

文章编号: 1004-4574(2007)02-0060-04

利用海上测量光谱进行赤潮监测

陈立娣, 黄韦良, 陆 嘉, 乐华福

(卫星海洋环境动力学国家重点实验室 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

摘要: 利用太平洋东海岸加拿大温哥华海域 56 个观测站位现场实测的海洋表面光谱 (400–800nm) 反射率值和叶绿素、泥沙浓度资料, 研究了赤潮发生时海面水体光谱反射率的变化趋势, 以了解清洁水体与赤潮水体的不同特征。经过多组数据的比较分析, 发现相对于清洁海水的海面光谱反射率, 赤潮发生时海面光谱反射率曲线的荧光峰从 685nm 波长向 710nm 的红光波长位移; 清洁海水海洋表面光谱反射率平均值在 400~588nm 之间比赤潮海水的平均反射率值大, 在波长 588nm 处两值相交后, 清洁海水的反射率值小于赤潮水体的反射率值, 而在 688nm 处清洁海水和赤潮水体反射率值大小相等 (大约为 0.25), 其后保持赤潮海水的反射率值在 688–756nm 之间一直高于清洁海水的平均反射率值。清洁海水和赤潮水体不同的荧光峰值以及不同的光谱反射率特征之间的差异, 可以用于监测赤潮的最佳波段选择。

关键词: 反射率; 荧光峰; 平均值; 最佳波段

中图分类号: X834

文献标识码: A

Monitoring red tide with oceanic surface spectrum measured in maritime observatory

CHEN Lidi, HUANG Weigen, LU Jia, LE Hua-fu

(State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Second Institute of Oceanography,

State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

Abstract This article distinguishes the different characteristics between the clean water body and red tide using the reflection coefficient value of oceanic surface spectrum as well as the data of chlorophyll and silt density observed by 56 observation stations in Vancouver sea area of Canada, east coast of Pacific Ocean, and investigates the changeable tendency of the reflection coefficient value of oceanic surface spectrum when the red tide takes place. Through the comparison of different groups of datum, it is found that the fluorescent peak of 685nm wavelength of reflection coefficient value of oceanic surface spectrum in the clean water body shifts to 710nm red optical wavelength when the red tide takes place in the clean water body. The average value of the reflection coefficient of oceanic surface spectrum in clean water body is bigger than that in the red tide for wavelength between 400nm and 588nm, but the former is smaller than that of the latter after 588nm wavelength. At 688nm wavelength the values of reflection coefficient for both the clean water body and red tide water body are the same (about 0.25). The average value of the reflection coefficient of oceanic surface spectrum of red tide water body between 688nm and 756nm is bigger than that of the clean water body. The wavelength difference of fluorescent peaks between clean water body and red tide

收稿日期: 2006-10-20 修订日期: 2007-03-10

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目 (2001BA603B-06)

作者简介: 陈立娣 (1951-), 女, 高级工程师, 主要从事海洋遥感应用研究。E-mail: chenlidi2003@yahoo.com.cn

water body and their different characteristics of spectrum reflectivity can be used to select the best band for monitoring red tide

Keywords reflectivity fluorescent peak; average optimal waveband

沿海赤潮给沿海经济造成的危害已经引起广泛的重视, 深入研究沿海赤潮现象, 减少经济损失, 早已提到议事日程。近年来, 已经开展不少的研究, 有的采用实验室培养赤潮生物, 让其大量繁殖, 人工发生赤潮^[3]; 有的是在沿海发生赤潮时, 到现场进行取样调查研究^[5]; 有的利用卫星进行现场监测^[4]; 有的已经着手研究对沿海赤潮进行模拟和预报。争取能对赤潮发生的成因机理有比较深入的了解, 在不久将来, 能对沿海赤潮进行有效的监测和预报。利用卫星是最有可能实现对沿海赤潮大面积的实时监测。目前利用卫星监测沿海赤潮的方法归纳起来可能有以下几种: 其一是根据赤潮发生时海面水温有明显变化的特点, 利用 NOAA 卫星探测水温的能力, 监测海面的水温变化来发现赤潮现象。其二是根据赤潮发生时海面植被指数或叶绿素浓度比较高的性质, 利用 NOAA 或 SeaWiFS 具有探测海面植被指数或叶绿素 a 浓度的能力, 探测海面植被指数或叶绿素浓度来实现对沿海赤潮的实时监测。其三是根据从海上实地调查和研究的结果发现赤潮现象只有在一定的水温和色素指数的条件下才能发生的事实, 利用 NOAA 卫星同时具有探测水温和海面色素指数的能力, 对同一海区同时测量其水温和海面色素指数来判断该海区是否有发生或正在发生赤潮。其四是利用神经网络的计算机技术, 事先用已经知道发生赤潮的海区图像对计算机进行训练, 然后, 由计算机在卫星图像中自动找出相同特性的海区, 认为该海区可能是正在发生赤潮的海区等等。过去几年, 我们曾经利用上述的第三种方法, 在每年的赤潮频发期, 利用 NOAA 卫星进行我国沿海的赤潮实时监测, 并取得一定成功。尽管如此, 我们的方法在每年的应用中发现存在着一些缺陷和不足, 最主要的问题是 (1) 漏测: 已经发生赤潮但没有被发现; (2) 误报: 现场没有发生赤潮, 但被认为正在发生赤潮。可见赤潮发生的成因比我们想象的要复杂的多, 该方法还有不完善的地方。

本研究企图从研究海面光谱反射率和赤潮关系出发, 寻找出一种更有效的监测赤潮方法和手段。

1 海面的测量结果分析

本研究利用加拿大 J. F. R. Gower 博士等人 1981-1982 年在太平洋东海岸加拿大温哥华海域 56 个观测现场获得的实测资料, 实测资料包括海面光谱反射率和海水各要素数据, 图 1 显示了 56 个观测现场实测的海面光谱反射率曲线, 作者在研究中发现, 海面赤潮发生时 (1) 海水水温不是最高, 叶绿素浓度也不是最高, 例如 33 站赤潮发生时叶绿素 a 是 14.0 mg/m^3 , 水温是 $10.2 \text{ }^\circ\text{C}$, 而 3 站没有赤潮, 叶绿素 a 浓度反而是 141 mg/m^3 , 水温是 $17.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。(2) 在不同海区, 不同时间, 同一种赤潮生物产生赤潮时海区水温也是不同的, 例如第 4 站和第 33 站发生赤潮的藻类都是 *Mesodinium* (红中缢虫), 而发生赤潮时温度是不同的, 第 4 站温度是 $11.8 \text{ }^\circ\text{C}$, 第 33 站是 $10.2 \text{ }^\circ\text{C}$ 见表 1。以上二个原因也就给利用卫星只测温度或单测叶绿素 a 浓度来实时监测赤潮带来了一定的难度。

J. F. R. Gower 博士等人在太平洋东海岸加拿大温哥华海域进行海面光谱测量时, 至少在 7 个观测站发现赤潮。我们选择这些资料是因为他们进行海面光谱测量是在清洁海水进行的, 水中的泥沙浓度含量较少, 都在 2.42 mg/L 以下, 泥沙对海面光谱反射率的影响较少。这类海水光谱反射率以海水中的悬浮生物影响为主, 所以, 正常海水和发生赤潮的海水面光谱的明显变化是由于发生赤潮引起的。这样就更有利于我们寻找监测赤潮的有效波段。

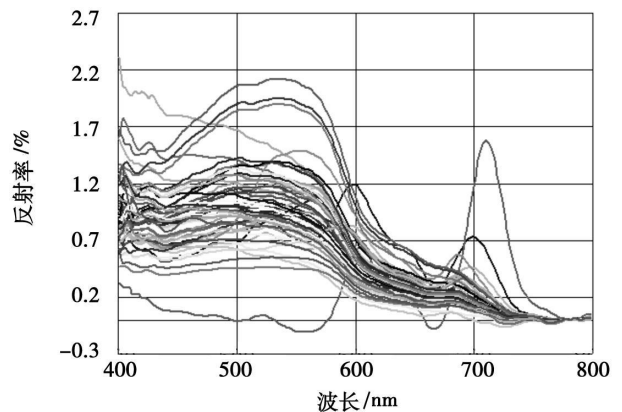


图 1 东太平洋温哥华地区 56 站光谱反射率线

Fig 1 Reflectivity spectrum from 56 stations in Vancouver area of east Pacific Ocean

表 1 赤潮发生时不同站位藻类的比例和海水温度

Table 1 Proportions of alga and temperatures of sea water at stations with different order number under same red tide condition

站号	地点	红中缢虫藻	
		藻类比例	温度
4	(卡门波罗湾) Cadboro bay	95%	11.8
33	(根杰斯码头) Ganges Hbr	80%	10.2
38	(根杰斯码头) Ganges Hbr	60%	10.7
39	(根杰斯码头) Ganges Hbr	80%	10.3
40	(根杰斯码头) Ganges Hbr	99%	10.5

我们选取了第 9, 15, 17, 22, 27, 48, 50 等 7 个测站没有发生赤潮时的大洋清洁海水, 这些测站海水中主要藻类比较典型并具有代表性, 如: 9 号测站以硅藻 (Dinoflates) 甲藻为主分别占 90% 左右。15, 17 号测站海水中的生物是以硅藻鞭毛藻为主占 90% 和 95%。22 号站是各种藻类混合型测站, 硅藻类占 40%, 红中缢 (Mesodinium rubrum) 占 40%。48, 50 号测站是以红中缢虫 (Mesodinium rubrum) 为主占约 95% 和 80%。图 2 是清洁海水光谱反射率的曲线图。这些光谱曲线在波长 685nm 处都有明显的荧光峰, 峰值大小受海水叶绿素 a 浓度影响。这些特征已被用于监测海水中叶绿素 a 浓度的根据。(Gower and Neville 1977; Gower, J. F. R. 1980; Gower and Borstad 1981)。

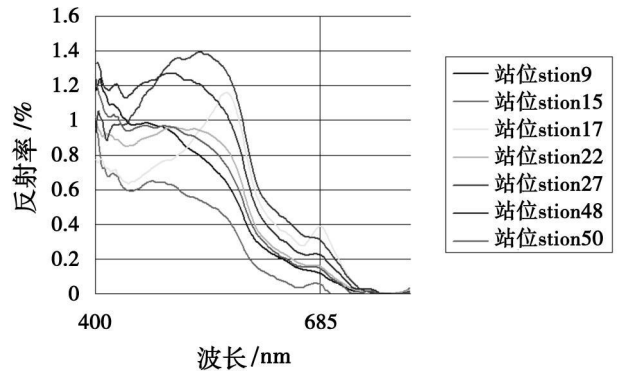


图 2 第 9, 15, 17, 22, 27, 48, 50 站清洁海水的光谱反射率
Fig 2 Reflectivity spectra of clean sea water at station with order number 9, 15, 17, 22, 27, 48 and 50

图 3 是 4, 33, 35, 36, 38, 39, 40 测站发生赤潮时的光谱反射率曲线图。在这些资料中, 首先可以发现赤潮发生时, 在红光部分的荧光峰位置, 由正常海水的 685 nm 往长波方向漂移, 最大漂移可到达 710 nm 波长处。这些峰值大小和峰值偏离 685 nm 的距离与赤潮发生状况和水中叶绿素 a 浓度有关。其次, 当我们比较正常海水测站的两组反射率曲线时发现, 赤潮反射率在波长较短的部份比正常海水的反射率低, 而在波长较长的部分则比正常海水的反射率高, 若用选它的这些赤潮站和正常海水的测站的光谱发射率曲线平均值作比较。其结果光谱反射率曲线波长分界点在 580 nm 附近。也就是说, 平均曲线波长在比 580 nm 短的部分, 正常海水海面反射率比较高, 赤潮海水反射率偏低。比 580 nm 长的反射率却相反。若采用分别比较方法所采用的波长分界点是在 470~ 590 nm 之间的变化。图四给出了以正常海水和赤潮发生时光谱反射率曲线平均值的比值比较。以上两种特性给我们提供新的监测赤潮现象的途径。

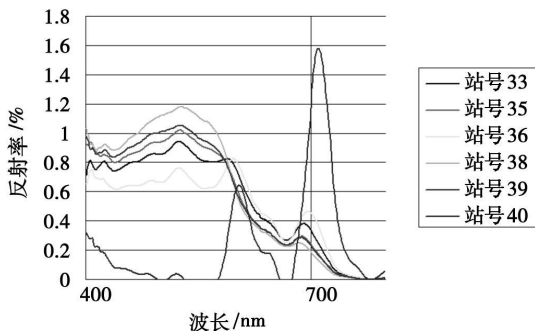


图 3 第 33, 35, 36, 38, 39, 40 站赤潮海水的光谱反射率
Fig 3 Reflectivity spectra of red tide seawater at stations with order number 33, 35, 36, 38, 39 and 40

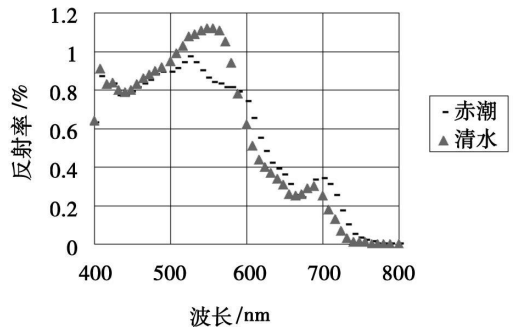


图 4 清洁海水与赤潮海水平均反射率值曲线的比
Fig 4 Comparison of average reflectivity of clean sea water with that of red tide seawater

2 卫星监测海面赤潮的可能性

根据我们所发现的第一种情况, 我们认为可以在未来的卫星遥感探测器设置两个中心波长分别为 685

nm 和 700 nm 探测通道, 其带宽为 10~ 15 nm 之间。让它们同时对同一海面进行探测, 然后进行比较, 当 685 nm 通道的反射率值大于 700 nm 时, 则是正常海水, 相反, 若 700 nm 通道探测的海面反射率大于 685 nm 通道时, 则海面发生赤潮。

根据第二种情况, 我们可以先取一个中心波长比 470 nm 波长短的观测通道和另一个比 590 nm 长的两个观测通道。例如采用 SeaWiFS 的第 2 通道 (443 nm) 和第 6 通道 (670 nm), 或者采用风云-1 号 02 批中的第一通道 (455 nm) 和第四通道 (605 nm), 均可以做为探测海面赤潮的通道。根据它们对同一海面的同时探测结果来比值, 如果两者比值大的是正常海水, 两者比值小的则是判断为赤潮海水。

我们模拟 SeaWiFS 的第 2 通道 (443 nm) 和第 6 通道 (670 nm) 比值计算 56 个测站结果发现, 判断赤潮和无赤潮的值是 3.6。表 2 列出那些发现赤潮站的其比值。只有 38 站高于 3.6 达到 3.9 其余都是小于 3.6。表 3 列出我们在上面所选正常测站的比值。在 49 个正常海水测站中也有个别测站比值小于 3.6 但从其测站的位置分析, 它们大都分布在发生赤潮的那些海域或者是在靠近发现赤潮的附近区域。因为在海上进行测量时, 该海域大面积发生赤潮, 有的已经刚发生过正在消退, 有的正在形成赤潮。所以很难用肉眼来判断该测站是不是有赤潮, 出现一些差错也有可能。

表 2 赤潮站二个波长反射率的比值

Table 2 Ratio values of R_1 and R_2 at red tide stations

站号	R_1 (442.3)	R_2 (670.1)	λ_1/λ_2
4	0.00511	0.0029	1.788
33	0.0075	0.00271	2.7638
35	0.00805	0.00232	3.4698
36	0.00618	0.00261	2.3678
38	0.00890	0.00226	3.9381
39	0.00849	0.00239	3.5523
40	0.00077	-0.00063	

表 3 清洁水站二个波长反射率的比值

Table 3 Ratio values of R_1 and R_2 at clean water stations

站号	R_1 (442.3)	R_2 (670.1)	λ_1/λ_2
9	0.00984	0.00132	7.4545
15	0.00596	0.00051	11.6863
17	0.00634	0.00305	2.0787
22	0.00852	0.00162	5.2593
27	0.00988	0.00325	3.0400
48	0.01141	0.00222	5.1396
50	0.00939	0.00152	6.1776

3 讨论和结论

以上结果只是从海面的光谱反射率数据研究结果, 要真正利用卫星来探测, 实现监测赤潮还有待进行深入的研究以下问题: (1) 作为判断正常海水或者赤潮海水的阈值如何取值, 也就是说在该值以上的是正常海水, 该值以下是发生赤潮现象; (2) 泥沙含量高的沿岸海水, 对上述结果的影响如何。以上的问题只有通过处理卫星图像获得解决。

致谢: 在这里我们要感谢林寿仁同志为我们的研究提供加拿大 J.F.R. Gower 博士等人在太平洋东海岸加拿大温哥华海域进行海面光谱测量的资料和海水中的主要要素的数据。并且还为我们的研究进行指导和帮助。

参考文献:

- [1] Gower J.F.R. Chlorophyll a determinations from solar stimulated in vivo fluorescence[M]//R.M. Brown, G.A. Borstad of Seakem Oceanography Ltd. 2045 Mills Road Sidney, B.C. V8L 3S1; Department of Fisheries and Oceans P.O. Box 6000 Sidney, B.C. V8L 3S1, Scientific Authority MARCH. DSS File No. 04SB-FP833-1-0905, Contact Serial No. OSB811-00211, 1982: 1-173.
- [2] Gower J.F. Red Tide Monitoring Using AVHRR HRPT Imagery From a Local Receiver [J]. REMOTE SENSING ENV. 1994 48: 309-318.
- [3] 王正方, 张庆, 龚敏. 海洋原甲藻增殖最适起始密度及其温度的关系 [J]. 海洋环境科学, 1993 12(2): 44-47.
- [4] 黄伟良, 毛显谋. 赤潮光谱特性研究 [C]//赵冬至. 渤海赤潮灾害监测与评估研究论文集. 北京: 北京海洋出版社, 2000. 117-120.
- [5] 张水浸, 杨清良, 邱辉煌, 等. 赤潮及其防治对策 [M]. 北京: 海洋出版社, 1994: 1-236.
- [6] 潘德炉, 毛天明, 李淑箴, 等. 卫星遥感监测我国沿海海水色环境的研究 [J]. 第四纪研究, 2000 20(3): 240-245.