应用遥感技术监测和评价太湖水质状况

王学军, 马廷(北京大学城市与环境学系, 北京 100871, E-mail: xjwang@urban.pku.edu.cn)

摘要:利用遥感信息和有限的实地监测数据建立了太湖水质参数预测模型,该方法可以用于太湖水质污染的预测、分析和评价, 能够较好地反映水质的空间分布特征,尤其适合于大范围水域的快速监测.研究结果表明,利用单波段、多波段因子组合以及主 成分分析等手段可以使遥感信息得到更充分的利用,从而使预测结果更加精确.预测结果显示,太湖流域已经呈现了严重的富 营养化趋势,且空间分布不均衡.东太湖以及靠近无锡和苏州的湖体附近相对污染更为严重. 关键词:遥感;监测;太湖;水质 中图分类号: X87 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301 (2000) 06-04-0065

The Application of Remote Sensing Technology in Monitoring the Water Quality of Taihu Lake

Wang Xuejun, Ma Ting (Dept. of Urban and Environ. Sci., Peking Univ., Beijing 100871, China E-mail: xjwang@urban.pku.edu.cn)

Abstract The water quality predication models of Taihu Lake were established using the remote sensing data and sam pled data. Results show that this method can be applied in water quality predication, analysis and assessment, especially for the rapid monitoring of large area of water body. Taihu Lake was in a serious situation of eutrophication, especially in the areas of Eastern Taihu Lake and the water body near Wuxi City and Suzhou City. Keywords: remote sensing; monitoring; Taihu Lake; water quality

水体及其污染物质的光谱特性是利用遥感 信息进行水质监测与评价的依据. 国内外的许 多学者开展了用遥感(遥测)的方法估算水体污 染参数,以此监测水质变化情况的工作,如 Lathrop 等利用 Landsat-5 的 TM 数据评价了 Green 湾和 Central 湖的水质情况^[1];陈楚群等 应用 TM 数据建立了估算叶绿素 a 浓度的模 型^[2]. 本文探讨如何利用遥感信息和有限的实 地监测信息进行太湖的水质监测和评价.

1 数据获取与数据处理

1.1 遥感数据获取

通常使用的遥感数据包括陆地卫星 Landsat 的 M SS、TM 影像数据, SPOT 卫星的 H R V 数据. 其中 TM 影像是目前最常用的、拥有丰 富信息量的遥感影像. 本研究选择 TM 影像数 据作为太湖地区的水质遥感信息源, 进行水质 状况的监测与评价. 所使用的遥感图像是中国 卫星遥感地面站的卫星影像产品.

1.2 水质监测参数的选择和监测数据的获取

目前,太湖的主要污染体现在水体的富营 养化方面,根据这一污染特征,并参考监测站的 监测参数,主要选取 SS(悬浮固体颗粒物)、SD (透明度)、DO(溶解氧)、COD_{Mn}(高锰酸盐指 数)、BOD₅(5 日生化需氧量)、TN(总氮)、TP (总磷)7个监测参数进行分析.监测点位按照 当地监测站的常规监测点位进行选取(图1), 共选取了18个点位,数据从中国环境监测总站 太湖流域环境监测网中心站获得(表1).该监 测按照国家水质监测规范进行,同时进行了质

基金项目:国家自然科学基金资助项目(49771068);国家教委 跨世纪人才培养计划资助项目

作者简介:王学军(1964~),男,教授,主要从事环境地学与环 境管理研究.

收稿日期: 2000-02-10

量控制.

对数据进行了 Grubbs 检验,由于第 9、16 和 17 号样点的监测值异常,在计算时被剔除.

Landsat-5 的过境周期为 16d, 监测数据的 获取时间要尽可能与卫星的过境时间同步, 这 样, 2 个信息源的数据才能有良好的相关性和 可对比性. 本文所使用的遥感影像成像时间为 1997-05-04, 因此数据的同步性良好.



图1 太湖水质监测点位图

表 1 太湖同步监测数据的统计结果/mg·L⁻¹ (1997-05-04~05-07,样点数=15)

统计结果	SS	SD/cm	DO	COD_{Mn}	BOD ₅	ΤN	ТР
M IN	10.0	20.0	7.1	2.3	1.0	1.92	0.07
MAX	107.0	50.0	11.4	10.0	6.0	7.33	0.56
AVG	37.53	33.33	8.83	4.05	2.07	4.39	0.13
STD	27.35	8.80	1.45	1.97	1.49	1.70	0.12

1.3 基本处理流程

直接获得的原始信息包括遥感图像数据和 同步监测水质参数值. 遥感图像首先经过图像 的预处理,使专题信息突出,噪音弱化(包括辐 射度校正、几何校正、地理定位等过程).该项预 处理工作由北京大学遥感所完成. 利用 1: 250000的基本地形图为辅助资料进行地理 定位,然后经过遥感信息(包括各波段的灰度 值、地物的光学辐射值)的提取,得到遥感信息 数据;最后根据遥感信息数据与同步水质监测 值建立模型,用来分析和评价水质污染情况.

使用 ENVI2.7 专业软件进行遥感图像处 理, ARC/View 作为地理信息系统软件, 并进 行空间结构分析和克里格插值分析.数据的统 计分析利用 Statistic 软件进行.

为了确保采得的样值有足够的精度和充分 的代表性,使用 ENV12.7 提供的采样功能,用 3×3 的滑动窗口在遥感图像上进行采样,获得 灰度值. 一般来说,并不直接使用灰度值,而是 将灰度值转换成辐射值以后再利用辐射值进行 分析.本文利用 ENV12.7 提供的地物辐射率自 动转换的功能,在输入相应的参数值(包括太阳 高度角、图像获取日期和卫星轨道号)后,自动 转换成辐射值,结果如表 2 所示.

表 2 TM 的辐射数据× 10⁻¹/MW • (cm²• SR)⁻¹

统计值	T M 1	ТМ2	тм3	T M 4	тм 5	T M 6	ТМ 7
M IN	5.76	4.08	1.15	0.008	0.06	0.84	0.008
MAX	7.3	6.06	3.37	0.84	0.13	0.87	0.03
AVG	6.87	5.54	2.67	0.33	0.10	0.86	0.02
STD	0.43	0.52	0.66	0.25	0.02	0.01	0.006

2 结果与讨论

2.1 单因子相关分析

利用 TM 7 个波段的辐射数据值与同步实 测的监测数据进行单波段的 Pearson 相关分 析. 分析结果如表 3 所示, + +、--表示通过 α= 0.01 的显著性检验, +、-表示通过 α= 0.05 的显著性检验, + + 、+ 表示正相关, -- 、- 表示为负相关. 分析结果显示. 位于可见 光的 3 个波段 TM1、TM2 和 TM3 高度相关, 并且它们与监测参数间的相关性要明显好于其 它的波段 位于红外和热红外的 3 个波段 TM 5、TM 6、TM 7 之间有一定程度相关,但它 们与各监测参数之间的相关性却不好: TM 4 无 论与其它的波段还是与监测参数间的单波段相 关性都不好;在各监测参数中,SD 与遥感影像 各波段的相关性较好、是典型的具有明显的光 学特征的水质因子,对于遥感监测有重要的意 义; 监测参数之间存在一定的相关性, 如 SS 与 SD、DO 之间呈显著负相关关系, TN 与 TP 之间呈显著正相关关系.

表 3 单波段相关分析结果1)

相关显著性	变量对					
	lnTM1-lnTM2, lnTM1-lnTM3, lnTM2-					
- T T	lnTM 3, lnTM 5- lnTM 7					
+	ln T P - ln T N					
	lnTM 6- lnTM 7, lnSD- lnTM 1, lnSD-					
	lnTM 2, lnSD-lnTM 3, lnSD-lnSS, lnDO-					
_	$\ln TM 3$, $\ln DO - \ln SS$, $\ln COD - \ln TM 1$,					
	$\ln \text{COD-} \ln \text{T} \text{M} 2$, $\ln \text{COD-} \ln \text{T} \text{M} 3$, $\ln \text{T} \text{N-}$					
	ln T M 1, ln T N - ln T M 2, ln T P - ln T M 1, ln T P -					
	lnTM 2, lnTP-lnTM 3					

1)多数监测参数值都呈对数正态分布,因此采用其自然对数 值做相关分析.

2.2 波段组合分析

虽然单个波段的遥感影像与监测数据之间 存在一定的相关性,但相关程度不高,为此,进 一步进行了波段组合分析^[3-4].TM 影像共有 7 个波段,在与同步监测数据做相关分析时,如何 选取合适的波段组合作为相关性因子,将对分 析结果产生很大的影响.本文选取了有代表性 的 16 种不同的波段组合,与同步监测数据作相 应的相关分析,结果如表 4 所示.

表 4 多波段组合相关矩阵

波段组合	lnSS	lnSD	lnDO	lnCOD	lnBOD	lnT N	lnT P
lnS1		-		-		-	-
lnS2	-	+	+	+ +			+
lnS3		-		-		-	-
lnS4					+		+
lnS5					+		+
lnS6			+				
lnS7	+	-	-	-			
lnS8							
lnS9			-	-			
lnS10					-	-	-
lnS11		-		-			-
lnS12		-		-			-
lnS13	+	-	-	-			
lnS14	+	-	-	-			
lnS15	+	-	-	-			
lnS16		-		-		-	-

表中: S1 = (TM1 + TM2 + TM3)/3; S2 = TM2/TM3; S3 = PG (TM3 + TM2)/TM1; S4 = (TM1 - TM2)/TM1; S5 = TM1 - PG TM2; S6 = TM5 + TM6 + TM7 - TM4; S7 = (TM3 + TM4)/ 2.4

(TM1 + TM2); S8 = (TM3 - TM4)/TM3; S9 = (TM3 + TM1)/TM2; S10 = TM2/TM1; S11 = TM2 + TM4 + TM5; S12 = TM2 + TM4 + TM7; S13 = TM3 + TM4 + TM7; S14 = TM3 + TM4 + TM5; S15 = TM3 + TM4; S16 = TM1 + TM2.

从分析结果看,部分因子的相关程度有所 改善. SS、BOD 与遥感影象的单一波段没有相 关性,但与某些组合波段却有相关性.

2.3 主成分分析

根据以上的分析结果可以看出, TM 影像 第1、2、3、5、7的5个波段在反映水质信息中具 有不同的意义.采用主成分分析对这5个波段 进行降维处理,可以从中提取出更加综合的遥 感信息.主成分分析前3个主成分的载荷向量 如表5所示.

表 5 主成分分析前 3 个主成分的载荷向量

波段	PC1	PC2	PC3
lnTM l	0.5638	0.1253	0.0126
lnTM2	0.5562	0.1819	0.0201
lnTM3	0.5566	0.0913	- 0.2069
lnTM 5	0.1119	- 0.7494	- 0.6327
lnTM7	- 0.2248	0.6174	- 0.7459
累计方差百分比/%	61.13	87.69	99.25

前 3 个波段在第 1 主成分的线性组合中占 有 主 要 地 位, 该 成 分 包 含 了 全 部 方 差 的 61.13%. 第 1 主成分的正端包括了 lnTM 1、 lnTM 2、lnTM 3 三个波段;在第 2 主成分中, lnTM 5 和 lnTM 7 占有重要的地位,正端为 lnTM 7,负端为 lnTM 5,在第 3 个主成分中负 端包含了 lnTM 5 和 lnTM 7 两个波段.

利用前 3 个主成分与同步监测数据进行相 关分析, 结果如表 6 所示. 从中可以看出, lnSD 与 PC1 具有极显著的相关关系, PC1 是估算 SD 的最佳因子. 此外, PC1 与 lnSS、lnTN 也有 显著相关关系. PC2 则与 lnCOD 和 lnTP 有显 著的相关关系.

表 6 前 3 个主成分相关矩阵

主成分	lnSS	lnSD	lnDO lnCOD	lnBOD	lnT N	lnT P
PC1	+	-	-		-	-
PC2			-			-
PC3						

2.4 讨论

对于太湖地区不同的水质监测指标,有不同的最佳估算方式.本文依据上面的分析,给出了各个指标的最佳估算方式:

$$\begin{split} SD &= e^{(5.\ 7099-\ 0.\ 6991\times\ PC1)} \\ SS &= e^{(5.\ 6394+\ 1.\ 5493\times\ \lnS7)} \\ COD &= e^{(0.\ 3671+\ 1.\ 2454\times\ \lnS2)} \\ T\ P &= e^{(-\ 0.\ 4081-\ 8.\ 659\times\ \lnS10)} \\ DO &= e^{(2.\ 3704-\ 0.\ 2107\times\ \lnTM\ 3)} \\ T\ N &= e^{(8.\ 228-\ 2.\ 713\times\ \lnS16)} \\ BOD &= e^{(4.\ 2380+\ 2.\ 2546\times\ \lnS4)} \end{split}$$

式中, PC1 = 0. 5638 × $\ln TM1 + 0.5562 \times \ln TM2 + 0.5566 \times \ln TM3 + 0.1119 \times \ln TM5 - 0.2248 \times \ln TM7$

在遥感图像上基于标准的公里网格进行了 重采样(共形成 52 个采样点),利用上面的最佳 估算式对上述 52 个点的监测参数值进行估算, 然后利用 A rcV iew 软件进行空间结构分析和 克里格插值,生成各监测参数的等值线图.限于 篇幅,只给出了总磷的情况(图 2).

从图 2 可以看出,太湖水域 TP 浓度 总体上很高,但分布区域变化很大,东太湖地区 的含量值明显偏高,是富营养化严重的地区.靠 近无锡和苏州的太湖东北部地区的含量也较 高,体现较强的富营养化趋势.

3 结论

(1)利用遥感技术监测和评价太湖的水质 具有信息综合能力强、信息获取快速、省时省力 等特点,能够较好地反映水质的空间分布特征, 尤其适合于大范围水域的快速监测.

(2)利用单波段、多波段因子组合以及主成



图 2 太湖 TP 分布等值线图/mg·L⁻¹ 分分析等手段可以使遥感信息得到更充分的利 用, 从而使预测结果更加精确。

(3)预测结果表明,太湖流域已经呈现了严重的富营养化趋势,且空间分布不均衡.东太湖以及接近无锡和苏州的湖体相对污染更为严重.

参考文献:

- 1 Lathrop R G and Lillesand T M. The use of thematic mapper data to assess water quality in Green Bay and Central Lake M ichigan. Photogrammetric Engineering & Rem ote Sensing, 1986, 52(5): 671~ 680.
- 2 陈楚群,施平等.应用TM数据估算沿岸海水表层叶绿 素浓度模型研究.环境遥感,1996,11(3):168~175.
- 3 Lavery P, Pattiaratch i C et al. Water quality monitoring in estuarine water using the landsat thematic mapper. Remote Sensing of Environment, 1993, 46(2): 268~ 280.
- 4 李旭文,季耿善等.苏州运河水质的 TM 分析.环境遥 感,1993,8(1):36~44.