

厦门港赤潮调查研究 论文集

COLLECTED PAPERS ON RED TIDE SURVEY AND STUDY
IN XIAMEN HARBOUR

国家海洋局第三海洋研究所
Third Institute of Oceanography
State Oceanic Administration



海洋出版社

China Ocean Press

1993



厦门港赤潮调查研究论文集

COLLECTED PAPERS ON RED TIDE SURVEY AND STUDY
IN XIAMEN HARBOUR

国家海洋局第三海洋研究所
Third Institute of Oceanography
State Oceanic Administration

海 洋 出 版 社

China Ocean Press

1993 年 · 北京

内 容 简 介

1986年6月,厦门港发生了一起裸甲藻赤潮,国家海洋局第三海洋研究所立即组织“赤潮调查研究协调组”,连续三年进行调查研究,写成本文集。全集共20篇论文与调查报告。其内容包括厦门港1987年赤潮调查报告;短角弯角藻赤潮的形成过程及其成因分析;赤潮发生区的浮游植物生态及叶绿素a、浮游动物群落、夜光藻、细菌量的分布特征;发现了一种筑筌湖污水指示藻;分析了环境无机氮营养盐、水体的营养状态、活性磷酸盐、有机磷、营养盐含量变化与水文和生物因素的关系、悬浮物中Fe、Mn和Cu含量变化、水文气象条件、溶解氧的时空变化、pH分布及其与赤潮和环境因子的关系;进行了几种贝类麻痹性贝毒的生物测定。同时,附录了“厦门西港区一次赤潮的观测”、“一起与赤潮有关的贝类中毒事件的调查”两篇文章。该书可供国内外海洋、水产、环境保护部门的科技人员和管理人员以及中、高等院校有关专业师生参考。

(京)新登字 087 号

责任编辑 马凤珍

特约编辑

林惠来 刘国威 郭水伙

厦门港赤潮调查研究论文集

Collected Papers on Red Tide Survey and Study
in Xiamen Harbour

国家海洋局第三海洋研究所

Third Institute of Oceanography, SOA

*

海洋出版社(北京市复兴门外大街1号 100860)出版

海洋出版社发行处(北京市复兴门外大街1号)

《台湾海峡》编辑部(厦门市 0570 信箱 361005) 发行

厦门大学印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:9.875 字数:240千字

1993年7月第一版 1993年7月第一次印刷

印数:1~800

*

统一书号:ISBN 7-5027-3412-0/P·277 定价:12元

前 言

赤潮在我国沿岸海域的发生频率不断地增加,范围逐渐地扩大,危害日趋严重,它已成为我国海洋经济进一步发展的制约因素之一,从而引起了人们的普遍关注。

1986年6月,厦门港发生了一起较大规模的裸甲藻赤潮,对该港区的海洋生态系和渔业造成一定影响。在得知赤潮发生后,我所立即组织科技人员赶赴现场进行应急跟踪调查,取得了许多赤潮发生现场的宝贵资料,撰写了“厦门西港区一次赤潮观测”论文(附录1)。根据资料分析,我们认为该海域今后有可能成为赤潮多发区,是研究赤潮发生机制的一个良好的天然实验场所。为此,我所成立了“赤潮调查研究协调组”,在国家海洋局的支持下,立项进行研究,连续三年(1987~1989年)坚持不懈地开展现场监视、监测,一些重要参数每隔3~5天观测一次,以便及时了解海域赤潮生物和环境的动态。结果于1987年5月,在全国首次跟踪观测到短角弯角藻(*Eucampia zoodiacus*)赤潮的形成、发展、消亡的全过程,使我们对赤潮的成因有了进一步认识。

本文集共收入论文和调查报告20篇,主要是1987年跟踪观测的成果。有2篇有关贝毒的调查报告是邻近海区——东山县诏安湾的资料,考虑到其参考价值,也收入其中。我们希望本文集的出版能有助于把我国的赤潮研究工作搞得更快些、更好些。

本文集由国家海洋局科技司提供出版经费,周秋麟为文集的出版做了大量工作、审定了全部英文摘要,陈慧清清绘部分图件并负责文集的发行,在此一并致谢。

国家海洋局第三海洋研究所赤潮调查研究协调组

张水浸 陈其焕 曹昭文 许昆灿

1992年10月

目 录

厦门港 1987 年赤潮调查报告	陈其焕 曾昭文 张水浸 许昆灿(1)
厦门港 <i>Eucampia zoodiacus</i> 赤潮的形成过程及其成因分析	张水浸(19)
厦门港赤潮发生区浮游植物的生态特征	张水浸(29)
厦门港赤潮发生区叶绿素 a 的分布变化特征	陈其焕 陈兴群 张 明(38)
厦门港赤潮发生区浮游动物群落的基本特征	连光山 林玉辉(46)
厦门港赤潮发生区夜光藻的生态	林玉辉 连光山(54)
厦门港赤潮发生区细菌量的分布特征	曾活水 林燕顺 姚瑞梅(60)
厦门港赤潮发生区发现的一种笏簋湖污水指示藻	杨清良 张水浸(66)
厦门港赤潮发生区无机氮营养盐的变化特征	许昆灿(71)
厦门港赤潮发生区活性磷酸盐的分布特征	曾昭文(79)
厦门港赤潮发生区的有机磷及其分布	陈淑美 傅天保 林建云(86)
厦门西港赤潮发生期间水体的营养状态	陈 砚(92)
厦门港赤潮发生区营养盐含量变化与水文、生物因素的关系	 暨卫东 许昆灿 陈 砚(98)
厦门港赤潮发生区悬浮物中 Fe、Mn、Cu 含量的变化特征	 杜荣归 张功勋 郑久华 李锦霞(109)
厦门港赤潮发生区的水文气象条件	黄英凯(117)
厦门港赤潮发生区溶解氧的时空变化及与其他要素的关系	庄万金(123)
厦门港赤潮发生区海水 pH 的分布及与赤潮的关系	庄万金(130)
几种贝类麻痹性贝毒的生物测定	杨 丰 李蓬春 陈荣忠 周秀兰 王初升(137)
附录	
厦门西港区一次赤潮的观测	张水浸 许昆灿 陈其焕 曾昭文(140)
一起与赤潮有关的贝类中毒事件的调查	林金美 张水浸 王初升(147)

CONTENTS

4

Report on the red tide occurred in Xiamen Harbour in 1987	
..... <i>Chen Qihuan, Zeng Zhaowen, Zhang Shuijin and Xu Kuncan</i>	(18)
Analysis of the development and causes of <i>Eucampia zoodiacus</i> red tide in Xiamen Harbour	
..... <i>Zhang Shuijin</i>	(27)
Ecological features of phytoplankton from red tide occurring area in Xiamen Harbour	
..... <i>Zhang Shuijin</i>	(36)
Characteristics of chlorophyll a distribution from red tide occurring area in Xiamen Harbour	
..... <i>Chen Qihuan, Chen Xingchun and Zhang Ming</i>	(45)
Essential characteristics of zooplankton community from red tide occurring area in Xiamen Harbour	
..... <i>Lian Guangshan and Lin Yuhui</i>	(53)
Ecology of <i>Noctiluca scintillans</i> from red tide occurring area in Xiamen Harbour	
..... <i>Lin Yuhui and Lian Guangshan</i>	(59)
Distribution characteristics of bacterial counts from red tide occurring area in Xiamen Harbour	
..... <i>Zeng Huoshui, Lin Yanshun and Yao Ruimei</i>	(65)
An alga as indicator of sewages from Yuandang Lake in red tide occurring area in Xiamen Harbour	
..... <i>Yang Qingliang and Zhang Shuijin</i>	(70)
Features of concentration variation of inorganic nitrogen nutriment from red tide occurring area in Xiamen Harbour	
..... <i>Xu Kuncan</i>	(78)
Distribution characteristics of reactive phosphate from red tide occurring area in Xiamen Harbour	
..... <i>Zeng Zhaowen</i>	(85)
Distribution of organic phosphorus from red tide occurring area in Xiamen Harbour	
..... <i>Chen Shumei, Fu Tianbao and Lin Jianyun</i>	(90)
Nutrient condition in West Xiamen Harbour during the period of red tide event	
..... <i>Chen Yan</i>	(97)
Relationship between the change of nutrient content and hydrologic, biologic factors from red tide occurring area in Xiamen Harbour	
..... <i>Ji Wendong, Xu Kuncan and Chen Yan</i>	(108)
Features of the concentration variation of Fe, Mn and Cu in suspended matter from red tide occurring area in Xiamen Harbour	
..... <i>Du Ronggui, Zhang Gongxun, Zheng Jiuhua and Li Jinxia</i>	(116)

Hydro-meteorologic conditions from red tide occurring area in Xiamen Harbour	<i>Huang Yingkai</i> (122)
Temporal and spacial changes of dissolved oxygen from red tide occurring area in Xiamen Harbour and its relationship with other main elements	<i>Zhuang Wanjin</i> (129)
Distribution of pH in seawater in red tide occurring area of Xiamen Harbour and its relationship with red tide outbreak	<i>Zhuang Wanjin</i> (136)
Toxicity of paralytic shellfish poison detected in shellfishes using bioassay	... <i>Yang Feng, Li Fengchun, Chen Rongzhong, Zhou Xiulan and Wang Chusheng</i> (139)

APPENDIX

Observation of a red tide event in the Western Harbour, Xiamen	<i>Zhang Shuijin, Xu Kuncan, Chen Qihuan and Zeng Zhaowen</i> (146)
Case study of shellfish poisoning resulted from red tide	<i>Lin Jinmei, Zhang Shuijin and Wang Chusheng</i> (150)

厦门港 1987 年赤潮调查报告

陈其焕 曾昭文* 张水浸 许昆灿

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门, 361005)

【摘要】本文报道了厦门港 1987 年赤潮调查结果。该区常年水温较高, 5~11 月在 20℃ 以上, 水体交换较差, 营养盐较丰富, 无机氮平均值为 $15\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, 活性磷酸盐为 $0.5\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, 底质有机质含量逐年增加, 浮游生物量普遍较高, 叶绿素 a 年均含量达 $4.7\text{mg}/\text{dm}^3$, 浮游植物细胞数达 1×10^6 个/ dm^3 。海区属于轻度富营养化, 一般不易发生赤潮。但如遇降雨, 把大量陆地营养物质排入海中, 加上其他条件适宜, 则可能发生赤潮。文中还对 5 月 11~26 日发生短角弯角藻赤潮的发生原因进行了分析, 认为降雨引起盐度降低, 并使陆地大量有机质入海, 营养盐骤增, 尤其是 P、Fe、Mn 增加是形成该赤潮的重要因素。

关键词 赤潮, 浮游生物, 营养盐, 港湾, 福建

赤潮是某些浮游生物暴发性繁殖或聚集, 引起水色变化的一种生态异常现象。赤潮的发生对海洋生态平衡和水产资源有很大的危害, 因此引起海洋环境科学界和社会的关注。近年来, 随着工农业的发展和人口的增加, 大量富含氮、磷的有机污染物排入海中, 造成某些水体交换不良的海湾富营养化, 赤潮的发生有逐年增加的趋势。

1986 年夏季, 厦门西港发生了较大规模的裸甲藻(*Gymnodinium* sp.) 赤潮。我们曾对该次赤潮进行跟踪观测^[1]。厦门西港位于厦门岛以西, 高集海堤和集杏海堤以南, 嵩屿-鼓浪屿-避风坞连线以北的海域(图 1), 是一个半封闭的内湾, 面积约 50km^2 , 口部最狭处仅 600 多米宽, 整个海区的形状似倒置的葫芦。本海区海水运动的主要形式是潮流。潮汐为正规半日潮。由于退潮时表层海水先退, 涨潮时底层海水先涨, 形成高潮前后上、下流向相反的现象; 而且在宝珠屿以北有一顺时针环余流, 在酒翁礁附近和田边东北各有一逆时针环余流, 因此水体交换条件较差^[2,3]。在海区的周围有多处的污染源, 如筴筴湖、马銮湾、杏林工业区、湖里加工区等排入大量的工农业污水和污染物, 加之本海区下层余流大多指向湾内, 不利于沉性污染物向外输送。由于厦门西港有以上特殊的环境条件, 因此较有可能再次发生赤潮。另据当地渔民反映, 往年在该海区也经常见到水色异常的现象。为此, 我们自 1987 年 1 月起对厦门西港的生态环境进行了周年调查, 以了解赤潮的发生发展过程以及与环境因子的关系, 为今后厦门西港赤潮的预测预报提供依据。

参加本调查内外业工作的有, 厦门海洋管区、本所生物研究室的浮游生物组、底栖生物组、初级生产力组、微生物组, 化学研究室的水化组、无机组、有机组及情报资料室。

* 曾昭文现在国家海洋局厦门海洋管区工作。

一、调查概况

1987年1~12月共出海56次,包括大面观测、周日连续观测和小范围监测等形式的调查,进行了水文、化学、生物、底质等多学科、多项目的测定。

1. 调查站位的布设及时间

本调查着重调查较有可能发生赤潮的海区,因此调查范围主要在筴筴湖口-嵩屿连线以北,宝珠屿周围的海域,共设1个周日连续观测站和10个大面观测站。为便于比较,在厦鼓水道及高集海堤以东各设一测站(10和19号站)作为对照站(图1)。

为便于发现赤潮的发生过程,本次调查除定期进行大面和连续观测外,还在可能发生赤潮的季节增加观测次数和进行小范围的重点监测,具体调查情况如下:

1~3月,每月进行一次大面和一次连续观测(1月份连续观测站为17号站,2月份为16号站,3月份以后改为14号站);

4~12月,每月进行2次大面(大、小潮各一次)和一次周日连续观测(14号站);

4~10月,3~5d对13、14、16号站进行小范围监测。

2. 调查项目及方法

(1) 水文 水温、盐度、水色、透明度;

(2) 化学 pH、溶解氧(DO)、化学耗氧量(COD)、硝酸氮(NO_3^- -N)、亚硝酸氮(NO_2^- -N)、铵氮(NH_4^+ -N)、活性磷酸盐(PO_4^{3-} -P)、可溶性硅酸盐(SiO_3^{2-} -Si)、总氮、总磷、Cu、Fe和Mn;

(3) 底质 有机质、硫化物;

(4) 生物 浮游植物、浮游动物、细菌计数、叶绿素a。

以上项目,浮游植物系采用采水沉淀倒置并显微镜计数法,细菌计数采用外萤光计数法;叶绿素a采用萃取萤光法;其余项目基本上按《海洋调查规范》^①和《海洋污染调查暂行规范》^②的方法测定。

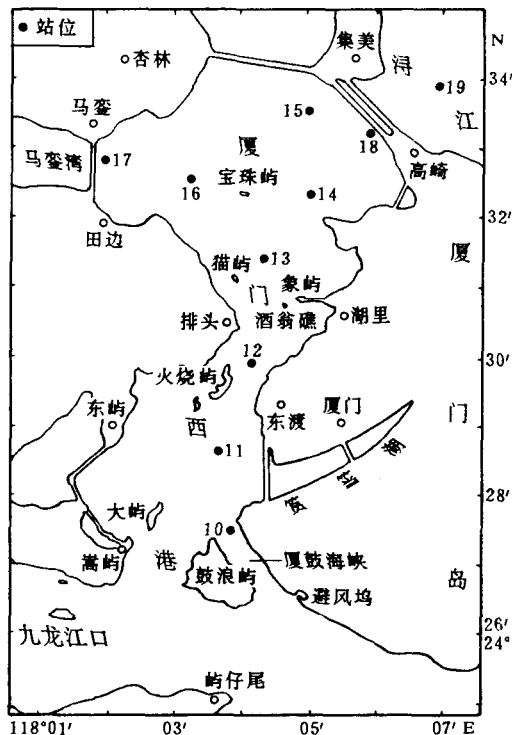


图1 调查站位的布设

Fig. 1 Distribution of survey stations

三、环境因素的基本特征

1. 水温

① 国家海洋局,海洋调查规范,1975。

② 国家海洋局,海洋污染调查暂行规范,1984。

海水温度是海洋环境中最重要的生态因子之一,水温对生物的生活起着重要的作用。在适温范围内,当温度升高时将加速生物的新陈代谢,增加繁殖速度。赤潮一般都发生在水温较高的季节。据报道,日本的赤潮一般发生在水温 15~25℃间,通常在 20~25℃时发生赤潮^[4,5]。厦门西港是一半封闭内湾,依靠潮流与外海水进行交换。在不同季节里受到浙闽沿岸水及海峡暖流水等不同水系的影响。此外,由于湾内水浅,因此气温也对本海区的水温产生一定的影响。调查海区地处亚热带,终年水温较高,年平均水温达 22℃,变化范围在 14.50~31.70℃间,7 月份平均水温最高(29.6℃),1 月最低(16.3℃)。各月大、小潮水温平均值示于表 1、图 2。由图、表可见,不论表层或底层,5~11 月的水温均在 21℃以上。7~9 月为高温季节,平均水温在 28℃以上。9 月以后水温开始急剧下降。12 月至翌年 4 月水温均较低。对照气温资料发现,水温与气温有很密切的关系,4 月份水温下降可能与观测前遇到冷空气南下有关。

表、底层水温差别不大,仅在 6~9 月的高温季节里,表层水温一般比底层高 1~2℃。

调查海区水温的平面分布变化不大,其分布由湾口向湾内呈逐渐升高的趋势。除 12 月外,一般湾内的水温均比对照的 10 号站高 1~2℃。

表 1 各月水温平均值及变化范围(℃)

Tab. 1 Monthly averaged water temperature and range (℃)

月份 项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
表层	16.31	16.51	16.96	16.65	21.51	25.21	30.18	29.37	29.23	25.97	23.66	17.50
底层			16.79	15.96	21.33	23.57	28.92	27.42	28.60	25.69	23.54	17.41
平均	16.31	16.51	16.87	16.31	21.42	24.39	29.55	28.40	28.92	25.83	23.60	17.46
最大值	16.70	16.90	17.50	18.20	23.30	27.90	30.90	30.90	31.70	26.30	25.30	19.70
最小值	15.80	16.00	16.50	15.60	19.20	22.60	27.70	25.60	27.90	25.10	22.00	14.50

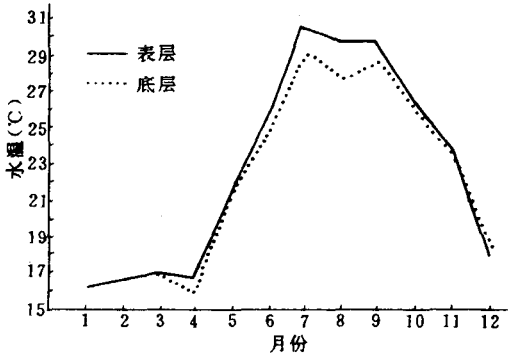


图 2 水温月平均值的变化

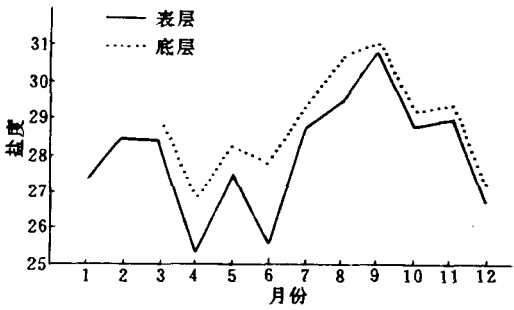


图 3 盐度月平均值的变化

Fig. 2 Variation of monthly averaged water temperature Fig. 3 Variation of monthly averaged salinity

2. 盐度

盐度是浮游生物生活的重要环境因素之一。许多报道认为,降雨引起的海水盐度下降是浮游生物异常增殖的物理刺激因素,也是发生赤潮的重要因素^[4,5]。

厦门西港周围无大陆径流直接排入,仅受九龙江水的间接影响。本海区的盐度,除受外海水影响外,降水也是一个重要因素。调查表明,其年平均盐度为 28.30,其变范围在 18.98~32.33 之间。各月(大、小潮)盐度平均值示于表 2 和图 3。由其可见,厦门西港的盐度以 9 月份最高(30.83),7~9 月的盐度均在 29 以上,这可能是由于高温高盐的暖水入侵引起的。4 月份最低(26.01),4 月和 6 月海水盐度的均值均为 26 左右,这可能是由于降雨引起了盐度下降。

表 2 各月盐度平均值及变化范围

Tab. 2 Monthly averaged salinity and range

月份 项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
表层	27.197	28.431	28.337	25.288	27.482	25.427	28.671	29.096	30.740	28.727	28.935	26.682
底层			28.818	26.726	28.189	27.614	29.408	30.535	30.933	29.119	29.365	27.058
平均	27.197	28.431	28.578	26.007	27.835	26.520	29.040	29.816	30.836	28.923	29.150	26.870
最大值	27.582	28.749	29.124	28.839	29.846	29.861	31.905	32.326	31.559	30.010	30.910	28.587
最小值	26.814	27.555	27.424	21.899	24.808	18.977	27.525	27.204	29.841	27.831	28.130	25.834

调查海区盐度垂直变化的特点为底层一般比表层高 0.5~1.0 左右,但是在雨季的 4 月和 6 月相差较大,往往超过 1。

盐度的平面分布由湾口向湾内呈逐渐递减的趋势。

3. pH

海水的 pH 值是浮游生物生长繁殖的环境条件,同时浮游生物的生长繁殖也对海水中的 pH 值产生影响。当浮游植物大量繁殖时,由于光合作用增强,大量吸收 CO_2 将使海水的 pH 值增加;反之,当浮游生物呼吸或死亡分解产生 CO_2 将使 pH 值下降。海水的 pH 值通常在 7.5~8.4 之间。

厦门西港的 pH 在 7.90~8.46 之间,80%以上测站的 pH 值在 8.00~8.30 之间。各月 pH 的平均值变化如图 4 所示。由图 4 可见,表层 pH 以 5 月份最高(8.31),10 月最低(7.98),2~6 月较高,均在 8.2 以上。8~10 月为低值期,46%测站的 $\text{pH} < 8.00$ 。底层 pH 的变化趋势与表层的相似,但是底层的 pH 值普遍比表层稍低,这可能与底层光合作用较低且在底层有较大量的有机物分解有关。

pH 的平面分布,在夏、秋和冬季分布较均匀,变化不大;春季则由湾口向湾内呈逐渐递增的趋势,以宝珠屿附近的水域为高值区(5 月份 pH 在 8.35 以上),与此同时对照站(10 号站)的 pH 仅 8.09。这与此时在宝珠屿出现赤潮,浮游植物生物量比对照海域的高,大量地吸收 CO_2 引起 pH 值升高相一致。

4. 溶解氧及其饱和度

海水中的溶解氧含量是重要的生态因素,也是评价水质的重要指标。水中含氧量除与海洋物理、化学因素有关外,浮游植物的光合作用及生物的呼吸也能改变水中氧含量。

本次调查测得年平均含氧量为 $7.16\text{mg}/\text{dm}^3$ 。氧的饱和度为 99.2%。溶解氧的范围为 4.00~11.34 mg/dm^3 ,饱和度的范围为 60.9%~168.0%。从溶解氧及其饱和度的月平均值的变化(表 3 和图 5、6)可以看出,不论表层或底层,高峰均在 5 月份,9 月最低。1~6 月的溶解氧都

比较高($>8\text{mg}/\text{dm}^3$)。溶解氧饱和度(图 6)也是 5 月份最高(128%),9、10 月份最低(85.8%),1~8 月份溶解氧饱和度均 $>100\%$ 。

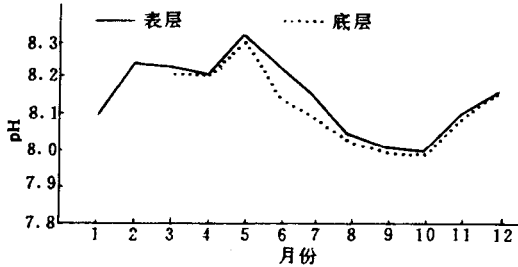


图 4 pH 月平均值的变化

Fig. 4 Variation of monthly averaged pH

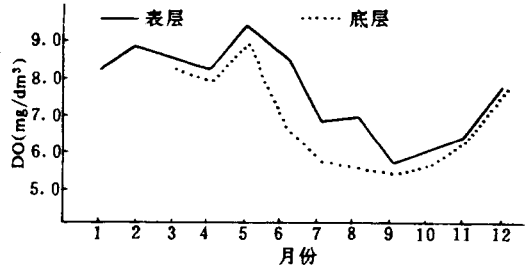


图 5 溶解氧月平均值的变化

Fig. 5 Variation of monthly averaged dissolved oxygen

表层溶解氧一般均比底层的高,尤以浮游植物大量繁殖的季节,表、底层溶解氧的差别更大,例如 5 月份 17 号站表、底层溶解氧分别为 $10.49\text{mg}/\text{dm}^3$ 和 $8.74\text{mg}/\text{dm}^3$,表、底层的溶解氧相差 $1.75\text{mg}/\text{dm}^3$,饱和度相差 25.4%。

表 3 各月溶解氧及其饱和度的平均值及变化范围

Tab. 3 Monthly averaged DO and DO saturation and range

月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
项目	表层	8.05	8.77	8.33	8.08	9.24	8.44	6.70	6.86	5.58	5.99	6.34	7.70
	底层			8.17	7.83	8.82	6.56	5.65	5.56	5.34	5.62	6.23	7.66
	平均	8.05	8.77	8.25	7.96	9.03	7.50	6.18	6.21	5.46	5.80	6.28	7.68
	最大值	8.58	9.07	8.92	9.48	10.49	11.34	8.27	8.52	6.08	6.60	6.66	8.38
	最小值	7.70	7.55	7.29	7.14	7.86	5.36	4.00	4.90	4.90	5.06	5.80	7.12
饱和度(%)	表层	99.6	109.3	105.3	99.6	128.0	121.3	105.8	107.8	88.0	88.6	90.6	97.2
	底层			103.5	96.0	123.1	92.8	88.0	85.4	83.6	83.0	89.0	96.6
	平均	99.6	109.3	104.4	97.8	125.6	107.0	96.9	96.6	85.8	85.8	89.8	96.9
	最大值	107.5	114.3	113.0	114.6	147.3	168.0	131.5	134.0	99.9	96.9	94.6	99.1
	最小值	94.7	92.6	91.0	88.0	110.4	75.5	60.9	74.8	77.5	75.3	83.9	93.6

溶解氧的平面分布,在冬、春季一般均由湾口向湾内呈逐渐升高的趋势,在宝珠屿至马銮湾口和石湖一带为高值区,如 2 月份这一带的溶解氧在 $9\text{mg}/\text{dm}^3$ 以上,5 月份宝珠屿至马銮湾口表层溶解氧在 $10\text{mg}/\text{dm}^3$ 以上,而此时对照点(10 号站)仅为 $7.47\text{mg}/\text{dm}^3$ 。以上看出,在浮游植物繁殖季节,湾内浮游植物对海水中溶解氧的含量起着相当大的作用。

5. 化学耗氧量(COD)

化学耗氧量或称耗氧有机物(COD)是衡量水体富营养化的重要指标。邹景忠(1983)根据日本的有关规定拟定 $\text{COD } 1\sim3\text{mg}/\text{dm}^3$ 作为富营养化阈值^[6]。花岡 资(1980)指出,COD 值在 $2\sim6\text{mg}/\text{dm}^3$ 时,某些赤潮生物较易发生赤潮^[5]。

本次调查测得本海区的 COD 多数在 $1\sim 2\text{mg}/\text{dm}^3$ 之间。年均值为 $1.38\text{mg}/\text{dm}^3$, 变化范围在 $0.61\sim 2.82\text{mg}/\text{dm}^3$ 间。从 COD 各月平均变化(图 7)可以看出, 以 3 月份最高($1.94\text{mg}/\text{dm}^3$), 1 月最低($0.98\text{mg}/\text{dm}^3$)。在所有 COD 的测值中, 绝大部分在 $2\text{mg}/\text{dm}^3$ 以下, 大于 $2\text{mg}/\text{dm}^3$ 仅占 5%。

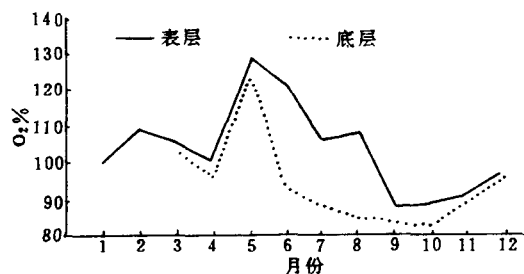


图 6 溶解氧饱和度月平均值的变化

Fig. 6 Variation of monthly averaged DO saturation

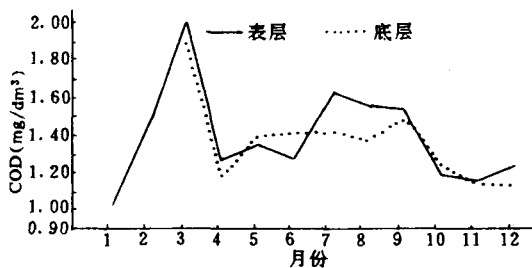


图 7 COD 月平均值的变化

Fig. 7 Variation of monthly averaged COD

6. 营养盐

浮游植物的生长繁殖除了需要 CO_2 和水进行光合作用外, 也需要吸收一定的 N、P、Si 等营养盐。适量的营养盐将促进植物的生长繁殖; 然而, 过量的营养盐将促使某些种类的浮游植物迅速地生长繁殖并形成赤潮。因此, 富营养是发生赤潮物质基础。海水中的氮源主要为 NO_3^- -N、 NO_2^- -N 和 NH_4^+ -N 三种形式。其中 NO_2^- -N 是其他两种氮的中间产物且含量较少, 一般也少为浮游植物所利用。通常认为, 浮游植物生长首先利用 NH_4^+ -N; 当 NH_4^+ -N 减少到一定浓度以下时则吸收 NO_3^- -N。根据日本水产环境水质标准规定, 赤潮发生的下限条件为氮 $0.1\text{mg}/\text{dm}^3$ ($7\mu\text{mol}/\text{dm}^3$), 磷 $0.015\text{mg}/\text{dm}^3$ ($0.5\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)^[7,8]。Topping(1976)根据微宇宙进行的现场实验并结合现场调查提出, 当近岸海水中氮、磷浓度分别达到 $12\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 和 $1\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 时, 对浮游植物的生长仅起促进作用而不改变种群结构; 但当浓度提高到以上浓度 3 倍时, 即氮 $36\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, 磷 $3\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 时, 能促进浮游植物生长, 使浮游植物数量增加 8 倍, 同时也改变了原来的种群结构^[9]。

(1) 硝酸盐(NO_3^- -N) 调查海区 NO_3^- -N 的平均含量为 $9.00\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, 其范围在 $1.42\sim 32.30\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 之间。 NO_3^- -N 的月平均含量及范围如表 4 和图 8 所示。由其可见, 表、底层的 NO_3^- -N 均以 4 月份最高(表层 $19.76\mu\text{mol}/\text{dm}^3$), 2 月份最低($3\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)。这可能是 4 月份为

表 4 硝酸盐月平均含量及变化范围($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)Tab. 4 Monthly averaged nitrates and range ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)

月份 项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
表层	13.26	3.00	5.76	19.70	7.11	9.01	6.46	4.46	6.04	13.32	11.90	13.18
底层			5.10	15.82	5.53	7.07	5.49	3.72	5.66	13.32	11.78	13.19
平均值	13.26	3.00	5.43	17.76	6.32	8.04	5.98	4.09	5.85	13.32	11.84	13.18
最大值	18.60	5.49	11.50	32.30	20.30	22.11	9.03	7.21	6.95	16.13	14.36	15.75
最小值	9.65	2.02	2.19	13.10	3.04	1.45	1.42	1.72	2.60	9.80	9.55	9.30

雨季,中甸雨量总计约达 100mm,把陆地的许多有机物带入海中,加之此时浮游植物数量较少,所消耗的营养盐少,因此海水中的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 高。由图还可看出,10 月至翌年 1 月也是 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的高峰期,这与该阶段的低浮游植物数量有关。在浮游植物最高峰的 5 月份,仍保有 $5\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 以上的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$,这说明本海区的氮比较丰富。

硝酸氮的平面分布,在高 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的秋、冬季(10~1 月),湾口和湾内的含量相差不大,且与对照站也大致相同,这说明在此段时间内高营养的沿岸流在本海区起主导作用。在浮游植物大量繁殖的 3~6 月,一般湾口稍高于湾内;7~9 月, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量较低($3\sim 5\mu\text{mol}/\text{dm}^3$),分布较均匀。

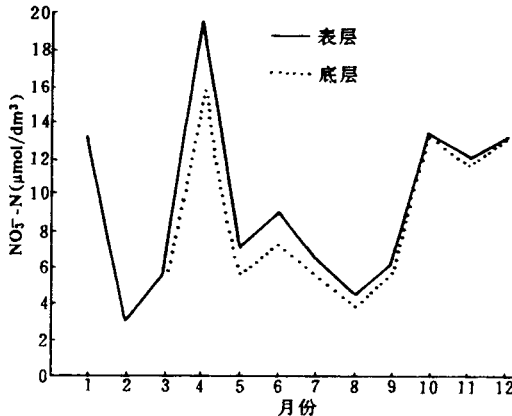


图 8 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 月平均值的变化

Fig. 8 Variation of monthly averaged $\text{NO}_3^- \text{-N}$

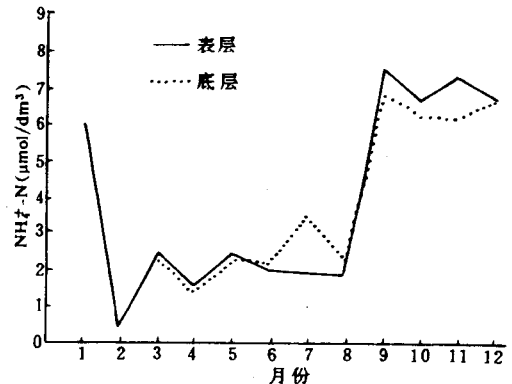


图 9 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 月平均值的变化

Fig. 9 Variation of monthly averaged $\text{NH}_4^+ \text{-N}$

(2)亚硝酸氮($\text{NO}_2^- \text{-N}$) 调查海区 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的平均含量 $1.63\mu\text{mol}/\text{dm}^3$,范围在 $0.18\sim 5.55\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 间,以 10 月最高,平均值达 $4.49\mu\text{mol}/\text{dm}^3$,4 月和 10~12 月的 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 都在 $1.5\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 以上,其他月份都在 $1\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 以下。

(3)铵氮($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) 铵氮的平均含量为 $3.94\mu\text{mol}/\text{dm}^3$,范围在 $0.00\sim 17.10\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 之间。 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的月平均含量示于表 5 和图 9。由图、表可见, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的变化较大,9 月至翌年 1 月份为铵氮的高峰期,其含量在 $6\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 以上,2 月份最低仅 $0.37\mu\text{mol}/\text{dm}^3$,其余的月份在 $2\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 左右。

表 5 铵氮月平均含量及变化范围($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)

Tab. 5 Monthly averaged ammonium concentration and range ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
项 目												
表 层	5.97	0.37	2.62	1.60	2.54	2.07	1.92	1.92	7.62	6.72	7.34	6.76
底 层			2.46	1.55	2.38	2.24	3.54	2.31	6.89	6.31	6.23	6.72
平 均 值	5.97	0.37	2.54	1.58	2.46	2.16	2.73	2.12	7.26	6.52	6.78	6.74
最 大 值	11.60	0.93	4.93	2.00	3.94	4.75	17.10	5.51	10.24	11.69	13.20	13.46
最 小 值	2.79	0.00	1.26	0.16	0.99	0.54	0.77	0.52	4.48	1.39	1.21	0.00

由以上三种形式的氮的总和得出“三氮”的年平均含量为 $14.98\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 。各月“三氮”的平均含量示于表 6, 由表可见, 10~12 月为 $>21\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 的高峰期, 其他月份在 $7\sim21\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 之间。按上述评价富营养化的标准, 本海区的无机氮的含量达到轻度富营养化 ($>12\mu\text{mol}/\text{dm}^3$) 的标准。

(4) 活性磷酸盐 ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 活性磷酸盐 (以下简称磷) 是浮游植物生长繁殖的重要元素, 尤其在中国南方海区一般都存在着富氮乏磷的现象, 磷在这些海区往往成为浮游植物生长繁殖的限制因子。在 1986 年夏季对厦门西港裸甲藻赤潮的调查中也发现, 磷对赤潮生物的发展起关键性作用。关于磷的富营养化和发生赤潮的浓度指标, 尚无定论。邹景忠等主张渤海湾磷的富营养化阈值为 $0.045\text{mg}/\text{L}$ ($1.5\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)^[6], 这样的浓度也许不太适合于南方海区。实际上也不可能订出一个营养指标适用于各个海区, 因为各种生物适应于各海区的营养条件。根据日本水产环境水质标准规定赤潮发生的下限条件, 磷为 $0.015\text{mg}/\text{L}$ (即 $0.5\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)^[7]。

表 6 “三氮”月平均含量 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)Tab. 6 Monthly averaged total nitrogen— NO_2 , NO_3 and NH_4 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)

月 份 项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
表层			9.26	22.98	10.64	12.01	9.12	7.13	14.4	24.4	23.29	22.04
底层			8.36	18.89	8.84	10.11	9.64	6.69	13.31	24.25	22.13	21.99
平均			8.81	20.94	9.74	11.06	9.38	6.91	13.86	24.32	22.71	22.02

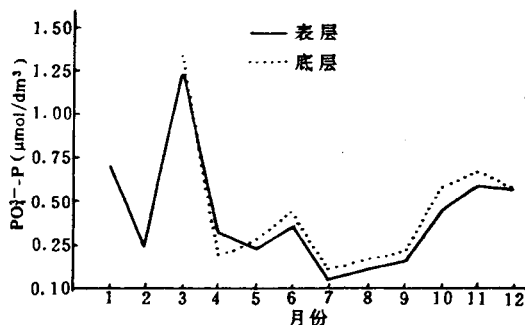
本次调查测得磷的年平均含量为 $0.50\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 。表层的平均值为 $0.48\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, 底层的为 $0.52\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, 其范围为 $0.00\sim1.47\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 。从表 7 和图 10 可以看出, 磷的含量以 3 月份最高 ($1.32\mu\text{mol}/\text{dm}^3$), 7 月份最低 ($0.16\mu\text{mol}/\text{dm}^3$); 从图还可看出, 秋末冬初 (10 月至翌年 1 月) 磷的含量较高, 这是因为此时海区受高营养的沿岸水影响, 而且浮游植物数量又较少, 所以磷的含量较高, 冬季贮藏的磷为春季的浮游植物大繁殖提供了有利条件, 经过春季的消耗, 磷含量普遍下降, 个别测站的磷已被全部耗光。在夏季的 7~9 月, 虽然生物量不高, 磷的消耗少, 但是磷的含量也不高, 这可能是由于夏季低营养的暖水对本海区影响的结果。调查结果表明, 一般在小潮期间磷的含量较高, 而大潮期间较低, 这可能是由于大潮期间浮游植物生物量较高消耗较大有关。

表 7 活性磷酸盐月平均含量及变化范围 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)Tab. 7 Monthly averaged dissolved phosphate and range ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)

月 份 项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
表层	0.79	0.30	1.29	0.23	0.30	0.43	0.12	0.20	0.24	0.52	0.66	0.62
底层			1.34	0.26	0.34	0.50	0.19	0.26	0.30	0.64	0.73	0.62
平均值	0.79	0.30	1.32	0.24	0.32	0.46	0.16	0.23	0.27	0.58	0.70	0.62
最大值	0.91	1.13	1.47	0.42	1.02	1.35	0.55	0.46	0.49	0.91	1.14	0.95
最小值	0.63	0.04	1.17	0.06	0.07	0.04	0.05	0.00	0.08	0.16	0.34	0.31

值得特别指出的是,磷的含量以 3 月份最高,而此时恰好也是浮游植物大量繁殖期,聚生角刺藻(*Chaetoceros socialis*)细胞数量高达 9×10^6 个/ dm^3 。一般地说高生物量应当出现低的营养盐,然而现在则出现相反的现象。这种现象在 5 月 25 日短角弯角藻(*Eucampia zoodiacus*)赤潮最高峰时(叶绿素 a 达 $35\text{mg}/\text{dm}^3$),也出现高磷现象。

从以上磷的含量可以看出,本海区的磷年均含量达 $0.50\mu\text{mol}/\text{dm}^3$,为接近赤潮发生阈值。虽然在浮游植物繁殖的春季磷的含量较低,但有时则在高生物量的情况下出现高磷含量,这部分磷的来源有待于今后进一步研究。

图 10 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 月平均值的变化Fig. 10 Variation of monthly averaged phosphate $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$

7. 底质有机质和硫化物

底质中的有机质和硫化物能较稳定地反映海区的有机污染状况。本调查对 10 个测站的底质有机质和硫化物测定结果列于表 8。有机质含量在 $0.84\sim 2.26\%$ (m/m) 之间,平均含量为 1.75% (m/m);硫化物均值为 239×10^{-6} (m/m)。从有机质和硫化物的平面分布可以看出,从 13 号站以北至湾顶区域的含量比较高,13~18 号站有机质的均值为 2.0% (m/m)。13~18 号站的硫化物含量一般都在 0.1×10^{-3} (m/m) 以上,17 号站竟高达 1.01×10^{-3} (m/m)。根据日本海域营养等级的划分^[7,8],认为底质中硫化物含量在 $(0.03\sim 0.3) \times 10^{-3}$ (m/m) 间为富营养水域。因此,宝珠屿海区是值得重视的海区。从表 8 还可看出,从 1985 至 1987 年,海区的有机质和硫化物的含量也有逐年增加的趋势,尤其是 13~18 号站的海域较为明显。至于 1987 年 11 号站和 12 号站的有机质和硫化物含量比历年偏低,这可能是由于这段时间附近正在进行港口的建设,大量填土可能影响了测站的底质。

表 8 有机质和硫化物含量

Tab. 8 Contents of organic matter and sulphide

站号		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
项目	1985 年		1.51	1.92	1.83	1.66	1.87	1.91	2.17		
	1986 年		1.65	1.96	1.80	1.78	1.81	1.92	2.44		
	1987 年	1.78	0.84	1.31	2.03	1.84	1.71	2.14	2.20	1.95	1.76
硫化物 $10^{-6}(m/m)$	1985 年		24.7	24.9	14.9	13.5	21.8	38.2	55.9		
	1986 年		3.47	68.5	37.5	89.3	24.2	82.4	201.2		
	1987 年	191.6	6.43	20.8	132.6	171.1	84.4	205.9	1 011	285	68.9

三、浮游植物

浮游植物是海洋中最主要的初级生产者,也是海洋生物的饵料基础。因此,浮游植物的数

量及其变化在很大程度上影响着海洋生物资源的盛衰。在适宜的光、温、营养盐的条件下将促进浮游植物的生长。然而,当某些条件如营养盐特别丰富,因而只适于某种浮游植物生长时则将可能导致该种植物迅猛发展并抑制其他种类的生长,形成所谓“赤潮”。目前世界海洋中有180多种赤潮生物,这些种类绝大多数为浮游植物。在这180多种赤潮生物中,我国发现的有63种,其中硅藻24种、甲藻32种、蓝藻3种、金藻1种、隐藻2种和原生动物1种。

本次调查初步鉴定出浮游植物110种,其中硅藻93种、甲藻13种、金藻2种、蓝藻2种。以8月份种类最多,达63种;3~9月都在35种以上;1月最少,仅13种。这些种类大多为广温或暖水近岸种。

在这110种浮游植物中,可形成赤潮的种类有41种,其中硅藻29种,甲藻12种。

1. 浮游植物的数量变化

调查海区的浮游植物不仅种类繁多,而且由于气候温暖,阳光充足,营养盐丰富,因此浮游植物数量也较大。调查结果表明,11~18号站浮游植物的细胞数年平均为 99.6×10^4 个/ dm^3 ,比对照的10号站高2.6倍。表9和图11示出各月大潮浮游植物的变化。由图可见,以3月份和5月份为高峰,分别为 521×10^4 个/ dm^3 和 334×10^4 个/ dm^3 ,1月最低(1.5×10^4 个/ dm^3)。1月份虽有高的营养盐,但因水温低、日照少所以浮游植物数量极少。2月份随着水温开始回升,数量也随之略有回升,短角弯角藻和旋链角刺藻(*Chaetoceros curvisetus*)为主要种类。3月份气温进一步回升,加之降水之后从陆地带来许多营养盐,尤

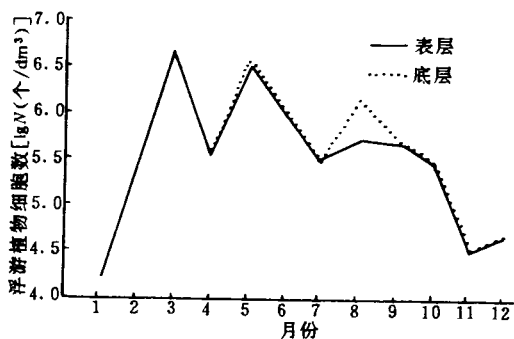


图11 各月大潮浮游植物细胞数量的变化

Fig. 11 Variation of phytoplankton cell counts during Monthly Spring

其是磷大量增高,引起了聚生角刺藻单一类型的爆发性繁殖,其细胞数平均达 510×10^4 个/ dm^3 ,占细胞总数的96%。由于聚生角刺藻细胞个体较小($<10\mu\text{m}$),尽管其数量达 5×10^6 个/ dm^3 ,16号站高达 9.6×10^6 个/ dm^3 ,已接近赤潮临界(10^7 个/ dm^3),由于在此之后遇到连续阴雨,气温骤降($<10^\circ\text{C}$),阻止了这次赤潮的发展。4月份由于中旬连续阴雨,气温又再度降至 10°C 以下,浮游植物数量再度下降(3.4×10^5 个/ dm^3),此时的优势种又为旋链角刺藻、短角弯角藻和布氏双尾藻(*Ditylum brightwellii*),3月份优势的聚生角刺藻几乎绝迹。5月中旬气温、水温急剧回升,日照增加,加之4月份积蓄了大量的营养盐为5月份浮游植物大量繁殖创造有利条件,因而形成了短角弯角藻和尖刺菱形藻(*Nitzschia pungens*)为优势的赤潮,平均数量达 3.3×10^6 个/ dm^3 。由于5月份的赤潮大量消耗营养盐,造成6、7月浮游植物数量下降至 1×10^6 个/ dm^3 和 3×10^5 个/ dm^3 ,且5月的赤潮种类消失被旋链角刺藻所取代。8月份浮游植物数量又有小量回升,但此时的优势种则为广温、广盐的中肋骨条藻。9、10月数量日益下降,数量是 $(2 \sim 5) \times 10^4$ 个/ dm^3 ,尽管此时光照充足,水温高但由于海区由低营养的暖水控制,且此时降雨量少,未能从陆地注入营养盐,因此浮游植物不大可能发展;11、12月尽管营养盐丰富,但因水温低,浮游植物的数量只能维持在 $(2 \sim 5) \times 10^4$ 个/ dm^3 的低水平。