



## 渤海海域叶绿素浓度的遥感反演研究

张彦喆, 郑小慎, 张波

(天津市海洋资源与化学重点实验室, 天津科技大学海洋科学与工程学院, 天津 300457)

**摘要:** 以渤海海域为研究区域,以 MODIS1B 卫星影像为数据源,利用 MODIS 250 m 分辨率的波段反射率构建的 NDPI(Normalized Difference Pigment Index) 遥感指数结合叶绿素质量浓度( $\rho$ ) 实测值进行回归拟合分析,建立基于 MODIS1B 数据的渤海海域叶绿素质量浓度遥感提取模型,并应用该模型反演出渤海海域叶绿素浓度的分布情况,对其分布进行了分析和评价. 研究表明,利用 MODIS1B 数据监测渤海海域的水质情况是可行的.

**关键词:** 叶绿素; 渤海; MODIS; NDPI

**中图分类号:** TP751      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6510(2010)01-0051-03

## Study on Retrieval of Chlorophyll Concentration by Remote Sensing in Bohai Sea

ZHANG Yan-zhe, ZHENG Xiao-shen, ZHANG Bo

(Tianjin Key Laboratory of Marine Resource and Chemistry, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** On the basis of MODIS1B remote sensing data in Bohai Sea, using the 250 m resolution wave 1 and 2 reflectivity to make the NDPI(Normalized Difference Pigment Index) remote sensing index combination compare with chlorophyll mass concentration ( $\rho$ ) measurements by correlation analysis. The chlorophyll mass concentration extraction model of remote sensing in the Bohai Sea was established on the basis of MODIS1B data. The distribution of chlorophyll mass concentration of Bohai Sea was analyzed by the model. The result shows that MODIS1B image data is preferably useful in quantitative retrieval model of chlorophyll mass concentration in Bohai Sea.

**Keywords:** chlorophyll; Bohai Sea; MODIS; NDPI

叶绿素的时空变化包含着海区基本的生态信息,叶绿素含量的高低与该水体中藻类的种类、数量等密切相关<sup>[1]</sup>,是评价和监测海洋水质的重要参数. 在叶绿素浓度测量方面,常规监测难以反映全面、动态、连续的海域叶绿素浓度信息. 卫星遥感可对海洋实现大尺度、长时间连续的观测,弥补实测数据分散的缺陷,更利于对海区内叶绿素浓度进行监测、分析和研究. 国内外也有不少相关研究,但大多数经验算法对我国海区不完全适用,而且,这些算法基本上都是直接利用叶绿素蓝绿两个波段的比值来实现的,算法精度较低,对波段进行归一化处理可以在一定程度上提

高算法精度. 所以,有研究者借鉴陆地常用归一化植被指数 NDVI 方法,构建了 NDPI 遥感指数,应用于叶绿素浓度反演研究,进行遥感监测. 有研究表明中分辨率成像光谱仪(MODIS)影像可用于太湖的水质监测,实验结果表明 250 m 分辨率波段 1、2 的比值组合与叶绿素浓度实测值相关性最好<sup>[2]</sup>. 本文利用 MODIS 图像 250 m 分辨率波段 1、2 的反射率构建 NDPI 遥感指数提取模型,以渤海海域为研究区域,研究范围为 37~41° N, 117~121° E. 对渤海海域叶绿素浓度进行反演研究和分析,以期对渤海的水质监测、海洋生产力和赤潮监测研究提供佐证和参考.

收稿日期: 2009-04-28; 修回日期: 2009-09-23

基金项目: 天津市自然科学基金资助项目(08JCYBJC10500, 09JCZDJC25400)

作者简介: 张彦喆(1985—)女,天津人,硕士研究生; 通信作者: 张波,副教授, zhangbo@tust.edu.cn.

### 1 数据处理

MODIS 遥感影像的获取为 2006 年 5 月 7 日 MODIS AQUA 1B 的采样数据. 采样当日渤海海域上空无云, 卫星成像质量很好. 对获取的 MODIS 影像进行了几何校正和辐射定标计算. 几何校正采用 Geographic Lat/Lon 投影, 结合 1B 数据中的经纬度信息进行校正, 校正后的位置精度达到 0.5 个像素 (1 个像素点代表实际距离 250 m). 辐射定标的目的是得到各像元的反射率值. 计算公式为

$$R' = Scales \times (DN - Offsets) \quad (1)$$

式中: Scales 为反射率缩放系数; Offsets 为反射率缩放截距; DN 为 1B 数据存储值; R' 为图像像元点反射率值. Scales 和 Offsets 数据是利用遥感处理软件通过读取头文件得到的.

渤海海域叶绿素浓度实测数据的现场监测时间是 2006 年 5 月 7 日, 与获得的卫星遥感数据同步.

### 2 建立模型

#### 2.1 算法模型

MODIS 是 TERRA 和 AQUA 卫星上的搭载的主要传感器之一, 主要用于大尺度的地球监测研究, 可以探测大气、海洋和陆地要素的动态时空变化. MODIS 共有 36 个光谱波段, 空间分辨率包括 250 m, 500 m 及 1 000 m 三种. 其中 250 m 空间分辨率的波段特性见表 1<sup>[3]</sup>.

表 1 MODIS 250 m 分辨率的波段特性  
Tab.1 MODIS 250 m bared feature (1,2)

波段序号	波长/nm	分辨率/m	光谱辐射率/ (W·m <sup>-2</sup> ·μm <sup>-1</sup> ·sr <sup>-1</sup> )	信噪比/ dB
1	620 ~ 670	250	21.8	128
2	841 ~ 876	250	24.7	201

叶绿素含量增加使水体反射光谱发生变化. 不同叶绿素浓度的水体的反射率存在明显的差异, 并且主要体现在近红外波段, 即随着叶绿素浓度的增大, 水体对近红外光的反射率显著增大. 目前用于海洋叶绿素反演的算法有多种, 这些算法多直接应用空间分辨率为 1 000 m 的海洋波段<sup>[4]</sup>. 有研究<sup>[5]</sup>利用高光谱数据模拟了 MODIS 数据的波段设置, 分析并确认了其红光到红外波段在定量反演混浊水体叶绿素浓度方面的潜力. 本文利用近红外波段对叶绿素浓度很敏感的第 2 波段 (841 ~ 876 nm) 和处于可见光波段

对叶绿素浓度敏感度不高的第 1 波段 (620 ~ 670 nm) 的反射率构建 NDPI 遥感指数反演叶绿素浓度.

NDPI 遥感指数公式如下:

$$NDPI = \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

式中: R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub> 分别为 MODIS 波段 1 和波段 2 的反射率值.

利用采样点的实测叶绿素质量浓度的 lg ρ 值与 NDPI 遥感指数进行拟合, 结果如图 1 所示.

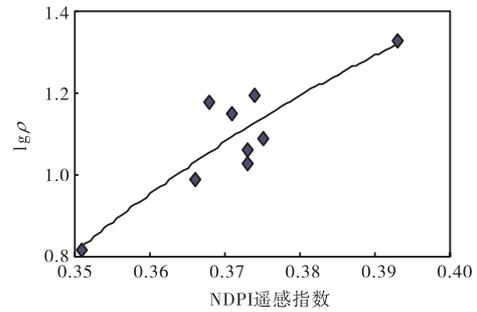


图 1 lg ρ 与 NDPI 遥感指数的拟合图

Fig.1 NDPI remote sensing index versus lg ρ

从图 1 中可以看出 NDPI 遥感指数与采样点实测叶绿素质量浓度的 lg ρ 值的相关性良好. 利用 NDPI 遥感指数与实测叶绿素质量浓度值进行一元多项式回归分析, 建立了反演叶绿素质量浓度的模型, 见公式 (3).

$$\rho = 10^{-73.34NDPI^2 + 66.28NDPI - 13.4} \quad (3)$$

式中: ρ 为叶绿素质量浓度 (mg/m<sup>3</sup>), NDPI 为由波段 1 和波段 2 构建的 NDPI 遥感指数.

#### 2.2 模型评价

利用 NDPI 遥感指数的提取模型对叶绿素质量浓度进行反演, 并与实测叶绿素质量浓度进行比较分析, 见图 2.

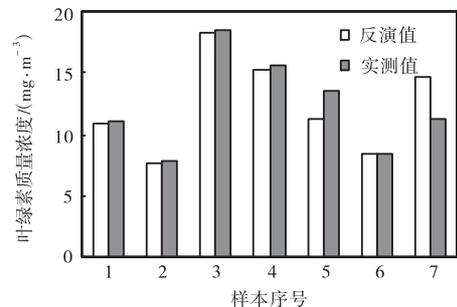


图 2 叶绿素质量浓度反演值和实测值的比较

Fig.2 Comparison between Inversion value and measured value of chlorophyll mass concentration

从图 2 看出利用模型对叶绿素质量浓度进行反演与实测值的拟合效果良好. 相对误差由公式 (4)

计算得到. 相对误差为 16.5%, 通过数据拟合得到的相关性为 0.77. 误差较低, 相关性良好.

$$\text{相对误差} = \left| \frac{\text{反演值} - \text{实测值}}{\text{实测值}} \right| \times 100\% \quad (4)$$

### 2.3 反演渤海海域叶绿素浓度分布图

利用公式(3)的模型对渤海海域叶绿素质量浓度进行反演研究分析, 叶绿素质量浓度的反演结果如图3所示.

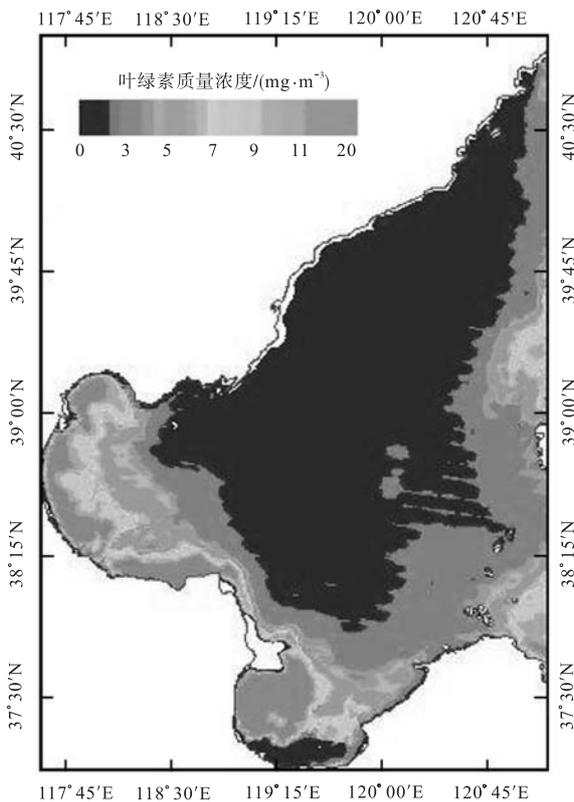


图3 渤海海域叶绿素浓度分布图

Fig.3 Chlorophyll mass concentration pattern derived from NDPI remote sensing index in Bohai Sea

从图3中可以看出在整个海域叶绿素的分布很不均匀, 各局部海区相差较大, 呈现由近岸向外海递减的趋势, 尤其是在沿岸海域有明显的高值区, 这可能是由于沿岸海域海水浅、混合强, 营养盐较丰富, 盐

度低, 藻类生长旺盛造成的. 而且, 内湾叶绿素质量浓度明显高于外海. 莱州湾和黄河口附近出现叶绿素质量浓度高值区, 并向中央海区扩展, 渤海中部的叶绿素质量浓度值较低.

### 3 结 语

使用一个叶绿素敏感波段第2波段(近红外波段)和一个非敏感波段第1波段的反射率构建NDPI遥感指数提取模型进行渤海海域叶绿素质量浓度反演是可行的. 虽然研究区内叶绿素质量浓度值较大, 但NDPI遥感指数还是较好地表征了渤海海域叶绿素质量浓度的分布情况, 反演得到的渤海海域叶绿素质量浓度结果误差较低.

由于海上采样受到天气的限制, 而卫星容易受云雾的影响, 使得本文可利用的样本较少, 建立渤海海域长时间序列的实测数据集, 有利于建立更为精确的海洋算法. 从而提高叶绿素反演模型的精度和适用性.

#### 参考文献:

- [1] 邹亚荣. 渤海叶绿素 a 时空分布特征分析[J]. 遥感信息, 2004(3): 30-31.
- [2] 祝令亚, 王世新, 周艺, 等. 应用 MODIS 监测太湖水体叶绿素 a 浓度的研究[J]. 遥感信息, 2006(2): 25-28.
- [3] 张春桂, 曾银东, 张星, 等. 海洋叶绿素 a 浓度反演及其在赤潮监测中的应用[J]. 应用气象学报, 2007, 18(6): 821-831.
- [4] 周伟华, 袁翔城, 霍文毅, 等. 长江口邻域叶绿素 a 和初级生产力的分布[J]. 海洋学报, 2004, 26(3): 143-150.
- [5] Dall'Olmo G, Gitelson A A, Rundquist D C, et al. Assessing the potential of SeaWiFS and MODIS for estimating chlorophyll concentration in turbid productive waters using red and near-infrared bands [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 96(2): 176-187.