

胶州湾口内海水中叶绿素浓度的周年变化和垂直分布*

潘友联[†] 郭玉洁 曾呈奎

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

摘要 于 1983 年 11 月—1985 年 11 月在胶州湾的两个观测站逐月进行了 2 周年的海水中叶绿素浓度的定点研究。结果表明, (1) 胶州湾口表层海水中的叶绿素 *a* 平均浓度为 3.05(1.02—15.62)mg/m³; 真光层中平均为 26.34(9.97—106.59)mg/m³; 其季节变化呈春(3—4 月)、秋(9—11 月)双峰型。(2) 小型 (<78μm) 的浮游植物平均占海水中叶绿素 *a* 的 85.76%。(3) 叶绿素 *a/c* 比在表层海水中平均为 2.41, 真光层中平均为 2.60; 叶绿素 *a/b* 比和叶绿素 *a* 与类胡萝卜素的比值均大于 10。(4) 春季, 叶绿素的最大层出现在 0—3m 层; 夏、秋季, 逐渐下移; 冬季, 上、下层叶绿素 *a* 浓度比较均匀。认为胶州湾的浮游植物生物量和初级生产力都很高, 可以发展海水养殖业。

关键词 叶绿素 色素 生物量 浮游植物 胶州湾

海水中叶绿素浓度是浮游植物现存生物量的指标之一, 直接影响光合作用速率, 因此也是海洋初级生产力的主要决定因子(潘友联, 1987a)。为了充分认识胶州湾的水环境, 全面系统地研究其海水中浮游植物生物量及其变化和初级生产力, 为在胶州湾实现水产生产农牧化提供依据, 本文研究了胶州湾口叶绿素的季节变化和垂直分布。

材料与方 法

于 1983 年 11 月—1985 年 11 月, 在接近胶州湾口、潮汐环流的主流两翼(王化桐等, 1980)各设一个站(图 1), 共进行了 25 个月的逐月观测。海水中叶绿素浓度的研究方法是先从表层到 9m 深的不同水层分别采水 1L (与初级生产力研究同一份水样¹⁾), 用平均孔径为 0.45μm 的微孔滤膜减压过滤其中的颗粒物, 用 90% 的丙酮提取叶绿素 *a, b, c*(*c*₁+*c*₂) 和类胡萝卜素 (UNESCO, 1966); 用 751G 型分光光度计测定混合提取液在 750, 664, 647, 630, 510, 480nm 波长处的消光值; 按 Jeffrey 等 (1975) 的方程计算叶绿素 *a, b, c*(*c*₁+*c*₂) 的浓度; 按 Richard 的方程 (参见 Strickland, et al., 1968) 计算类胡萝卜素的浓度。

* 潘友联硕士论文的部分扩充。潘友联, 男, 出生于 1957 年 12 月, 博士。

杨则禹、张永山、高玉、周汉秋等同志协助海上实验工作。

[†] 通讯地址: Youlian Pan, Habitat Ecology Division, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, Nova Scotia, Canada B2Y 4A2.

收稿日期: 1988 年 10 月 6 日, 接受日期: 1992 年 1 月 6 日(1994 年 9 月改毕)。

1) 潘友联等, 1994, 胶州湾口内初级生产力的周年定点观测, 海洋与湖沼, 26 卷 2 期(待刊)。

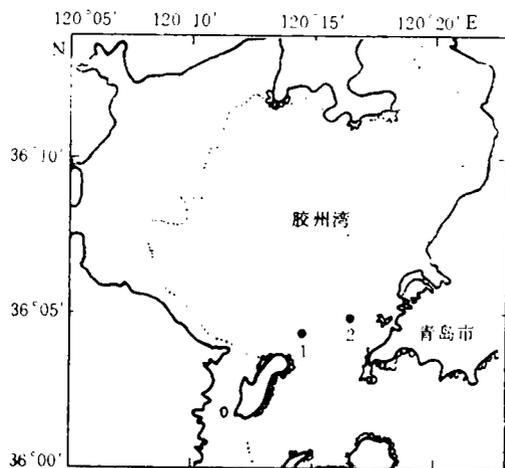


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations in Jiaozhou Bay, Qingdao

2 结果

2.1 叶绿素浓度的季节变化 在这两年中,这两个站表层海水中叶绿素 *a* 浓度的平均是 $3.05(sd = 2.006) \text{ mg/m}^3$ 。根据同时测得的海水消光系数(潘友联,1987b)计算真光层的深度,真光层中的叶绿素 *a* 平均为 $26.34 (sd = 13.12) \text{ mg/m}^2$ (表 1)。表层和真光层叶绿素 *a* 的季节变化呈春、秋双峰型。秋末和冬季(11 月至翌年 1 月)海水中的叶绿素 *a* 浓度较低。2 月底开始上升,3 月达到一年中的最高峰。4,5 月份以后乃至整个夏季叶绿素 *a* 一直处于较低水平。9 月,海水中叶绿素 *a* 浓度又上升到另一个高峰值。10 月以后又降到一个较低水平,而且整个冬季几乎维持在这一水平。

2.2 小型浮游植物的季节变化 用 SP58 号筛绢(孔径为 $78\mu\text{m}$) 滤去水样中的较大形的浮游生物,按上述方法测定海水中的叶绿素 *a* 浓度。这些小形浮游植物的叶绿素 *a*

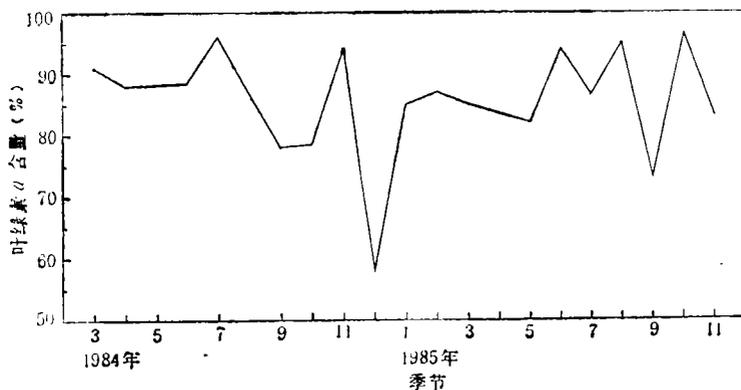
图 2 小型 ($<78\mu\text{m}$) 浮游植物叶绿素 *a* 的百分含量的季节变化Fig. 2 Seasonal variations of the percentage of chlorophyll *a* of the smaller phytoplankton ($<78\mu\text{m}$) in the sea water in Jiaozhou Bay, Qingdao

表 1 海水中的叶绿素 *a*Tab. 1 Chlorophyll *a* concentration in Jiaozhou Bay, Qingdao

月 份	表层(mg/m ³)			真光层 (mg/m ²)		
	1 号站	2 号站	平 均	1 号站	2 号站	平 均
1983年						
11	2.72	2.37	2.54	20.20	18.17	19.18
12	2.16	2.35	2.26	43.75	31.52	37.64
1984年						
1	1.91	2.36	2.13	13.64	18.76	16.20
2	5.32	3.25	4.29	34.72	51.16	42.94
3	3.22	15.62	9.42	21.71	106.59	64.15
4	3.28	3.65	3.46	18.87	23.36	21.12
5	2.20	3.11	2.66	22.67	26.53	24.60
6	4.15	2.62	3.39	28.77	24.39	26.58
7	3.72	1.02	2.37	17.83	15.74	16.79
8	1.74	1.90	1.82	18.31	10.61	14.46
9	2.17	1.97	2.07	17.62	14.39	16.01
10	2.61	2.31	2.46	27.71	19.13	23.42
11	2.44	1.92	2.18	36.79	31.24	34.02
12	1.50	1.94	1.72	26.03	14.90	20.46
1985年						
1	2.12	2.25	2.19	28.64	29.23	28.94
2	2.47	1.86	2.17	15.85	13.44	14.64
3	2.11	5.01	3.56	24.20	28.28	26.24
4	1.56	5.35	3.45	21.80	66.64	44.22
5	1.67	1.11	1.39	30.31	18.72	24.52
6	1.65	1.65	1.65	12.25	13.31	12.78
7	3.24	4.27	3.75	24.22	19.32	21.77
8	1.84	1.23	1.54	25.80	15.69	20.74
9	10.50	8.21	9.36	59.90	51.10	55.50
10		2.37	2.37		9.97	9.97
11	2.56	1.78	2.17	19.64	23.54	21.59
平 均		3.05			26.34	

平均占 85.76% (1984 年 3 月—1985 年 2 月的周年平均)。这一百分比值一般是冬季较低, 1984 年 12 月最低为 58.4%; 其它月份均在 70% 以上, 1985 年 10 月最高达 96.5% (图 2)。

2.3 光合色素的相对组成 这两个站表层和真光层海水中的叶绿素 *a/c* 比平均分别是 2.41(*sd* = 0.98) 和 2.60(*sd* = 0.99)。叶绿素 *a/c* 比一般是春、夏季略高 (图 3); 1985 年 4 月表层海水中叶绿素 *a/c* 比最高, 达 5.55; 10 月最低, 为 0.83。表层和真光层海水中的叶绿素 *b* 和类胡萝卜素的含量都很低, 与叶绿素 *a* 的含量均相差一个数量级。表层和真光层中叶绿素 *a/b* 比平均分别为 10.78(*sd* = 13.15) 和 10.51(*sd* = 11.91); 叶绿

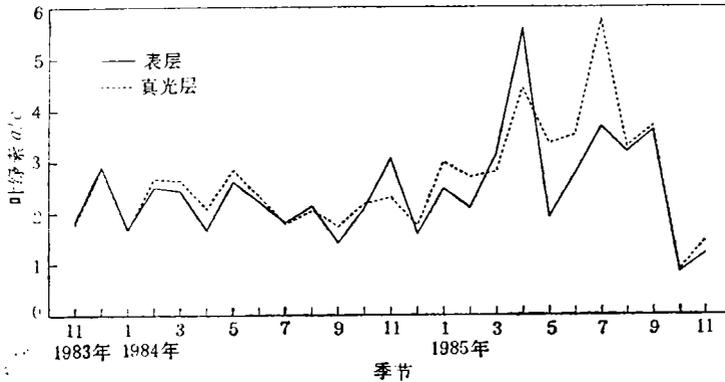


图3 海水中叶绿素 a/c 比的季节变化

Fig. 3 Seasonal variations of the ratio of chlorophyll a/c in Jiaozhou Bay, Qingdao

素 a 与类胡萝卜素之比平均分别为 10.23 ($sd = 16.51$) 和 12.63 ($sd = 19.01$)。

2.4 叶绿素 a 的垂直分布 冬季叶绿素 a 的垂直分布比较均匀。2 月, 表层叶绿素 a 增加较快, 开始出现上下不均匀, 表层出现叶绿素 a 的最大值。4, 5 月份, 叶绿素 a 浓度的最大值逐渐下移到 3m 层。夏、秋季, 这一最大层不稳定, 有下移的趋势。11 月以后, 上、下水层的叶绿素 a 浓度又趋于均匀(图 4)。

3 讨论与结语

3.1 叶绿素 a 的分布及其影响因素 在秋末和冬季, 调查区的叶绿素 a 的垂直分布比较均匀(图 4)。这时海水的密度跃层消失, 垂直混和作用加强, 因此上、下水层的叶绿素 a 含量变化也不大。在春季, 表层水温上升, 营养盐比较丰富(潘友联等, 1992), 太阳辐射增加(潘友联, 1987b), 促进了浮游植物的生产力; 密度越层的形成又使上下水层的混和作用减弱: 所以表层海水中的叶绿素 a 含量明显增加并高于以下各层。在夏季, 水温继续上升, 太阳辐射也继续增强, 次表层海水得到的阳光足以达到光合作用的饱和条件(潘友联, 1987b); 然而, 表层海水中接收到的太阳辐射太强对浮游植物的光合作用产生光抑制, 降低了初级生产力¹⁾。此外, 表层太强的辐射还会对叶绿素产生较强的光分解作用, 因此这时的叶绿素 a 含量的最大值出现在次表层, 而不是在表层(图 4)。在秋季, 随着表层水温的逐渐降低, 海水垂直混和的出现和密度跃层的逐渐减弱以至消失, 叶绿素 a 浓度的最大层也随之下移、减弱、最后消失。但 1985 年 9 月的叶绿素 a 浓度的最高值出现在表层, 这是由于 8 月底的 9 号台风使大量的陆源营养盐随径流带入胶州湾, 同时也因此形成了较强的盐度跃层。例如 9 月 2 日 1 号站表层和底层的盐度分别是 24.98 和 27.93, 到 9 月 6 日仍分别为 27.59 和 28.84, 这使表层浮游植物的生产力明显地提高¹⁾。同时, 台风过后表层海水中必然出现一些其它海洋植物的碎屑, 这也能提高海水中叶绿素的浓度。

在这两年中, 相应月份的叶绿素 a 浓度及其变化趋势不完全一致(表 1)。1984 年秋季的高峰值不明显, 这可能是由于 1984 年 8 月底胶州湾的严重石油污染, 抑制了浮游植

1) 潘友联等, 1994, 胶州湾口内初级生产力的周年定点观测, 海洋与湖沼, 26 卷 2 期(待刊)。

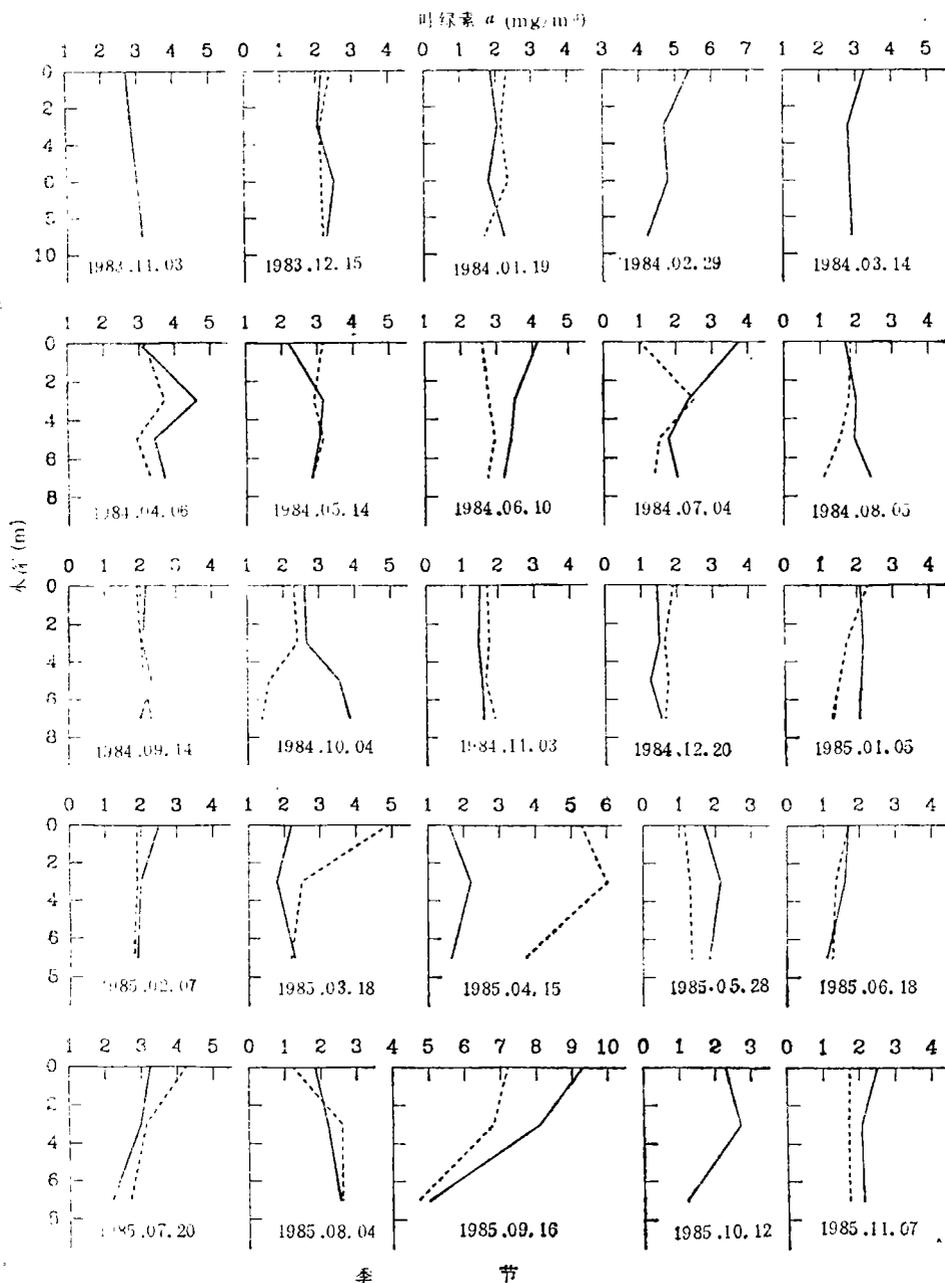


图 4 海水中各月叶绿素 a 的垂直分布

Fig. 4 Vertical distributions of chlorophyll a in Jiaozhou Bay, Qingdao

—— 1号站; ----- 2号站。

物和其它生物的生产力¹⁾。郭玉洁等(1992a)发现胶州湾浮游植物的细胞浓度的季节变化呈双峰型。在正常情况下,胶州湾叶绿素 a 的季节变化也应呈双峰型。

1) 同21页脚注1)。

3.2 海水中叶绿素浓度作为浮游植物生物量的指标 由叶绿素 *a* 浓度可知胶州湾海水中小于 78 μm 的藻类占浮游植物中的多数。这些藻类往往不易被浮游生物网采集到。因此,与网采浮游植物 (netplankton) 的细胞浓度相比,海水中的叶绿素浓度更能准确地反映浮游植物的现存生物量。然而,细胞浓度是通过用显微镜对各种浮游植物的细胞计数测得的,便于了解浮游植物的种类组成和优势种。这又是叶绿素所不能表达的。因此,在调查时应同时采用这两种方法,或者采用目前国际上普遍使用的定量方法——从水样中直接计数。

3.3 海水中各种色素的组成及其原因 胶州湾的浮游植物中,硅藻占多数,其次是甲藻和金藻等,还有极少量的绿藻(郭玉洁等,1992a)。除绿藻外,这些藻类中所含的色素主要是叶绿素 *a*,其次是叶绿素 *c* ($c_1 + c_2$) 和很少量的类胡萝卜素,不含叶绿素 *b*。高等植物和绿藻含叶绿素 *a* 和 *b*,不含叶绿素 *c*。虽然叶绿素 *b* 和 *c* 在分子结构上的差异较大,它们在光合作用中所起的作用却类似,并与叶绿素 *a* 成类似的比例存在 (Prézelin, 1981)。所以胶州湾海水中的叶绿素 *a/c* 比接近于高等植物和绿藻体内的叶绿素 *a/b* 比。然而,不同季节海水中藻类的组成不同,叶绿素 *a/c* 比也相应地有所变化。

本实验所设的两个站位于涨落潮流的主流两侧(图1)。1号站受涨潮流带来的湾口海水的影响较大。2号站受落潮流带来的湾内海水的影响较大(王化桐等,1980)。所以这两个站对胶州湾具有一定的代表性。本海区的研究结果与郭玉洁等(1992a,b)的全湾大面积调查结果基本一致。胶州湾海水的营养盐比较丰富,叶绿素 *a* 浓度的年平均为 3.05mg/m³,年初级生产量为 206g/m² 碳¹,海洋生物的生产潜力很高。因此在胶州湾进行水产品增殖的投资,实行水产生产农牧化是切实可行的。

参 考 文 献

- 王化桐等,1980,胶州湾环流和污染扩散数学模拟 I. 胶州湾环流的计算,山东海洋学院学报,10(1): 23—63。
 郭玉洁、杨则禹,1992a, 浮游植物,刘瑞玉主编,胶州湾生态学和生物资源,科学出版社(北京),136—169。
 郭玉洁、杨则禹,1992b, 初级生产力,刘瑞玉主编,胶州湾生态学和生物资源,科学出版社(北京),110—126。
 潘友联,1987a, 叶绿素与海洋初级生产力,海洋科学,1: 63—65。
 潘友联,1987b, 胶州湾两个站的海水透明度和水下照度周年观测资料的初步研究,海洋科学,3: 49—53。
 潘友联、曾呈奎、郭玉洁,1992,浮游植物的碳同化数,刘瑞玉主编,胶州湾生态学和生物资源,科学出版社(北京),126—135。
 Jeffrey, S. W. and Humphrey, G. F., 1975, New spectrophotometric equations for determining chlorophyll *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ in higher plant, algae and natural phytoplankton, *Biochem. Physiol. Pflanzen.*, 167: 191—194。
 Prézelin, B. B., 1981, Light reactions in photosynthesis, *In* Physiological Bases of Phytoplankton Ecology, *Can. Bull. Fish. Aquar. Sci.*, 210: 1—43。
 Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R., 1968, A practical handbook of seawater analysis, *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 167pp。
 UNESCO, 1966, Determination of photosynthetic pigments in sea-water, *Monogr. Oceanogr. Methodol.*, 1: 1—69。

1) 同21页脚注1)。

VERTICAL AND SEASONAL VARIATIONS OF CHLOROPHYLL CONCENTRATIONS IN THE INLET OF JIAOZHOU BAY, QINGDAO

Pan Youlian, Guo Yujie, Zeng Chengkui (C. K. Tseng)

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071*)

ABSTRACT

The monthly concentrations of chlorophyll *a* at two stations in the inlet of Jiaozhou Bay, Qingdao, China (Station 1: 120° 14.60'E, 36° 04.00'N; Station 2: 120° 16.54'E, 36° 04.46'N) during the period of November, 1983 to November, 1985 ranged from 1.02 to 15.62 mg/m³ with an annual average of 3.05 mg/m³ in the surface water. The integrated chlorophyll *a* value in the water column of euphotic zone ranged from 9.97 mg/m² to 106.59 mg/m² and was 26.34 mg/m² on the average. Seasonally, there was a major peak (44.22—65.15 mg/m²) in the spring and a minor one (34.02—55.50 mg/m²) in fall consistent with the pattern of phytoplankton concentration in most Chinese coastal waters reported by others. Depth of the chlorophyll *a* maximum layer varied with season, i. e. in the top 3 m during the spring and summer and at greater depth in the winter. The phytoplankton < 78 μm comprising essentially of diatoms and dinoflagellates contributed 85.76% of phytoplankton biomass on the average (58.4%—96.5%). The mean ratio of chlorophyll *a*:*c* was 2.41 in the surface water and 2.60 in the euphotic zone. The mean ratio of chlorophyll *a*:*b* and chlorophyll *a*:carotenoid were both larger than 10.

The seasonal and vertical distributions of chlorophyll *a* concentrations were discussed in relation to the physical and chemical oceanographic process. The high phytoplankton biomass, high primary productivity along with sufficient nutrients in the bay would sustain active mariculture.

Key words Chlorophyll Pigments Biomass Phytoplankton
Jiaozhou Bay