

大亚湾汕头海域硅藻、甲藻的数量变动及其 与环境因子的关系*

王朝晖 陈菊芳 徐 宁 齐雨藻

(暨南大学水生生物研究所 广州 510632)

提要 于 1997 年 7 月—1998 年 6 月采集大亚湾汕头海域水样, 根据《海洋监测规范》分析调查方法, 研究了硅藻和甲藻的数量变动及其与环境因子之间的关系, 共鉴定出浮游植物 198 种, 其中硅藻 98 种, 甲藻 83 种。结果表明, 大亚湾浮游植物细胞密度较高, 年平均细胞密度为 424.7 cells/ml, 最高细胞密度为 6689.8 cells/ml, 硅藻为浮游植物的主要类群。调查期间共发生藻类水华 7 次, 硅藻可在全年各季节发生水华, 而甲藻水华仅在春季发生。硅藻水华的消退与 N 的大量消耗有关, 而甲藻水华对 P 消耗较大。结果表明, 大亚湾合适的温度、盐度、气象条件、丰富的硅酸盐含量及 N、P 等营养盐的及时补充是大亚湾浮游植物数量高和水华频繁发生的主要原因, 同时风、流等物理因素对藻类的聚积作用对水华的发生也有一定的促进作用。

关键词 浮游植物, 大亚湾, 水华, 环境因子

中图分类号 Q178.53, X145

硅藻和甲藻是海洋浮游植物群落中的基本组成部分, 两者的数量变动对浮游植物群落结构和海洋生态环境的维持起着十分重要的作用(Riegman, 1995; 王朝晖等, 2003; 吴玉霖等, 2004)。由于人类的影响, 海水富营养化程度日益加剧, 海水中营养盐结构也发生了变化, 使海域浮游植物群落中甲藻等鞭毛藻类数量和种类增加, 有毒鞭毛藻赤潮频繁发生(周名江等, 2001)。

大亚湾位于珠江口东侧, 是一个半封闭的亚热带海湾, 同时也是广东省重要的水产养殖基地和大亚湾核电站所在地。在经济高速发展的 20 世纪 90 年代, 大亚湾海域营养盐结构也发生了改变, 从 90 年代初的 N 限制型海域转变为 P 限制型海域, 甲藻赤潮发生频率也随之增加(彭云辉等, 2002; 钟思胜等, 2002)。本项目组以大亚湾汕头海域作为赤潮研究常年监测点, 对该海域发生的一些藻类水华事件和某些优势种类的种群变动已作了报道(王朝晖等, 2001; 徐宁等, 2001; 钟思胜等, 2002), 但尚未对浮游植物群落中硅藻、甲

藻数量的年变化规律及两者之间相互演替进行分析。本文中作者系统分析了 1997—1998 年度该海域硅藻和甲藻数量的年变化规律及其与环境因子的关系, 为进一步揭示增养殖区赤潮发生机制提供基础资料, 以保证近海海洋环境的可持续发展 and 利用。

1 材料与方法

在大亚湾汕头海域设置 8 个采样点(表 1), 其中 S1 站位于较为密集的居民区附近, S2、S7、S8 站位于网箱养殖区, S3—S5 站在较为近岸海域, S6 站则为远岸对照点。1998 年 4 月 2 日—6 月 1 日在 S1—S6 站每隔 3 天采集 1 次样品, S7、S8 站每隔半月采集 1 次, 其余时间(1997 年 7 月—1998 年 2 月)只在 S2 站每隔 3 天采集 1 次。当水深大于 5m 时, 采集表、底两层样品, 低于 5m 则只采集表层样品。

样品分析项目包括各项理化因子、气象因子、海况因子以及生物因子。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

* 国家自然科学基金项目资助, 40306020 号; 国家重点基础研究发展规划项目(973)资助, 2001CB409701 号。王朝晖, 副教授, E-mail: twzh@jnu.edu.cn

收稿日期: 2003-06-10, 收修改稿日期: 2003-09-10

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》(国家海洋局, 1991)。水样采集后, 立即用 4% 中

性福尔马林固定, 逐步浓缩至 20—50ml, 然后取 0.1ml 在 Olymplus CH30 或 BH2 显微镜下观察分析。

表 1 大亚湾澳头海域各采样点的位置
Tab. 1 Location of sampling stations in Aotou area of Daya Bay

站位	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
经度 E	114°32′02″	114°31′55″	114°31′52″	114°32′03″	114°32′28″	114°32′48″	114°31′27″	114°31′27″
纬度 N	22°42′39″	22°42′22″	22°42′10″	22°41′57″	22°42′16″	22°40′51″	22°40′25″	22°40′38″

2 结果

2.1 浮游植物组成

大亚湾澳头海域浮游植物主要由硅藻类和甲藻类组成, 同时还有蓝藻、绿藻、隐藻、裸藻、黄藻和金藻等其他藻类, 一年的监测中共分析鉴定出浮游植物 198 种(含变种、变形), 其中硅藻类 39 属 98 种, 甲藻类 14 属 83 种, 其他类别 12 属 17 种。硅藻中以角毛藻属(*Chaetoceros*) 的种类最为丰富, 甲藻则以原甲藻属(*Prorocentrum*)、原多甲藻属(*Protoperdinium*) 的种类较为丰富。优势种类主要有日本星杆藻(*Asterionella japonica*)、窄隙角毛藻(*Chaetoceros affinis*)、拟菱形藻(*Pseudo-nitzschia* spp.)、细弱海链藻(*Thalassiosira subtilis*)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*) 等硅藻类和裸甲藻(*Gymnodinium* sp.)、微小原甲藻(*Prorocentrum minimum*) 等甲藻类。

调查期间共记录了 50 余种赤潮原因藻类, 其中不少是有毒、有害种类, 如塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)、链状亚历山大藻(*A. catenella*)、渐尖鳍藻(*Dinophysis acuminata*)、具尾鳍藻(*D. caudata*)、卵鳍藻(*D. ovum*)、多纹膝沟藻(*Gonyaulax polygramma*)、裸甲藻(*Gymnodinium* sp.)、米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)、链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum*)、短凯伦藻(*K. brevis*)、血红哈卡藻(*Akashiwo sanguinea*)、环节环沟藻(*Gyrodinium instriatum*)、夜光藻(*Noctiluca scintillans*)、多甲藻(*Peridinium quinquecorne*)、三角棘原甲藻(*Prorocentrum triestinum*)、微小原甲藻、利玛原甲藻(*P. lima*)、锥状斯氏藻(*Scrippsiella trochoidea*) 等甲藻类, 海洋卡盾藻(*Chattonella marina*)、赤潮异湾藻(*Heterosigma akashiwo*) 等针胞藻类(Heptophyceae), 球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*) 等定鞭藻类。

2.2 春季硅藻和甲藻数量分布特征

春季硅藻和甲藻数量交替出现峰值, 硅藻细胞数量出现 2 个峰值(图 1), 优势种类分别为细弱海链藻和窄隙角毛藻。4 月初水温上升后, 甲藻生长速度加快, 各类甲藻数量均较高, 使甲藻数量出现了春季的第一个高峰, 此峰仅在位于湾内近岸 S1—S4 站出现。5 月初和 5 月底数量高峰是由裸甲藻引起, 优势种类主要是一种直径为 20—30 μ m 的小型裸甲藻, 与 4 月初甲藻高峰相反, 细胞密度在 S6 和 S5 站较高(图 2)。

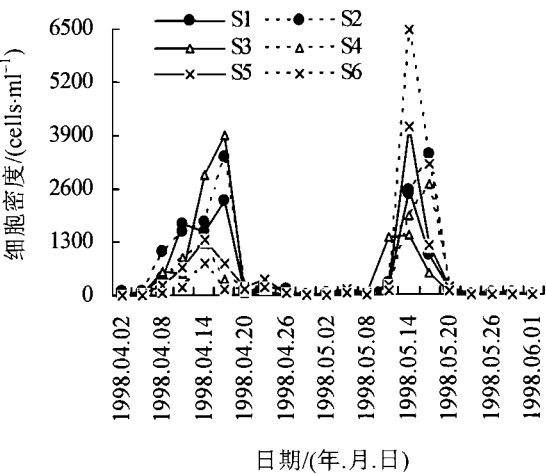


图 1 1998 年春大亚湾 6 个站硅藻细胞密度的变化
Fig. 1 Variation of cell concentration of diatoms in six stations of Daya Bay in spring 1998

由于调查的 6 个站位同属于一个生物群落, 浮游植物组成和数量差异不大, 而且优势种类相同, 虽然各站位都几乎在同一时间出现密度峰值, 但密度高峰的出现还存在 2—3d 的时间差, 水华高峰一般是先从较为离岸的 S6 站开始, 随后才从湾外向湾内 S1 和 S2 站扩散(图 1、图 2)。

甲藻细胞密度有较明显的垂直分布特征, 在

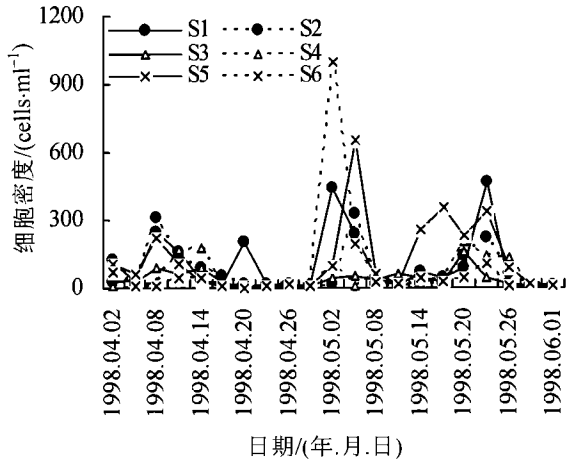


图2 1998年春大亚湾6个站位甲藻细胞密度的变化
Fig. 2 Variation of cell concentration of dinoflagellates at six stations of Daya Bay in spring 1998

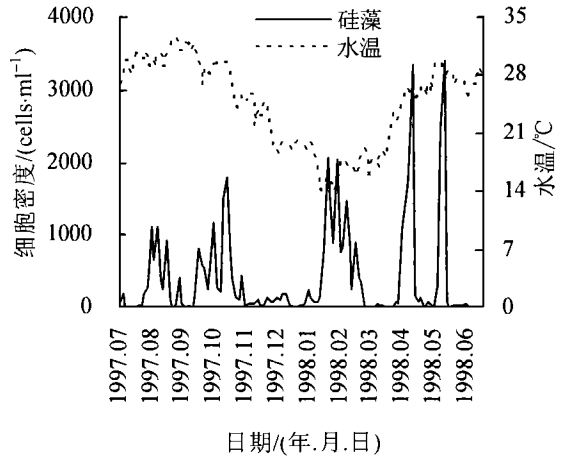


图3 1997—1998年S2站硅藻种群数量与水温的周年变动
Fig. 3 Annual change of cell density of diatoms and water temperature in S2 from 1997 to 1998

采集了表、底两层的S1—S3这3个站位中,大部分时间底层甲藻细胞密度明显高于表层,表底两层甲藻平均细胞密度分别为57.8和94.6cells/ml,而在两次裸甲藻水华发生时,底层甲藻细胞数量是表层的1.44—54.5倍。

2.3 硅藻和甲藻数量变化与环境因子的关系

大亚湾澳头海域水温年变化范围在14.0—32.8℃之间(图3),除12月下旬至3月上旬,水温低于20℃以外,其余时间大多在25℃以上,3月份水温存在一个急升期,由上旬的15℃左右上升至下旬的24℃左右。由于大亚湾没有大的地表径流流入,盐度变化不大,仅在多雨的台风季节有所降低,大部分时间盐度在30以上,年变化范围为15.1—32.8。因此该海域浮游植物种群数量的季节变动与水温年变化规律关系十分密切,而与盐度关系不大。

硅藻对温度的适应能力较强,水温为15—31℃范围内均可保持较高密度。从S2站硅藻细胞密度年变化趋势(图3)可明显观察到5个高峰期,高峰期硅藻细胞数量均超过1000cells/ml,分别为8月中下旬(1997年夏)、9月底至10月中旬(1997年秋)、1月底至2月中旬(1997年冬)、4月中旬和5月中旬(1998年春),也就是说硅藻在春、夏、秋、冬四季均可形成数量高峰。甲藻对水温的适应能力较低,细胞密度仅在23—30℃温度范围内较高,密度峰值也出现在水温急升期之后的春季(图4)。

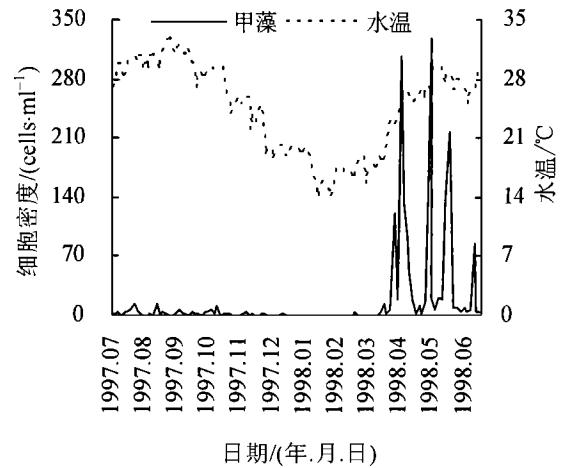


图4 1997—1998年S2站甲藻种群数量与水温的周年变动
Fig. 4 Annual change of cell density of dinoflagellates and water temperature in S2 from 1997 to 1998

大亚湾澳头海域营养盐含量年度变化范围较大,1997—1998年度DIN(三氮总和,可溶性无机氮)、DIP(可溶性无机磷)、DSi(无机硅酸盐)变化范围分别为2.73—325.4μg/L N、未检—74.5μg/L P、177—3532μg/L Si,各营养元素之间比值(原子比)也相差较大,N:P、Si:P年度变化范围分别为0.7—486.6、1.9—595.3、9.6—1169.9,DIN、DIP、DSi浓度和N:P的平均值分别为115.0μg/L N、10.5μg/L P、1223.2μg/L Si和55.4。高密度的硅藻和甲藻主要出现在DIN、DIP浓度和N:P分别为10—150μg/L N、2—20μg/L P、5—125

和 20—250 $\mu\text{g/L}$ N、2—20 $\mu\text{g/L}$ P、7—250 范围内。
从春季各站位平均硅藻细胞密度与 N、P 的关系来看(图 5、图 6), 硅藻细胞密度峰值出现前期即水华潜伏期, N、P 含量处于较高的水平, 随着硅藻细胞的迅速繁殖, 消耗了水体中的大量营养物质, 至水华发生盛期, DIN 含量跌至低谷, DIP 含量也有所降低, 同时 N:P 降低。随着硅藻细胞密度的下降, 水体中 DIN 含量逐渐回升, 甲藻增殖也加快, 甲藻细胞密度迅速上升, 最终导致甲藻水华的发生。5 月初裸甲藻水华发生前期, DIN 和 DIP 含量均出现较高水平, 随着细胞的大量繁殖, P 的消耗增加, 水华高峰期水体中 DIP 含量急剧下降,

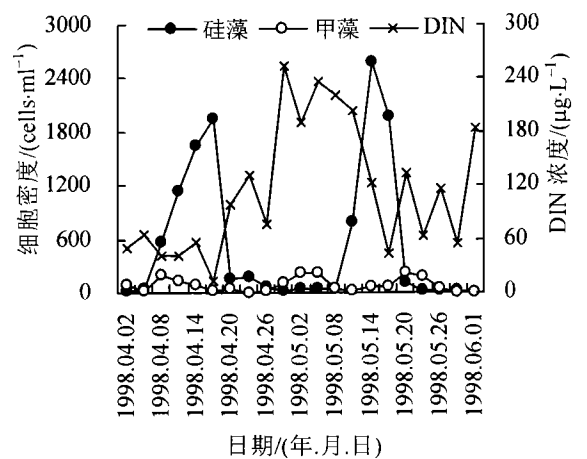


图 5 大亚湾 1998 年春季硅藻、甲藻数量变化与 DIN 的关系
Fig. 5 Variation of cell concentrations of diatoms and dinoflagellates and DIN in spring 1998 in Daya Bay

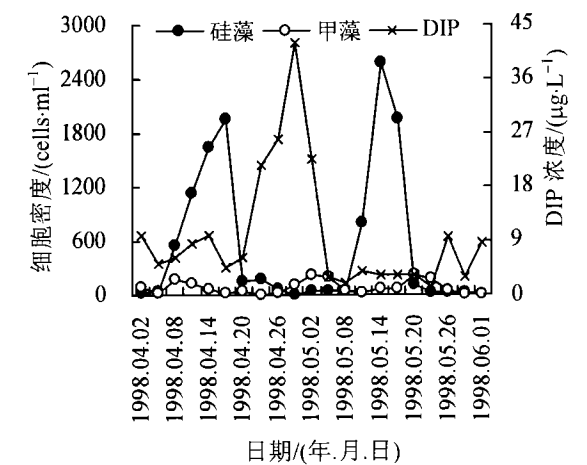


图 6 大亚湾 1998 年春季硅藻、甲藻数量变化与 DIP 的关系
Fig. 6 Variation of cell concentrations of diatoms and dinoflagellates and DIP in spring 1998 in Daya Bay

而 DIN 含量却仍保持较高水平(图 5、图 6), 使 N:P 迅速上升, 随后随着硅藻增殖速度的加快, 水体中 N 的消耗增加, N:P 逐渐下降。5 月下旬的裸甲藻水华对 P 的消耗也较大, 水华过后, DIP 含量几乎达到耗尽的程度。

虽然大亚湾并不缺乏 Si, 但硅藻的快速增殖消耗水体中大量 DSi, 在两次硅藻水华发生高峰期, DSi 含量急剧下降至低谷, 水华消退后, DSi 水平迅速回复至水华前水平, 而在 3 次甲藻密度高峰期, DSi 含量不但未下降反而有所上升(图 7)。

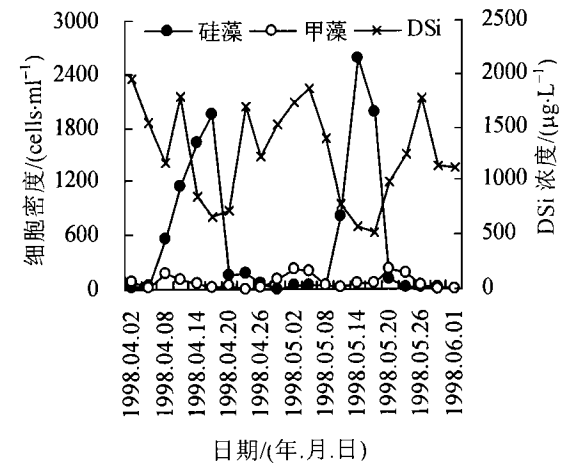


图 7 大亚湾 1998 年春季硅藻、甲藻种群数量变化与 DSi 的关系
DSi 的关系

Fig. 7 Variation of cell concentration of diatoms and dinoflagellates and DSi in spring 1998 in Daya Bay

春季是华南沿海阴雨季节, 也是藻类水华发生高发季节, 但不同类型水华发生时的气象条件略有差异。硅藻水华发生潜伏期(水华藻类急剧生长期)一般为晴朗天气, 高细胞密度维持期出现在阴雨天气, 水华高峰期或高峰期前 1—2 天气好转, 持续降雨或大量降雨则使水华消散, 这说明硅藻的快速生长需要较高的光照强度。甲藻水华潜伏期至高峰期一直持续阴雨, 天气晴朗后, 水华便迅速消退, 而且两次裸甲藻水华发生期间, 都出现持续多日的阴雨天气。

3 讨论

3.1 大亚湾汕头海域浮游植物分布特征

虽然大亚湾汕头海域 N、P 含量并不是太高, 但浮游植物密度较高, 该海域这种低营养、高产特征与其环境、气候等因素密切相关。大亚湾地处亚热带海域, 除个别月份外, 水温均在适合藻类

生长的 20—30℃ 范围内, 而且附近没有大的地表径流入, 盐度波动较小, DSi 含量丰富, 硅藻的生长没有受到限制。在本调查中, 硅藻特别是小型硅藻种类十分丰富, 数量相当高, 它们交替或同时在浮游植物群落中占据优势, 可在全年各季节形成水华。同时由于养殖污染和附近居民区生活污水的污染, 营养元素补充及时, 一轮水华结束之后, 营养盐含量能迅速恢复, 新一轮水华又能马上开始, 1997 年夏、秋、冬季的角毛藻、日本星杆藻、拟菱形藻等硅藻水华都是相继出现, 高细胞密度持续时间都长达 20—30 天, 而春季则是硅藻和甲藻水华交替出现。

大亚湾是一个浅水内湾, 平均水深仅为 11m。本研究中采集了表、底两层样品的 S1—S3 站水深约 5—7m, 底层样品处于离水面 5m 左右的水层, 底层甲藻细胞密度在大部分情况下高于表层, 特别是在 2 次裸甲藻水华期间, 底层甲藻数量更是表层的 1.44—54.5 倍。浮游甲藻在自然环境中具有一定昼夜垂直分布规律, 许多甲藻白天处于离水面 5m 左右的亚表层, 夜晚则迁移至营养物质较为丰富的底层水体 (Nakamura *et al.*, 1996, Koizumi *et al.*, 1996)。此外, 本调查期间澳头海域甲藻的优势种类裸甲藻是一种无细胞壁的裸露的自养型甲藻, 对光强的要求较低, 裸甲藻水华期间虽多为阴雨天气, 但光强也较强, 水面光照强度多在 10000lx 以上 [约 $600\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$], 为了避免阳光直射, 裸甲藻趋向于在离水面一定距离的亚表层分布。

本调查中, 浮游植物数量高峰一般从远岸的 S6 开始, 然后向近岸海域扩展, 说明风、流等物理因素所引起的赤潮生物的聚积也是沿岸海湾赤潮爆发的重要原因, 而 1998 年厄尔尼诺活跃年, 副热带高压强盛, 东南季风较强, 有利于浮游植物向沿岸聚积。

3.2 春季浮游植物季节演替与营养盐的关系

N、P、Si 是浮游植物赖以生存的主要营养元素, 大亚湾 Si 含量十分丰富, N 和 P 就成为影响浮游植物群落结构和种群动态的主要因子。与往年相比, 1997—1998 年度大亚湾水体中 DIP 有较大幅度的下降, DIN 含量则有所上升。DIP 浓度大多小于 $10\mu\text{g}/\text{L}$, 低于或接近浮游植物生长所需 P 水平的极限值 ($24\mu\text{mol}/\text{L}$); 平均 N:P 为 55.4, 大大超出浮游植物 Redfield 比值 (N:P=16), 表现出明显 P 限制。

不同藻类对营养盐的需求不同, 甲藻对 P 的需求较大, P 被认为是甲藻水华发生的主要限制因素, 而 N:P 的变化是沿岸群落季节演替的重要因素之一 (Riegman, 1995; Yutaka *et al.*, 1998, Hodgkiss *et al.*, 1997), 而本研究结果也显示 P 的消耗导致了甲藻水华的消退。虽然有研究报道硅藻水华对 P 的消耗也较大 (霍文毅等, 2001), 但本研究结果显示硅藻水华对 N 的需求较高, 在硅藻水华高峰期一般都与 DIN 含量低谷相对应 (图 5)。甲藻、硅藻对 N、P 营养元素的不同需求和不同程度的消耗使大亚湾澳头海域春季水华频繁发生, 硅藻水华过后, 甲藻能迅速生长起来, 并发生水华。

4 结论

大亚湾澳头海域水温较高, 盐度波动较小, 营养盐含量虽不太高, 但从不缺乏而且补充及时, DSi 含量丰富, 极有利于浮游植物的生长和繁殖, 浮游植物密度较高, 常见优势种为拟菱形藻、星杆藻、角毛藻等小型硅藻类。硅藻水华可常年发生, 甲藻多在春季出现, 而甲藻、硅藻对 N、P 营养元素的不同需求和不同程度的消耗使春季硅藻、甲藻水华交替发生。

参 考 文 献

- 王朝晖, 陈菊芳, 徐 宁等, 2001. 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, 21(11): 1825—1832 [Wang Z H, Chen J F, Xu N *et al.*, 2001. Relationship between seasonal variations in *Gymnodinium* spp. population and environmental factors in Daya Bay, the South China Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 21(11): 1825—1832]
- 王朝晖, MATSUOKA Kuzumi, 齐雨藻, 2003. 有毒亚历山大藻 (*Alexandrium* spp.) 和链状裸甲藻 (*Gymnodinium catenatum*) 孢囊在中国沿海的分布. 海洋与湖沼, 34(4): 422—430 [Wang Z H, MATSUOKA K, Qi Y Z, 2003. Distribution of Cysts of Toxic *Alexandrium* spp. and *Gymnodinium catenatum* Along the Chinese Coastal Waters. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 34(4): 422—430]
- 丘耀文, 2001. 大亚湾营养为主变异特征. 海洋学报, 23(1): 85—93 [Qiu Y W, 2001. The characteristic of nutrient variation in the Daya Bay. *Acta Oceanologica Sinica*, 23(1): 85—93]
- 吴玉霖, 孙 松, 张永山等, 2004. 胶州湾浮游植物数量长期动态变化的研究. 海洋与湖沼, 35(6): 518—523 [Wu Y L, Sun S, Zhang Y S *et al.*, 2004. Quantitative Study on Long-Term Variation of Phytoplankton in Jiaozhou

Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 35(6): 518—523]

国家海洋局, 1991. 海洋监测规范. HY003. 4—91. 北京: 海洋出版社, 205—282

周名江, 朱明远, 张 经, 2001. 中国赤潮的发生趋势和研究进展. *生命科学*, 13(2): 54—59 [Zhou M J, Zhu M Y, Zhang J, 2001. Status of harmful algal blooms and related research activity in China. *Chinese Bulletin of Life Sciences*, 13(2): 54—59]

钟思胜, 李锦蓉, 罗一丹, 2002. 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*, 21(1): 34—38 [Zhong S S, Li J R, Luo Y D, 2002. Environmental factors analysis of *Peridinium quinquecorne* red tide occurred in Daya Bay. *Mar Environ Sci*, 21: 34—38]

徐 宁, 陈菊芳, 王朝晖等, 2001. 广东大亚湾藻类水华的动力学分析 II. 藻类水华与营养元素的关系研究. *环境科学学报*, 21(4): 400—404 [Xu N, Chen J F, Wang Z H *et al*, 2001. Dynamics analyses on several algal bloom events in Daya Bay of Guangdong II. A study of relationship between algal bloom and nutrients. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 21(4): 400—404]

彭云辉, 孙丽华, 陈浩如等, 2002. 大亚湾海区营养盐的变化及富营养化研究. *海洋通报*, 21(3): 44—49 [Peng Y H, Sun L H, Chen H R *et al*, 2002. Study on eutrophication and change of nutrients in the Daya Bay. *Marine Science Bulletin*, 21: 44—49]

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): 311—318 [Huo W Y, Yu Z M, Zou J Z *et al*, 2001. Outbreak of *Skeletonema costatum* red tide and its relations to environmental factors in Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 32(3): 311—318]

Hodgkiss I J, Ho K C, 1997. Are changes in N: P ratios in coastal waters the key to increased red tide blooms? *Hydrobiologia*, 352: 141—147

Koizumi Y, Uchida T, Honjo T, 1996. Diurnal vertical migration of *Gymnodinium mikimotoi* during a red tide in Hoketsu Bay, Japan. *J Plankton Res*, 18: 289—294

Nakamura Y, Suzuki S Y, Hiromi J, 1996. Development and collapse of a *Gymnodinium mikimotoi* red tide in the Seto Inland Sea. *Aquat MicrobEcol*, 10: 131—137

Riegman R, 1995. Nutrient related selection mechanisms in marine phytoplankton communities and the impact of eutrophication on the planktonic foodweb. *Wat Sci Technol*, 32: 63—75

Yutaka H, Miyahara K, Nagai S *et al*, 1998. Relationships between the dominant phytoplankton and DIN: DIP ratios in Osaka Bay and Hiroshima-Nada. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 42(2): 243—248

DYNAMICS ON CELL DENSITIES OF DIATOM, DINOFLAGELLATE AND RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENTAL FACTORS IN AOTOU AREA, DAYA BAY, SOUTH CHINA SEA

WANG Zhao-Hui, CHEN Ji-Fang, XU Ning, QI Yi-Zao

(Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou, 510632)

Abstract Daya Bay of the South China Sea, where a major nuclear power plant resides, is a large local inlet and an important aquaculture area in Guangdong Province. This area has been seriously affected by human activities in the last decade. In order to understand better the phytoplankton structure and their relationship to environmental factors in aquaculture areas, a study was carried out on phytoplankton structure and bloom dynamics from July 1997 to June 1998 in Aotou area of Daya Bay. Water samples, ambient chemical, physical and meteorological data were examined. 198 species of phytoplankton were identified during one-year study period. Diatom was the most diversified group of which 98 species in 39 genera were observed, while dinoflagellate ranked second with 83 species in 14 genera. More than 50 species of harmful algal bloom (HAB) causative phytoplankton were recognized in this survey, such as genus *Alexandrium*, *Dinophysis acuminata*, *Gonyaulax*, *Gymnodinium*, *Karenia*, *Akashiwo*, *Scrippsiella*, *Chattonella*, *Heterosigma* and *Phaeocystis*. Nutrient contents were not very high, but when supplemented by mariculture and domestic discharge, they increased quickly, resulting in high primary production. The maximum and annual average phytoplankton cell densities were 6689.8 and 424.7 cells/ml, respectively. Blooms occurred frequently in the year, four occurred in spring and one in each of the other three seasons. Most blooms occurred in offshore areas first, before spreading and assembling two or three days later, by way of currents and winds, in inshore areas. Diatoms were dominant in all seasons making up an average of 94.9% of total phytoplankton. Dinoflagellates, however, were prevalent only in spring. Dominant diatoms included *Asterionella japonica*, *Chaetoceros affinis*, *Pseudonitzschia* spp., *Skeletonema costatum* and *Thalassiosira subtilis*, which predominated alternately or co-dominated together. Nutrient concentrations were high prior to spring blooms of diatom, and large amounts of nutrients were assimilated as cell densities increased. Nutrient content especially that of DIN reached to the minimum points at the maximum scale of diatom blooms. Growth of dinoflagellates then accelerated as nutrient content rose and diatom blooms declined. High DIP promoted the blooms of dinoflagellate. The DIP was almost fully used during bloom period. Furthermore, DIP exhaustion dissipated dinoflagellate blooms. Nutrient elements needed by diatoms and dinoflagellates are different. This was probably the reason for frequent occurrence of spring blooms caused alternately by these two different phytoplankton groups. Results suggest that favourable water temperature, salinity, meteorological conditions and sufficient DSi, rapid influx of nutrients are major causes of high cell concentrations of phytoplankton and frequent outbreaks of bloom in Aotou area of Daya Bay. Moreover, accumulation of algal cells from the outer areas to the inner bay by physical factors as wind and current, play an important role in the occurrence of blooms.

Key words Phytoplankton, Daya Bay, Algal bloom, Environmental factors