

大亚湾角毛藻细胞数量波动及其与 环境因子关系的多元分析

王朝晖, 齐雨藻, 陈菊芳, 徐 宁

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

摘要:研究了1997年6月~1998年7月及1999和2000年春季大亚湾角毛藻(*Chaetoceros* spp.)细胞数量变动及其与环境因子之间的关系,并进行了多因变量方差分析、多元线性逐步回归分析及主成分分析。角毛藻是大亚湾浮游植物常见优势属,优势物种主要为窄隙角毛藻(*C. affinis*)、柔弱角毛藻(*C. debilis*)、远距角毛藻(*C. distans*)和劳氏角毛藻(*C. lorenzianus*)等。1997~1998年度角毛藻细胞数量出现了明显的春季高峰,最高细胞数量和百分比含量分别达6680.6 cells/ml和99.78%,而且在其他季节也出现了数量不等的峰值,DIN的消耗在一定程度上导致了角毛藻水华的消退。多元分析结果表明,水温和营养元素之间的比例是影响角毛藻细胞数量变动的主要因子,此外DIN和盐度对角毛藻细胞数量变动也产生较明显的影响。

关键词:角毛藻;大亚湾;环境因子;赤潮

文章编号:1000-0933(2006)04-1096-07 中图分类号:X145, Q178.53 文献标识码:A

Population dynamics of *Chaetoceros* spp. and multivariate analysis of its relationship with environmental factors in Daya Bay, South China Sea

WANG Zhao-Hui, QI Yu-Zao, CHEN Ju-Fang, XU Ning (Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1096 ~ 1102.

Abstract: Population changes in *Chaetoceros* spp. and environmental factors were investigated in Daya Bay, South China Sea, from June 1997 to July 1998 and the spring of 1999 and 2000. Relationships between abundance of *Chaeto.* spp. and some environment parameters were analyzed by multivariate general linear factorial analysis, linear stepwise regression analysis, and principle component analysis. *Chaetoceros* was the most abundant genus of phytoplankton in Daya Bay, contributing 23.25% of the total phytoplankton abundance. *Chaetoceros* reached peak abundance in the spring of 1998, with maximum cell density of 6680.6 cells/ml and 99.78% of total phytoplankton. *C. affinis*, *C. debilis*, *C. distans* and *C. lorenzianus* were the main bloom causative species. The nutrient levels were high just before the bloom of *Chaetoceros*, but dropped rapidly as the bloom developed. Results showed that depletion of nutrients especially dissolved inorganic nitrogen (DIN) led to the collapse of *Chaetoceros* bloom. Peak abundances of *Chaetoceros* occurred under a wide variety of water temperature (15°C to 31°C) and salinity (15psu to 31psu). Results from statistical analyses revealed that water temperature and ratios between nutrients were the key factors influencing on population dynamics of *Chaetoceros*, while DIN and salinity played important roles as well.

Key words: *Chaetoceros*; Daya Bay; environmental factors; algal bloom

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40306020);国家重点基础发展规划资助项目(2001CB409701)

收稿日期:2004-07-13;**修订日期:**2005-12-12

作者简介:王朝晖(1968~),女,湖南长沙人,教授,从事水域生态学研究。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: twzh@jnu.edu.cn

Foundation item: The project was supported by the National Natural Science Foundation of China(No. 40306020); National Key Basic Research Program (No. 2001CB409701)

Received date: 2004-07-13; **Accepted date:** 2005-12-12

Biography: WANG Zhao-Hui, Professor, mainly engaged in aquatic ecology.

硅藻是海洋浮游植物群落的重要组成部分,大部分硅藻无毒无害,它们为海洋浮游动物和一些鱼类幼苗提供了丰富的食物来源。保持硅藻在浮游植物群落中的主导地位能控制有毒鞭毛藻的生长和细胞数量的发展,在一定程度上维持生态系统的稳定,限制有害藻类赤潮的发生^[1]。

角毛藻(*Chaetoceros* spp.)是浮游硅藻的重要类群,普遍分布在世界各海域,也是我国沿海许多港湾的常见优势硅藻^[2,3]。虽然有的角毛藻角毛上具有倒刺,能刺伤鱼鳃,对养殖鱼类造成伤害,但大部分角毛藻是海洋浮游植物群落中的有益类群,是海洋动物的良好食物。本文研究了1997~2000年度大亚湾角毛藻属细胞数量变动,并且运用多元分析对角毛藻细胞数量与环境因子的关系进行了分析,以了解大亚湾海域该属细胞数量变动现状及其在浮游植物群落结构中的作用,为大亚湾海域海洋资源的维护和可持续发展及利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样点的设置和样品的采集分析

在大亚湾设置8个采样点(图1),其中St.1位于较为密集的居民区附近,St.2、St.7、St.8位于鱼类养殖区,St.3~St.5在较为近岸海域,St.6则为湾口对照点。各站位采样时间及分析参数见表1。用5L采水器分别在距水表和水底0.5m处采集表、底两层水样,1L用于浮游植物分析,其余进行其他项目的分析测定,样品采集和分析调查方法均参照《海洋监测规范》^[4]。水样采集后,立即用4%中性福尔马林固定,静置24h后,逐步浓缩至20~50ml,然后取0.1ml在Olympus CH30或BH2显微镜下观察分析。

1.2 多元分析方法

利用SPSS 10.0分析软件,以春季样品中角毛藻细胞数量与水温、盐度、可溶性无机氮(DIN)、可溶性无机磷(DIP)、可溶性硅酸盐(DSi)、氮磷原子比(N:P)、硅氮原子比(Si:N)、硅磷原子比(Si:P)等理化因子为变量,分别按年份进行多因变量方差分析和多元线性逐步回归分析;并增加了浮游植物总细胞数量、硅藻细胞数量、甲藻细胞数量、叶绿素a(Chl a)含量和Fe含量等因子为变量因子,逐年进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 角毛藻属的物种组成

大亚湾角毛藻物种丰富,主要物种有窄隙角毛藻(*Chaetoceros affinis*)、北方角毛藻(*C. borealis*)、短孢角毛藻(*C. brevis*)、扁面角毛藻(*C. compressus*)、柔弱角毛藻(*C. debilis*)、缢缩角毛藻(*C. constrictus*)、旋链角毛藻(*C. curvisetus*)、密连角毛藻(*C. densus*)、双突角毛藻(*C. didymus*)、远距角毛藻(*C. distans*)、异角角毛藻(*C. diversus*)、印度角毛藻(*C. indicum*)、垂缘角毛藻(*C. lacinosus*)、劳氏角毛藻(*C. lorenzianus*)、秘鲁角毛藻(*C. peruvianus*)、冕孢角毛藻(*C. subsecundus*)、细弱角毛藻(*C. subtilis*)、范氏角毛藻(*C. vanheurckii*)、威氏角毛藻(*C. weissflogii*)等,其中以窄隙角毛藻、柔弱角毛藻、远距角毛藻、劳氏角毛藻占优势。在调查期内,优势角毛藻物种变化迅速,而且同一时期优势物种一般为2种以上。

2.2 角毛藻属的细胞数量变动及其与环境因子的关系

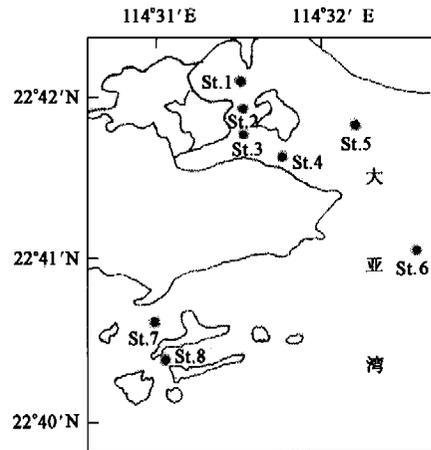


图1 大亚湾澳头海域采样点的设置

Fig.1 Sampling stations in Aotou area of Daya Bay

表1 各站位采样时间、频率及分析参数

Table 1 Date, frequency of sampling and analyzed parameters in this survey

采样时间 Sampling time	采样点、采样频率及分析参数 Sampling stations, analyzed parameters, and frequency
1997-07~1998-04	St.2: 次/3d, 浮游植物, 水温, 盐度; 化学因素: 次/m
1998-04-02~06-01	St.1~St.6: 次/3d, St.7, St.8: 次/15d, 所有指标
1999-03-18~06-01	同上
2000-04-07~05-23	St.1, St.2: 次/d; St.3-St.6: 次/3d, 所有指标

图2显示了1997~1998年和1999、2000年春季角毛藻属及总浮游植物细胞数量时间变动。在1997~1998年度变动中,浮游植物细胞数量可观察到明显的春季高峰(图2a),而角毛藻是1998年5月中旬浮游植物细胞数量高峰的主要贡献者,角毛藻最高细胞数量和百分比含量分别为6680.6 cells/mL和99.78%。同时角毛藻也为1997~1998年度浮游植物第一优势属,全年平均百分比为23.25%。浮游植物细胞数量在4月中旬也出现了一个较高峰,但角毛藻细胞数量在这一时期没有出现峰值,此时的优势物种为细弱海链藻(*Thalassiosira subtilis*)。此外,浮游植物细胞数量在其他3个季节都出现了峰值,当浮游植物数量峰出现时,角毛藻一般与中肋骨条藻、拟菱形藻等一起大量出现,相伴成为浮游植物优势类群。角毛藻在夏季和冬季也出现了细胞数量为640~907 cells/ml的峰值,所占的百分比约为40%~50%,但秋季则细胞数量较低。1999年和2000年春季,角毛藻没有成为浮游植物的优势类群,角毛藻细胞数量远远低于浮游植物细胞数量,两年的最高细胞数量仅分别为866.2 cells/ml和588.8 cells/ml(图2b, 2c)。

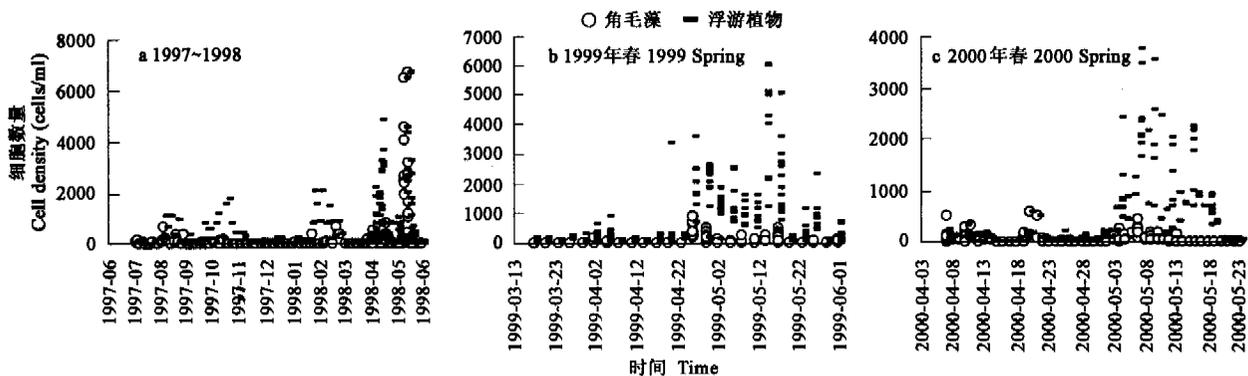


图2 角毛藻和浮游植物细胞数量波动

Fig. 2 Changes in cell density of *Chaetoceros* spp. and overall phytoplankton

角毛藻细胞数量与水温、盐度的关系显示,高细胞数量出现在水温和盐度分别为25~30℃和25~31 psu之间(图3)。但在此范围之外的水温、盐度条件下,角毛藻仍可出现一些数量低峰。1998年冬季数量峰出现时,是大亚湾全年水温最低的时期,仅为16℃左右,此时的优势物种主要是一些温带近岸物种如窄隙角毛藻、范氏角毛藻等。夏季数量峰值出现时,水温达到30℃,而此时优势物种则为细弱角毛藻、远距角毛藻等暖水性物种。角毛藻细胞数量峰出现时,盐度变化也相当大,为15~31 psu之间。1997年7月至8月,由于台风导致持续降雨,大亚湾海域盐度一直维持在25 psu以下,8月15日至全年最低值15 psu,这时细弱角毛藻、远距角毛藻与中肋骨条藻(*Skenetonella costatum*)等广盐物种在低盐条件下显示了强大的竞争优势,同时也由于地表径流所带来的丰富的营养盐促进了它们的加速生长,使它们共同成为优势物种。此外,1997~1998年角毛藻几个数量峰及1999年和2000年春季的数量峰出现前,水体盐度均出现不同程度的下降,而且DIN含量也都较高。此结果说明降雨所引起的营养盐含量的增长,是角毛藻等小型硅藻快速生长、细胞数量峰值出现的

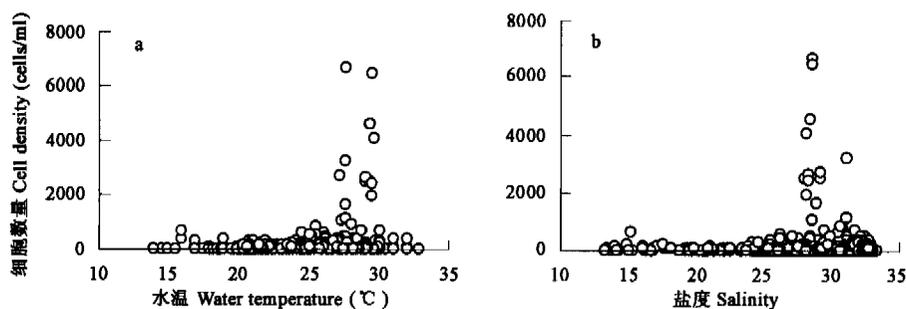


图3 角毛藻细胞数量与水温、盐度的关系

Fig. 3 Abundance of *Chaetoceros* spp. plotted against water temperature and salinity

重要原因。

2.3 优势角毛藻物种的细胞数量变动

1997~1998 年度优势角毛藻细胞数量变动见图 4。1998 年 5 月角毛藻水华发生期间,窄隙角毛藻、劳氏角毛藻、细弱角毛藻和远距角毛藻等优势角毛藻物种的细胞数量均超过 1000 cells/ml,为上述物种全年细胞数量最高值,其中窄隙角毛藻最高细胞数量达 2870.0 cells/ml。此外,窄隙角毛藻也是大亚湾其他季节的优势角毛藻物种,并于 1998 年 2 月(冬季)出现了 632.4 cells/ml 的次高峰,在夏季、秋季最高细胞数量也都超过 100 cells/ml(图 4a)。由此说明,窄隙角毛藻对水温、盐度的适应性较强,能适应大亚湾全年的水温、盐度变化。细弱角毛藻和远距角毛藻除了 5 月份出现的细胞数量高峰外,相伴在夏季(1997 年 8 月)的高温季节形成一个细胞数量分别为 504.0 cells/ml 和 300.8 cells/ml 的次高峰(图 4b,4c),而此时大亚湾的水温为 31℃,说明这两种角毛藻能耐受较高的温度。劳氏角毛藻虽然也是大亚湾常见优势角毛藻物种,但仅在春季角毛藻水华期间出现一个细胞数量高峰,为水华期间的第二优势角毛藻物种(图 4d)。

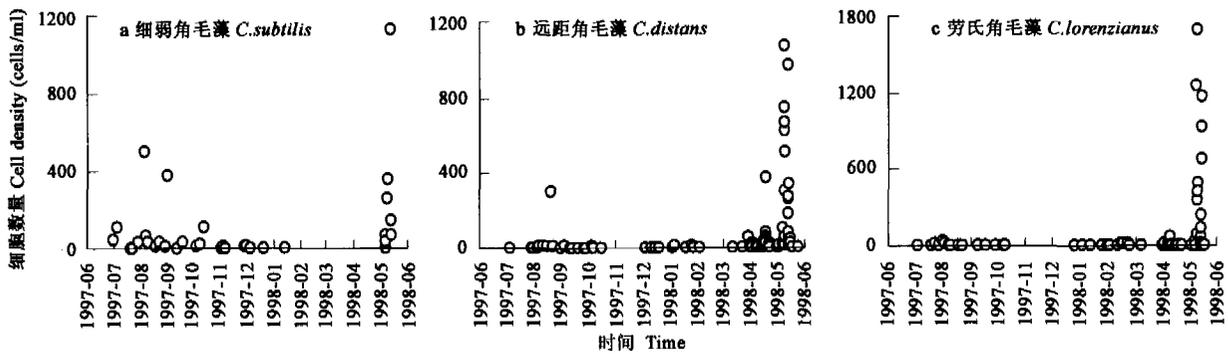


图 4 优势角毛藻细胞数量的季节波动

Fig.4 Seasonal changes in cell density of dominant *Chaetoceros* species

角毛藻水华的发生与营养盐浓度密切相关。水华发生前,水体营养盐含量一直维持在较高水平,水华的发生消耗了大量营养盐特别是 DIN, DIN 含量从水华初期的 204 μ g/L 左右下降至 43 μ g/L; DSi 含量也虽有所下降,但很快得到补充;而 DIP 含量在水华前后变化不大。因此可见,大亚湾海域丰富的营养盐含量是角毛藻水华发生的重要物质基础,而营养盐的消耗特别是 DIN 的消耗则导致了水华消退,有文献也报道了营养盐消耗与赤潮和水华消亡的关系^[7]。

2.4 角毛藻细胞数量与其他生物、理化因子的多元分析

2.4.1 多因变量方差分析 1998~2000 年春角毛藻与环境因子的多因变量方差分析结果见表 2。从多因变量方差分析结果来看, N:P 对角毛藻细胞数量影响最明显, 3 α 显著性水平值接近或小于 0.05; 其次是水温, 除 2000 年外, 1998 和 1999 年差异显著。影响角毛藻细胞数量变动的环境因子各年有所不同, 1998 年对角毛藻细胞数量产生明显影响的主要是 Si:N 和 N:P, 此外水温也对角毛藻细胞数量变动产生较明显影响; 1999 年除水温和盐度影响较明显外, DSi 及 Si:P、N:P 也对角毛藻细胞数量产生明显影响; 而 2000 年主要是 DIN 和 N:P 对角毛藻细胞数量有明显影响。

表 2 多因变量方差分析 1998~2000 年春角毛藻细胞数量与环境因子之间的显著性水平值

Table 2 Significant of multivariate general linear factorial analysis between cell density of *Chaetoceros* spp. and environmental factors in three springs from 1998 to 2000

年份 Year	水温 Temperature	盐度 Salinity	DIN	DIP	DSi	N:P	Si:N	Si:P
1998	0.035*	0.147	0.92	0.929	0.129	0.058	<0.01*	0.895
1999	0.01*	<0.01*	0.332	0.362	0.052	0.036*	0.231	0.02*
2000	0.764	0.816	<0.01*	0.795	0.994	<0.01*	0.999	0.999

* 显著性水平值小于 0.05 Sig., $p < 0.05$

2.4.2 逐步回归分析 将角毛藻细胞数量与环境因子进行逐步线性回归,结果见表3。不同年份各环境因子对角毛藻细胞数量变动的的影响各异,逐步回归分析所筛选出的有明显影响的环境因子也各不相同。从回归方程可看出,角毛藻细胞数量多与水温、盐度、DIN正相关,与DIP、DSi及营养元素之比为负相关,说明角毛藻在高温、高盐、高氮条件下生长良好。研究报道也显示浮游植物与水温、盐度、营养盐的关系密切,水温、盐度的变化是导致赤潮发生和消亡的重要原因^[6],营养盐的耗尽则直接导致了赤潮的消退^[7]。

表3 角毛藻与环境因子的逐步回归条件分析结果

Table 3 Linear stepwise regression analysis between cell density of *Chaetoceros* spp. and environmental factors

年份 Year	回归方程	F	
1998	线性回归 Linear regression	$D_{chaeto} = -5675.0 + 156X_T + 64.1X_S - 0.19X_{DIN} - 3.85X_{DIP} - 0.08X_{DSi} - 2.26X_{N:P} - 4.51X_{Si:N} + 0.88X_{Si:P}$ $df = 212, R = 0.341^{**}$	3.356
	线性逐步回归 Linear stepwise regression	$D_{chaeto} = -317.53 + 135.4X_T - 1.78X_{DIN}$ $df = 212, R = 0.286^{**}$	9.336
1999	线性回归 Linear regression	$D_{chaeto} = 1597.9 + 11.9X_T - 55.9X_S + 0.26X_{DIN} - 0.76X_{DIP} - 0.02X_{DSi} - 0.14X_{N:P} - 0.90X_{Si:N} - 0.05X_{Si:P}$ $df = 250, R = 0.552^{**}$	11.314
	线性逐步回归 Linear stepwise regression	$D_{chaeto} = 1409.7 + 12.5X_T - 51.3X_S$ $df = 250, R = 0.512^{**}$	43.943
2000	线性回归 Linear regression	$D_{chaeto} = 263.7 - 9.69X_T + 0.48X_S + 0.46X_{DIN} - 4.51X_{DIP} - 0.06X_{DSi} + 0.40X_{N:P} + 10.0X_{Si:N} - 0.05X_{Si:P}$ $df = 161, R = 0.636^{**}$	13.014
	线性逐步回归 Linear stepwise regression	$D_{chaeto} = 293.0 - 9.65X_T + 0.65X_{DIN} - 6.30X_{DIP} - 0.079X_{DSi} + 9.1X_{Si:N}$ $df = 161, R = 0.624^{**}$	19.940

* D_{chaeto} 、 X_T 、 X_S 、 X_{DIN} 、 X_{DIP} 、 X_{DSi} 、 $X_{N:P}$ 、 $X_{Si:N}$ 、 $X_{Si:P}$ 分别表示因变量角毛藻细胞数量(cells/ml)和自变量温度(°C)、盐度、DIN、DIP、DSi浓度(μg/L)以及它们之间的原子比, ** 显著性概率值小于0.001, $p < 0.001$

2.4.3 主成分分析 以1998~2000年春季角毛藻、硅藻、甲藻、浮游植物总细胞数量、叶绿素a含量及水温、盐度、DIN、DIP、DSi、N:P、Si:N、Si:P和Fe等环境因子为变量分别进行主成分分析。14个因子分成2个主成分,2个主成分累积贡献率在40%左右。虽然3a春季各环境因子对主成分的贡献有所差异,但主成分因子载荷图趋势相近(图5),浮游植物、硅藻、角毛藻、叶绿素a、甲藻这些生物因子都位于主成分f1的正轴方向,其中前3项因子的负荷系数较大,而叶绿素a则位于两个主成分轴之间。因此,主成分f1正轴代表浮游植物等生物因子。营养元素N、P、Si之间的比例位于主成分f2正轴方向,而N、P、Si含量和水温、盐度位于两个主成分轴之间或主成分f2的负轴方向。结果说明,角毛藻、硅藻、浮游植物对生物因子主成分f1贡献较大而且关系密切,而营养盐之间的比例是环境因子主成分f2的主要贡献者。

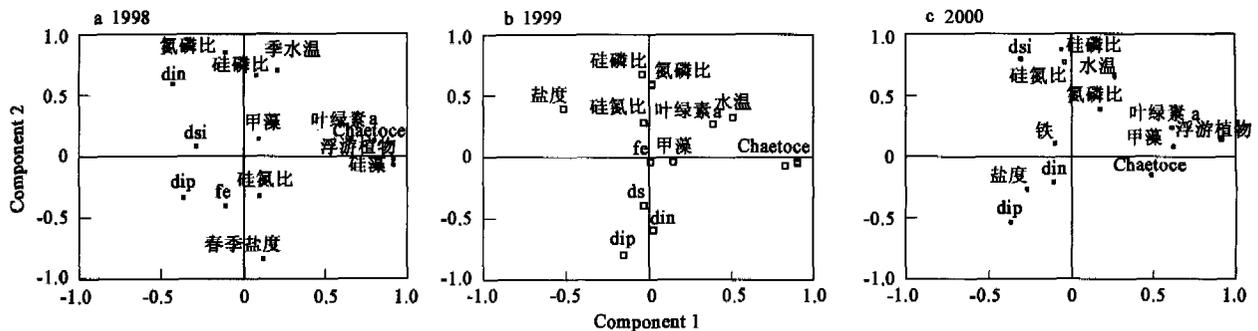


图5 1998~2000年春季大亚湾环境因子和生物因子主成分分析旋转后的成分载荷图

Fig.5 Component plot in rotated space of principal analysis on environmental and biological factors in Daya Bay in springs from 1998 to 2000

2.4.4 多元分析结果小结 多元分析结果表明,水温对角毛藻细胞数量变动影响明显,其次是营养元素之间

的比例,此外盐度和 DIN 含量也具有一定影响。大亚湾春季水温一般在角毛藻适温范围的 20~30℃ 之间,在适合温度范围内,温度越高藻类生长也越旺盛,由此可解释 3a 的逐步回归模型都选中水温作为因子。

营养元素之间的比例对角毛藻细胞数量产生较明显影响,而且在主成分分析中,营养元素之间的比例是环境因子主成分的主要贡献者。许多研究也讨论了营养盐含量及其比例对浮游植物总细胞数量和组成的影响,一般认为 DIP 含量和 N:P 对甲藻细胞变动影响较大^[9,10],而对硅藻影响较大的为 DSi 和 DIN 含量^[11]。大亚湾是一个硅酸盐含量丰富的港湾,3a 春季最低 DSi 含量为 137 μg/L,不存在 Si 限制,Si 对角毛藻细胞数量变动的影响就没有那么明显。DIN 含量对角毛藻细胞数量具有明显影响,逐步回归中有 2a 选中 DIN 为影响因子,而 1998 年 5 月角毛藻水华消耗了大量 DIN,水华过后 DIN 含量下降了近 5 倍,而 DIN 的消耗则导致了水华的消退。

2.5 大亚湾环境因子的变化与浮游植物群落结构

从营养盐含量来看,大亚湾尚属贫营养型海域,水质指标多在国家第一类海水水质标准(GB 3097-1997)范围内^[6],但大亚湾初级生产力较高^[12]。随着生活污水的排入和养殖区自身污染,大量 N 源进入大亚湾,使该海域 DIN 含量逐年增加,N:P 值从 1980 年代的 2.5 上升至近年来的 25 以上,而 N:P 值 10 倍的增长已引起大亚湾水环境和生物群落的一系列变化^[13]。大亚湾海域不缺硅,一般情况下硅藻的生长不会受到限制,这也是维持大亚湾硅藻型浮游植物群落的重要原因。但丰富的 N 源使藻类生长不受到营养盐的限制,生长速度快的小型硅藻首先占据优势,当硅藻消耗了水体中营养物质,特别是对 N 和 Si 的消耗,硅藻赤潮消退,甲藻等鞭毛藻生长起来,最终导致浮游植物群落发生改变。近年来大亚湾甲藻物种和细胞数量都不断增加,甲藻赤潮也不断发生^[14-17],给海洋养殖业造成了一定影响。

3 结论

(1)角毛藻属是大亚湾浮游植物的重要组成,该属的一些物种可分别在全年各季节内出现细胞数量高峰,为常见优势物种。

(2)水温和营养元素之间的比例对角毛藻细胞数量变动具有较明显的影响,此外 DIN 和盐度也具有一定影响,而 DIN 的大量消耗是角毛藻赤潮消退的重要原因。

(3)大亚湾合适的水温、盐度,丰富的硅酸盐以及氮、磷等营养元素的及时补充,是大亚湾角毛藻等小型硅藻高数量、高频率出现并占据浮游植物群落优势的重要原因。但随着污染的加剧,海区营养盐结构发生改变,从而导致角毛藻等硅藻细胞和物种数量下降,而有毒鞭毛藻类出现数量和频率增加,最终势必影响海域浮游植物群落结构。

References:

- [1] Riegman R. Nutrient related selection mechanisms in marine phytoplankton communities and the impact of eutrophication on the planktonic foodweb. *Wat. Sci. Technol.*, 1995, 32:63~75.
- [2] Qi Y Z, Lu S H and Qian H L, *et al.* Studies on phytoplankton and red tide organisms in embayments on the west Guangdong coast V. Hailing Bay. *J. of Ji'nan University (Natural Science)*, 1994, 15(1):151~155.
- [3] Zhou H G, Ning X N, Cai L M. Studies on species composition and abundance distribution of phytoplankton in the South China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2003, 25(supp. 2): 8~23.
- [4] SOC (State Oceanic China). *The criterion of Marine Monitoring*. Beijing: Oceanographical Press, HY003. 4-91. 1991. 205~282.
- [5] Booth B C, Larouche P, and Belarger S, *et al.* Dynamics of *Chaetoceros socialis* blooms in the North Water. *Deep-Sea Research II*. 2002, 49:5003~5025.
- [6] Wang Z H, Qi Y Z, and Li J R. Analysis and evaluation trophic status in aquaculture areas of Daya Bay. *Marine Environ. Sci.*, 2004, 23(2): 25~28.
- [7] He W Y, Yu Z M, and Zou J Z, *et al.* Analysis of dynamic process and the causes of *Eucampia zoodiacus* red tide in Jiaozhou Bay. *J. of Fisheries of China*, 2001, 25(3):310~314.
- [8] Xu N, Chen J F, and Wang Z H, *et al.* Dynamics analyses on several algal bloom events in Daya Bay of Guangdong I. Process of algal bloom and its relationship with environmental factors. *Mar. Environ. Sci.*, 2001, 20(2):1~6.

- [9] Wang Z H, Qi Y Z, and Xu N, *et al.* Population dynamics of *Asterionella japonica* and its relationship with environmental factors in Daya Bay. *China Environmental Science*, 2004, 24(1), 32 ~ 36.
- [10] Yutaka H, Miyahara K, and Nagai S, *et al.* Relationships between the dominant phytoplankton and DIN:DIP ratios in Osaka Bay and Harima-Nada. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1998, 64(2):243 ~ 248.
- [11] Hodgkiss I J, and Lu S H. The effects of nutrients and their ratios on phytoplankton abundance in Junk Bay, Hongkong. *Hydrobiology*, 2004, 512:215 ~ 229.
- [12] Qiu Y W. The characteristics of nutrients variation in the Daya Bay. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 23:85 ~ 93.
- [13] Lian J S, He J Z, Xiao L R, *et al.* The long-term change of the biodiversity at Daya Bay and the implication to HAB. In: He J Z, Lu S H, and Yu Z X eds. Recent advances in the prevention and management of harmful algal blooms in the South China Sea. The Association on Harmful Algal Blooms in the South China Sea, 2003, 11 ~ 16.
- [14] Wang Z H, Chen J F, Xu N, *et al.* Relationship between seasonal variations in *Gymnodinium* spp. population and environmental factors in Daya Bay, the South China Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11):1825 ~ 1832.
- [15] Chen J F, Qi Y Z, and Xiao Y Z, *et al.* A new red tide species found *Peridinium quinquecorne* Abé in South China Sea. *Mar. Environ. Sci.*, 2000, 19: 20 ~ 23
- [16] Zhong S S, Li J R, and Luo Y D. Environmental factors analysis of *Peridinium quinquecorne* red tide occurred in Daya Bay. *Mar. Environ. Sci.*, 2002, 21:34 ~ 38.
- [17] Xiao Y Z, Qi Y Z, and Wang Z H, *et al.* The relationship between *Scrippsiella trochoidea* red tide and cyst in the Daya Bay. *Marine Science*, 2000, 25 (9): 50 ~ 54.
- [18] Bulletin of marine disaster in China in 2003 III: Red tide disaster. <http://www.soa.gov.cn/bbs/2003hyzh/3.htm>.

参考文献:

- [2] 齐雨藻, 吕颂辉, 钱宏林, 等. 南海港湾(海陵湾)浮游植物与赤潮生物研究. 暨南大学学报(自然科学版), 1994, 15(1):151 ~ 155.
- [3] 朱海根, 宁修仁, 蔡显明. 南海浮游植物种类组成和丰度分布的研究. 海洋学报, 2003, 25(增刊2):8 ~ 23.
- [4] 国家海洋局. 海洋监测规范. 北京: 海洋出版社, 1991. 4 ~ 91. 205 ~ 282.
- [6] 王朝晖, 李锦蓉, 齐雨藻, 等. 大亚湾养殖区营养盐状况分析与评价. 海洋环境科学, 2004, 23(2): 25 ~ 28.
- [7] 霍文毅, 俞志明, 邹景忠, 等. 胶州湾 *Eucampia zodiacus* 赤潮生消动态过程及其成因分析. 水产学报, 2001, 25(3):310 ~ 314.
- [8] 徐宁, 陈菊芳, 王朝晖, 等. 广东大亚湾藻类水华的动力学分析 I. 藻类水华的生消过程及其与环境因子的关系. 海洋环境科学, 2001, 20(2):1 ~ 6.
- [9] 王朝晖, 齐雨藻, 徐宁, 等. 大亚湾日本星杆藻种群动态及其与环境因子的关系. 中国环境科学, 2004, 24(1):32 ~ 36.
- [12] 丘耀文. 大亚湾营养物质变异特征. 海洋学报, 2001, 23(1):85 ~ 93.
- [13] 练健生, 何建宗, 肖丽莹, 等. 大亚湾生物多样性的变化及其对赤潮发生的可能意义. 何建宗, 吕颂辉, 俞子修等主编: 南中国海红潮预防和管理的前缘发展. 南中国海赤潮学会出版, 2003. 11 ~ 16.
- [14] 王朝晖, 陈菊芳, 徐宁, 等. 大亚湾裸甲藻种群的季节变化与环境条件的关系. 生态学报, 2001, 21(11):1825 ~ 1832.
- [15] 陈菊芳, 齐雨藻, 肖咏之, 等. 我国赤潮新记录种——*Peridinium quinquecorne* Abe 的研究. 海洋环境科学, 2000, 19(3):20 ~ 23.
- [16] 钟思胜, 李锦蓉, 罗一丹. 大亚湾五角多甲藻赤潮发生的环境因素分析. 海洋环境科学, 2002, 21:34 ~ 38.
- [17] 肖咏之, 齐雨藻, 王朝晖, 等. 大亚湾海域锥状斯氏藻赤潮及其与孢囊的关系. 海洋科学, 2001, 25(9): 50 ~ 54.
- [18] 2003 年中国海洋灾害公报 3: 赤潮灾害. <http://www.soa.gov.cn/bbs/2003hyzh/3.htm>.