $ARNI(\text{阈值 } 2)=0.04$ .

此时, 沉水植物判别公式(7)变为:

$$CSI \geq 0.1, \text{ 并且 } PSI < 0.02, \text{ 并且 } MSI < 0.2, \text{ 并且 } ARNI < 0.04 \quad (9)$$

浮叶植物判别公式(8)变为:

$$CSI \geq 0.1, \text{ 并且 } PSI < 0.02, \text{ 并且 } MSI < 0.2, \text{ 并且 } ARNI \geq 0.04 \quad (10)$$

表 1 水华、浮叶植物、沉水植物和水体的判别公式和阈值

Tab.1 Identification formulas and threshold values of the floating vegetation, submerged vegetation, algae-bloom and water

	CSI	PSI	MSI	ARNI
水华	$\geq 0.27$	$\geq 0.02$		
沉水植物	$\geq 0.1$	$< 0.02$	$< 0.2$	$< 0.04$
浮叶植物	$\geq 0.1$	$< 0.02$	$< 0.2$	$\geq 0.04$
水体	除了水华和水草就是水体			

2.2.3 水体判别公式 在内陆水体范围内获取的图像或反射率光谱中, 除水华和水草之外就是水体.

2.2.4 判别公式和阈值汇总 水华、浮叶植物、沉水植物和水体的判别公式和阈值如表 1 所示.

### 3 识别结果分析

利用 2006 年 7 月太湖实验测量的 10 条水华、41 条浮叶植物、23 条沉水植物和 37 条水体的反射率光谱数据检验水草、水华和水体的识别精度, 得到混淆矩阵如表 2 所示.

表 2 2006 年 7 月获取的浮叶植物、沉水植物、水华和水体反射率光谱的识别混淆矩阵

Tab.2 Confusion matrix of the floating vegetation, submerged vegetation, algae-bloom, and water reflectance spectra measured in July 2006

原始类别	水体	水华	沉水植物	浮叶植物	总量	生产者精度(%)
水体	37	0	0	0	37	100
水华	1	9	0	0	10	90
沉水植物	4	0	19	0	23	82.6
浮叶植物	0	0	0	41	41	100
总量	42	9	19	41	111	
使用者精度(%)	88.1	100	100	100		95.5

利用混淆矩阵计算得到总的识别精度是 95.5%,  $Kappa$  系数是 0.955. 由此可以看出, 本文建立的水华和水草识别方法的总的识别精度非常高. 从混淆矩阵中还可以看出每种地物的识别精度, 以及哪些地物之间容易混淆. 水华识别的生产者精度是 90%, 使用者精度是 100%. 90%的水华光谱被正确判别为水华, 10%的水华光谱被误判为水体, 没有其他类别被误判为水华. 这说明水华和水体之间容易产生误判, 因为随着水体中藻类浓度的增加,  $CSI$  和  $PSI$  的值都在增大, 水体和水华的分界线不是非常明显; 而且水华的定义本身也不是非常明确, 水华阈值的确定受人为因素影响. 本文仅将少量的水华光谱误判为水体, 说明识别精度比较高, 阈值的选择比较合理.

沉水植物识别的生产者精度是 82.6%, 使用者精度也是 100%. 82.6%的沉水植物光谱被正确判别为沉水植物, 另外 17.4%的沉水植物光谱被误判为水体, 没有其他类别被误判为沉水植物. 识别结果说明沉水

植物和水体的判别比较困难, 因为沉水植物光谱是植物和水体的混和光谱, 当水体的贡献比较大的时候, 沉水植物与水体的混和光谱是很难与水体区分的. 本文确定的阈值仅使得 17.4% 的沉水植物光谱被误判为水体, 说明阈值的选择还是比较合理. 而且, 阈值的选择使得部分沉水植物光谱被误判为水体比水体光谱被误判为沉水植物要好, 因为处于临界状态的沉水植物和水体的混和光谱中起主导作用的是水体, 能够进一步用于反演水质参数, 将它判别为水体更合适.

浮叶植物识别的生产者精度是 100%, 使用者精度也是 100%. 浮叶植物光谱全部被正确判别为浮叶植物, 而且没有其他类别被误判为浮叶植物. 这主要是由于浮叶植物的光谱特征与其他类别的区别非常明显.

#### 4 讨论和结论

以太湖为研究区, 于 2006 年 7 月和 10 月开展了 2 次水面光谱测量实验, 获取了水华、浮叶植物、沉水植物和水体的反射率光谱. 在光谱分析的基础上, 面向水华、浮叶植物、沉水植物和水体的识别建立了四种光谱指数: 叶绿素光谱指数(CSI)、藻青蛋白光谱指数(PSI)、水草光谱指数(MSI)和近红外平均反射率指数(ARNI). 利用这四种光谱指数建立了水华、浮叶植物、沉水植物和水体的判别公式, 并利用 2006 年 10 月实验测量训练样本光谱数据确定了判别公式中的阈值. 进而利用 2006 年 7 月实验测量的测试样本光谱数据对这些判别公式进行了检验, 获得了较高的识别精度.

建立的水华、浮叶植物、沉水植物和水体的识别方法能够自动化、高精度、快速地对水华、浮叶植物、沉水植物和水体进行识别. “自动化”体现在不需要目视解译或者其他人工干预, 只要将识别方法写入程序, 同时将识别方法中的阈值写入数据库, 程序就可以自动化地完成识别的全过程. “高精度”可以从表 2 所示的混淆矩阵中看到, 本文的判别公式中同时使用了水华、浮叶植物和沉水植物的多个光谱特征, 使得判别结果更可靠. “快速”主要体现在本文建立的判别方法中只使用了简单的波段运算和大小比较, 运算复杂度较低.

在建立的水华、浮叶植物、沉水植物和水体识别方法中, 影响识别精度的主要是几个阈值的确定. 本文目前依据 2006 年 10 月实验测量的 124 条反射率光谱来确定这些阈值. 为了进一步提高识别精度和可靠性, 需要利用更多的数据来对这些阈值进行检验和优化.

建立的水华、浮叶植物、沉水植物和水体的识别方法适用于高(超)光谱遥感数据, 这为我国 2008 年 9 月 6 日成功发射的 HJ-1 超光谱遥感数据在内陆水环境中的广泛应用奠定了基础. 总之, 本文建立的水华、浮叶植物、沉水植物和水体识别方法将在水质遥感监测中发挥重要作用.

#### 5 参考文献

- [1] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民. 太湖水环境演化过程与机理. 北京: 科学出版社, 2004: 1-296.
- [2] 种云霄, 胡洪营, 钱 易. 大型水生植物在水污染治理中的应用研究进展. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(2): 36-40.
- [3] 鲜启鸣, 陈海东, 邹惠仙等. 四种沉水植物的克藻效应. 湖泊科学, 2005, 17(1): 75-80.
- [4] 刘伟龙. 太湖水生植物时空变化特征及优势种马来眼子菜的生态响应[博士学位论文]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007.
- [5] 胡 雯, 杨世植, 翟武全等. NOAA 卫星监测巢湖蓝藻水华的实验分析. 环境科学与技术, 2002, 25(1): 16-17.
- [6] 李俊生. 高光谱遥感反演内陆水质参数分析方法研究——以太湖为例[博士学位论文]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007.
- [7] Zhang Hao, Li JunSheng, Shen Qian *et al.* Monitoring Taihu algal bloom by BJ-1 multispectral image. International Conference on Information Technology and Environmental System Sciences (ITESS), 2008.
- [8] 李国砚, 张仲元, 郑艳芬等. MODIS 影像的大气校正及在太湖蓝藻监测中的应用. 湖泊科学, 2008, 20(2): 160-166.
- [9] 徐京萍, 张 柏, 李 方等. 基于 MODIS 数据的太湖藻华水体识别模式. 湖泊科学, 2008, 20(2): 191-195.
- [10] 段洪涛, 张寿选, 张渊智. 太湖蓝藻水华遥感监测方法. 湖泊科学, 2008, 20(2): 145-152.
- [11] 周立国, 冯学智, 王春红等. 太湖蓝藻水华的 MODIS 卫星监测. 湖泊科学, 2008, 20(2): 203-207.
- [12] 陈 云, 戴锦芳. 基于遥感数据的太湖蓝藻水华信息识别方法. 湖泊科学, 2008, 20(2): 179-183.

- [13] 张寿选, 段洪涛, 谷孝鸿. 基于水体透明度反演的太湖水生植被遥感信息提取. 湖泊科学, 2008, 20(2): 184-190.
- [14] Jollineau M, Howarth P. Use of high-resolution imagery to map wetland environments in South-entral Ontario, Canada. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2002, 5: 3089-3091.
- [15] Wolter P, Johnston CA, Niemi GJ. Mapping submergent aquatic vegetation in the US Great Lakes using quickbird satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26: 5255-5274.
- [16] 李仁东, 刘纪远. 应用 Landsat ETM 据估算鄱阳湖水生植被生物量. 地理学报, 2001, 56(5): 532-540.
- [17] 邬国锋, 刘耀林, 纪伟涛. 利用 Landsat 5 TM 影像估算沉水植物地上生物量的研究——以江西省鄱阳湖国家自然保护区为例. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(11): 953-957.
- [18] 简永兴, 李仁东, 王建波等. 鄱阳湖滩地水生植物多样性调查及滩地植被的遥感研究. 植物生态学报, 2001, 25(5): 581-587.
- [19] 李素菊, 王学军. 内陆水体水质参数光谱特征与定量遥感. 地理学与国土研究, 2002, 18(2): 26-30.

## 国际湖沼学会 2009 年学术讨论会通知

淡水资源是人类最宝贵的资源, 不仅是所有生命赖以生存的物质, 也是决定社会经济发展的主要因素之一. 随着全球人口的增加和社会经济的快速发展, 淡水资源短缺的现象日益严重, 而富营养化、有机物污染、生物入侵、土地利用变化等因素使淡水生态系统不断退化, 进一步加剧了淡水资源的紧缺, 甚至威胁到人类的健康与生存. 同时, 全球变化, 尤其是气候变暖, 不仅影响到降雨和淡水资源的分布, 还影响到淡水生态系统和环境的变迁, 因此如何应对全球变化所带来的影响成为未来水环境保护与治理必须考虑的重要内容.

国际湖沼学会(International Society of Limnology, SIL)成立于 1922 年, 是有关湖泊、水库、河流等淡水水体的研究的唯一国际学会, 现拥有 3000 余会员, 自成立以来, 国际湖沼学会始终致力于揭示淡水水体的基本特征、发展相关的理论, 并将其应用于水体的保护与管理, 从而在水资源保护、开发利用等方面发挥着重要作用. 国际湖沼学会每三年举行一次学术大会, 2007 年在加拿大蒙特利尔举行的第三十届大会期间, 执委会决定举行在三年一次的湖沼学大会期间, 举行专题研讨会, 本次会议将于 2009 年 10 月 24—29 日在南京举行, 由中国科学院南京地理与湖泊研究所联合主办, 会议主题是: 全球变化与淡水环境. 这是国际湖沼学会首次在我国举行的学术会议, 旨在促进湖沼学理论的发展及其在社会经济发展中的应用, 尤其在应对全球变化背景下水环境治理与修复等挑战方面将发挥更为重要的作用.

会议主要内容包括: (1)全球变化及其对淡水生态系统的影响; (2)人类活动加速的淡水环境变迁; (3)淡水生态系统中的蓝藻水华: 机制与生态效应; (4)淡水毒理学与水质安全; (5)淡水生物资源开发与生物多样性保护; (6)生态系统服务与生态系统恢复等.

会议邀请国际湖沼学会前主席、美国科学院院士 Gene Likens 出任学术委员会主席, 组织委员会主席是刘正文教授; 会议秘书处及联系方式如下:

陈非洲, 陈亚芬, 李宽意, 关保华, 邢 鹏, 郭 娅.

联系地址: 南京市北京东路 73 号, 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 邮编 210008.

E-mail: silsym@126.com; 电话: 025-86882022; 86882113; 传真: 0086-25-57714759.

为加强湖沼学与水环境等领域学生之间的交流, 特设立学生专场, 同时为部分学生提供资助, 获得资助的学生将免注册费, 并提供会议期间的食宿.

会议预注册日期: 2009 年 3 月 31 日; 论文摘要提交日期: 2009 年 7 月 31 日; 学生资助申请截止日期: 2009 年 8 月 15 日.