

广西防城港湾浮游植物数量周年变化特征*

Anniversary Variation of Phytoplankton Abundance in Fangchenggang Bay of Guangxi

庄军莲, 许铭本, 张荣灿, 姜发军, 王一兵, 何碧娟**

ZHUANG Jun-lian, XU Ming-ben, ZHANG Rong-can, JIANG Fa-jun, WANG Yi-bing, HE Bi-juan**

(广西科学院, 广西南宁 530007)

(Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

摘要:于2007年的代表性季节(3月、6月、9月、12月)采集广西防城港湾海域表层海水,调查浮游植物及相关环境因子,分析浮游植物数量及其与环境因子的相关性。结果发现,浮游植物数量呈现湾内向湾外递增的趋势,夏季(6月)整个海湾浮游植物密度在4个季度月的调查中最高,达 151.19×10^4 cell/L,冬季(12月)整个海湾的浮游植物密度最低,仅 0.35×10^4 cell/L。水温、盐度、磷酸盐含量是影响防城港湾浮游植物数量较重要的环境因子。春夏季时,西湾内浮游植物优势种群中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)会大量增殖,尤其夏季时数量已接近或达到赤潮发生的密度。

关键词:浮游植物 数量 变化特征 周年

中图分类号:Q178.532 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2010)04-0387-04

Abstract: Investigation of the phytoplankton and environmental factors in Fangchenggang Bay were conducted by collecting and analyzing the surface water, to study the relationship between the phytoplankton abundance and its environment in March, June, September and December of 2007. The results showed that the quantitative distributions of phytoplankton, presented a trend of being higher in the inner bay than in the outer bay. And there were remarkable differences of the phytoplankton's density as the highest in summer (June) reached to 151.19×10^4 cell/L, while the lowest in winter (Dec.) only 0.35×10^4 cell/L. The phytoplankton abundance in Fangchenggang Bay was correlated with the nutrients, temperature and salinity especially in Summer by analyzing the correlation of phytoplankton abundance with the environmental factors in various seasons. The absolute number of *Skeletonema costatum* cells got obvious expanding in spring and summer, even with the probability of occurrence of red tide in the summer.

Key words: phytoplankton, abundance, variation, anniversary

目前北部湾经济区开放开发步伐不断加快,广西北部湾海域作为中国与东盟全面合作的海上枢纽正发挥着日益重要的作用,尤其是近两年来广西沿海三大港口在港口及大型工业园建设方面取得较大突破,

但是,经济发展中不可避免会带来环境压力,如何合理开发利用广西北部湾海域并保持该区域海洋经济的可持续发展也一直是社会关注的焦点。防城港作为广西沿海最大港口以及全国24个枢纽港之一,位于广西沿海的西部,东被企沙半岛、西被白龙半岛、北被防城县城包围、湾口朝南,湾中部被渔万岛分隔成西湾和东湾两部分。防城港湾在开放开发的大形势下,海洋生态环境问题应引起重视。

浮游植物作为水域的初级生产者,在海洋生态系统物质循环和能量转化中起着重要作用,对决定水域生产性能上具有重要意义,浮游植物群落结构的变

收稿日期:2010-08-10

作者简介:庄军莲(1972-),女,硕士研究生,主要从事海洋生态环境及资源利用研究。

* 广西自然科学基金北部湾重大专项(2010GXNSFE013001),广西科学院基本科研业务费项目(09YJ17HY02)资助。

** 通讯作者。

化,是反映海洋环境状况的重要指标。20世纪80年代以来,针对防城港湾海洋环境问题一些海洋环境研究学者进行过调查研究^[1~7]。但是近几年来,在广西沿海港口迅猛的发展过程中,对海洋环境现状调查分析的报道不多,针对防城港浮游植物周年调查研究报道基本空白。2007年我们选取有代表性的季节月,对防城港湾海域的浮游植物群落的种类组成、数量分布以及季节变化进行了跟踪调查,采集样品分析浮游植物数量周年分布特征,一方面弥补该海域近几年调查资料的不足,为防城港湾海洋环境监控提供背景资料,另一方面也可以为该港湾更好地进行海域开发利用和海洋生态环境保护提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 样品采集与分析

根据防城港湾的环境特点,布设9个测站(图1),S1和S2测站布置在西湾,其中S1近湾顶的防城江入口,S2靠近排污口及码头,S3、S4、S5、S6布置在东湾,S7、S8和S9站布置在湾口处。分别在2007年3月21日(春)、6月1日(夏)、9月17日(秋)及12月25日(冬),用表层采水器采集各测站表层海水5L,其中1L海水样品用于浮游植物分析,立即加6~8ml饱和碘液固定,回到实验室后进行反复静置、浓缩,最后浓缩至20~50ml。每站取浓缩后样品0.25ml注入0.25ml的浮游植物计数框内,在日本尼康ECLIPSE 50i光学显微镜下根据细胞外形、细胞内容物等结构特征,对照文献^[8~20]及其分类检索表进行种类鉴定和计数,每站位水样计数3个分样,取平均值确定各站位浮游植物的种类组成和密度。计数时为了使误差减少到10%,每次所计浮游植物细胞数均达到400个以上^[21]。各测站同步调查水深、温度、盐度、透明度、COD、溶解氧、pH值、叶绿素、五项营养盐等环境参数,样品的采集、保存、分析均按文献^[22]中的规范程序进行。

1.2 统计方法

应用SPSS统计分析软件分析防城港湾海域浮游植物细胞数量与同步观测到的水温(t)、盐度(S)、活性磷酸盐(PO₄-P)、无机氮(DIN)、活性硅酸盐(SiO₃-Si)、叶绿素a(Chl-a)等水质理化因子的相关性。

2 结果分析

2.1 种类组成

共鉴定出浮游植物54属,138种(含变种、变

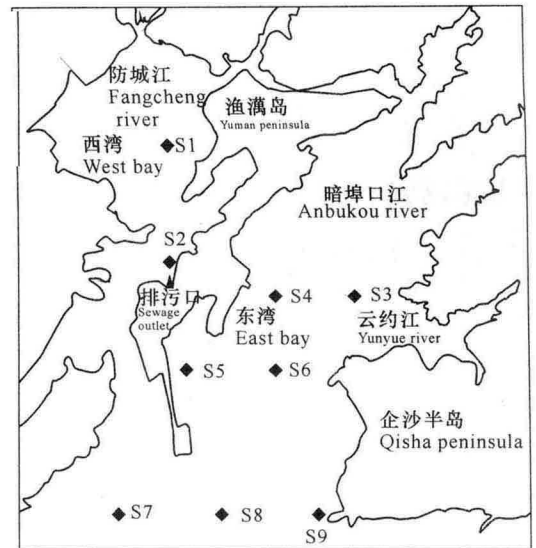


图1 调查站位

Fig. 1 Map of sampling stations

型)。其中硅藻门37属,112种,占总种数的81.2%;甲藻门12属,21种,占总种数的15.2%;绿藻门和金藻门各2种,蓝藻门1种。硅藻以角毛藻属(*Chaetoceros*)为优势类群,占硅藻总种数的23.0%,甲藻则以角藻属(*Ceratium*)为优势类群,占甲藻总种数的19.0%。

浮游植物优势种主要为硅藻门的中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、及角毛藻属的窄面角毛藻(*Chaetoceros paradoxus*)、聚生角毛藻(*Chaetoceros socialis*)、放射角毛藻(*Chaetoceros radians*)等。其中中肋骨条藻在春季和夏季为绝对优势种,尤其是夏季,其数量占总数量的94%。

2.2 浮游植物数量的空间分布

调查海区浮游植物于湾口处的S9站密度最低,年平均密度仅为 1.50×10^4 cell/L(表1);S2站数量最高,年平均密度达 210.79×10^4 cell/L,这可能是因为S2站近城市排污口,由于排污口附近营养盐比较丰富,所以此站的浮游植物数量较高。浮游植物周年4个月平均数量的平面分布呈现由西湾(内湾)至东湾(外湾)向湾口递减的趋势(表2)。

2.3 浮游植物数量的时间分布

调查海区浮游植物数量的平面分布格局在不同季节具有显著差异。由表1可见,春季各站位浮游植物平均密度分别为 1.50×10^4 cell/L,变化范围为 $0.65 \sim 2.60 \times 10^4$ cell/L,密度最高区出现在东湾内的S6站,密度最低区出现在西湾内的S2站。夏季整个海湾浮游植物密度在4个季度月的调查中最高,各站位平均为 151.19×10^4 cell/L,变化范围为 $4.07 \sim 841.11 \times 10^4$ cell/L,密度最高区出现在西湾内的S2站,密度最低区出现在湾口处的S8站。秋季各站位

平均密度分别为 2.02×10^4 cell/L, 变化范围为 $0.52 \sim 7.53 \times 10^4$ cell/L, 密度最高区出现在东湾内的 S5 站, 密度最低区出现在湾口处的 S2 站。冬季整个海湾的浮游植物密度都较低, 各站位平均 0.35×10^4 cell/L, 变化范围为 $0.11 \sim 0.53 \times 10^4$ cell/L, 其高值位于湾口处的 S7 站, 低值位于东湾内的 S4 站。由表 2 可见, 春冬两个季度月西湾与东湾的浮游植物数量相近, 均低于湾口处; 夏季西湾内浮游植物数量远高于东湾及湾口处, 而秋季东湾内浮游植物数量则略高于西湾及湾口处。

表 1 不同站位浮游植物数量变化

Table 1 Change of phytoplankton number in different stations

Station	浮游植物数量 Number of phytoplankton ($\times 10^4$ cell/L)					平均值 Average
	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	平均值 Average	
S1	2.28	373.13	2.12	0.35	94.47	
S2	0.65	841.11	1.05	0.34	210.79	
S3	1.05	11.62	0.78	0.32	3.44	
S4	1.09	9.41	0.71	0.11	2.83	
S5	1.17	55.30	7.53	0.35	16.09	
S6	2.60	57.82	3.98	0.31	16.18	
S7	2.47	4.16	0.52	0.53	1.92	
S8	1.29	4.07	0.95	0.38	1.67	
S9	0.91	4.10	0.55	0.45	1.50	
平均值 Average	1.50	151.19	2.02	0.35	38.77	

表 2 不同海域浮游植物数量变化

Table 2 Change of phytoplankton number in different sea areas

Sea area	浮游植物数量 Numbers of phytoplankton ($\times 10^4$ cell/L)					平均值 Average
	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	平均值 Average	
西湾 West bay (S1, S2)	1.47	607.12	1.59	0.35	152.63	
东湾 East bay (S3, S4, S5, S6)	1.48	33.54	3.25	0.27	9.64	
湾口 Bay mouth (S7, S8, S9)	1.56	4.11	0.67	0.45	1.70	

2.4 浮游植物数量与环境因子的相关性

调查海域的环境因子中, 水温季节变化较为明显, 春季 $15.7 \sim 17.2^\circ\text{C}$, 夏季 $30.0 \sim 30.8^\circ\text{C}$, 秋季 $30.1 \sim 31.2^\circ\text{C}$, 冬季 $16.6 \sim 18.2^\circ\text{C}$ 。盐度由湾内向湾外递增趋势非常明显, 春季 $18.633 \sim 32.503$, 夏季 $26.595 \sim 31.353$, 秋季 $9.934 \sim 28.223$, 冬季 $21.639 \sim 31.020$; 各季节月均以 S1 站位的盐度最低, 月平均值为 20.947 , 这是由于 S1 站近防城江入口, 盐度较低的原因主要为淡水注入造成, S9 站为最高, 年平均值为 30.772 。其余环境因子, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 的变化为 0.01

~ 0.55 mg/L, DIN 的变化为 $0.01 \sim 0.42$ mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 的变化为 $0.002 \sim 0.029$ mg/L, Chl-a 的变化为 $1.44 \sim 18.84$ $\mu\text{g/L}$ 。

表 3 结果表明, 夏季浮游植物数量与盐度呈显著性负相关 ($P < 0.01, r = -0.801$), 与活性磷酸盐呈显著性正相关 ($P < 0.01, r = 0.821$), 与叶绿素呈显著性正相关 ($P < 0.01, r = 0.919$)。冬季浮游植物数量与水温呈显著性正相关 ($P < 0.01, r = 0.774$)。全年 4 个季度月浮游植物数量与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 呈显著性正相关 ($P < 0.05, r = 0.348$)。

表 3 浮游植物数量与环境因子的相关性

Table 3 Number of phytoplankton and the correlation coefficient of biotic index and physical and chemical factors

季节 Seasons	T	S	DIN	$\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{SiO}_3\text{-Si}$	Chl-a
春季 Spring	-0.027	-0.351	-0.045	0.377	0.295	0.428
夏季 Summer	-0.209	-0.801**	-0.033	0.821**	0.562	0.919**
秋季 Autumn	-0.268	0.096	-0.179	-0.008	-0.064	0.030
冬季 Winter	0.774*	-0.133	-0.143	-0.063	-0.308	-0.102
全年各季节月 Annual each seasonal month	0.246	-0.040	-0.088	0.348*	-0.049	0.312

* $P = 0.05$ (双尾) 水平上相关, ** $P = 0.01$ (双尾) 水平上相关。N = 9(季节月), N = 36(全年)。

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed), ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)。

3 讨论

3.1 防城港湾浮游植物数量特征

防城港湾浮游植物数量平面分布基本呈现西湾(湾内)高于湾外的趋势。不同季节月浮游植物数量与环境因子的关系则各不相同。全年 4 个季度月的浮游植物数量与活性磷酸盐呈显著正相关。说明磷酸盐的含量对于防城港湾浮游植物生长和繁殖较为重要。在不同的季节, 由于水温、盐度等海洋水文因子不同, 浮游植物数量与营养盐的相关性各异。夏季(6月)的调查浮游植物数量在全年最高, 其与活性磷酸盐呈显著性正相关, 系数达 0.821 ($P < 0.01$), 说明在夏季活性磷酸盐对海区内浮游植物的生长起到重要作用; 浮游植物数量与盐度呈显著性负相关, 相关系数为 -0.801 ($P < 0.01$), 说明夏季浮游植物数量受淡水注入影响很大。而在冬季(12月)浮游植物数量与水温呈显著性正相关, 说明在冬季时水温是影响浮游植物数量的重要因子。由此可见, 水

温、盐度、磷酸盐含量是影响防城港湾浮游植物数量较重要的环境因子。

根据防城港海洋站(108°20'E, 21°37'N)1999年~2005年的资料,防城港4月至10月为雨季,集中了全年90%以上的降水量。夏季(6月)由于水温升高,降雨量增加,藻类数量骤升,而这种数量的增加主要由广温广盐种^[12~14]——中肋骨条藻引起,因其在各调查站位均为绝对优势种,其数量级也较其他种类大两个数量级以上。秋季(9月)水温开始下降,降雨量也开始减少,盐度回升,浮游植物数量明显下降。至冬季(12月)由于受低温的影响,浮游植物数量减至全年最低。

3.2 防城港湾浮游植物数量变化

根据文献^[1]及广西壮族自治区海岸带和海涂资源综合调查报告第四卷(海洋生物),1983年8月至1985年1月在进行广西海岸带和海涂资源综合调查时,对防城港湾东湾及湾口处共设2个站位进行了6航次浮游植物调查,得知浮游植物数量春季为 0.66×10^4 cell/L,夏季为 2.60×10^4 cell/L,秋季为 1.70×10^4 cell/L,冬季为 0.51×10^4 cell/L。时隔20多年后,我们2007年调查的防城港湾浮游植物数量仍具有相同的季节变化趋势,但是2007年调查的浮游植物数量较1983至1985年的调查数量有所增加,尤其是夏季,2007年所有站位浮游植物数量均值(表1)比20年前增加了近2个数量级,东湾及湾口站位的均值(表2)也显示浮游植物数量均值较20年前增加了1个数量级。这种增加可能是由于采样方法不同而引起的,1983年至1985年的调查采用的是浅水III型浮游生物网拖网采样,而我们2007年的调查根据国家标准^[22]采用的是表层采水器进行瓶采方法采样。浮游植物数量夏季明显增加也可能是由于2007年夏季(6月)调查时正好遇到一次浮游植物增殖事件,具体原因尚需进一步研究。

3.3 防城港湾浮游植物群落优势种特征

调查海域浮游植物中不论是种类或是数量都以硅藻为绝对优势类群,其种类占总种类的百分比为81.2%,其数量占总数量的百分比达99.3%。在硅藻中,又以中肋骨条藻为优势种,其总数量占浮游植物四个季度月总细胞数的比例达91.9%,即中肋骨条藻对防城港湾整个浮游植物群落数量的贡献比其它137种的总和还大,可以说在此调查区域,春夏季两个季度月中肋骨条藻的种群动态决定了浮游植物总数量的分布。

其中尤其值得注意的是西湾内的S1及S2两个测站,夏季(6月)时中肋骨条藻数量均占98%以上,

细胞密度分别为 3.66×10^6 cell/L及 8.29×10^6 cell/L,从数量上已接近或达到日本学者安达六郎提出的赤潮发生时的细胞密度^[23]。可见,在防城港湾,硅藻尤其是中肋骨条藻,具有比其他藻类更为优越的生长优势,已经存在发生赤潮的隐患。西湾内的S1和S2测站,因为受防城江的径流及潮汐双向作用,盐度较低且环境因子变化较大,大部分浮游植物在此难以大量生长,而中肋骨条藻属于广温广盐种,具有广泛耐受性,适合生长于近岸河口海域^[13]、亚热带内湾^[24,25],其生长易受低盐度的促进^[26],如果遇上适宜的营养条件及水文气象因子,很容易迅速增殖甚至引发赤潮。因此,在防城港湾尤其应重视对中肋骨条藻的调查监测。此外,靠近码头和排污口处的S2测站,其浮游植物数量在不同季节呈现异常现象也表明,受人类活动影响较大的海域也应该作为调查监测的重点。

目前广西沿海三大海湾除北海湾外,防城港湾及钦州湾还少有赤潮发生的报道,随着开放开发的推进,海湾富营养化程度在不断增加,如不能进行有效控制,将会使某些浮游植物种的生长竞争优势得到更充分的体现,将难以避免赤潮的发生。

致谢:

本单位的邱绍芳、雷富等同志参与完成部分调查工作,作者谨此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志第十二分册: 广西海湾[M]. 北京: 海洋出版社, 1993: 256.
- [2] 赖廷和. 防城港湾水体中的活性硅酸盐[J]. 南海研究与开发, 2002(2): 29-33.
- [3] 赖廷和, 韦蔓新. 防城港水化学要素含量的分布特征及相互关系[J]. 台湾海峡, 2002, 21(4): 422-426.
- [4] 蒙珍金, 谭盈盈. 防城港市红沙养殖区营养盐状况分析与评价[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(6): 3105-3108, 3139.
- [5] 何本茂, 韦蔓新. 防城湾的环境特征及其水体自净特点分析[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(Supp. 1): 65-67, 78.
- [6] 韦蔓新, 赖廷和, 何本茂. 防城港湾水质特征及营养状况趋势研究[J]. 海洋通报, 2003, 22(1): 44-49.
- [7] 戴培建. 防城港及其附近海域水体营养化状况分析与有机污染评价[J]. 广西科学院学报, 1996, 12(3): 72-76.
- [8] 郑重. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1984.
- [9] 山东省水产学校. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1993.

(下转第 395 页 Continue on page 395)

- [4] 广西壮族自治区水产研究所,中国科学院动物研究所. 广西淡水鱼类志[M]. 南宁:广西人民出版社,1981.
- [5] 郑慈英. 珠江鱼类志[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [6] 陈宜瑜. 中国动物志:硬骨鱼纲:鲤形目:中卷[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [7] 褚新洛,郑葆珊,戴定远. 中国动物志:硬骨鱼纲:鲇形目[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [8] 乐佩琦. 中国动物志:硬骨鱼纲:鲤形目:下卷[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [9] 陈国柱,林小涛,陈佩. 食蚊鱼(*Gambusia* spp.)入侵生态学研究进展[J]. 生态学报,2008,28(9):4476-4485.

(责任编辑:邓大玉)

(上接第 390 页 Continue from page 390)

- [10] 福迪 B. 罗迪安,译. 藻类学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1981.
- [11] 钱树本,刘东艳,孙军. 海藻学[M]. 青岛:中国海洋大学出版社,2005.
- [12] 金德祥,陈金环,黄凯歌. 中国海洋浮游硅藻类[M]. 上海:上海科学技术出版社,1965:63-64.
- [13] 郭玉洁,钱树本. 中国海藻志:第五卷:硅藻门第一册:中心纲[M]. 北京:科学出版社,2003:217-219.
- [14] 林永水,周近明,何建宗. Red Tide Organisms 赤潮生物[M]. 北京:科学出版社,2001:44-45.
- [15] 金德祥,程兆第,林均民,等. 中国海洋底栖硅藻类:上卷[M]. 北京:海洋出版社,1982.
- [16] 金德祥,程兆第,刘师成,等. 中国海洋底栖硅藻类:下卷[M]. 北京:海洋出版社,1992.
- [17] 郭皓. 中国近海赤潮生物图谱[M]. 北京:海洋出版社,2004.
- [18] 杨世成,董树刚. 中国海域常用见浮游硅藻图谱[M]. 青岛:中国海洋大学出版社,2006.
- [19] 林永水. 中国海藻志:第六卷:第一册:甲藻纲角藻科[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [20] Carmelo R. Jamas. Identifying Marine Phytoplankton [M]. New York:Academic Press,1997.
- [21] 孙军,刘东艳,钱树本. 一种海洋浮游植物定量研究方法:Utermohl 方法的介绍及其改进[J]. 黄勃海洋,2002,20(2):105-112.
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范[S]. GB12763.7-2007.
- [23] 安达六郎. 赤潮生物与赤潮实态[J]. 水产土木,1973,91:31-36.
- [24] 周凯,黄长江,姜胜,等. 2000~2001 年柘林湾浮游植物群落结构及数量变动的周年调查[J]. 生态学报,2002,22(5):688-698.
- [25] 黄长江,王超,董巧香,等. 粤东柘林湾中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*) 种群生态学[J]. 生态学报,2007,27(1):142-151.
- [26] Yamamoto T, Tschiya H. Physiological responses of Si-limited *Skeletonema costatum* to silicate supply with salinity decrease[J]. Bull of Plankton Soci, 1995, 42(1):1-17.

(责任编辑:邓大玉)