

文章编号:1004-8227(2002)01-0036-04

武汉湖泊富营养化遥感调查与评价^{*}

张海林¹,何报寅¹,丁国平²

(1. 中国科学院测量与地球物理研究所,湖北 武汉 430077; 2. 中国地质大学研究生院,湖北 武汉 430074)

摘要:利用武汉东湖各子湖多年可靠的地面监测资料和 1999 年 9 月 Landsat - 7 的 TM 各波段的卫星遥感数据,建立了各子湖的营养状态指数与 TM b5 图像上的灰度值之间的线性关系模型,并运用该模型对武汉各湖泊进行富营养化评价。同时基于地面监测资料,用日本学者相崎守弘提出的修正富营养化指数法对武汉主要湖泊的富营养化程度进行评价。两种方法评价结果都显示,武汉大多数湖泊呈富营养化状态,一些湖泊已接近甚至达到极富营养化。在用两种方法同时评价的十个湖泊中,有四个湖泊的评价结果完全一致,其余的六个湖泊富营养化程度只相差一个级别。两种方法评价结果存在差异,可能有以下三个原因: 遥感方法反映的是图像所在时段的某一个区域上的平均值,营养化指数法反映的是若干个采样站的年平均; TM 图像的获取时间比地面监测的时间晚; 遥感影像可能受到云、泥沙等悬浮物、高等水生植物以及湖泊水深等的影响。遥感评价结果与地面监测结果基本一致,利用遥感进行湖泊水体富营养化监测评价是可行的、有效的;利用该方法可进行大范围的湖泊富营养化调查评价。

关键词:湖泊富营养化;遥感;调查与评价;武汉

文献标识码:A

江汉平原尤其是武汉等大中城市周边的湖泊,由于城市规模的不断扩大、人口的增长和经济的快速发展,富营养化问题愈来愈严重,许多湖泊已接近富营养,有的甚至达到极富营养的程度。湖泊和水库特别是大中城市附近的水体,由于大量生活污水和工业废水的排入,水体易于富营养化。大量营养元素的排入,特别是 N、P 等营养元素的迅猛增加,破坏了水体原来的营养平衡,造成藻类的大量繁殖,这是水体富营养化的最显著特征。湖泊的富营养化,极大的降低了水体的生态环境、水产养殖、旅游观光、水源供应等多种功能,严重地阻碍了城市社会经济的可持续发展。如何及时准确地了解湖泊富营养化状况和监测其变化趋势,对于政府及有关部门制定相应的对策措施,减轻湖泊的富营养化,充分发挥湖泊水体应有的各种功能,均有十分重要的意义。在国内外的湖泊富营养化调查评价中,采用的方法主要有:单一参数评价指数方法如特征法、参数法、营养状态指数法和生物指标评价法,多参数的综合评价方法有函数法、统计评分法、模糊综合评判法、层次分析法^[2]。本文拟采用遥感与地面监测相结合的方法,既省时省力又可保证一定的准确度。

1 原理与方法

单一参数评价指数方法虽然简单、明确,但结果与湖泊富营养化状态的真实状况尚有差别;多参数的综合评价方法效果较好,但需要详尽的监测资料,过程较烦琐,对大范围的湖泊富营养监测费时费力,不现实。本工作选取藻类叶绿素 a (Chla)、总氮(TN)、总磷(TP)、以及五日生化需氧量(BOD₅)作为评价水体富营养化程度的关键因子,利用地面监测资料进行评价。由于水体的总体反射率较低,在波长 0.5~0.7 μ m 处相对较高,0.7 μ m 以后由于水体对红外光吸收严重,反射率很低。因此对水域变化选用 1.55~1.75 μ m 的多时域影像较好^[4]。TM band5 影像上的水体界限轮廓清晰,与其他地物差别显著,提取水体方便准确。

2 实验步骤

2.1 利用地面监测资料进行评价

湖北省湖泊的主要污染物是总氮、总磷和高锰

* 收稿日期:2001-02-16,修回日期:2001-04-25

基金项目:本文为国家发展计划委员会、中国地质调查局下达的“湖北省国土资源综合调查”项目第 8 专题“湖北省地表水污染遥感调查与评价”的部分成果。

作者简介:张海林(1976~),男,湖北省随州人,硕士研究生,研究方向为自然地理学。

酸盐指数。国内外大量的研究表明,与湖泊富营养化有关的水质参数之间存在某种相关关系,考虑到监测项高锰酸盐指数的数据不全,采用了五日生化需氧量作为评价项。利用东湖各子湖(水果湖、郭郑湖、庙湖、汤林湖、菱角湖、牛巢湖、后湖、喻家湖、筲箕湖、茶港湾等)多年的地面监测数据,通过分析得出藻类叶绿素 a 浓度(Chla)、总氮(TN)、总磷(TP)以及五日生化需氧量(BOD₅)之间的相关关系:

表 1 Chla 与 TN、TP、BOD₅ 的相关关系式

Tab. 1 Correlativity Formula Between Chla and TN、TP、BOD₅

| | | |
|---|------------------------|--|
| $\ln(\text{Chla}) \sim \ln(\text{TN})$ | $y = 2.1505x - 3.9242$ | y 代表 $\ln(\text{Chla})$, x 代表 $\ln(\text{TN})$ 、 $\ln(\text{TP})$ 以及 $\ln(\text{BOD}_5)$ |
| $\ln(\text{Chla}) \sim \ln(\text{TP})$ | $y = 1.0887x - 0.3955$ | |
| $\ln(\text{Chla}) \sim \ln(\text{BOD}_5)$ | $y = 1.3477x - 4.7158$ | |

引用日本学者相崎守弘提出的修正富营养化指数 TSI_M 法,以叶绿素 a 浓度为基准,分为 0~100 的连续值:假定 $TSI_M = 100$ 时,Chla 的浓度为 1 000 mg/m³,而 $TSI_M = 0$ 时,Chla 的浓度为 0.1 mg/m³,且 Chla 浓度每增加 2.5 倍时,对应的 TSI_M 指数值增加 10,其结果可用如下公式表示:

$$TSI_M(\text{Chla}) = 10 * (2.46 + \ln(\text{Chla}) / \ln(2.5))$$

根据表 1 中叶藻类叶绿素 a(Chla)与总氮(TN)、总磷(TP)及生化需氧量(BOD₅)的相关关系,可得到总氮(TN)、总磷(TP)及五日生化需氧量(BOD₅)的 TSI_M 指数计算公式:

$$TSI_M(\text{TN}) = 10 * (2.46 + (2.1505 \ln(\text{TN}) - 3.9242) / \ln(2.5))$$

$$TSI_M(\text{TP}) = 10 * (2.46 + (1.0887 \ln(\text{TP}) - 0.3955) / \ln(2.5))$$

$$TSI_M(\text{BOD}_5) = 10 * (2.46 + (1.3477 \ln(\text{BOD}_5) - 4.7158) / \ln(2.5))$$

然后对这三项指数求平均值得出各湖泊的富营养状态值,即综合评分公式:

$$TSI_M(\text{AVE}) = (TSI_M(\text{TN}) + TSI_M(\text{TP}) + TSI_M(\text{BOD}_5)) / 3$$

规定湖泊富营养化程度划分标准:

$$TSI_M(\text{AVE}) < 20, \text{ 贫营养}; 20 \leq TSI_M(\text{AVE}) < 40, \text{ 中营养}; 40 \leq TSI_M(\text{AVE}) < 60, \text{ 中富营养}; 60 \leq TSI_M(\text{AVE}) < 80, \text{ 富营养}; TSI_M(\text{AVE}) \geq 80, \text{ 极富营养}.$$

根据该标准,武汉各主要湖泊的富营养化评价结果见表 2。

表 2 武汉湖泊营养状态评价结果

Tab. 2 Evaluation Result of Eutrophication of Lakes in Wuhan by Sit-tiu Monitoring Data

| 湖泊名称 | 各单项指数值 | | | 综合评分 $TSI_M(\text{AVE})$ | 富营养化程度 |
|--------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------|--------|
| | $TSI_M(\text{TN})$ | $TSI_M(\text{TP})$ | $TSI_M(\text{BOD}_5)$ | | |
| 武汉东湖 | 78.86 | 73.87 | 68.53 | 73.87 | 富营养 |
| 武汉沙湖 | 105.12 | 76.95 | 83.03 | 88.37 | 极富营养 |
| 江夏区汤孙湖 | 45.03 | 52.97 | 56.25 | 51.42 | 中富营养 |
| 江夏区梁子湖 | 45.03 | 60.02 | 53.46 | 52.84 | 中富营养 |
| 江夏区斧头湖 | 47.29 | 48.82 | 56.25 | 50.79 | 中富营养 |
| 汉阳墨水湖 | 129.24 | 85.75 | 80.80 | 98.59 | 极富营养 |
| 汉阳后官湖 | 45.42 | 55.70 | 59.10 | 53.41 | 中富营养 |
| 汉口东西湖 | 101.13 | 73.95 | 66.77 | 80.82 | 极富营养 |
| 新洲区涨渡湖 | 42.08 | 61.39 | 60.08 | 54.52 | 中富营养 |
| 黄陂区后湖 | 35.95 | 62.42 | 66.07 | 54.81 | 中富营养 |

2.2 遥感图片的解译过程

2.2.1 湖泊水体的提取

通过对 TM 各波段影像的分析得知:b2 对沉水植物较敏感,b6 对热源较敏感,而 b5 不易受沉水植物的影响,b1、b2、b3 图片的假彩色合成图片反映出的地物与实际地物具有很好的对应关系。当水体富营养化时,由于浮游植物中的叶绿素对近红外光有明显的“陡坡效应”^[4],利用

TM b5 的灰度图并结合 b1、b2、b3 合成的假彩色图像作参照,对 b5 的灰度图取阈值 30 调整图像,完成水体的解译工作。

2.2.2 建立湖泊营养状态提取模型

对已作出营养状态评价的东湖各子湖的 TM 各波段的灰度图进

湖北省环境质量报告书(1996),1997.
湖北省地面水 1999 年湖泊水库监测结果统计表,2000.

行取样分析发现:湖泊的营养状态指数 TSI_M 与 TM b5 及 b7 图像的灰度值的平均值 GD 线性相关。其线性关系式如下:

TSI_M 与 b5 图像的 GD 关系式为: $GD = 0.1472 TSI_M - 2.7219$ ($R^2 = 0.6563, P = 0.008$, 线性关系特别显著)

TSI_M 与 b7 图像的 GD 关系式为: $GD = 0.1225 TSI_M - 3.1696$ ($R^2 = 0.6021, P = 0.014$, 线性关系显著)

根据以上的富营养程度等级的划分标准,当 TSI_M (AVE) 分别取 20、40、60、80 时, b5 图像的 GD 分别取值 0.22、3.17、6.11、9.05; b7 图像的 GD 分别取值 -0.72、1.73、4.18、6.63。由于图像的灰度值只能是 0~255 之间的自然数,同时 b5 的图像比较适合水体变化的研究,故选取 TM b5 的图像比较适宜。

处理的具体方法是:对调整后的灰度图取阈值 9、6、3、1,得到四幅灰度图像,为了便于解译,然后进行假彩色合成,不同营养化状态的水体呈现不同的颜色。在解译的过程中,出现了同一湖泊不同的水体区域呈现不同颜色的情况,反映出同一湖泊不同区域的水体富营养状态是不同的,采取的方法是按面积占优的区域的富营养状态给整个湖泊水体赋予富营养化程度值,得到结果见表 3。

表 3 武汉湖泊营养状态的遥感解译结果

Tab. 3 Interpretation Result of Eutrophication of Lakes in Wuhan by Remote Sensing

| 湖泊名称 | 解译结果 | 湖泊名称 | 解译结果 |
|--------|------|-------|------|
| 武汉东湖 | 富营养 | 汉阳后宫湖 | 富营养 |
| 武汉沙湖 | 富营养 | 汉阳官莲湖 | 富营养 |
| 江夏区汤孙湖 | 中富营养 | 汉阳太子湖 | 富营养 |
| 江夏区梁子湖 | 中富营养 | 汉阳硃山湖 | 富营养 |
| 武昌县斧头湖 | 中富营养 | 武汉南湖 | 富营养 |
| 汉阳墨水湖 | 富营养 | 武汉鲁湖 | 中富营养 |
| 汉阳后宫湖 | 富营养 | 武汉青菱湖 | 富营养 |
| 汉口东西湖 | 富营养 | 武汉黄家湖 | 富营养 |
| 新洲区涨渡湖 | 富营养 | 武汉严东湖 | 富营养 |
| 黄陂区后湖 | 富营养 | 武汉严西湖 | 富营养 |
| 黄陂县武湖 | 富营养 | | |

3 结果与讨论

在两种调查评价方法中,同时评价的十个湖泊

中有四个湖泊的评价结果完全一致,其余的六个湖泊的富营养化程度只差一个级别,其中的因素可能有:富营养化的评价标准有所不同,级别的划分是一个比较粗糙的范围,本工作的遥感评价只定性地描述湖泊的整体富营养状态;遥感方法反映的是图像所在时段的某一个区域上的平均值,富营养化指数法反映的是若干个采样站的年平均值;TM 图像的获取时间比地面监测的时间晚;遥感影像可能受到云、泥沙等悬浮物,高等水生植物以及湖泊水深等的影响。

考虑以上种种因素的影响,结合实地考察,实验的结果还与其他一些资料评价结果具有较好的一致性。



图 1 武汉湖泊富营养化遥感评价结果
Fig. 1 Evaluation Result of Eutrophication of Lakes in Wuhan by Remote Sensing

4 结论

通过以上的研究发现,遥感技术在湖泊水体的富营养化监测评价中有明显的优势:遥感图片的解译结果和其他方法的评价结果基本保持一致,具有应用前景;对同一湖泊的不同水域可同时完成营养状态的监测评价;可同时完成大范围的湖泊水体的营养化状态的监测,而且省时省力。

这种方法作为实验性研究,也有一些不足和亟待完善的地方:这种方法只是对湖泊营养化状态作出了定性的评价,实验区域需要详尽的地面同步监测资料,特别是藻类叶绿素 a 浓度的监测;遥感图片

的分辨率也影响结果的精度,天气的状况对图片质量的影响直接影响解译结果的准确性。如果能在这些方面进行改进,评价的结果则会更好。由此可见,遥感作为一种新型的湖泊水体富营养化监测手段是非常经济可行的,适合于大范围的湖泊水体的富营养化监测。

参考文献:

- [1] 蔡庆华. 武汉东湖富营养化综合评价[J]. 海洋与湖沼, 1993, (4): 335 ~ 339.
- [2] 蔡庆华. 湖泊富营养化评价方法[J]. 湖泊科学, 1997, (1): 89 ~ 94.
- [3] 王苏民, 奚鸿身主编. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [4] 孙家柄, 舒宁, 关泽群. 遥感原理、方法和应用[M]. 北京: 测绘出版社, 1997.
- [5] 陈述彭, 赵英时. 遥感地学分析[M]. 北京: 测绘出版社, 1990.
- [6] 刘建康主编. 东湖生态学研究(二)[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [7] 金相灿, 刘树坤, 章宗涉, 等. 中国湖泊环境(第一册)[M]. 北京: 海洋出版社, 1995.
- [8] 何报寅, 许贵来. 湖北省水资源现状与可持续利用战略对策[J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(2): 207 ~ 211.
- [9] 况琪军, 夏宜琚, 李植生, 等. 武汉东湖不同营养型子湖的水生生物与水域功能[J]. 湖泊科学, 1997, (3): 249 ~ 254.
- [10] 蔡述明, 何报寅. 江汉湖群的成因类型与环境演化[A]. 梁必骥主编. 自然地理学研究与应用[C]. 广州: 中山大学出版社, 1997. 1.
- [11] 何报寅, 蔡述明. 三峡工程与长江中游浅层承压水动态[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(1): 94 ~ 99.

INVESTIGATION AND EVALUATION OF EUTROPHICATION OF LAKES IN WUHAN AREA BY REMOTE SENSING

ZHANG Hai-lin¹, HE Bao-yin¹, DING Guo-ping²

(1. Institute of Geodesy & Geophysics, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China; 2. The Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Through the analysis of the Thematic Mapper (TM) images in September, 1999, and reliable monitoring data for many years of several small lakes of Donghu Lake in Wuhan area, the authors discovered a good linear relationship between the values of grey degree (GD) abstracted from TM b5 images and eutrophication indexes of the lakes. The authors investigated and evaluated all the main lakes in Wuhan area according to the models. At the same time, based on the *situ* monitoring data they also evaluated the eutrophication degree of lakes in Wuhan area by an other method "Amended Atrophic Indices" which was brought forward by Japanese scholar Morikiro Aizaki. The evaluated results by both methods show that most lakes are eutrophic, and some of them have even reached hypereutrophic states. Among ten lakes evaluated simultaneously by the two methods, there are four lakes whose evaluated results are identical, and there are six lakes whose evaluated results vary by one level. There are three reasons for the difference between the results of the two methods. First, remote sensing technology reflects the average values of a certain area corresponded with TM images in a certain period, but "Amended Atrophic Indices" reflects the annual average values of the monitoring spots. Second, the time of TM images is later than that of *situ* monitoring data. And third, TM images are affected by cloud, water depth, suspension, such as sand, hyper-hydrophytes, etc. In a word, the result by remote sensing is almost agreed with the monitoring data. It means that remote sensing technology is feasible and effective to monitor and evaluate the eutrophication of lakes in Wuhan area and it can also be used to investigate and evaluate lake eutrophication in larger area.

Key words: lake eutrophication; remote sensing; investigation and evaluation; Wuhan