

ASTER 卫星影像在太湖水质空间分异分析中的应用

颜梅春¹ 李耀曾²

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京航空航天大学智能材料结构航空部重点实验室, 江苏 南京 210016)

摘要 利用 ASTER 卫星影像针对太湖的部分水域水质进行研究, 首先根据夏季与影像同期太湖水体主要为竺山湖水域和梅梁湖水域中的水质实测数据, 进行聚类分析和主成分分析, 发现太湖水体主要受到悬浮物和藻类物质的污染, 其他污染指标与它们之间存在着紧密的联系, 所以针对水质的遥感分析也以这两类污染指标为主。对太湖的部分水域水质的遥感影像进行处理, 用水体指数掩膜将水体从背景中分离, 监督分类将水体按污染物成分与含量不同分成 6 类: 近岸水(相对干净水体)、泥沙污染(泥沙较多)、泥沙和藻类混合、泥沙水(泥沙少量)、混藻水(藻类少量)和藻类污染(藻类较多)。分类的总精度为 84.7965%, Kappa 系数为 0.8174, 统计出各污染类型水域的面积, 发现太湖的污染物主要为泥沙类, 其次为藻类。在太湖沿岸水域受泥沙污染较严重, 且具有一定的扩散趋势, 太湖中、东部受藻类的污染较严重。用 NDVI 提取藻类污染区, 结果与监督分类的相符。最后结合遥感图像水体周围状况以及实际统计资料对太湖水质的污染成因作了分析。

关键词 水质分析; ASTER 影像; 悬浮物; 叶绿素

中图分类号: X830.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2007)06-0028-04

Application of ASTER images to spatial variation analysis of water quality in Taihu Lake

YAN Mei-chun¹, LI Yao-zeng²

(1. College of Water Resources and Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Aeronautical Key Laboratory for Smart Materials and Structures, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract The water quality in part of the Taihu Lake was studied by use of ASTER images. Based on the cluster analysis and principal component analysis on the monitoring data of water quality in the Zhushan Lake and the Meiliang Lake at the same time with the images in summer, it is found out that the Taihu Lake is mainly polluted by suspended solids and algae, which have close relation with other contamination indices, thus the remote sensing analysis is mainly laid on the two indices. Based on the remote sensing images of the Taihu Lake, the water body was separated from background by water index masks. Six classes with different components and contents of contaminations were divided by supervised classification: shore water (relative clean water), sediment contamination (high concentration SS), combination of sediments and algae, sediment water (low concentration SS), algal water (low concentration Chlorophyll), and algae contamination (high concentration Chlorophyll). The total resolution of the classification was 84.7965%, and the Kappa coefficient was 0.8174. From statistics on the acreage with different pollution classifications, it was found out that the main pollutant in Taihu Lake was sediment, while algae was the second. Water areas along the bank of the Taihu Lake were severely polluted and would be further polluted by sedimentation, and the central and eastern part of the Taihu Lake was mainly polluted by algae. NDVI extraction of different concentration chlorophyll was done, and the results were same as that of supervised classification. Finally, together with water quality from the remote sensing images and the actual statistical data, the pollution causes of water quality were analyzed.

Key words water quality analysis; ASTER image; suspended solid; Chlorophyll

人口规模扩大、工业化和城市化进程加速是水源污染的主要原因, 水质型缺水是部分水资源丰富的发

达地区的突出现象。利用遥感手段可及时全面获取水质状况, 便于防治因污染导致的区域缺水现象。

ASTER 影像具有较高的空间、波谱和辐射分辨率,如 15 m 分辨率的波长范围 绿波段为 $0.52 \sim 0.602 \mu\text{m}$ 红波段为 $0.63 \sim 0.693 \mu\text{m}$,近红外波段为 $0.78 \sim 0.86 \mu\text{m}$ 。30 m 短波红外(SWIR)和 90 m 热红外(TIR)通道的遥感数据景幅宽($60 \text{ km} \times 60 \text{ km}$)。含有水体信息敏感的可见光近红外波段,在水文、地质、环境、热场等方面有深入的研究和应用,适合于水体水质监测。

太湖为我国第三大淡水湖,是太湖流域的主要水源,但该流域出现水质型缺水现象,保护太湖水资源显得极为重要与迫切,首要任务是监测确定水质污染类型与范围。本研究选用太湖西半部分(含竺山湖和部分梅梁湾)的 2002 年 8 月 ASTER 1B 可见光近红外波段数据进行分析。

1 遥感监测水质信息的确定

水体中包含了大量的水质信息,一般来说,用遥感监测的水质数据大致可以分为以下 4 大类:

a. 悬浮物(SS),相关的水质数据有:浑浊度(TURB)、透明度(SD)、悬浮物质量浓度 ρ (SS)、总悬浮颗粒物(TVS);

b. 浮游植物,相关的参数有叶绿素 a(chlorophyll-a)和褐色素(phaeopigment);

c. 溶解性有机物(DOM),含颗粒状有机碳(POC)和溶解的有机碳(DOC),有色溶解有机物(CDOM)是 DOM 中的主要成分;

d. 化学性水质指标,包括溶解氧(DO)、生化需氧量(BOD)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、化学需氧量(COD)等,营养指标包括氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、总磷(TP)、总氮(TN)等。

用于评价水质的指标有几十种,但有些相互间有关联,且由于实测条件有限,故常选用一些有代表性的指标分析。研究区的实测数据有: COD_{Mn} 、TN、TP、Chla、SS,通过聚类分析和主成分分析的运算^[1],选取最具有代表性的水质指标进行遥感分析。

1.1 聚类分析

聚类分析(Cluster Analysis)是从一批样品的多项指标变量中,定义能度量样品间或变量间相似程度(或亲疏关系)的统计量,在此基础上求出样品(或变量)之间的相似程度度量值,按相似程度的大小,把样品(或变量)逐一归类,关系密切的类聚集到一个小的分类单位,关系疏远的聚合到一个大的分类单位,直到所有的样品或变量都聚集完毕,把不同的类型一一划分出来,形成一个亲疏关系谱系图,以便更直观地显示分类对象的差异和关系。

聚类分析根据实际的需要可分为两类:①按样品进行聚类,称为 Q 型聚类法;②按指标进行分类,

称为 R 型聚类法。在本文中是对水质指标进行分类,所以进行的是 R 型聚类。根据区域的同期实测数据指标作聚类分析得树形图(图 1),可以看出 TN 和 COD_{Mn} 有比较大的相关性,两者可以归为一类;SS(悬浮物)则和其他几类指标的相关性比较小,而 Chla 则和 TN、TP 含量有着比较密切的关系。

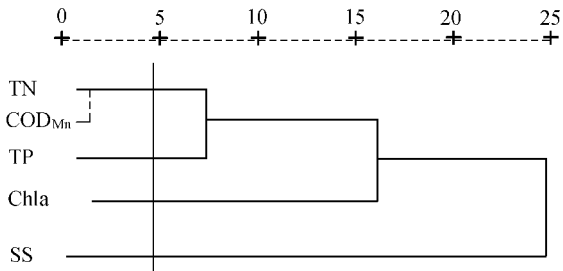


图 1 太湖水质聚类树形

由 2002 年 40 个测点指标的统计图(图 2)可见, TN、TP 和 COD_{Mn} 变化一致。

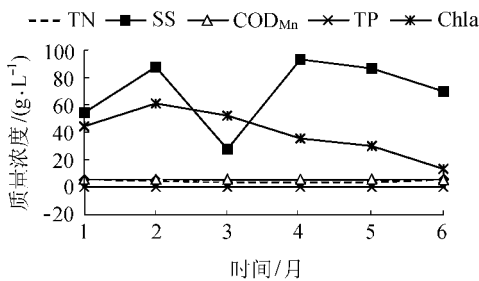


图 2 各指标的趋势统计

通过聚类分析发现研究水域主要受到 SS 和 Chla 的影响,这两种指标的趋势曲线与其他几种指标的曲线相比有着明显的差异,是水体中最主要的因素。TN、TP 和 COD_{Mn} 的趋势曲线的走势比较一致,这主要是因为水体中的 N、P 等营养盐大部分是通过水土流失从农田流入湖体,农田中各种营养盐的比例相对一致,所以导致 N、P 等营养因素的浓度有着相近的变化趋势。而 TP 和 TN 又是决定 COD_{Mn} 的主要因素,所以 COD_{Mn} 和 TP、TN 也保持着良好的一致性。

1.2 主成分分析

通过聚类分析可以知道水体中主要含有哪几种水质指标,但聚类分析只是根据指标之间的相似程度来分类,并不能计算出聚类后每一大类指标在总体中所占的份额,为了进一步研究每一类指标在总的水域中所占的百分比(贡献率),需要对其进行主成分分析。

对梅梁湖分析计算情况见表 1。SS 和 Chla 两种指标的贡献率所占比例分别为 71.5% 和 28.36%,这说明在几种污染物中 SS 和 Chla 是影响研究水域的主要因素。竺山湖的分析计算情况见表

2 与前者相符 结论与聚类分析的结果一致。

表 1 太湖梅梁湾各主成分的贡献率

水质指标	特征值	贡献率/%	水质指标	特征值	贡献率/%
COD _{Mn}	-1.16×10^{-6}	0	Chla	1 287	28.36
TN	1.385	0.03	SS	3 244	71.50
TP	4.062	0.09			

表 2 竺山湖各主成分的贡献率

水质指标	特征值	贡献率/%	水质指标	特征值	贡献率/%
COD _{Mn}	-0.122	0	Chla	7 231	13.33
TN	2.010	0.004	SS	47 019	86.65
TP	13.101	0.024			

通过对梅梁湖和竺山水质进行聚类分析和主成分分析可见 :SS 和 Chla 是影响水质的主要因素。这是因为岸边多分布着农田和生活区以及工业设施 农田中大量的 N、P 等营养盐随径流流入湖水 ,生活区和工厂排放的有机物质使这部分水域富营养化 ,为藻类浮游植物的繁殖提供了良好的生活条件。尤其在位于太湖东北部的梅梁湾处 ,由于受到无锡市工业带的影响比较严重 ,大量的工业有机质排入梅梁湾 ,造成藻类泛滥 ,所以着重从 SS 和 Chla 着手研究水质。

2 基于 ASTER 图像的水质空间分析

2.1 不同类型水质光谱特征

太湖东北部的梅梁湾区是藻类暴发的密集区 ,也是污染比较严重、污染因素比较复杂的区域 ,其光谱特征与其他区域相比具有一定特性^[2]。通过对藻类污染区、泥沙污染区、泥沙水体、泥沙和藻类混合区水体光谱曲线的观察可见(图 3),藻类污染区以及泥沙和藻类混合区的光谱具有明显的叶绿素光谱特征 ,即在 0.7 μm 处具有峰值 ,而在 0.45 μm 处具有谷值。含有大量泥沙的水体影像则不具有此类的光谱特征。通过这个波段的灰度图也可以看到在靠近岸边的部分水域反射比较亮 ,说明这部分水域的泥沙含量较大。

陆地地物和泥沙污染以及含沙水体区域的水体亮度反射峰值明显要滞后于含有藻类的水体^[2] ,由图 3 可见 ,泥沙主要集中在 0.45 μm 左右 ,而藻类由于受到悬浮物的影响 ,峰值主要集中在 0.6 ~ 0.7 μm 处。

2.2 对影像的解译

2.2.1 单波段密度分割

将近红外波段影像进行密度分割发现 :湖区灰度值介于 80 ~ 161 之间为蓝藻覆盖较多的水体 ,蓝藻浓度随离岸距离的远近表现一定的梯度变化 ,总体趋势是离岸越远分布越少。由图 4 可见 ,靠近岛

上山石区的近岸水域水体所受污染较少 ,水质较好 ,水体比较清澈 ,而靠近岛上农田、生活区的一侧水域浮游生物比较多 ,水体所受污染比较严重。而且由图 4 可以看出浮游生物由西向东有一定的漂移趋势 ,可能是受到风力作用的影响。

2.2.2 假彩色合成分析

假彩色合成图像上 ,藻类水区图像发白发亮(图 5)。此外 ,蓝藻暴发聚集受湖流、风向的影响 ,呈条带延伸 ,在图像上呈条带状结构和絮状纹理 ,与周围的湖水面也有明显不同。

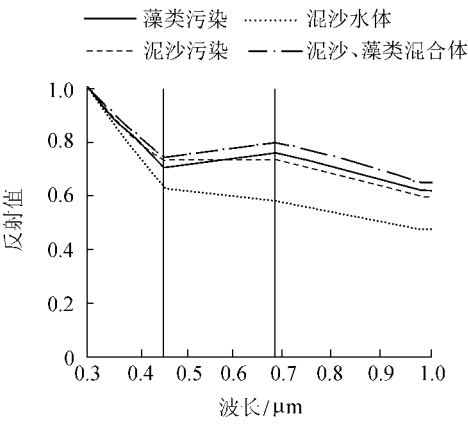


图 3 各类水质光谱曲线

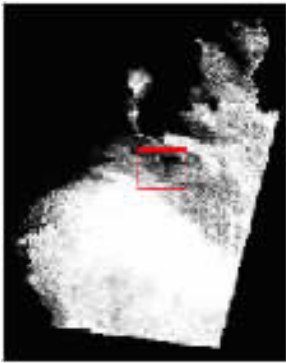


图 4 单波段灰阶

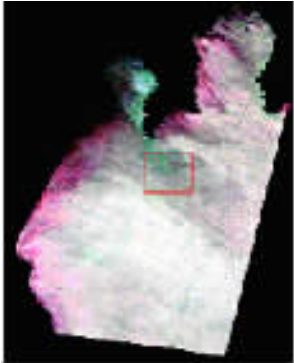


图 5 标准假彩色合成

根据对原影像直方化处理后的图形研究可以明显看到 ,竺山区东部靠近岸边的水域主要受到悬浮物的影响 ,而梅梁湖区近红外波段的影像反射很强 ,说明主要受到了浮游植物的影响。

2.3 基于 ASTER 影像的水质分类提取

2.3.1 监督分类提取

根据目视解译的知识对影像水体进行马氏距离监督分类 ,将水体水质分成 6 类(见图 6),总精度为 84.7965% ,Kappa 系数为 0.8174。由分类图统计出各类型的区域面积(见表 3),可见研究水域主要受悬浮物(主要是泥沙)和藻类的污染 ,分别占研究区域的 42.4% 和 45.1%。这个结果与主成分分析得到的结果相一致。太湖主体部分由西向东的污染状况 :混藻区域、混沙区为藻类污染 ,由北向南泥沙夹

杂混藻、藻类,竺山湖的污染状况:西部岸边部分水质比较好,北侧泥沙污染,东侧泥沙和藻类混合,南侧泥沙并有局部为泥沙和藻类混合,梅梁湾,北侧和西北以泥沙和藻类混合污染为主,该类型呈西北向东南条带延伸与西北的条带呈T型连接,东与东南泥沙为主,南部为泥沙类混合,西部和中部出现条带状净水区域,西南部分为混藻区域。

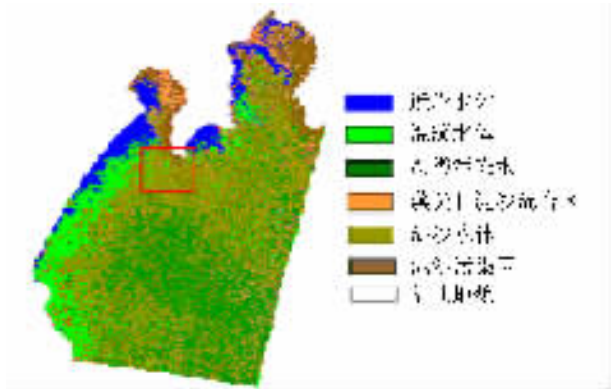


图6 研究区域水质监督分类

表3 分类统计数据

水质类型	面积/km ²	百分率/%
藻类与泥沙混合区	56.2523	5.696
泥沙污染	61.3482	6.212
藻类污染	299.0476	30.281
混藻水	146.7734	14.862
混沙水	357.7195	36.222
近岸水	66.4342	6.727

2.3.2 NDVI 对含藻类水体的提取

研究证明植被归一化指数(NDVI)能有效地用于植被的监测。

通过对藻类污染区的NDVI图提取光谱曲线^[3],发现其有明显的叶绿素光谱特征,对比图6和图7、图8,发现两者有着较好的一致性。

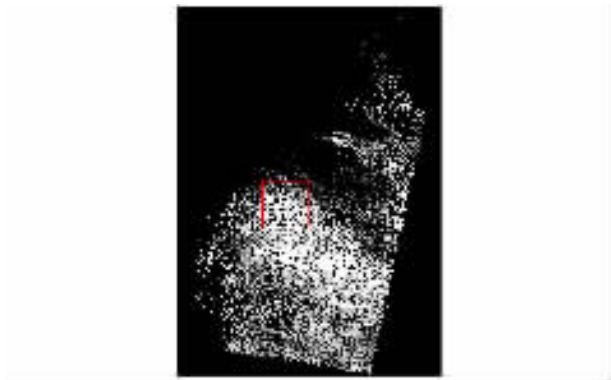


图7 提取的藻类污染区

3 污染原因分析

结合影像和湖周地物分布特点,发现水质污染源于以下几点:



图8 混藻水域提取

a. 地表径流和水土流失。太湖流域西高东低,西部为山地丘陵,部分污染物是通过降水对不同地形的土壤侵蚀形成地表径流和水土流失而进入太湖水体的。

b. 肥料使用。太湖流域区内人口密集,经济发达,农业投入和产出水平均居全国前列。化肥的大量和过量使用,使土壤营养盐过剩,导致并加剧了营养元素向水体的流失。

c. 工业污染。环太湖地区是一个工业比较发达的地区,工厂为了节约成本往往靠水建厂,工业废水中含有大量的有机污染质,这些物质的无度排放往往带来比较大的水质污染。

d. 围网养殖。湖内大量范围被用于围网养殖,导致COD浓度升高和水环境狭小,喂养饲料中含大量营养盐,使水环境迅速恶化。

4 结 语

遥感水质监测是水质评价与水污染防治的主要依据和有效手段,随着水体污染问题的日渐严重,水质监测成为社会经济可持续发展必须解决的重大问题。以梅梁湖和竺山湖作为研究区,通过聚类分析和主成分分析确定水环境遥感监测指标,将含叶绿素a的藻类和悬浮泥沙为主要研究对象,对不同污染类型的水体分布范围进行分类、提取分析和面积统计,有较好的精度,结果具有一定的实践意义。

参考文献:

[1] 范长林,梅安新.遥感导论[M].北京:科学出版社,2001.
[2] 范金城,梅长林.数据分析[M].北京:科学出版社,2002.
[3] 尹球,巩彩兰,匡定波.湖泊水质卫星遥感方法及其应用[J].红外与毫米波学报,2005,24(3):199-202.
[4] 王海君,李云梅.用ASTER数据监测梅梁湖湖区蓝藻分布的方法[J].南京师范大学学报:自然科学版,2005,28(1):103-106.

(收稿日期:2006-07-12 编辑:徐娟)