

# 南黄海夏末叶绿素 *a* 的分布特征\*

李宝华 傅克忭 曾晓起<sup>†</sup>

(国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266003)

<sup>†</sup>(青岛海洋大学化学系 青岛 266003)

**提要** 根据1995年9月利用日本《神鹰丸》号调查船在黄海32°00′—35°00′N, 122°00′—127°00′E海区的19个站位上进行的中日联合调查研究中叶绿素 *a* 含量的调查资料, 探讨南黄海海区夏末初叶绿素 *a* 含量的变化、平面分布、断面分布和垂直分布状况, 以及与海域环境因子之间的关系。在每个测站上作垂直取样, 表层水用圆塑料桶取自海表面, 深层水用日本提供的专用采水器采集, 取出水样立即量取200ml, 用玻璃纤维滤膜过滤浓缩, 并加入2%的饱和碳酸镁溶液, 防止叶绿素脱镁, 然后保存在冰箱内(-1℃), 用冰桶带回实验室进行分析。将载有浮游植物的滤膜放入闪烁瓶内加入10ml 90%的丙酮溶液, 在冰箱内提取24h。用萃取荧光法测定叶绿素 *a* 含量。结果表明, 该海域的叶绿素 *a* 含量较高, 平均值为1.14mg/m<sup>3</sup>, 其变化范围为0.10—7.76mg/m<sup>3</sup>, 最高值在次表层。(1)平面分布: 各层次平面分布特征差异较大。33°00′—33°30′N之间叶绿素 *a* 含量均较低, 低于0.50mg/m<sup>3</sup>; 33°30′N以北, 叶绿素 *a* 含量低于0.20mg/m<sup>3</sup>, 而33°00′N以南, 除济州岛附近的17—19号站以外, 叶绿素 *a* 含量均较高, 高于1.00mg/m<sup>3</sup>。(2)断面分布: 水深在30m时, 叶绿素 *a* 含量的高值区在20m以上水体的次表层中, 而水深为50—80m时, 其高值分布在20—40m的次表层中。(3)叶绿素 *a* 的垂直分布也体现了断面分布的特征。所以作者认为, 光是浮游植物生长和繁殖的重要因子之一。

**关键词** 叶绿素 *a* 南黄海 分布特征 生态学

**学科分类号** X171

黄海作为一个半封闭式的陆缘浅海, 调查区又是海上的交通要道, 陆源污染和海上石油污染对黄海大海洋生态学产生严重的潜在威胁(郭炳火, 1993)。浮游生物是海洋污染的一个重要指标, 又加之黄河、长江径流, 黄海冷水团随季节的变迁对该海域各要素的分布和变化均产生一定的影响。由于浮游植物具有与环境相依存的关系(柴心玉等, 1986), 因而这种复杂的环境因素又影响着调查区叶绿素 *a* 的时空变化。本文报告黄海夏末秋初浮游植物现存量(叶绿素 *a*)的分布特征及变化, 以便深入了解探讨叶绿素 *a* 对黄海生态学的作用。

\* 国家自然科学基金资助项目, 495.46004号。李宝华, 女, 出生于1958年11月, 副研究员, E-mail: mbfio@sdgd.gd.inf.gov.cn

收稿日期: 1996-06-03, 收修改稿日期: 1998-09-13

### 1 调查区域和方法

于 1995 年 9 月初在南黄海 (32°00′—35°00′ N, 122°00′—127°00′ E) 海区进行中日联合调查, 在 4 条断面 (I、II、III、IV)、19 个站点上采集浮游植物叶绿素的样品, 调查海区及观测站位见图 1。

在各观测站上根据光的衰减大小分别作垂直取样, 取样深度依此为 0m、5m、10m、15m、20m、30m、50m 和 80m, 个别站位有时也同时取了 3m 和 8m 层的水样。船上的自动测试装置分别获得每米的各种参数: 叶绿素 a 的含量, 海水水温、盐度、密度、透明度、溶解氧和 pH 等 (表 1)。叶绿素 a 含量采用萃取荧光法测定 (Yentsch *et al.*, 1963;

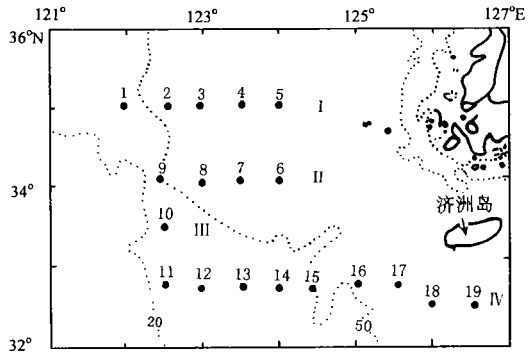


图 1 调查海区及观测站位

Fig.1 Research region and stations in the southern Yellow Sea

表 1 主要水层 (0m、10m、50m) 中的温度、盐度、溶解氧和透明度

Tab.1 Temperature, salt, dissolved oxygen, transparency on major water layers in the southern Yellow Sea

站位	水深 (m)	T(°C)			S			DO(mg/L)			透明度 (m)
		0	10	50	0	10	50	0	10	50	
1	53	25.7	25.7	10.2	31.667	31.678	32.333	5.17	5.04	6.73	17.50
2	66	25.2	22.4	9.2	30.739	30.939	32.403	4.81	5.50	6.65	16.00
3	73	25.5	25.7	9.8	31.431	31.431	33.130	5.14	5.34	5.45	14.00
4	79	27.0	26.3	9.9	31.452	31.659	33.169	4.17	5.06	5.64	14.20
5	82	26.9	26.7	9.6	31.688	31.701	32.873	5.11	5.18	6.12	17.00
6	81	25.8	25.5	10.9	32.103	32.111	33.398	4.71	5.30	5.35	18.00
7	71	25.9	25.6	10.7	32.033	32.040	33.409	4.92	5.27	5.60	18.00
8	63	25.4	21.4	9.9	31.308	31.368	32.859	5.52	6.24	6.46	15.00
9	41	25.1	20.4	11.9	31.609	31.717	32.422	4.95	6.29	7.01	14.50
10	38	26.5	25.4	14.7	31.604	31.583	32.427	4.72	5.35	6.58	16.00
11	24	24.8	26.0	25.9	31.501	31.541	31.594	4.49	4.64	4.21	2.00
12	39	25.6	26.0	23.5	31.299	31.382	31.478	5.39	5.39	2.68	4.50
13	39	25.8	24.3	21.7	31.171	31.204	31.621	4.96	5.54	1.68	5.00
14	42	26.1	22.9	19.0	28.594	31.056	31.638	5.33	2.47	1.37	6.20
15	56	26.2	22.6	14.4	31.177	31.267	32.916	5.34	5.80	3.20	4.50
16	73	25.6	26.1	13.4	29.924	29.905	32.734	5.44	5.40	3.30	5.50
17	82	25.8	27.3	13.4	28.212	28.262	32.836	4.34	5.00	3.75	11.50
18	96	27.5	28.4	16.2	31.534	31.612	32.051	4.22	4.58	2.56	14.50
19	108	29.1	29.2	15.9	29.732	30.627	32.604	4.80	4.70	2.87	11.00

Parsons *et al.*, 1984)。

$$\text{叶绿素 } a \text{ 含量的计算公式为: } \text{Chl} - a(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{F - (F_a - F_b)v}{V \cdot S}$$

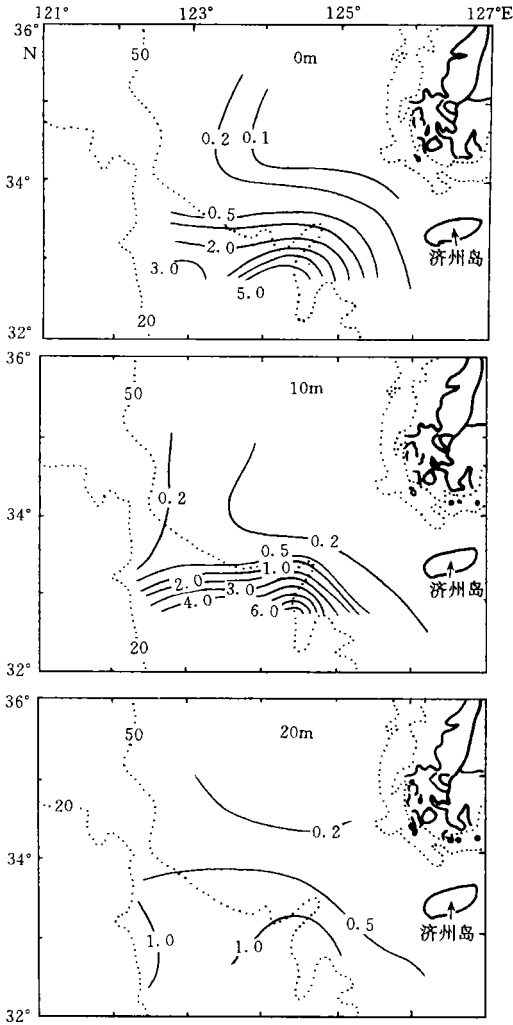


图2 叶绿素a含量(mg/m<sup>3</sup>)的平面分布

Fig.2 Horizontal distributions of Chl.a concentration (mg/m<sup>3</sup>) in the southern Yellow Sea

式中, Chl - a, 叶绿素 a 含量;  $F$ , 校正系数;  $F_a$ , 酸化前的吸光值;  $F_b$ , 酸化后的吸光值;  $v$ , 提取液的体积;  $V$ , 过滤液的体积;  $S$ , 光程当值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 叶绿素 a 的含量

分析表明, 调查期间各站位中叶绿素 a 的含量均较高, 平均值为  $1.14\text{mg/m}^3$ , 其变化范围较大, 为  $0.10\text{--}7.76\text{mg/m}^3$ 。最高值出现在 15 号站的 5m 层, 该站各层的叶绿素 a 含量都很高, 均高于  $5.00\text{mg/m}^3$ 。

### 2.2 叶绿素 a 含量的变化

**2.2.1 叶绿素 a 含量的平面分布** 主要选择 0m、10m 和 20m 层的调查数据, 分别画出其叶绿素 a 含量的平均分布, 见图 2。调查期间表层叶绿素 a 的平均分布特征表明: 叶绿素 a 含量高于  $5.00\text{mg/m}^3$  的高值区位于黄海南部长江口以北和海河以北海区, 济州岛以北的黄海中部, 叶绿素 a 含量较低, 均低于  $0.30\text{mg/m}^3$ 。个别测站低于  $0.15\text{mg/m}^3$ 。济州岛附近其含量也相对较低, 低于  $0.50\text{mg/m}^3$ 。这也显示出叶绿素 a 块状分布的特征。10m 层叶绿素 a 的平面分布趋势与 0m 层的非常相似。只是高值区测值更高, 但范围缩小, 而相对的低值区范围扩大, 且测值更低 (低于  $0.20\text{mg/m}^3$ )。0m 和 10m 层高值区主要测站叶绿素 a 含量

表2 0m、10m高值区主要测站叶绿素a(Chl.a)含量及积分值

Tab.2 Concentration and integral of Chl. a in the major stations on 0m, 10m higher values region in the southern Yellow Sea

站位	Chl.a(mg/m <sup>3</sup> )			
	0m	10m	平均值	积分值
12	3.07	4.17	2.59	53.37
15	5.04	7.37	6.72	47.47
14	5.43	—	3.21	16.91
11	2.82	2.95	2.33	31.00
13	2.72	—	2.50	32.52
16	2.58	3.56	2.48	28.41

见表 2。20m 层高值区的叶绿素 *a* 含量也低于  $1.50\text{mg}/\text{m}^3$ ，较 0m 和 10m 层高值区各测站的平均值还低，所以未列入表 2。

20m 层叶绿素 *a* 含量的分布 (图 2) 与 0m 和 10m 的相差较大，高值区的差异尤为明显，20m 的高值块没有相连在一起，说明次表层极大值以下的叶绿素 *a* 含量强度也降低了。不同层次叶绿素 *a* 含量的上升和下降幅度较大，表明浮游植物对光的要求非常高。真光层以下浮游植物极少，叶绿素 *a* 的含量趋于零。据图 2 中 (20m 层) 和以往的调查结果证明 (李宝华等, 1992; 费尊乐等, 1993)，冬季这种现象更为明显。同时也说明温度同样是控制浮游植物生长、繁殖的重要因子之一。

**2.2.2 叶绿素 *a* 的断面分布** I、III 和 IV 断面叶绿素 *a* 的断面分布特征见图 3。表明，叶绿素 *a* 含量具有明显的层状分布特征。极大值 (高于  $3.00\text{mg}/\text{m}^3$ ) 在 10m (次表层中)，在 12 号和 15 号的 10m 层，各有一个封闭高值块。叶绿素 *a* 含量在次表层以下随着水深的增加而降低，50m 以下水体中叶绿素 *a* 含量趋于零。

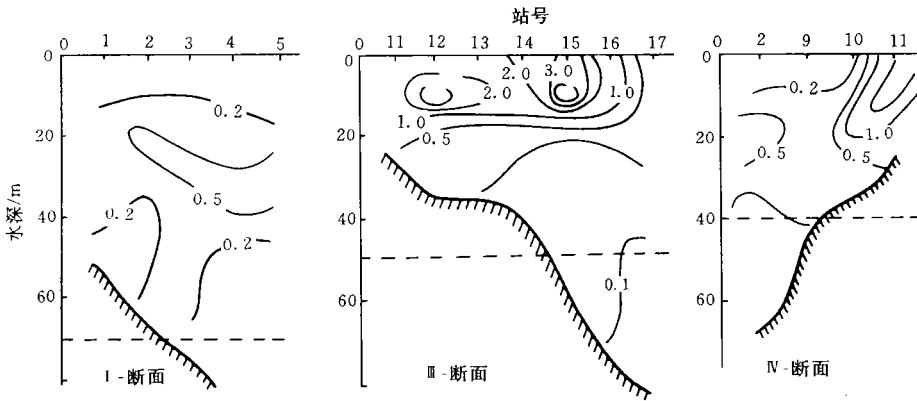


图3 叶绿素 *a* 含量 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) 的断面分布

Fig.3 Sectional distributions of Chl. *a* concentration ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) in the southern Yellow Sea

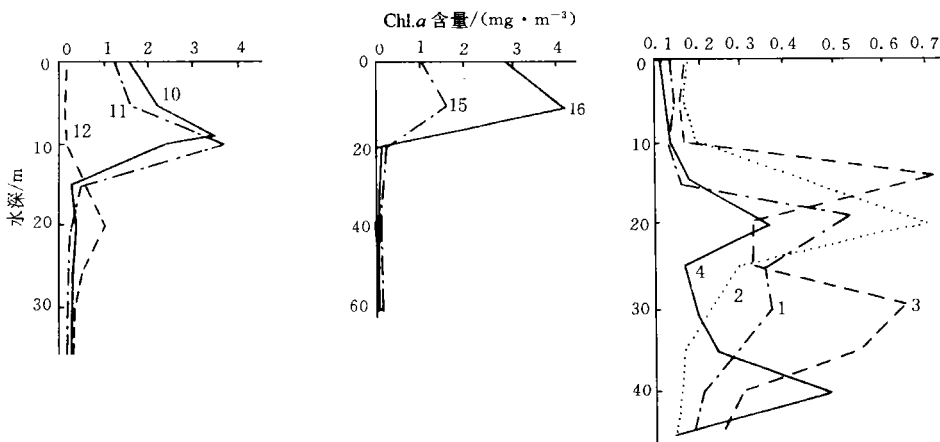


图4 叶绿素 *a* 的垂直分布

Fig.4 Vertical distributions of the Chl. *a* in the southern Yellow Sea

图例中, 1、2、3、4、10、11、12、15、16 为站号

I 断面,叶绿素 *a* 含量的断面分布特征是高值区分布在 20—40m 水层的次表层中,10m 层以下及 50m 层以下叶绿素 *a* 含量均在  $0.20\text{mg}/\text{m}^3$  左右,这个断面整个水体叶绿素 *a* 含量均相对较低,低于  $1.00\text{mg}/\text{m}^3$ ,最高值也只有  $0.93\text{mg}/\text{m}^3$ ,最低值为  $0.13\text{mg}/\text{m}^3$ ,变化范围较小。III 断面叶绿素 *a* 的分布特征与 I 断面的叶绿素 *a* 含量非常相似。IV 断面与 I、III 两个断面的不同之处,是它基本在同一个经度上跨越 3 个纬度,而以上讨论的两个断面是在同一个纬度而跨越 3—4 个经度,这个断面叶绿素 *a* 的分布特征既有 I 断面叶绿素 *a* 的分布特征,又有 III 断面叶绿素 *a* 的分布趋势,但总的分布特点没有变。

**2.2.3 叶绿素 *a* 的垂直分布** 调查结果表明(图 4),海水叶绿素 *a* 含量主要存在于真光层内(约 10m 层),即补偿深度以上的水体中。这主要是由于受光照的影响所致。其含量随着深度变化又与各层的温度、盐度、营养盐、流系垂直和动物捕食等因素有关,因而各测站的结果显示出明显的梯度分布特征(图 4)。在叶绿素 *a* 含量较高的测站,次表层极大值表现得非常明显,而在次表层以下叶绿素 *a* 含量显著下降。这与断面分布非常一致,也说明了光是浮游植物生长繁殖的重要因素之一。

### 3 结语

调查期间该海域的叶绿素 *a* 含量较高,平均值为  $1.14\text{mg}/\text{m}^3$ ,其变化范围为  $0.10—7.76\text{mg}/\text{m}^3$ ,最高值在次表层。(1)平面分布:各层次平面分布特征差异较大。 $33^{\circ}00'—33^{\circ}30'N$  之间叶绿素 *a* 含量均较低,低于  $0.50\text{mg}/\text{m}^3$ , $33^{\circ}00'N$  以北,叶绿素 *a* 含量低于  $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ ;而  $33^{\circ}00'N$  以南,除济州岛附近的 17—19 号站以外,叶绿素 *a* 含量均较高,高于  $1.00\text{mg}/\text{m}^3$ 。(2)断面分布:水深在 30m 时,叶绿素 *a* 含量的高值区在 20m 以上水体的次表层中;而水深为 50—80m 时,其高值分布在 20—40m 的次表层中,所以认为光是浮游植物生长和繁殖的重要因子之一。

由于各断面所处的地理位置和环境条件不同,因而表现出叶绿素 *a* 的断面分布的明显差异。同一断面上的分布又随着该断面环境因素的变化而发生不同程度的改变(中尾彻著,王元培等译,1986)<sup>1)</sup>。综上所述,出现在本调查区的叶绿素 *a* 高值区,往往是两种不同性质(近岸水和黄海暖流)的水系(或水团)交汇区。交汇区常常出现海洋锋,海水复合度大,各种营养盐丰富,为浮游植物生长与繁殖提供了有利的环境条件。所以在这类海区调查叶绿素 *a* 的结果,能较准确地反映出两种不同性质水系或水团交汇的程度。

### 参 考 文 献

- 李宝华,费尊乐,1992. 1989 年春、秋季东海北部叶绿素 *a* 的分布特征. 黑潮调查研究论文选(四). 北京:海洋出版社,165—172
- 柴心玉,纪绪良,隋清波,1986. 长江口及济州岛邻近海域综合调查报告,山东海洋学院学报,16(2):2—159
- 郭炳火,1993. 黄海物理海洋学的主要特征. 黄渤海海洋,11(3):7—18
- 费尊乐,李宝华,1993. 东海北部初级生产力. 黑潮调查研究论文选(五). 北京:海洋出版社,147—159
- Parsons T R, Maita Y, Lalli C M, 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Oxford: Pergamon Press, 173
- Yentsch C S, Menzel D W, 1963. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by Fluorescence. Deep-Sea Res, 10:221—231

1) 中尾彻著,王元培,周娥梅译,1986. 黄、东海海洋环境变化和渔业的关系. 国家海洋局第一海洋研究所

## THE DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF CHLOROPHYLL-*a* IN LATER SUMMER IN THE SOUTHERN YELLOW SEA AREA

Li Bao-hua, FU Ke-cun, ZENG Xiao-qi<sup>†</sup>

(*First Institute of Oceanography, Stat Oceanic Administration, Qingdao, 266003*)

<sup>†</sup>(*Department of Chemistry, Ocean University of Qingdao, 266003*)

**Abstract** Based on the chlorophyll-*a* data obtained from samples collected from 19 stations during "the Research Vessel Shenyou Maru cruise in the southern Yellow Sea area"(32°00'—35°00' N, 122°00'—127°00' E) from 1 to 7 September, 1995, this paper expounds in detail the situations of the horizontal, sectional and vertical distributions of the chlorophyll-*a* as well as the relationships between chlorophyll-*a* variations and environmental factors. The extractive fluorometry was used for pigments determination. Vertical sampling was carried out at each station, water samples being taken from the depths of 0m, 5m, 10m, 15m, 20m, 30m, 50m and 80m. Fluorometric determinations of chlorophyll-*a* concentration were made with a Turner Design model 10 fluorometer. 200ml of the water sample were filtered with a micro-pore filter membrane immediately, stored in the refrigerator (-1°C), and brought back to the laboratory with an ice bucket for analysis. The filter membranes which were fully loaded with phytoplankton samples were put into scintillation bottles, and after addition of 90% acetone solution preserved in a refrigerator for extraction for 24h, and then taken out for the determination at room temperature, immediately. Calculation of chlorophyll-*a* (Chl-*a*):

$$\text{Chl-}a(\text{mg/m}^3) = \frac{F - (F_a - F_b)v}{V \cdot S}$$

where *F* is the correctional factor; *F<sub>a</sub>*, the absorption value before acidification; *F<sub>b</sub>*, the absorption value after acidification; *v*, the volume of the extraction; *V*, the volume of the to be filtered solution; *S*, the light regulation value.

Analysis of the experimental results are as follows. The concentrations of chlorophyll-*a* were all high in the investigated area, with an average value of 1.14mg/m<sup>3</sup>, the variation ranged from 0.10 to 7.76mg/m<sup>3</sup>. The highest values were in the sub-surface water. The horizontal distribution of chlorophyll-*a* reflected the complicated variations in the abundance and distribution of phytoplankton (Fig.2). The horizontal distributions of chlorophyll-*a* were different in the various layers. It is worth taking notice of the existence of a high chlorophyll-*a* concentration in the southern part of the area (33°00' N) except stations 17—19 near Jizhou Island. The concentrations there were all higher than 1.00mg/m<sup>3</sup>, but low in the northern part of the area (33°30' N), lower than 0.20mg/m<sup>3</sup>. For the cross-sectional distributions (Fig.3), when the water was 30m deep, the chlorophyll-*a* was higher in the water body above 20m; when the depth was 80m, the subsurface chlorophyll-*a* maximum value existed from 20—40m. With regard to the vertical distributions (Fig.4), chlorophyll-*a* has a layered structure. The characteristics of vertical distribution of chlorophyll-*a* show the same as those of the sectional distributions of chlorophyll-*a* in the southern Yellow Sea area. At the same time this paper also discussed the topic that light is one of the important factors affecting the growth and multiplication of phytoplankton.

**Key words** Chlorophyll-*a* Southern Yellow Sea Distribution characteristics Ecology

**Subject classification number** X171