第 25 卷第 1 期　　南 京 气 象 学 院 学 报　　Vol. 25 No. 1
2002 年 2 月　　Journal of Nanjing Institute of Meteorology　　Feb. 2002

文章编号:1000-2022(2002)01-0124-05

用 FY-1C/CAVHRR 数据估算巢湖蓝藻叶绿素的含量

胡　雯，　吴文玉，　孔庆欣，　荀尚培，　王玉兰
(安徽省气象科学研究所,安徽 合肥　230031)

摘　要:以巢湖为实验区,以气象卫星 FY-1C/CAVHRR 数据为信息源,通过遥感监测值与(准)同步湖区实地采样叶绿素 α(chl-α)含量的对比分析,建立基于 FY-1C/CAVHRR 数据的叶绿素 α 含量遥感估算模型。研究表明,FY-1C 气象卫星可用于内陆大面积湖泊湖面叶绿素含量的遥感监测,在动态监测方面有明显优势,可作为现有湖泊水质采样观测的补充手段。

关键词:FY-1C/CAVHRR 数据;内陆大面积湖泊;叶绿素 α 含量
中图分类号:X52　　**文献标识码**:A

湖泊的富营养化是我国淡水湖面临的一个比较普遍的环境问题,其重要特征是藻类物质大量繁殖。叶绿素在藻类物质中所占的比例比较稳定,并且易于在实验室测定,因此叶绿素含量常作为反映湖水营养化程度的一个重要参数。国家重点治理的三河三湖之一的巢湖,藻类优势群种为蓝藻,约占总量的 90%以上。常规的水质监测是通过采集水样、过滤、萃取以及分光光度计分析,以确定叶绿素含量。这对于大面积湖泊水环境监测是一项极费人力物力和时间的工作,其采样方法也不可能全面反映大型湖泊内的藻类分布情况。

用遥感方法估算水体叶绿素含量,国内外许多学者已经做了大量的工作。Gordon 等[1]和 Ekstrand[2]利用海岸带水色扫描仪 CZCS 资料、TM 资料建立了海水叶绿素含量估算模型。余丰宁等[3]利用 TM 资料对湖泊水体叶绿素含量进行估算。我国自行发射的 FY-1C 气象卫星设有三个水色探测通道,本文采用 FY-1C/CAVHRR 数据对巢湖蓝藻叶绿素含量进行了初步估算与分析。

1　遥感估算藻类叶绿素含量原理

藻类属低等浮游植物,靠细胞中的叶绿素进行光合作用,其光谱特征类似于陆地植物。在 440 nm 附近有一吸收峰,在 500 nm 附近有一"节点"(即该处光谱辐射值不随叶绿素含量变化而变化),在 550 nm 附近有一反射峰,在 700～1 100 nm 近红外区具有强烈反射的荧光峰[4]。随着叶绿素含量和组成不同,反射峰(吸收峰)值和位相有所变化。藻类所处的环境水体则对入射辐射有很好的吸收性,尤其强烈吸收红外辐射,只有可见光中的蓝一绿光在水中有一

收稿日期:2001-04-10;**改回日期**:2001-10-26
基金项目:中国气象局"九五"重点项目"内陆大面积湖体气象卫星遥感监测研究"
第一作者简介:胡　雯(1967-),女,硕士,高工,从事气象卫星遥感应用研究与技术开发.

定的透射能力。通常只有当藻类漂浮接近于水面时,藻类与水体之间这种明显的光谱差异才能清楚地显示出来。而巢湖以蓝藻为绝对优势藻种,这种藻有一微气囊,在趋光性的驱使下漂浮于水面。因此,从水面光谱观测和遥感信息中都能反映出湖泊水体藻类叶绿素含量的情况。

图 1 是 1999 年 11 月 12 日巢湖外场观测期间利用 VF921B 便携式地物光谱仪(安徽光机所研制)测量的不同叶绿素含量的水面光谱反射率曲线,直观地反映出上述藻类叶绿素在可见光中的蓝—绿光区间的光谱特性。FY-1C/CAVHRR 的三个水色监测波段(CH7:430～480 nm、CH8:480～530 nm、CH9:530～580 nm)分别对应着蓝光到绿光波段的三个典型的叶绿素反射辐射特征光谱区间,因此可以采用两个波段反射辐射的比值,建立巢湖湖面实测叶绿素含量与不同反射辐射波段比值的生物—光学模式,估算巢湖湖面蓝藻叶绿素含量。

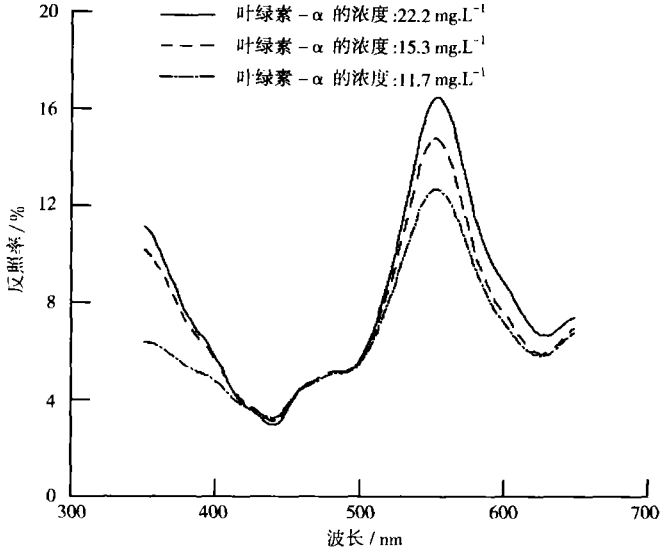

图 1　不同藻类浓度的水体反射光谱

Fig. 1　Albedo spectrum of water surface with different concentrations of algae

2　研究方法

以 2000 年 4 月、6 月两个时次的巢湖区域晴空 FY-1C/CAVHRR 数据为遥感信息源,结合与卫星过境准同步的巢湖湖面叶绿素含量实地采样调查资料,进行巢湖湖面叶绿素含量的估算与分析。

2.1　卫星数据处理

卫星数据入口为已经过定标、定位等预处理的安徽域 FY-1C/CAVHRR 通道数据。经以下处理后用于巢湖湖面叶绿素含量的估算与分析。

区域图挖存:挖取包含巢湖湖区范围(117.12～118.0°E,31.3～32.0°N)的小图,以提高处理速度。

湖区提取:利用近红外通道水陆反射辐射特性的明显差异,对近红外通道(CH2:430～480 nm)图象进行二值图象处理,生成湖陆分界背景图,与各通道图象相乘,剔除湖区外图象信息。

大气校正:为了去除大气中悬浮物质散射光的影响,本文利用 6S 方法对卫星数据进行大气校正。具体操作时,选取巢湖湖西、湖中、湖东的三个点为代表利用 6S 模式建立卫星观测反

照率与湖面反照率的校正关系，以此对全湖区数据进行大气校正。

I_{RC}图生成：利用比值法，生成叶绿素指数 I_{RC}。

$$I_{RC} = A(550,CH9)/A(450,CH7)。 \quad (1)$$

其中，$A(550,CH9)$为 CAVHRR 第 9 通道 550 nm 波段的反照率；$A(450,CH7)$为 CAVHRR 第 7 通道 450 nm 波段的反照率。

2.2 叶绿素含量的遥感定量模型

图 2 为巢湖水质采样点分布。湖区共布有 12 个水质监测点，西半湖 6 个采样点(7～12)，由合肥市环境监测站监测，东半湖 6 个采样点(1～6)，由巢湖市环境监测站监测。12 个采样点基本上布满了整个湖区，其中主要河流入口处均布有采样点。

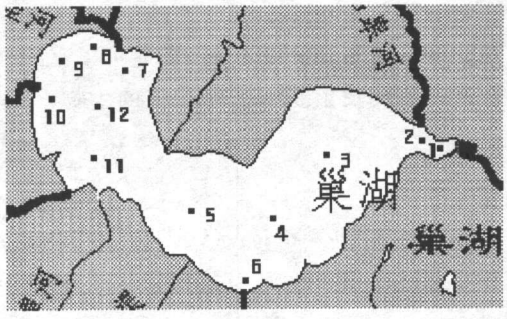

图 2 巢湖湖区水质采样点分布

1：巢湖坝口；2：造船厂；3：中捍乡；4：湖心点；5：姥山东 3 km；6：马尾河口；7：南淝河入湖区；8：十五里河入湖区；9：塘西；10：派河入湖区；11：新河入湖区；12：西半湖心.

Fig. 2 Water quality sampling points in Chaohu Lake

由于东、西半湖分别由巢湖、合肥市环境监测站监测，因此采样日期有差异。4 月份西半湖实地采样日期为 4 月 17 日，东半湖为 4 月 5 日；6 月份西半湖实地采样日期为 6 月 16 日，东半湖为 6 月 7 日。4 月 16 日与 6 月 18 日两个时相的遥感资料与西半湖实测资料基本上准同步，可用于相关分析和建模。

利用安徽省环境监测中心发布的 2000 年 4 月和 6 月巢湖流域水环境监测月报中湖区水质监测点实测的叶绿素含量，与 2000 年 4 月 16 日和 6 月 18 日两个时相的 FY-1C/CAVHRR 数据配合，分析 chl-α 含量与 I_{RC}数值的相关关系，并建立叶绿素含量的遥感定量模型。

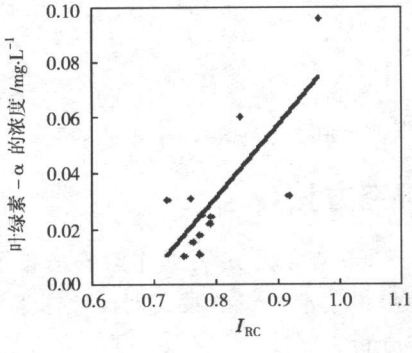

图 3 实测 chl-α 含量与 I_{RC}相关点聚图

Fig. 3 Scatter diagram between observed chl-α and I_{RC}

图 3 为巢湖西半湖实测 chl-α 含量与 I_{RC}数值的相关点聚图。为了减小随机影响，每一测点对应位置的 I_{RC}数值取以该点为中心的 3×3 像元的平均值。从图 3 可见，实测 chl-α 含量与 I_{RC}数值之间呈比较明显的线性相关，相关系数达 0.775 7。以上述实测 chl-α 含量与 I_{RC}建立线性回归模型

$$C(\text{chl-}\alpha) = -0.179\,18 + 0.262\,537 \times I_{RC}。 \quad (2)$$

3 结果与分析

利用(2)式，对 2000 年 4 月 16 日与 6 月 18 日两个时相的遥感数据计算，得到巢湖蓝藻叶绿素含量遥感监测图(图 4)。通过对遥感监测和实地采样值(表 1)的对比分析，可看到：

(1)巢湖湖面叶绿素浓度分布的遥感估算结果与实地采样值在空间分布上体现出较好的

一致性。西半湖遥感监测与实地采样时间基本同步,估算的结果与实测值更吻合,东半湖实地采样时间与遥感监测时间均相差 10 d 左右,因此出现差异是难免的。实测图数值偏小,是由于湖区采样点过于稀少,插值过程中测点值被削弱。

(2)蓝藻为喜温性藻类,夏季是蓝藻的生长繁殖旺盛期,从实测和遥感监测图上均反映出,6 月份随着气温的升高,湖区污染程度加重,湖面叶绿素浓度较之 4 月份有明显增长。

(3)巢湖主要污染源大多集中在西半湖,一般的水质要素测量值基本呈现"西高东低"的分布,蓝藻为漂浮性藻类,其空间分布受湖区风场影响呈现较大的随机性。图 4 中 4 月 16 日整个湖区叶绿素浓度分布比较均匀,东、西半湖基本相当,东半湖略高于西半湖;而 6 月 18 日则西半湖明显高于东半湖,在南淝河入湖口一带,有一叶绿素浓度高值区。

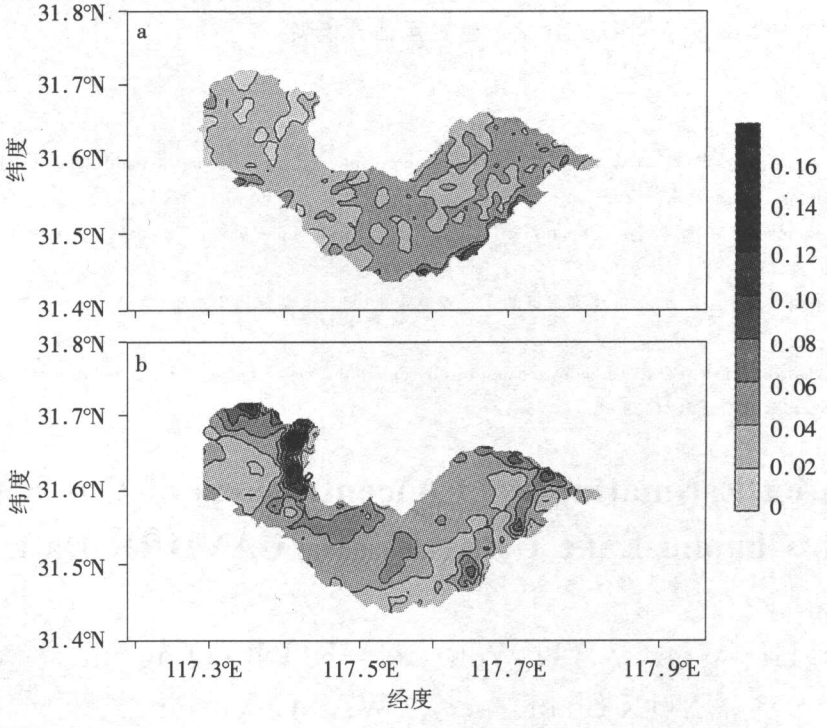

图 4　2000 年 4 月 16 日(a)和 6 月 18 日(b)巢湖蓝藻叶绿素含量遥感监测分析

Fig. 4　FY-1C estimated chl-α concentration in Chaohu Lake in April 16(a) and June 18(b), 2000

表 1　叶绿素浓度采样数据

Table 1　The data of chl-α concentration sampling　　mg · L^{-1}

时间	采样点序号					
	1	2	3	4	5	6
4 月 5 日	0.004	0.001	0.002	0.003	0.002	0.003
6 月 7 日	0.0154	0.0165	0.009	0.0134	0.0134	0.0147
时间	采样点序号					
	7	8	9	10	11	12
4 月 17 日	0.01	0.015	0.011	0.025	0.022	0.018
6 月 16 日	0.0958	0.0318	0.0605	0.0307	0.024	0.0303

4 小 结

(1)FY-1C/CAVHRR 水色监测波段数据与实测叶绿素含量之间有较好的相关性，由此建立的统计估算模型与实况拟合较好。用 FY-1C 气象卫星监测分析内陆大面积湖泊湖面叶绿素含量是可行的。

(2)利用 FY-1C/CAVHRR 资料估算巢湖湖面叶绿素含量，时效性强，人力物力投入量少，可得到整个湖区蓝藻分布的宏观信息，可用于巢湖水况的遥感动态监测。将遥感监测作为常规采样监测的补充手段是经济和有效的。

(3)受 FY-1C 卫星各波段光谱分辨能力的局限性、湖区蓝藻的漂移性和季节性差异以及星地观测同步性等综合因素的影响，本文的结论是初步的，尚需进一步作星地同步实验分析，以建立稳定可靠的巢湖蓝藻叶绿素含量遥感定量估算模型。

参考文献：

[1] Gordon H R, Claek D K, Brown J W, et al. Phytoplankton pigment concentrations in the middle Atlantic bight: comparison of ship determinations and CZCS estimates[J]. Appl Opt, 1983(22): 30-36.

[2] Ekstrand S. Landsat TM based quantification of chlorophyll-α during algae blooms in coastal waters[J]. Int J Remote Sensing, 1992, 13(10): 1 913-1 926.

[3] 余丰宁，蔡启铭，陈宇炜，等. 水体叶绿素含量的 TM 遥感定量模型. 太湖环境生态研究[M]. 北京：气象出版社，1998：216-222.

[4] Neville R A, Gower J F R. Passive remote sensing of phytoplankton via chlorophyll-α fluorescence[J]. Journal of Geophysical Research, 1977, 82(24): 3 487-3 493.

Research on Estimating the Concentrations of Chlorophyll-α in Chaohu Lake Using FY-1C/CAVHRR Data

HU Wen, WU Wen-yu, KONG Qing-xin, XUN Shang-pei, WANG Yu-lan

(Anhui Meteorological Institute, Hefei 230031, China)

Abstract: By the use of the meteorological satellite FY-1C/CAVHRR data, estimated are the concentrations of chlorophyll-α in Chaohu Lake. A remote sensing estimating model is proposed by analyzing the correlation of the FY-1C/CAVHRR channel data for watercolor monitoring and synchronal field survey for chlorophyll-α concentrations. The result indicates that meteorological satellite FY-1C can be used to monitor concentrations of chlorophyll-α in large lakes as a kind of important assistant means of routine water quality sampling survey with its advantages of time and spatial resolution.

Key words: FY-1C/CAVHRR data; inland large area lake; concentration of chlorophyll-α