

1998年冬季台湾海峡遥测叶绿素 分布特征*

商少凌 洪华生 张彩云 商少平 胡建宇

(厦门大学国家教育部海洋环境科学重点实验室, 厦门 361005)

摘要 结合1998年2~3月台湾海峡的 SeaWiFS 水色数据与现场观测 Chl a 数据, 对遥测与实测数据进行初步的对照分析, 同时比较了遥测与实测叶绿素的分布状况, 以期利用丰富的水色遥感信息掌握海域叶绿素的时空变动, 进而进行海域初级生产力的研究。分析结果表明, SeaWiFS 水色数据与现场实测数据的相关性良好 ($r^2 = 0.81, n = 7$), 初步说明, SeaWiFS 水色数据能够在相当程度上反映海域的实际 Chl a 含量; 另一方面, 遥测叶绿素在海峡西侧的含量高于东侧, 东侧叶绿素在澎湖以北含量较高, 综合历史资料可以推测, 闽浙沿岸水对营养盐的输送、贫瘠的黑潮水自海峡南部的入侵是造成这一分布状况的主要原因。黑潮水经由澎湖水道进入海峡的现象在 SeaWiFS 图像上得到佐证。

关键词 SeaWiFS 水色遥感 台湾海峡

掌握一个海域叶绿素的时空分布状况是进行初级生产力研究所必需的, 而仅依赖于船只的走航取样调查显然无法满足这一要求, 水色遥感所具有的观测周期短、时间频率高的优势, 使之得以实现大面积、实时、同步、连续、密集的观测^[1], 恰好弥补了船只走航实测数据分散的缺陷。

自1983年以来, 在台湾海峡地区进行过多次大型综合调查研究, 对于海域中、北部及南部的叶绿素含量及其分布都有详尽的分析报道^[2, 3], 但对整个海域叶绿素的分布状况、时空变动的总体了解仍是欠缺的。1998年2~3月我们对台湾海峡再度实施了现场调查, 并首次在这一海域应用了水色遥感数据。本文将 SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) 水色数据与实测数据作了比照分析, 考察实测值与遥测值的相关性, 分析了遥测叶绿素的分布形态。在此工作的基础上可进一步开展海域的叶绿素年循环(季节变化)研究。

1 资料和方法

厦门大学国家教育部海洋环境科学重点实验室作为 SeaWiFS 的授权用户, 从日本航天发展署 (NASDA) 地球观测研究中心 (EORC) 获取了1998年2~3月我国台湾海峡邻近海域 (NASDA 划定的2号和5号区域) 的 SeaWiFS 二级 Ver.2 数据资料 (范围 21.5°N , $116^\circ \text{E} \sim 26.5^\circ \text{N}$, 124°E), 而后利用美国 NASA 发布的 SeaDAS 遥感数据处理软件进行图像处理和数据读取, 并结合本实验室1998年2~3月对台湾海峡进行现场调查获取的叶绿素实测数据^[1]进行了对比分析。

收稿日期: 2000-06-22

* 国家自然科学基金重点资助项目 (49636220); 福建省科委资助项目 (98-Z-179)

1) 由国家教育部海洋环境科学重点实验室的黄邦钦、王大志提供

2 结果与讨论

NASDA 提供的 1998 年 2~3 月的周日图像中, 只能筛选出 4 幅相对清晰者(图 1), 绝大多数在本研究海域没有信息显示; 不可否认, 该地区多云雾的天气以及强风强浪的影响将在很大程度上制约遥感信息的提取和应用。

2.1 SeaWiFS 数据与实测数据的比较

现场调查在 1998 年 2 月 20 日至 3 月 7 日期间实施, 与此相应的时段里却没有清晰的图像可供对照, 故而本研究只能采用 3 月 27 日的图像(图 1d)进行分析比较。从中判读的数据与实测数据比较的结果如表 1 所示。

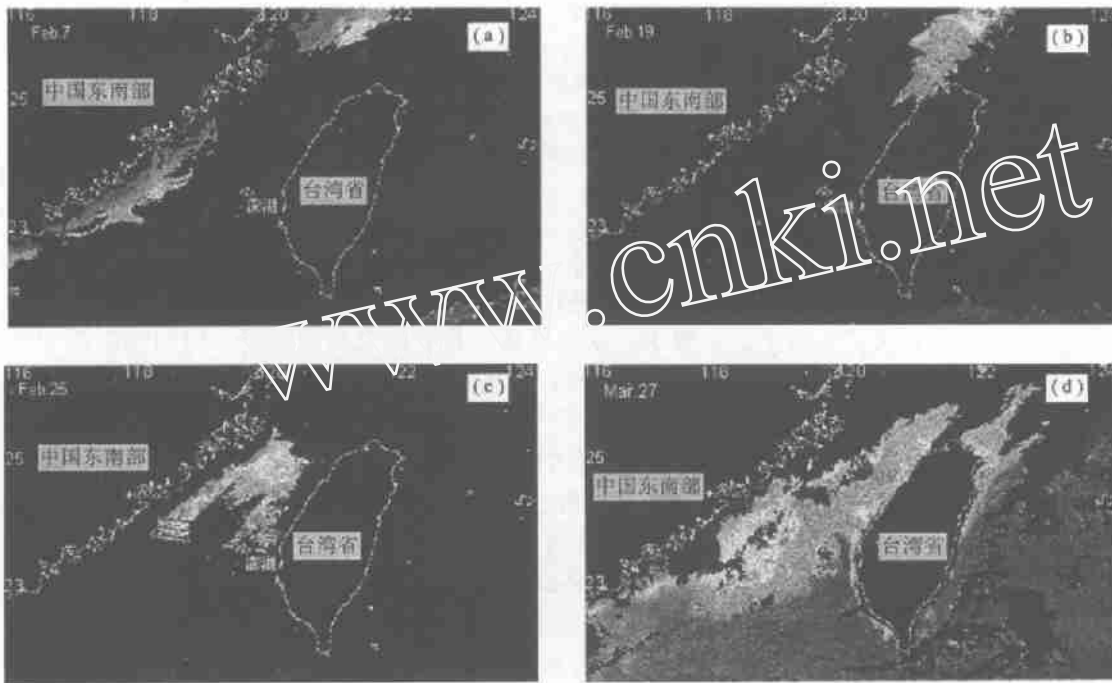
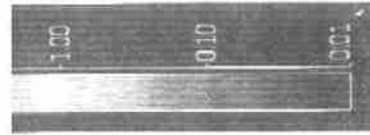


图 1 1998 年 2~3 月台湾海峡及其邻近海区 SeaWiFS 水色图像
a) 2 月 7 日; b) 2 月 19 日; c) 2 月 25 日; d) 3 月 27 日

由表 1 可见, 在 Chl a 低于 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 的情况下, SeaWiFS 与实测值的对应情况基本良好; 从实测值与 SeaWiFS 值的相关分析结果(图 2)发现, 两者之间具有良好的相关性 ($r^2 = 0.81, n = 7$), 尽管实测与遥测时间差最长达 35d, 而且只有 7 个数据点。

不过 SeaWiFS 对叶绿素高值区的反映似乎不尽理想, 9835 站 Chl a 的实测值高达 $4.184\text{mg}/\text{m}^3$, 而其读值为 $1.404\text{mg}/\text{m}^3$, 显然被低估了。日本 ADEOS/OCTS 水色传感器的验证结果显示, 当现场 Chl a 高于 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 时, OCTS 也表现出低估的倾向^[4]。而在琉球群岛东部海域, CZCS 月平均叶绿素值比现场观测值大约低 1.5 倍, 尽管分布趋势大致相同^[5]。

实际值被低估的原因可能是错综复杂的, 不同海区的水质和色素构成各异也是阻碍水色信息顺利提取的因素之一。实际上目前普遍采用的基于吸收的算法只在叶绿素低值区 ($0.1 \sim 1 \text{ mg/m}^3$) 对叶绿素的变化较敏感, 而正在发展的基于荧光的算法则在高值区较为有效, 荧光信号很可能成为很多二类水体 (Case 2 Water) 中来自浮游植物的唯一有价值的信号²⁾。因此对不同水体进行深入的生物光学研究、建立合适的算法, 将是解决这一问题的关键一环。

研究表明⁶⁾, OCTS 在南大洋的叶绿素值低估现象, 其原因可能由于大粒径浮游植物色素的打包作用导致比吸光系数降低而造成的。不过本研究海域北部是微型浮游植物 ($3 \sim 20 \mu\text{m}$) 占优势, 而南部是微微型浮游植物 ($0.2 \sim 3 \mu\text{m}$) 占优势⁷⁾, 也就是说以小型植物为主, 因此色素的打包作用在此不应是遥测值偏低的原因。另一方面, 对于二类水体而言, 若以C-DOM (有色溶解有机物) 为主, 用一般算法反演出的叶绿素值将是相当高的³⁾。本研究海域在很大程度上受闽浙、粤东沿岸水的影响, 但未见实际值被高估的现象, C-DOM 在本文所述特定时段区域内或许影响不大, 这一问题将值得进一步探索。

尽管以上验证结果可能包含着一定的偶然性, 但就本研究而言, 似乎可以认为, 在台湾海峡这一近岸海域直接应用未经当地校正的 SeaWiFS 水色数据, 仍然能够在相当程度上反映海域的实际 Chl a 含量。

表1 1998年2~3月各测站实测叶绿素a值与3月27日SeaWiFS图像读出值的比较

站位	纬度 N(°)	经度 E(°)	SeaWiFS读出值 (mg/m^3)	实测值 (mg/m^3)
9835	24.400	118.851	1.404	4.184
9837	24.318	119.112	0.962	0.875
9838	24.264	119.243	0.793	0.856
9840	24.172	119.483	0.585	0.606
9817	25.094	119.634	-	1.435
9842	24.090	119.744	0.657	0.823
9801	25.887	120.235	-	0.850
9813	25.340	120.326	-	0.433
9803	25.796	120.496	-	5.004
9805	25.705	120.756	-	1.618
9807	25.623	121.007	0.703	0.580
9809	25.531	121.277	0.788	0.208

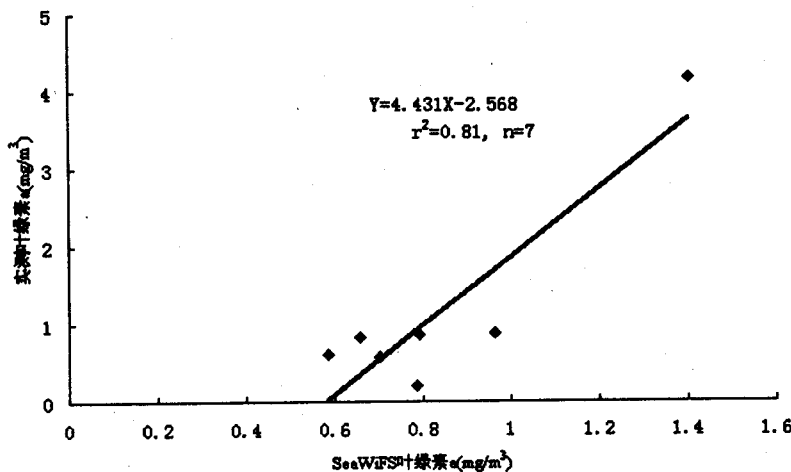


图2 1998年2~3月各测站实测叶绿素a值与3月27日SeaWiFS图像有效读出值的相关关系

2) IOCCG. IOCCG Report. 1999, (2): 18~19

3) IOCCG. IOCCG Report. 1998, (1): 15

2.2 叶绿素分布

尽管图1所示周日图像可以提供的时空分布信息相当有限,我们仍然可以看出以下两方面的分布特征。首先由3月27日的水色图像(图1d)可以清楚看出海峡东侧的叶绿素分布状况。以澎湖附近为界,其北Chl a较高而其南较低,同时清晰可见较贫瘠黑潮水由南海东北部顺澎湖水道进入海峡南部海域的迹象。根据王胄和陈庆生^[8]的研究结果,每年秋季开始,随着东北季风的逐渐增强,低温低盐、富含营养盐的闽浙沿岸水舌从海坛岛向南延伸侵入海峡东侧,呈反时针环流构造,占据澎湖以北的海域;同时寡营养盐的黑潮水开始大举入侵南海,其分支进入台湾海峡,形成高温高盐水舌沿澎湖水道向北伸展;因此叶绿素形成北高南低的分布态势当是合理的。北部较之南部,应当有相对丰富的营养盐供应滋养生物。王胄和陈庆生^[8]还指出,北来的低温低盐沿岸水与南来的黑潮支流暖、盐水在彰云沙脊附近发展出东西向的温、盐锋。对照2月25日的图像(图1c),发现彼时澎湖以北有一个叶绿素高值区($>1\text{ mg/m}^3$)恰在锋面上发展,而3月27日的表层水色似乎已看不出这一锋面的影响。尽管2月25日的图像不尽理想,我们仍可以推测由2月底至3月底水系消长的结果,黑潮暖海流的势力日趋增强,闽浙沿岸水不再强劲,导致海峡北部东侧的叶绿素含量下降。

实际上根据胡建宇等^[9]对现场温度、盐度分布的分析结果,调查期间(1998年2月20日~3月7日)黑潮水对台湾海峡的入侵强度大于常年,高温高盐水舌向北逼近 26°N ,在海峡北部与南下的低温低盐闽浙沿岸水形成南北向的海洋锋。因此总体看来(图1),寡营养盐黑潮水的强大入侵造成了平面分布上较为显著的一个特征,即海峡东侧(台湾岛一侧)的遥测表层Chl a含量相对于西侧(大陆沿岸)低,大多不超过 1 mg/m^3 。

值得指出的是,洪华生等^[2]曾经报道,1995年冬季台湾海峡北部,水柱平均的叶绿素(浮游植物生物量)高值出现在我国台湾岛西北淡水河口以外区域,原因在于不同水团混合形成锋面,同时生物量呈现出向大陆方向递减的趋势;而1998年冬现场叶绿素分布未见此特征,反而是在北部中央偏西水域出现叶绿素高值,这一带恰是黑潮水与闽浙沿岸水形成锋面的水域。遗憾的是,现有的SeaWiFS遥测数据不足以提供佐证。此外,洪华生等^[2]的研究结果表明,海峡南部有生物量的显著高值出现在浅滩西部边缘,向大陆和南海东北部方向递减,因浅滩附近存在上升流使得营养盐得以丰富补充。然而由图1a、图1d看,反而是在浅滩以西的大陆一侧海区,遥测叶绿素高于 1 mg/m^3 。由此看来,上升流在浅滩附近的影响很可能没有达到表层,而近大陆的高生物量或许归功于闽浙和粤东沿岸水对营养盐的贡献。另一个潜在的原因,也可能与1998年冬黑潮水对本海域的强大入侵^[9]有关,推测浅滩上升流的强度较往年有所减弱,因而叶绿素没有在浅滩附近出现高值。

3 结 语

基于上述结果,我们可以看出,由于气候、水色遥感技术等方面的原因,周日图像仍不足以提供丰富的叶绿素时空变化信息,因此未来有必要利用季节平均图像进行更为有效的分析。就目前所掌握的情况看来,SeaWiFS水色数据与台湾海峡现场实测数据的相关性良好,其应用前景是令人乐观的。1998年冬季海域叶绿素的分布特征得以揭示,可以看出由于贫瘠黑潮水的影响,遥测叶绿素含量在海峡东侧低于西侧,东侧北部高于南部,黑潮水沿澎湖水道进入海峡的物理现象也首次从叶绿素的分布形态上得到佐证。

参考文献

- 1 吴培中. 海洋遥感及其在我国的应用和发展目标. 国土资源遥感, 1993, 3(1): 1~7
- 2 洪华生, 王海黎, 李文权等. 台湾海峡初级生产过程研究I. 浮游植物生物量、生产力的时空变化. 中国海洋学文集(7). 北京: 海洋出版社, 1997, 16~24
- 3 张帆, 杨亮, 黄邦钦. 营养盐物理输入对台湾海峡叶绿素 a 含量的调控作用. 中国海洋学文集(7). 北京: 海洋出版社, 1997, 81~88
- 4 Shimada M et al. Calibration and validation of the ocean color Version-3 product from ADEOS OCTS. Journal of Oceanography, 1998, 54: 401~416
- 5 川崎清. 琉球群岛东方海域におけるクロロフィルの年変化. 日本海洋学会 1998 年春季大会. 横浜, 1998, 93
- 6 平译亨, 佐藤博雄, 石丸隆等. 南大洋におけるクロロフィルa浓度の过小评价と比吸光系数の低下との关系. 日本海洋学会 1998 年春季大会. 横浜, 1998, 94
- 7 黄邦钦, 洪华生, 王海黎等. 台湾海峡初级生产过程研究 III. 浮游植物生物量、生产力的粒级结构和光合产品结构. 中国海洋学文集(7). 北京: 海洋出版社, 1997, 31~37
- 8 王曹, 陈庆生. 台湾海峡东侧冷季之闽浙沿岸水入侵事件. Acta Oceanographica Taiwanica, 1989, 22: 43~67
- 9 胡建宇, 洪华生, 陈照章等. 台湾海峡北部海区 1998 年 2~3 月温、盐的断面分布特征. 厦门大学学报, 1999, 38(2): 263~267

作者简介: 商少凌, 女, 1968 年 3 月 14 日出生, 博士, 副研究员. 海洋生物地球化学专业, 主攻海洋遥感应用及生物地球化学模式. 已发表论文 12 篇.

Chl *a* Distribution Feature of the Taiwan Straits Region in Winter, 1998 as Observed by SeaWiFS

Shang Shaoling, Hong Huasheng, Zhang Caiyun, Shang Shaoping and Hu Jianyu

Marine Environmental Lab of the Ministry of Education, Xiamen 361005

Abstract Four pieces of SeaWiFS images were collected to see the distribution feature of surface Chl *a* in the Taiwan Straits in winter, 1998. As preliminary effort of validation, SeaWiFS Chl *a* data along the ship track on March 27 are compared with sea-truth data collected during the period from February 20 to March 7. They are found well correlated with each other ($r^2 = 0.81, n = 7$). This hints that the standard Chl *a* products of SeaWiFS could be usable in this coastal region. SeaWiFS Chl *a* appears lower in the eastern part of the Straits than in the western area, which is likely to be resulted from the strong intrusion of Kuroshio water into the eastern Straits. That Kuroshio water of very low Chl *a* contents flows northward along the Penghu Channel is clearly shown on the image of March 27. For the eastern Straits, Chl *a* is relatively higher generally in the area north of Penghu Island. It is suggested that the main reason for to this feature is the contribution of nutrients to this area from Min-Zhe Coastal Water extending southward.

Keywords SeaWiFS; ocean color remote sensing; Taiwan Straits