

# 1998年8月台湾海峡表层叶绿素 a 含量的分布特征\*

张 钊<sup>1</sup> 黄邦钦<sup>2</sup> 陈照章<sup>3</sup> 林学举<sup>2</sup> 张彩云<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 福建海洋研究所 厦门 361012)

(<sup>2</sup> 厦门大学环境科学研究中心 361005)

(<sup>3</sup> 厦门大学海洋学系 361005)

**摘要** 根据1998年8月台湾海峡表层温度、盐度、叶绿素 a 的走航式观测结果,讨论了调查期间叶绿素 a 的分布特征。结果表明,夏季台湾海峡存在明显的上升流现象,表层较高的叶绿素 a 含量均位于低水温区。表层叶绿素 a 最大值出现在上升流区的边缘。作者认为这是上升流中心区与边缘区浮游植物的大量繁殖具有一定的“时间差”的缘故。台湾海峡 24° N 以南及以北海域,由于上升流强度的差异,表层叶绿素 a 的分布变化也明显不同。夏季,台湾海峡表层叶绿素 a 含量呈南高北低的趋势。

**关键词** 叶绿素 a,走航式观测,台湾海峡

台湾海峡是南海、东海水系交汇处,海域的水文状况、海水理化性质的分布变化十分复杂,叶绿素 a 的分布变化特征也必定相当明显。许多学者对台湾海峡叶绿素 a 的分布特征进行了大量研究<sup>[1-3]</sup>,但由于种种原因,均未能在同一季节内对整个台湾海峡叶绿素 a 的分布进行观测。本文作者于1998年8月对台湾海峡表层温度、盐度、叶绿素 a 进行了走航式观测,旨在探讨调查期间整个台湾海峡表层叶绿素 a 的分布特征。

## 1 材料与方 法

1998年8月中旬,福建海洋研究所和厦门大学利用“延平2号”海洋考察船在台湾海峡进行了海洋调查。调查期间采用 SBE 19 型 CTD 仪进行了 15 个测站的垂向观测,采用 SBE 21 型表层温盐仪(加装叶绿素探头)进行了表层温、盐和叶绿素 a 的走航式观测。观测站位及航行路线见图 1。本文主要利用走航观测数据讨论台湾海峡表层叶绿素 a 的分布特征。

SBE 21 表层温盐仪置于船甲板上,在航行过程中,用水泵抽取水面以下 1~2 m 深的海水,经管道流经表层温盐仪,迅速测得海水的温度、盐度及叶绿素 a 含量。调查船航速 8~10 n mile/h,采样时间间隔为 30 s。表层温盐仪与 GPS(全球定位系统)联接,这样可即时记录观测时间、表层温度、盐度、叶绿素 a 含量以及船只所处的经度和纬度。

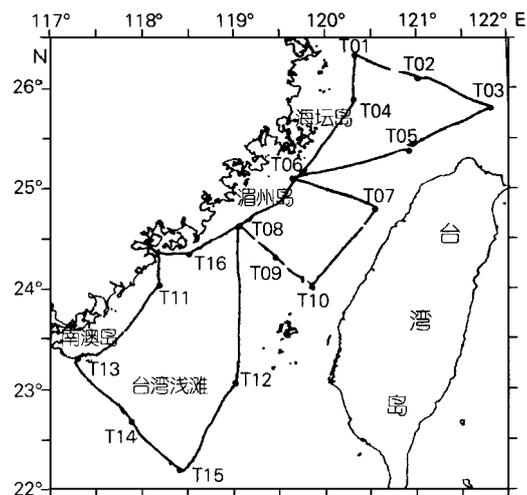


图 1 调查站位及走航观测路线

Fig.1 Observation stations and sailing track of Taiwan Strait cruise

在表层温盐仪记录叶绿素数据的同时,不定期采集流经叶绿素探头的水样,在实验室进行过滤、萃取,

\* 国家自然科学基金重点资助项目 49636220 号;福建省科技资助项目 98-Z179 号。吴丽云为本文作了大量工作,谨此表示感谢。

收稿日期:2001-04-29;修回日期:2001-07-06

用荧光法测量叶绿素 a 含量,对表层温盐仪的叶绿素 a 数据进行校正。实验室叶绿素数据与 SBE 21 的叶绿素数据间的关系为:  $Y = 6.7514 X - 0.2478$  ( $R = 0.8895, n = 8, \alpha < 0.001$ )。本文所采用的叶绿素 a 数据均为校正后的数据。

## 2 结果与讨论

### 2.1 叶绿素 a 的平面分布

图 2 为台湾海峡夏季表层叶绿素 a 与水温的平面分布。由图 2 可看出, 24° N 以北海域(下称北部海域)表层叶绿素 a 和温度的分布与 24° N 以南海域(下

称南部海域)明显不同。在北部海域,等温线基本平行于岸线。大陆一侧近岸海区表层水温明显较低。以表层水温小于 26.5 °C, 盐度大于 34.0 的范围来看, 存在一低温区从 T01 站沿大陆一侧近岸向南扩展至湄州岛附近海域, 长度约 200 km, 分布较广。这应是该海域上升流引起的。黄荣祥等 1996 年指出, 海坛岛附近海域的上升流区主要以海坛岛以东近岸为中心, 向南有时可扩展到湄州岛附近海域。但本航次结果表明该上升流中心除了位于海坛岛以南近岸外, 还出现在海坛岛东北近岸海域<sup>[4]</sup>。

在北部海域, 叶绿素 a 含量较低, 分布均匀, 大部分海区的叶绿素 a 含量在 0.4~0.6 mg/m<sup>3</sup> 之间, 平均为 0.42 mg/m<sup>3</sup>。海坛岛以北海域存在一大于 0.6 mg/m<sup>3</sup> 的高叶绿素 a 含量区, 最大值达 1.71 mg/m<sup>3</sup> (图 2 a)。将叶绿素 a 的平面分布与水温的平面分布进行比较, 可见高叶绿素含量区位于低水温区内。夏季, 台湾海峡北部为高温、高盐、贫营养盐的海峡暖流水所占据, 此时浮游植物所必需的营养盐主要依赖于上升流输入的补充<sup>[5]</sup>, 因此高叶绿素 a 含量位于沿岸的低温涌升水中。本航次观测结果进一步证实了北部海域上升流带来的营养物质对浮游植物的促进作用。同时由图 2 a 还看到, 海坛岛以南的上升流区叶绿素 a 含量依然较低, 小于 0.6 mg/m<sup>3</sup>。

在南部海域, 表层低温区与高温区分布明显, 等温线密集, 形成多处较强的温度锋。等温线基本呈垂直于海峡纵轴线的趋势(图 2 b)。图 2 b 清楚地显示出 3 个低温区的存在。一个低温区位于东山以东近岸海域, 长度约为 60 km, 其表层水温只有 23.5 °C 左右, 盐度接近 34.5; 另一个低温区位于南澳近岸海域, 低温特性更明显, 表层水温小于 23.0 °C。第 3 个相对低温区在台湾浅滩北部, 表层水温低于 26.0 °C, 盐度约为 34.0。许多研究<sup>[6]</sup>都指出东山至汕头之间近岸海域夏季经常存在上升流, 因此东山至南澳近岸的低温区应为调查期间该海域的上升流区, 且该低温区表层水的低温特性十分明显, 可见, 调查期间上升流的强度较强, 并且已影响到表层<sup>[4]</sup>。而台湾浅滩北部的低温区与所报道的台湾浅滩东北部上升流现象相吻合。若以表层水温低于 26.0 °C 的范围来看, 3 个低温区可连成一片。

南部海域的表层叶绿素 a 分布如图 2 a 所示。由图 2 a 可见, 该海域叶绿素 a 含量基本在 0.6~1.0 mg/m<sup>3</sup> 之间。与表层水温的分布(图 2 b)相比较可看出, 表层叶绿素 a 平面分布与水温的分布相似, 叶绿素 a 含量大于 0.8 mg/m<sup>3</sup> 的区域位于表层水温低于 26.0 °C 的低温区。台湾浅滩南部, 表层叶绿素 a 含量小于 0.8 mg/m<sup>3</sup> 的区域

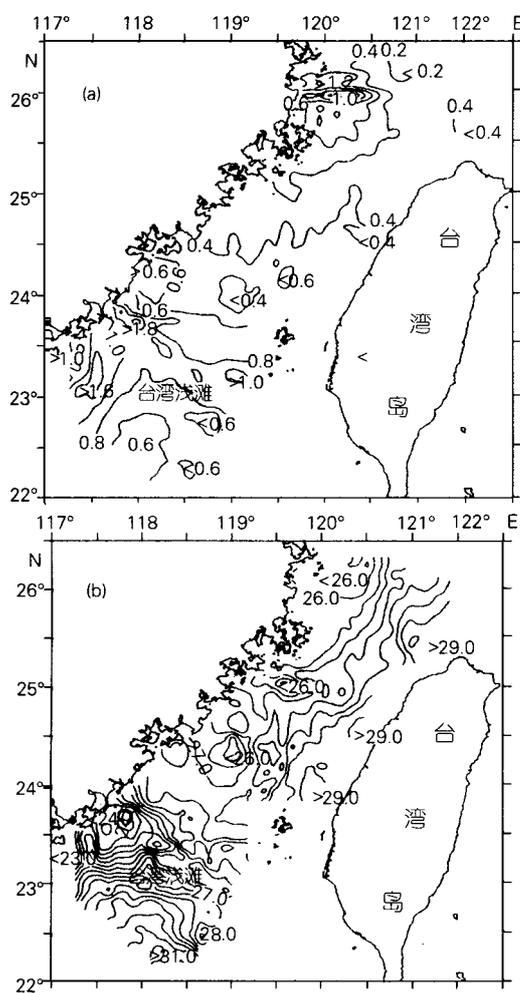


图 2 表层叶绿素 a 温度平面分布  
(a) 叶绿素 a (mg/m<sup>3</sup>); (b) 温度(°C)

Fig. 2 Distributions of chlorophyll a (mg/m<sup>3</sup>) and temperature (°C) of surface water  
(a) Chlorophyll a; (b) Temperature (°C)

与高温、低盐区相吻合。表明低温、高盐的涌升水到达表层,为浮游植物的生长繁殖提供了丰富的营养盐,使低温区叶绿素 a 含量明显较高。由图 2 a 还可看出,在东山东北部海域、南澳岛与台湾浅滩之间分别存在一含量大于  $1.6 \text{ mg/m}^3$  的叶绿素 a 最大值区,其分布趋势与较强的温度锋的走向相一致。

由图 2 a 可看出,夏季两海域表层水温和叶绿素 a 的分布变化具有明显的不同。北部海域,表层叶绿素 a 分布较均匀,含量较低,大部分区域在  $0.4 \sim 0.6 \text{ mg/m}^3$  之间,平均为  $0.42 \text{ mg/m}^3$ 。表层温度小于  $26.5 \text{ }^\circ\text{C}$  范围的叶绿素 a 含量平均为  $0.56 \text{ mg/m}^3$ 。在南部海域,表层叶绿素 a 含量明显较北部海域高,大部分区域的叶绿素 a 含量在  $0.6 \sim 1.0 \text{ mg/m}^3$  范围,平均为  $0.80 \text{ mg/m}^3$ 。在上升流区,表层温度小于  $26.5 \text{ }^\circ\text{C}$  范围的叶绿素 a 含量平均为  $0.98 \text{ mg/m}^3$ ,较北部海域高  $0.42 \text{ mg/m}^3$ 。在台湾海峡,夏季上升流是营养盐输入的主要物理过程<sup>[5]</sup>。上升流的强弱、涌升到达的深度、上升流区的范围等因素都将影响到表层水体中叶绿素含量及分布。在本航次调查中,北部海域表层水温平均  $27.47 \text{ }^\circ\text{C}$ ,南部海域表层水温平均为  $27.17 \text{ }^\circ\text{C}$ 。上升流区中心水温,北部海域小于  $26.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,南部海域大部分小于  $24.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 。显然,南部海域表层水的低温特征更加明显,表明南部海域涌升水来自更深层水体,上升流的强度更强,并已影响到表层,上升流带来的营养物质对浮游植物生长繁殖的促进作用也会更显著。因此,在台湾海峡,夏季表层叶绿素 a 含量呈南部高的趋势。

## 2.2 上升流对叶绿素 a 分布的影响

台湾海峡,夏季上升流带来的营养物质对浮游植物增长的促进作用是明显的<sup>[5]</sup>。在本航次调查中,表层高叶绿素 a 含量区均位于低温、高盐上升流区,进一步证实了这一观点。但是,从图 2 a 也明显地显示出叶绿素 a 最大值基本上不是出现在上升流区的中心位置,而是位于上升流区的边缘地带。这一现象在上升流的强度较强、温度锋强度较大的南部海域最为明显。如图 2 所示,叶绿素 a 含量大于  $1.6 \text{ mg/m}^3$  的最大值分布趋势与温度锋的走向相一致。T11-T13 断面(图 3)和 T3-T5 断面(图 4)表层叶绿素 a 和水温的变化曲线更清晰地表明了表层叶绿素 a 最大值位于上升流区边缘的温度跃变区域。T01-T16 断面(图略)也有类似的变化。文献[7]报道叶绿素 a 最大值的位置处于上升流顶部边缘区。上升流把深层水中的营养物质带到真光层中,由于上升流的辐散作用,使其边缘区中被浮游植物消耗的营养盐得以补充,促成了浮游植物的生长繁殖。Ishizaha 等研究表明,涌升水具有低温、高营养盐的特征,由于温度低,浮游植物的生长

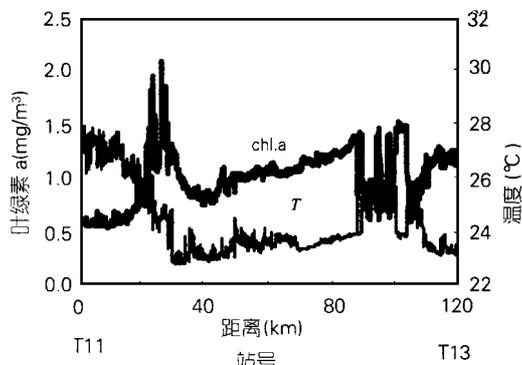


图 3 T11-T13 断面表层叶绿素 a ( $\text{mg/m}^3$ ) 温度 ( $^\circ\text{C}$ ) 分布曲线

Fig. 3 Distribution of chlorophyll a ( $\text{mg/m}^3$ ) and temperature ( $^\circ\text{C}$ ) of surface water along section T11-T13

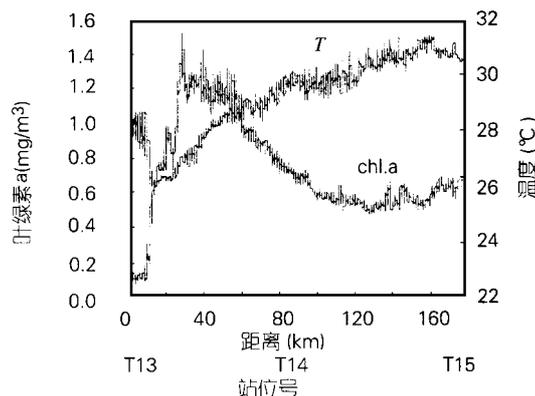


图 4 T3-T5 断面表层叶绿素 a ( $\text{mg/m}^3$ ) 温度 ( $^\circ\text{C}$ ) 分布曲线

Fig. 4 Distribution of chlorophyll a ( $\text{mg/m}^3$ ) and temperature ( $^\circ\text{C}$ ) of surface water along section T3-T5

速度在初期较慢,而高的营养盐含量使浮游植物种群的繁殖生长维持较长的时间。涌升水到达表层后,浮游植物大量繁殖生长有一个几天的滞后期。因此,可以认为,低温的涌升水携带丰富的营养盐与高温、低营养盐水体相接触,形成了温度、营养盐锋面。在这个锋面上,由于温度较高(相对涌升水)、营养盐也较高(相对高温水体),形成较上升流中心更适合浮游植物生长的环境,使浮游植物种群较快地进入大量生长繁殖期。因此,在本航次调查中,表层叶绿素 a 最大值基本位于上升流的边缘地带。

### 3 结语

在台湾海峡,夏季存在明显的上升流现象,表层较高的叶绿素 a 含量均位于上升流的低水温区。表层叶绿素 a 最大值出现在上升流区的边缘。认为这是上升流边缘区的环境条件更适合浮游植物大量繁殖的缘故。台湾海峡 24°N 以南及以北海域,由于上升流强度的差异,表层叶绿素 a 的分布变化也明显不同。夏季,台湾海峡表层叶绿素 a 含量呈南高北低的趋势。



#### 参考文献

- 1 福建海洋研究所. 台湾海峡中北部海洋综合调查研究报告. 北京: 科学出版社, 1988. 244 ~ 258
- 2 张钊, 黄邦钦. 海洋科学, 2000, 24(10): 1 ~ 3
- 3 黄邦钦, 洪华生, 王海黎等. 台湾海峡初级生产过程研究. 见: 洪华生等编. 中国海洋学文集(第 7 卷). 北京: 海洋出版社, 1997. 31 ~ 37
- 4 胡建宇, 洪华生, 贺志刚等. 热带海洋, 2000, 19(4): 15 ~ 22
- 5 张钊, 杨尧, 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. 见: 洪华生等编. 中国海洋学文集(第 7 卷). 北京: 海洋出版社, 1997. 81 ~ 87
- 6 胡建宇, 梁红星, 张学斌. 台湾海峡南部及其临近海区 1994 年夏末温度、盐度的平面分布特征. 见: 洪华生等编. 中国海洋学文集(第 7 卷). 北京: 海洋出版社, 1997. 72 ~ 80
- 7 陆赛英. 海洋学报, 1998, 20(3): 64 ~ 75

## DISTRIBUTION FEATURES OF SURFACE Chlorophyll a IN TAI WAN STRAIT IN AUGUST, 1998

ZHANG Fan<sup>1</sup> HUANG Bangqin<sup>2</sup> CHEN Zhaozhang<sup>3</sup> LIN Xueju<sup>2</sup> ZHANG Caiyun<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> Fujian Institute of Oceanology, Xiamen, 361012)

(<sup>2</sup> Environmental Science Research Center, Xiamen University 361005)

(<sup>3</sup> Dept. of Oceanography, Xiamen University, 361005)

Received: Apr., 29, 2001

Key Words: Chlorophyll a, Underway measurements, Taiwan Strait

### Abstract

Distribution features of surface chlorophyll a were discussed according to the underway measurements of chlorophyll a conducted in the Taiwan Strait in August, 1998. The results showed that the high chlorophyll a values were situated upwelling area, and the chlorophyll a maximum were situated upwelling edge, because the difference of time began an intensive growth period of phytoplankton between upwelling zone and upwelling edge. The chlorophyll a values in the southern part of Taiwan Strait was higher than that in the northern part due to strong upwelling in the southern part of Taiwan Strait.

(本文编辑:张培新)