

胶州湾浮游植物数量长期动态变化的研究*

吴玉霖 孙松 张永山 张芳

(中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071)

提要 应用分光光度法对 1991—2002 年 11 月胶州湾浮游植物现存量(叶绿素 *a* 含量)进行了测定。研究表明,胶州湾叶绿素 *a* 年平均含量为 2.09—5.70 mg/m³, 多年平均为 (3.47 ± 1.92) mg/m³, 年际间存在一定的波动范围;在平面分布上,胶州湾西北和东北近岸海域含量较高,湾中部和南部海域较低;胶州湾叶绿素 *a* 含量存在着明显的季节变化,冬季(2 月)平均含量为 (4.72 ± 3.15) mg/m³, 是一年中的高峰,夏季次之,平均含量为 (4.33 ± 2.57) mg/m³, 春季平均含量为 (2.78 ± 2.43) mg/m³, 秋季平均含量最低,仅为 (1.95 ± 0.80) mg/m³。

胶州湾浮游植物粒级构成为:小型浮游植物(> 20 μm)平均占 35.8%,微型浮游植物(2—20 μm)平均为 51.3%,超微型浮游植物(< 2 μm)平均为 12.9%;不同季节和海域粒级构成有一定差异。

关键词 胶州湾,叶绿素 *a*,浮游植物,长期变化

中图分类号 P593

浮游植物是海洋中最主要的初级生产者,在生态系统的物质循环与能量流动中起着十分重要的作用。由于浮游植物个体微小,一般为几个微米到数百微米,容易受环境因子诸如营养盐、水温、盐度等理化因子和生物因子如摄食、种间竞争等影响,导致数量上的动态变化。浮游植物现存量的动态变化是海洋生态学研究的重要内容。关于某些年份胶州湾叶绿素 *a* 分布状况已有一些研究报道(郭玉洁等,1992;陈怀清等,1992;潘友联等,1995;吴玉霖等,1995;吴玉霖,1996),本文中对胶州湾浮游植物现存量——叶绿素 *a* 含量进行了长期调查测定,探讨胶州湾不同海域、不同季节及年际间叶绿素 *a* 含量动态变化的若干特征,以期研究胶州湾生态系统长期变化提供科学依据。

1 调查采样及样品处理

在胶州湾内设置 8 个调查站位,在湾口和湾外各设 1 个站位(图 1),自 1991 年 5 月—2002 年 11 月(其中 1996 年因故中断 1 年),于每年的季度月,即 2、5、8、11 月进行 1 次采样调查。用有机玻

璃采水器在表层和底层采集水样,取 500ml 水样以孔径为 0.45 μm 醋酸纤维素滤膜减压抽滤,按照联合国教科文组织(Unesco, 1966)推荐的分光光度法进行测定。应用 Jeffery-Humphrey 等(1975)的计算公式计算叶绿素 *a* 的含量。同时,在每一

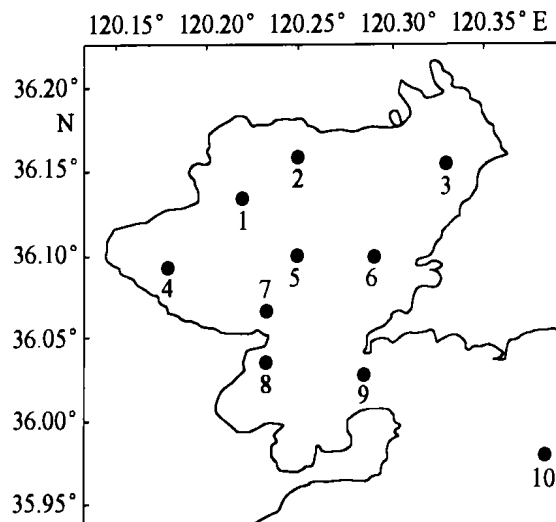


图 1 采样站位图

Fig. 1 Location of sampling stations

* 中国科学院知识创新项目, KZCX3-SW-214 号; 国家自然科学基金资助项目, 20076021 号。吴玉霖, 研究员, E-mail: YLWu@ms.qdio.ac.cn

站位还采用“浅Ⅲ”型浮游生物网从底至表垂直拖取浮游植物样品,对其种类组成和数量进行分析,主要结果已有研究报告(孙松等,2002)。另外于2001年5月—2003年2月进行7个季度月航次,在3、5、7及湾外的10号站采集表层水样,对浮游植物粒级组成进行了分析测定,浮游植物分为3个粒级,即 $>20\mu\text{m}$ 的小型级(microphytoplankton)、 $2-20\mu\text{m}$ 的微型级(nanophytoplankton)和 $<2\mu\text{m}$ 的超微型级浮游植物(picophytoplankton)。分级采样时用孔径为 $20\mu\text{m}$ 筛绢、 $2\mu\text{m}$ 及 $0.45\mu\text{m}$ 醋酸纤维素滤膜进行逐步分级,最后均收集在 $0.45\mu\text{m}$ 滤膜上对3种粒级浮游植物分别采用上述叶绿素 a 测定方法进行分析。

2 结果和讨论

2.1 胶州湾叶绿素 a 含量时空分布特征

2.1.1 平面分布 从1991—2002年的长期调查结果得出,胶州湾春季(5月)各站叶绿素 a 平均含量为 $1.85-4.31\text{mg}/\text{m}^3$,高值区位于湾的西北部的1、2和4号站及湾东北部的3和6号站,湾中部的5号站和南部含量较低(图2),夏季(8月)平均叶绿素 a 含量为 $2.55-6.95\text{mg}/\text{m}^3$,各站之间变化幅度较大,平面分布格局同5月份相似。秋季(11月)各站叶绿素 a 平均含量为 $1.38-3.12\text{mg}/\text{m}^3$,变化幅度较小,是一年四季中分布相对最为均匀的季节。冬季(2月)平均叶绿素 a 含量为 $2.52-8.90\text{mg}/\text{m}^3$,各站之间变化幅度较大,

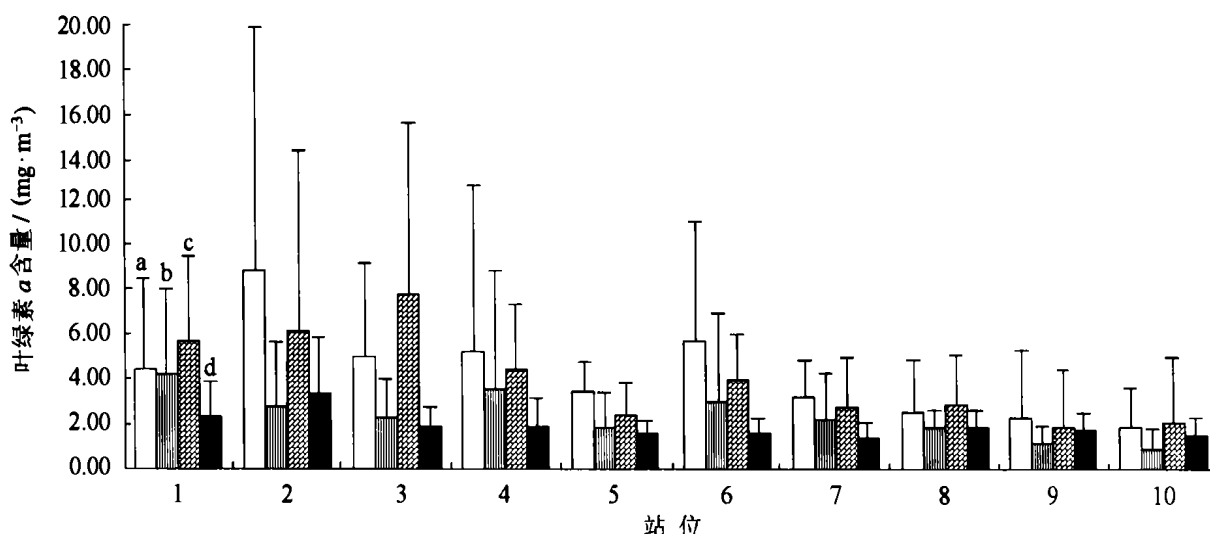


图2 不同站位叶绿素 a 含量

Fig.2 Variation of chlorophyll- a value at each station in Jiaozhou Bay

a.2月;b.5月;c.8月;d.11月

最高值位于湾北部的2号站,多年平均高达 $8.90\text{mg}/\text{m}^3$ 。另外在湾东北部的3和6号及西北部的1和4号站的平均含量亦较高,均大于 $4.50\text{mg}/\text{m}^3$,湾中部和南部含量较低。

上述表明,尽管不同季度月叶绿素 a 含量有变化,但在平面分布上明显特征是:高值区位于胶州湾的西北部和东北部近岸水域,湾中部和南部较低,而且湾内高于湾口(9号站),湾外的10号站又比湾口低,呈现出自湾内向湾外递降的分布趋势。胶州湾外的灵山岛周围海域叶绿素 a 含量不超过 $1.00\text{mg}/\text{m}^3$,竹岔岛附近水域11月份含量最高也仅为 $1.22\text{mg}/\text{m}^3$ (吴玉霖,1996),低于胶州湾内含量水平。胶州湾表层海水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度均是北部和东北部高,由北向南递

减,湾外最低; $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 表、底层浓度均为东北部和东部高,自东北向西南降低,湾外低于湾内(沈志良等,1994;沈志良,2002),胶州湾营养盐的这种分布状况同叶绿素 a 含量分布格局相似,表明营养盐对浮游植物数量分布有相当重要的影响。

2.1.2 季节变化 冬季胶州湾叶绿素 a 含量为 $1.98-11.16\text{mg}/\text{m}^3$,平均为 $(4.72 \pm 3.15)\text{mg}/\text{m}^3$,是一年四季中的高峰(图3);夏季略低些,含量是 $1.30-11.31\text{mg}/\text{m}^3$,平均为 $(4.33 \pm 2.57)\text{mg}/\text{m}^3$;春季叶绿素 a 含量是 $0.89-9.00\text{mg}/\text{m}^3$,平均为 $(2.78 \pm 2.43)\text{mg}/\text{m}^3$,明显地低于冬季和夏季,同时年际间波动幅度相对较大;秋季含量最低,仅为 $1.17-3.86\text{mg}/\text{m}^3$,平均为 $(1.95 \pm 0.80)\text{mg}/\text{m}^3$,年际间

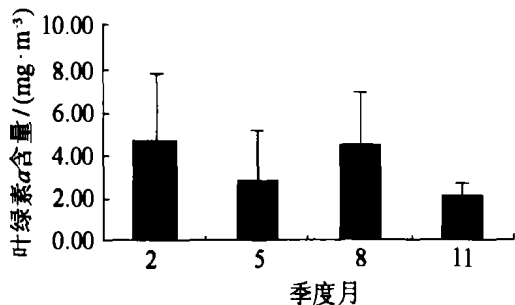


图3 胶州湾叶绿素 a 含量的季节变化

Fig.3 Seasonal variation of chlorophyll-*a* in Jiaozhou Bay

波动幅度较小。统计资料表明,胶州湾浮游植物现存量有着明显的季节变化特点,符合温带海域一年有双峰的一般现象,但高峰主要出现在冬季和夏季,而不是较常见的春季和秋季。胶州湾网采浮游植物数量通常亦是在冬季和夏季各形成一个高峰(孙松等,2002),同叶绿素 a 含量季节变化规律基本一致。浮游植物现存量除受优势种季节演替等生物学因素影响外,还受各种生物的和非生物的环境因子影响。冬季,在风的作用下,水体上下混合强烈,上层水体得以从下层得到营养盐补充,2002年2月胶州湾无机氮含量达到0.211mg/L, PO₄-P为0.015mg/L,为浮游植物大量增殖提供丰富的物质基础。夏季较多降雨使许多营养元素随地表径流进入海洋,2002年8月胶州湾 NH₄-N 高达0.264mg/L, SiO₃-Si 含量达到0.228mg/L,促使适温较高种类如旋链角刺藻(*Chaetoceros curisetus*)和短角弯角藻(*Eucampia zodiacus*)等大量增殖,往往形成浮游植物数量高峰。

以上胶州湾叶绿素 a 含量季节变化状况是长达10年以上的统计结果,某些年份有所变化,有时最高峰出现在夏季,个别年份甚至出现在春

季。例如:郭玉洁等(1992)在1984年的调查中,得出胶州湾叶绿素 a 含量高峰出现在春季,夏季为次高峰;潘友联等(1995)于1983—1985年在胶州湾南部2个调查站逐月调查中,叶绿素 a 含量高峰分别出现于3月和9月;烟台四十里湾海域5月份含量最高,达到2.44mg/m³,8月次之,11月最低,仅为1.19mg/m³(吴玉霖等,2001)。这些结果表明,叶绿素 a 含量季节变化格局会受环境因子影响而有所改变。

2.1.3 年际变化 胶州湾叶绿素 a 年平均为2.09—5.70mg/m³,平均为(3.47 ± 1.19)mg/m³,年际间变化状况见图4。由该图可以看出,不同年份间存在一定的波动范围。潘友联等(1995)报道,1983—1985年胶州湾口表层海水叶绿素 a 平均含量为3.05mg/m³;郭玉洁等(1992)研究得出,1984年胶州湾叶绿素 a 平均含量为4.19mg/m³,均在此波动范围之内,可以说20世纪80年代初胶州湾叶绿素 a 含量水平同90年代没有明显差异。胶州湾湾口小,几乎为青岛市环绕,城市废水包括工业废水和生活污水的输入,造成海域营养盐含量较高,2002年4个季度月平均 PO₄-P 含量达到0.587μmol/L; NO₃-N 为6.5μmol/L; NH₄-N 高达15.85μmol/L。丰富的营养盐为一些赤潮生物暴发性增殖提供重要物质基础,导致胶州湾水域时有赤潮发生,如1998年7月胶州湾东北部发生了中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)赤潮(霍文毅等,2001),8月份该水域叶绿素 a 含量仍然相当高,2号站和3号站分别高达29.17mg/m³和23.71mg/m³,这是导致该年度叶绿素 a 平均含量较高的主要原因。

以上结果表明,受非生物的和生物的环境因

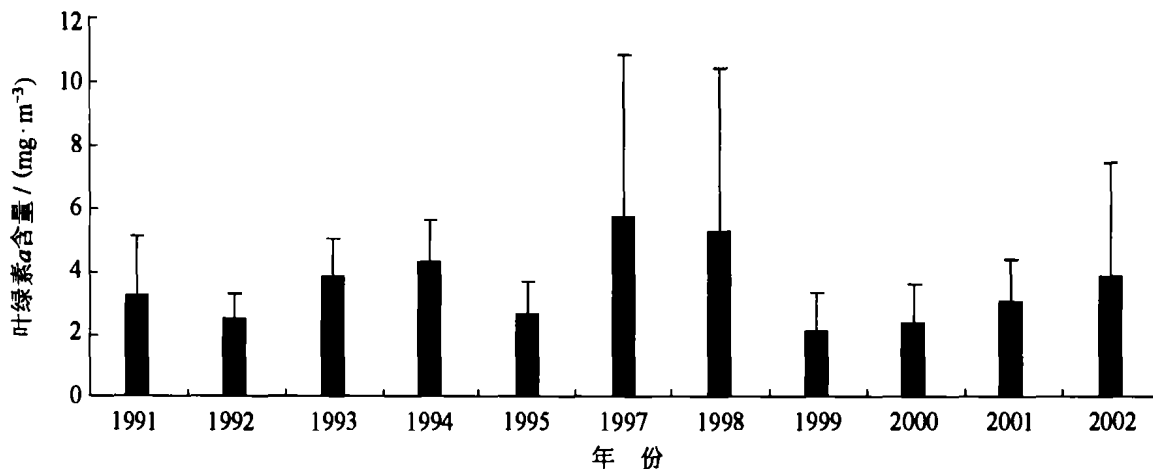


图4 胶州湾叶绿素 a 含量的年际变化

Fig.4 Annual variation of chlorophyll-*a* in different years in Jiaozhou Bay

子共同影响,胶州湾叶绿素 *a* 含量年间间存在较明显的波动,其重要原因是胶州湾水域面积小,平均水深仅为 7m;湾口狭小和外海水交换不很顺畅;全湾几乎被青岛市所包围,因而水域的环境因子易受人类活动、气象因素等明显影响。所以若以单一年度观测数据去对比某一年度或以较少的观测数据去判断年际间变化趋势,显然是不合适的。

2.2 胶州湾浮游植物粒级结构及变化

2.2.1 浮游植物粒级组成

从 2001 年 5 月—2003 年 2 月共 7 次季度月航次在 3、5 和 7 号站的调查中得出,胶州湾 3 个粒级浮游植物构成是:小型浮游植物 (micro-) 占 8.5%—62.3%,平均为 35.8%;微型浮游植物 (nano-) 为 29.6%—76.3%,平均占 51.3%;超微型的 (pico-) 为 2.8%—22.8%,平均占 12.9%。三者对浮游植物现存量的贡献是:微型的 > 小型的 > 超微型的。这同作者于 1997—1998 年在烟台四十里湾的调查结果相仿,该湾浮游植物 3 种粒级所占的比例分别是:小型的为 32.6%,微型的为 45.89%,超微型的所占的比例最小,为 21.51% (吴玉霖等,2001)。长江口海域浮游植物的粒级构成虽然同胶州湾一样是以微型的为主 (占 45%),但小型和超微型两者所占的比例非常相近 (分别占 27.6% 和 27.3%),就是说,超微型浮游植物所占比例对比胶州湾的有明显增加,而小型的所占比例却有所下降。

2.2.2 粒级组成的季节变化

胶州湾浮游植物粒级组成有着较复杂的季节变化状况 (图 5),冬季 (2 月),小型粒级所占的比例最高,达到 52.6%,而超微型粒级的比例是 4 个季度月中最低的,仅为 5.7%;春季 (5 月) 同冬季的有明显变化,小型粒级有明显下降,仅占 26.5%,而超微型粒级却是在四个季度月中最高的,达到 18.9%;至夏季 (8 月),小型粒级再次上升到 40.8%,微型粒级比上个季度有所下降,同冬季相近,但超微型粒级所占比例仍然相对较高;秋季 (11 月),微型粒级在浮游植物现存量中所占的比例是 4 个季度月中最高的,达到 61.5%,而小型粒级相对较低,仅占 25.7%,同春季的相近。

综上所述,胶州湾浮游植物粒级组成季节变化的特征是:在春季和秋季,小型粒级所占比例较低,约为 26%,而微型粒级所占比例较高,达到

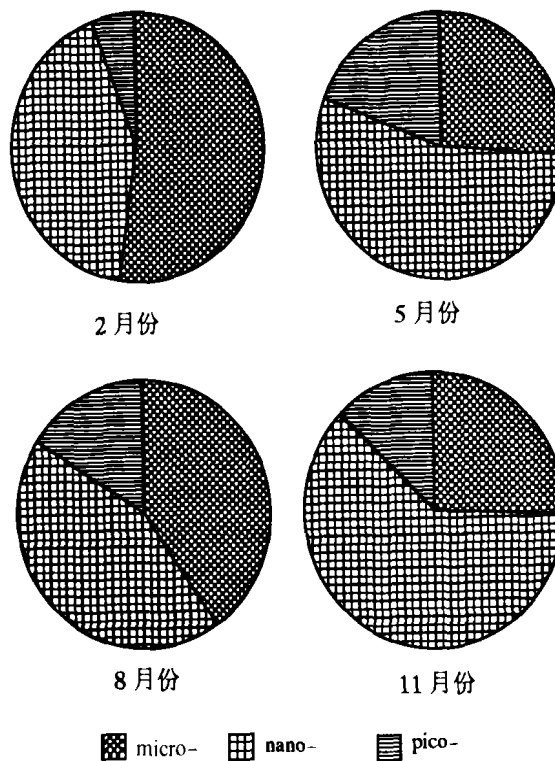


图 5 浮游植物粒级组成的季节变化

Fig.5 Seasonal variation of phytoplankton size composition

58%左右;冬季和夏季小型粒级所占比例相对较高,均在 40%以上,但微型粒级所占比例相对较低些,小于 44%。另一特征是春、夏季的超微型粒级所占的比例要比冬、秋季高,超过 15%。杨燕辉等 (2001) 报道,构成胶州湾超微型浮游植物重要成员的原核生物聚球藻 (*Synechococcus*) 在冬季由于受温度和营养盐影响,数量低,该藻夏季的数量比冬季约增加 10 倍,因而出现超微型粒级春、夏季高而冬、秋季低的状况,这同本研究的结果相一致。

2.2.3 区域间粒级组成差异

调查结果表明,胶州湾不同区域间浮游植物粒级组成有所差异;位于湾东北部的 3 号站同湾中部的 5 号站,小型、微粒和超微型 3 种粒级所占的比例相当接近 (图 6);位于湾南部的 7 号站微型粒级所占的比例相对较高,而超微型粒级较低,仅占 8.7%,但小型粒级比例同上述 2 个站相当;湾外的 10 号站超微型粒级所占比例明显比湾内高,达到 21.1%,而小型粒级比例比湾内下降。尽管调查海域存在上述区域间粒级构成差异状况,但是不同区域粒级构成的大格局还是一致的,即均以微型粒级所占的比例最高,而超微型粒级比例最小。

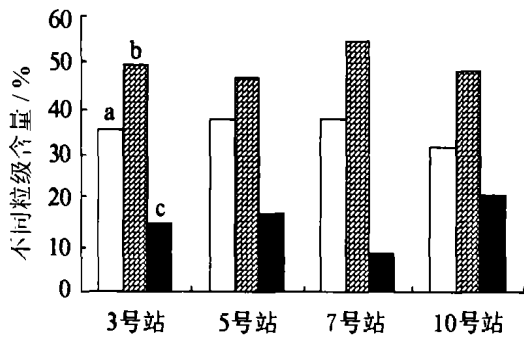


图6 不同站位浮游植物粒级组成

Fig.6 Size composition of phytoplankton at different station

a. micro-; b. nano-; c. pico-

2.2.4 同历史粒级组成资料相比 陈怀清等(1992)曾于1989—1990年在胶州湾的大港附近设点,周年逐月对浮游藻类粒级组成进行采集分析;王勇¹⁾亦曾于1998年每季度月(2、5、8和11月)对胶州湾叶绿素 *a* 进行分级测定,这些资料同本研究的比较结果见图7。由图7可以看出,3次调查胶州湾浮游植物各粒级所占比例虽有些差异,但是大格局还是一致的,即以微型粒级所占比例最高,小型粒级次之,超微型粒级所占比例最小。相对地说,1989—1990年调查中,超微型粒级所占比例低些。还应该说明的一点是,陈怀清等(1992)是以 $3\mu\text{m}$ 来界定微型粒级和超微型粒级的,而本研究和王勇¹⁾则以 $2\mu\text{m}$ 来界定。

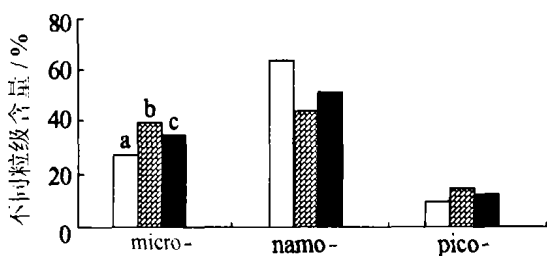


图7 不同年份浮游植物粒级组成

Fig.7 Size composition of phytoplankton in different years

a. 1989—1990年; b. 1998年; c. 本研究

3 小结

(1) 通过自1991—2002年每季度月航次调查得出:胶州湾叶绿素 *a* 年平均含量为 $2.089-5.701\text{mg}/\text{m}^3$, 多年平均为 $(3.467 \pm 1.191)\text{mg}/\text{m}^3$, 年际间有一定波动。在平面分布上,以胶州湾东

北部和西北部近岸海域含量较高,湾中部和南部较低;叶绿素 *a* 含量高峰通常出现在冬季,夏季次之,秋季含量最低,仅为 $(1.950 \pm 0.803)\text{mg}/\text{m}^3$, 存在明显的季节变化。

(2) 胶州湾浮游植物粒级构成是以微型浮游植物为主,平均占叶绿素 *a* 总量的51.3%;小型浮游植物次之,超微型浮游植物较少,两者对叶绿素 *a* 总量的贡献分别为35.8%和12.9%。

参 考 文 献

- 孙松,刘桂梅等,2002. 90年代胶州湾浮游植物种类组成和数量分布特征. 海洋与湖沼(浮游动物研究专辑),37—44
- 吴玉霖,张永山,1995. 胶州湾叶绿素 *a* 和初级生产力的分布特征. 见:董金海,焦念志主编. 胶州湾生态学. 北京:科学出版社,137—150
- 吴玉霖,1996. 叶绿素 *a* 含量与初级生产力. 见:青岛市科学技术委员会编. 青岛市海岛资源综合调查报告. 北京:海洋出版社,143—154
- 吴玉霖,周成旭,2001. 烟台四十里湾浮游植物与初级生产力. 见:焦念志等著. 海湾生态过程与持续发展. 北京:科学出版社,104—108
- 陈怀清,钱树本,1992. 青岛近海微型、超微型浮游藻类的研究. 海洋学报,14(3): 105—113
- 沈志良,陆家平,1994. 胶州湾水域的营养盐. 海洋科学集刊,35: 115—129
- 沈志良,2002. 胶州湾营养盐结构的长期变化及其对生态环境的影响. 海洋与湖沼,33(3): 322—331
- 杨燕辉,焦念志,2001. 胶州湾生态系统中超微浮游植物的地位和作用. 焦念志等著. 海湾生态过程与持续发展. 北京:科学出版社,88—95
- 郭玉洁,杨则禹,1992. 初级生产力. 见:刘瑞玉主编. 胶州湾生态学和生物资源. 北京:科学出版社,110—125
- 霍文毅,俞志明,邹景忠等,2001. 胶州湾中肋骨条藻赤潮与环境因子的关系. 海洋与湖沼,32(3): 331—318
- 潘友联,郭玉洁,曾呈奎,1995. 胶州湾口内海水中叶绿素 *a* 浓度的周年变化和垂直分布. 海洋与湖沼,26(1): 21—27
- Jeffery S W, Humphery G P, 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, C_1 and C_2 on higher plant, algae and natural phytoplankton. Biochem Physiol Pflanzen, 167: 191—194

1) 王勇,2001. 中国典型海域限制性营养盐与小型浮游动物摄食机制现场实验的初步研究. 中国科学院博士学位论文。

QUANTITATIVE STUDY ON LONG-TERM VARIATION OF PHYTOPLANKTON IN JIAOZHOU BAY

WU Yu-Lin, SUN Song, ZHANG Yong-Shan, ZHANG Fang

(Key laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences,
Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract This paper studies quantitative variation of phytoplankton (chlorophyll-*a*) based on long-term observational data during May 1991 to Nov. 2002 in Jiaozhou Bay that is a semi-enclosed bay surrounded by Qingdao City with average water depth of 7m and 2—3km wide mouth to the South Yellow Sea. Water samples were taken from the surface and bottom in 5L water-sampling bottles at ten observation stations in quarterly cruise (Feb., May, Aug., and Nov.) every year. Each 500ml sample was filtered in vacuum through cellulose acetate membrane. Chlorophyll-*a* was determined using spectrophotometer method. To calculate the chlorophyll-*a* value, formula of Jeffery and Humphery (1975) was used. The results showed that the high chlorophyll-*a* values appeared mainly in the northwestern and northeastern parts nearshore area, and the lower were found in the middle and southern parts of Jiaozhou Bay. Chlorophyll-*a* value was higher inside the bay than outside the bay. It was similar in this respect to the horizontal distribution of nutrients ($\text{NO}_3\text{-N}$; $\text{NH}_4\text{-N}$; $\text{PO}_4\text{-P}$ and $\text{SiO}_3\text{-Si}$) in Jiaozhou Bay. An obvious seasonal variation of chlorophyll-*a* was found. The peak of chlorophyll-*a* value frequently occurred in winter and summer, with the mean of $(4.72 \pm 3.15) \text{mg/m}^3$ and $(4.33 \pm 2.57) \text{mg/m}^3$, respectively. In spring, the mean of chlorophyll-*a* was $(2.78 \pm 2.43) \text{mg/m}^3$. The lowest occurred in autumn, only $(1.95 \pm 0.80) \text{mg/m}^3$. Annual mean content of chlorophyll-*a* from 2.09mg/m^3 to 5.70mg/m^3 , mean of $(3.47 \pm 1.19) \text{mg/m}^3$. Annual fluctuation of chlorophyll-*a* value was obvious in 1980s to 1990s. Because of the phytoplankton standing stock was limited by a number of factors including the availability of nutrients and certain trace substances, light, temperature, water column stability etc. Man-induced fluxes of waste water had a significant effect on the variation of chlorophyll-*a* value.

The composition of chlorophyll-*a* contents of different-sized phytoplankton showed that the mean percentage of microphytoplankton ($> 20\mu\text{m}$) was 35.8%; the nanophytoplankton ($2\text{—}20\mu\text{m}$) and picophytoplankton ($< 2\mu\text{m}$) were 51.3% and 12.9%, respectively, showing the order as nano- $>$ micro- $>$ pico-. Pattern of the distribution changed with season. In winter, the pico- portion contributed the smallest amount to the phytoplankton standing stock among other seasons because *Synechococcus*, the main component of the picophytoplankton in the Bay, its abundance is constrained by temperature and nutrients. The nanophytoplankton dominates the contribution over other two.

Key words Jiaozhou Bay, Chlorophyll-*a*, Phytoplankton, Long-term variation