

大亚湾裸甲藻种群的季节变化与环境条件的关系

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)

摘要:研究了大亚湾 1997 年 7 月至 1998 年 6 月裸甲藻种群季节变化及其与环境因子的关系。裸甲藻在大亚湾主要出现在 4~5 月份, 并在 4 月至 5 月份出现了 4 个密度高峰, 最高密度可达每毫升 996 个细胞, 6 月至 9 月份偶有出现, 10 月至 2 月份则未出现。裸甲藻高密度出现的温度、盐度范围分别为 25~30℃ 和 24‰~32‰。裸甲藻在大亚湾的出现及 4、5 月份的密度高峰与水温的季节变化密切相关, 3 月份水温存在一个急升期, 水温由 3 月初的 15.5℃ 以下上升至 3 月底的 23.5℃ 左右, 为裸甲藻种群密度的急剧增长提供了合适的温度条件。大亚湾盐度的季节波动较小, 与裸甲藻种群的季节变化无关。大亚湾氮、磷、硅等营养物质含量丰富, 不存在营养元素缺乏, 但高密度的裸甲藻种群仅在氮、磷含量及氮磷比分别为 50~100μg/L, 5~20μg/L 和 5~30 范围内出现, 氮、磷、硅 3 种营养盐的含量及它们之间的比值特别是氮磷比是影响裸甲藻高密度出现的重要因素。

关键词:裸甲藻; 大亚湾; 南中国海; 种群动态

Relationship between seasonal variations in *Gymnodinium* spp. population and environmental factors in Daya Bay, the South China Sea

WANG Zhao-Hui, CHEN Ju-Fang, XU Ning, QI Yu-Zao (Institute of Hydrobiology, Jilnan University, Guangzhou 510632, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1825~1832.

Abstract: Seasonal population changes in *Gymnodinium* in Daya Bay, the South China Sea, were investigated from July 1997 to June 1998. The environmental factors were analyzed at the same time, and their effects on *Gymnodinium* population dynamics were also evaluated. High densities of *Gymnodinium* were measured in April and May at Daya Bay, in which four peaks of cell concentrations were observed. The highest density of 996 cells/ml was obtained at S6 on May 2 1998. *Gymnodinium* only occasionally appeared from June to September and disappeared from October to the next February. The optimal temperature and salinity for high cell density were 25~30℃ and 24‰~32‰, respectively. Temperature was considered to be an important factor controlling the high density of *Gymnodinium* cell concentration in April and May. This view was supported by a increase of water temperature in March at Daya Bay, which led temperature from 15.5℃ in early March increasing to 23.5℃ in late March. Salinity of Daya Bay fluctuated less than the water temperature and salinity had no relationship with cell density of *Gymnodinium*. Nutrient contents were abundant in Daya Bay, but high cell density of *Gymnodinium* only appeared when nitrogen, phosphorus contents and N:P ratio were between 50 and 100μg/L, 5 and 20μg/L, 5 and 30, respectively. Nitrogen, phosphorus, silica contents and proper ratios between them of those elements especially N:P ratio

基金项目: 国家自然科学基金“九五”重大资助项目(39790110)

收稿日期: 2000-03-25; 修订日期: 2001-01-12

作者简介: 王朝晖(1968~), 女, 湖南长沙人, 硕士, 副教授, 主要从事藻类生态学和生态毒理学研究。

* 通讯作者



play the key role in the population dynamics of *Gymnodinium* in Daya Bay.

Key words: *Gymnodinium*; Daya Bay; South China Sea; population dynamics

文章编号:1000-0933(2001)11-1825-08 中图分类号:Q949.249.8 文献标识码:A

裸甲藻(*Gymnodinium* spp.)是指一类无壳的自养型海洋甲藻,由于在一般生态学研究难以进行准确分类,把自养型裸甲藻均计入其中。裸甲藻属的许多种类能产生各种毒素,破坏海洋环境,甚至危害人类健康。短裸甲藻(*Gymnodinium breve*)能产生神经性贝毒(NSP),链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum*)能分泌麻痹性贝毒(PSP),而米氏裸甲藻(*Gymnodinium mikimotoi*)和 *Gymnodinium pulchellum* 等产生的毒素具有鱼毒素(Ichthyotoxin)的作用^[1],这些裸甲藻在海洋养殖区即使密度较低,尚未达到赤潮浓度时,某些种类也可通过食物链累积至对毒素耐受能力较强的贝类体内,从而危害人类健康;产生鱼毒素的某些种类,则会引起养殖鱼类迅速、大量死亡,造成巨大经济损失。

由于全球气候条件和海洋生态环境的恶化,海洋生物群落结构也发生了深刻变化。20世纪80年代至90年代初,我国南海海域浮游植物优势种类主要是一些常见的无毒硅藻和甲藻类^[2],罕见有毒种类,发生的赤潮也多为无毒赤潮^[3]。20世纪90年代后期,有毒鞭毛藻出现的频率和数量显著增加。1997年至1998年,南海沿岸海域发生了多起有毒鞭毛藻赤潮,1998年春发生于珠江口和香港海域的米氏裸甲藻赤潮更是造成了港、粤两地海洋养殖业3.5亿元的损失^[3,4]。

为了研究近年来裸甲藻赤潮频发的原因,本文系统分析了1997年7月至1998年6月我国南海大亚湾裸甲藻种群动态及其与环境因子的关系。

1 材料和方法

在大亚湾共设置8个采样点(图1),1998年4月2日至6月1日在S1至S6站每隔3d采样1次,S7、S8站半个月采样1次,其余时间(1997年7月至1998年3月)只在S1站每隔3d采样1次。样品采集分表、底两层,当水深低于5m时,只采集表层水样。

样品分析项目包括各种理化因子(水温、盐度、DO、COD、三氮、磷酸盐、硅、铁、锰等)、气象因子、海况因子以及生物因子(浮游动物、植物)。用2.5l的采水器分别在水表和距水底0.5m处采取表、底两层水样,1L用于浮游植物的定量分析,其余则用于其它水化因子的分析,各种因子的分析调查均按国家海洋局海洋调查规范进行。本文使用的裸甲藻和浮游植物数据均为采水器采集的水样定量分析数据。

2 结果

2.1 裸甲藻及浮游植物种群数量变化的时间分布

研究期间,在大亚湾共鉴定出裸甲藻5种,包括米氏裸甲藻(*Gymnodinium mikimotoi*)、红色裸甲藻(*Gymnodinium sanguineum*)、*Gymnodinium splendens*、链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum*)和短裸甲藻(*Gymnodinium breve*),另有3种未能鉴定到种。主要优势种类有两种,一种是细胞直径较小,约20 μ m左右的小型细胞,细胞大小、形状与 *Gymnodinium pulchellum* 类似,但具体种类尚未确定。另一种是细胞直径为40 μ m左右的较大细胞,而红色裸甲藻、链状裸甲藻、短裸甲藻等仅偶尔出现。

大亚湾海域出现的裸甲藻多为细胞直径较小的小型裸甲藻,裸甲藻密度高峰期间的优势种均为这种小型细胞,因此即使在调查期间,裸甲藻密度时常出现较高值,最高密度接近每毫升1000个细胞,但仍未

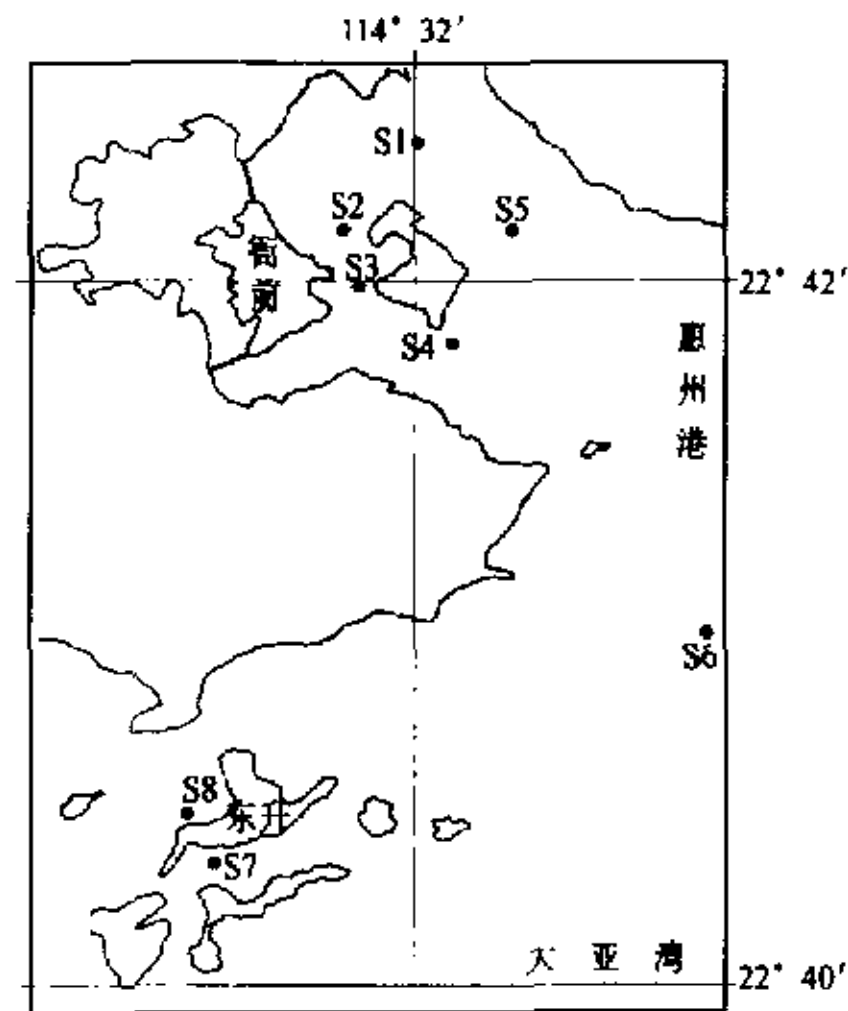


图1 大亚湾采样点的设置

Fig. 1 Sampling stations in Daya Bay

观测到明显的赤潮现象。

1997年7月至1998年6月,大亚湾8个采样点中裸甲藻主要在4月、5月份出现,而且密度较大,6月至9月份偶有出现,10月至次年2月份几乎没有出现,3月份以后数量逐渐增加(图2),最高密度出现在5月2日的S6表层水样,为996个/ml,占该样品浮游植物总数的98.9%。S1站表层裸甲藻密度于4月11日、4月20日、5月2日、5月23日出现了明显的4次高峰,高峰期裸甲藻密度多数超过100个/ml,其中以5月23日峰值最大(图3a),而此时浮游植物密度也出现了一个较高峰。浮游植物总数则在4月8日、4月20日、5月14日、5月23日也出现了4个峰值,而在这4个浮游植物密度峰值期,仅在4月20日和5月23日裸甲藻所占比例较大,其余2个高峰期,优势种为角毛藻(*Chaetoceros* spp.),其最高密度可达2445.4个/ml(图3b)。这说明1998年4月至5月大亚湾浮游植物优势种在裸甲藻和角毛藻之间交替出现,浮游植物密度的峰值正与这两种藻密度高峰期相对应。

2.2 裸甲藻种群数量变化与叶绿素a的关系

大亚湾1997年至1998年度叶绿素a的变化范围为0.62~16.23 $\mu\text{g/L}$ 之间,裸甲藻高密度出现在1~5 $\mu\text{g/L}$ 和10~15 $\mu\text{g/L}$ 两个范围内。由于裸甲藻密度与浮游植物密度相比较小,大多数时间裸甲藻数量占浮游植物总数的百分比不到10%,因此叶绿素a含量与裸甲藻密度并非同时出现峰值(图3a)。叶绿素a的变化规律与浮游植物总数的变化趋势相似,但由于浮游植物群落组成不同,细胞大小不同,叶绿素a含量也不同,因此叶绿素a含量的变化趋势与浮游植物数量变化趋势也不尽相同。4月11日至17日叶绿素a出现较高峰,但浮游植物、裸甲藻和角毛藻密度都较低,这主要因为此时样品中优势种为一些细胞体积较大的原多甲藻,因此出现了叶绿素含量与浮游植物密度不一致现象。4月11日裸甲藻密度虽出现一个峰值,浮游植物总密度并不高,叶绿素a含量并未因裸甲藻密度的增加而明显增加(图3)。5月份裸甲藻和角毛藻数量与叶绿素a含量变化呈相似的趋势,叶绿素a含量的上升与回落和裸甲藻、角毛藻的种群演替及浮游植物数量变化密切相关,5月23日裸甲藻密度达最高峰,占浮游植物总数的77.7%,此时叶绿素a的峰值也与裸甲藻密度保持一致。

2.3 裸甲藻种群数量变化与温度、盐度的关系

大亚湾水温年变化范围在14.0~32.8 $^{\circ}\text{C}$ 之间(图4),裸甲藻高频率、高密度出现的温度范围在25~30 $^{\circ}\text{C}$,此范围以外的温度条件下,裸甲藻仅零星出现

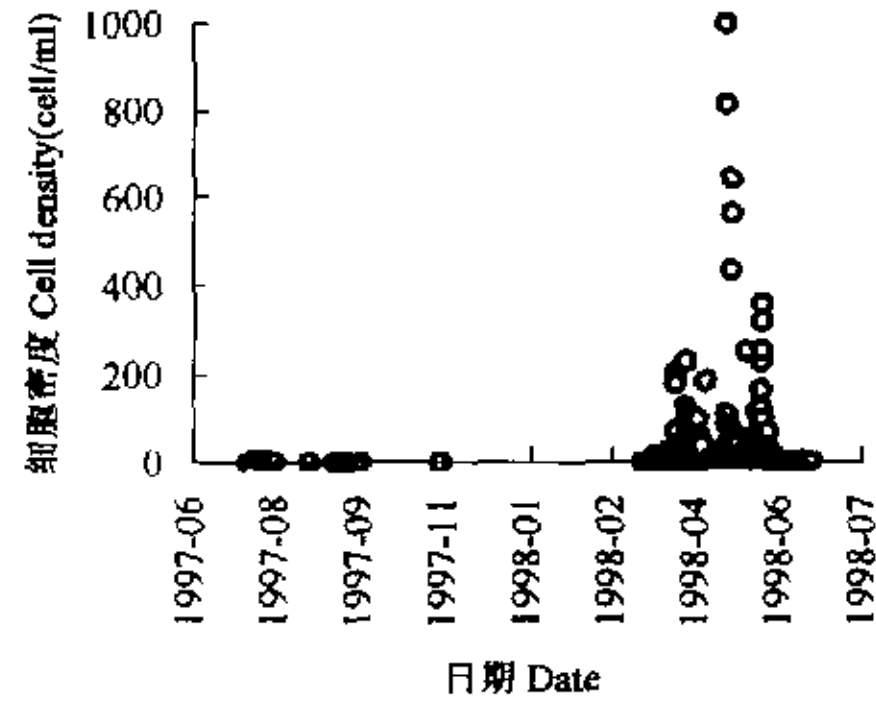


图2 1997年至1998年裸甲藻种群数量变动

Fig.2 Seasonal changes in cell density of *Gymnodinium* spp. from 1997 to 1998

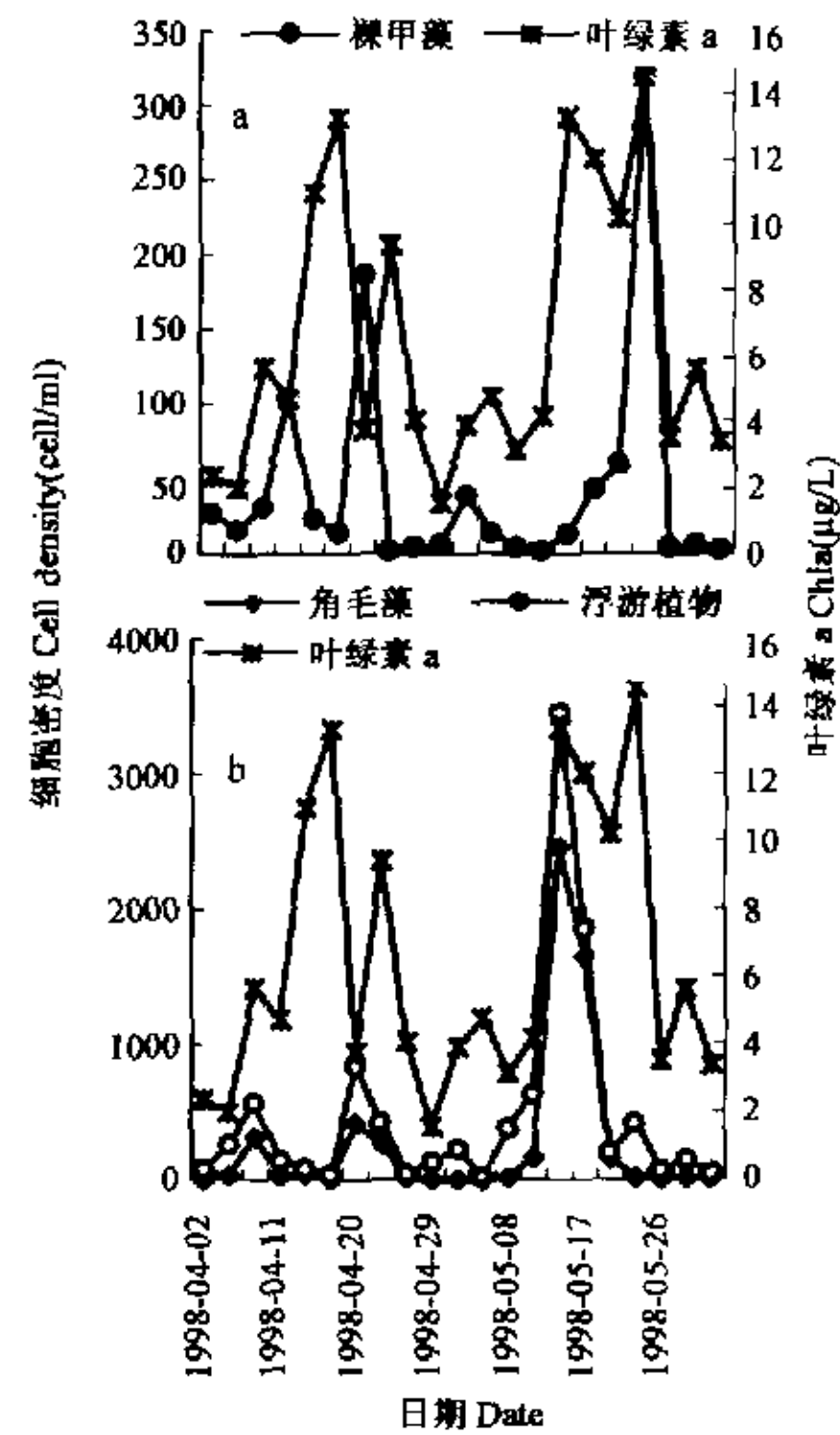


图3 S1表层水样中裸甲藻(a)、浮游植物(a,b)、角毛藻(b)密度与叶绿素a含量

Fig.3 Cell density of *Gymnodinium* (a), phytoplankton (a,b) and *Chaetoceros* (b) and Chl. a contents in S1 surface water

(图 5)。图 4 的温度年变化规律显示,大亚湾海域 4 月至 11 月水温维持在 25℃ 以上,12 月初水温急剧下降至 20℃ 左右,1 月中旬至 2 月上旬水温继续下降至 15℃ 左右,3 月上旬水温在 15~18℃ 之间波动,之后存在一个 8℃ 左右的急升期,水温从 3 月 7 日的 15.5℃ 急剧上升至 3 月 31 日的 23.5℃。水温的季节变化与裸甲藻的季节分布密切相关,水温低于 20℃ 的 12 月份至 3 月初,裸甲藻几乎没有在大亚湾海域出现;经过 3 月份的温度急升期后,裸甲藻出现频率和密度也急剧增加,4 月 2 日裸甲藻最高密度就达 180 个/ml,4 月 8 日达 230 个/ml,密度高峰期一直持续到 4 月 17 日(图 2)。水温升至 25℃ 以后,在 4 月至 6 月保持相对稳定,维持在 25~30℃。由于水深较浅(<10m),不存在温跃层,表、底两层水温相差不大,为 0.5℃ 左右,而且 1 至 6 月份水温 25~30℃ 之间的变化不会影响裸甲藻的出现和数量变化。

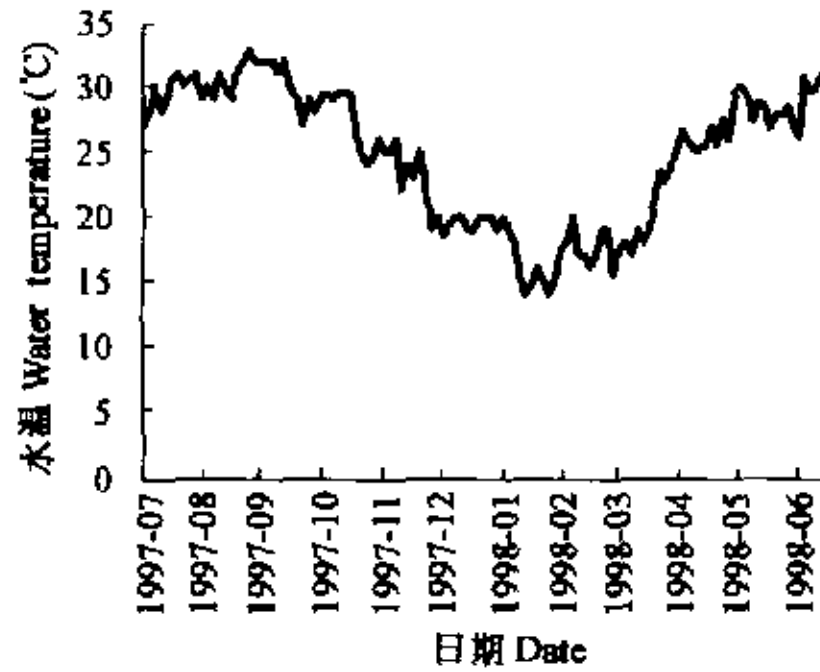


图 4 1997 年至 1998 年大亚湾海域水温的年变化

Fig. 4 Annual changes in water temperature from 1997 to 1998 at Daya Bay

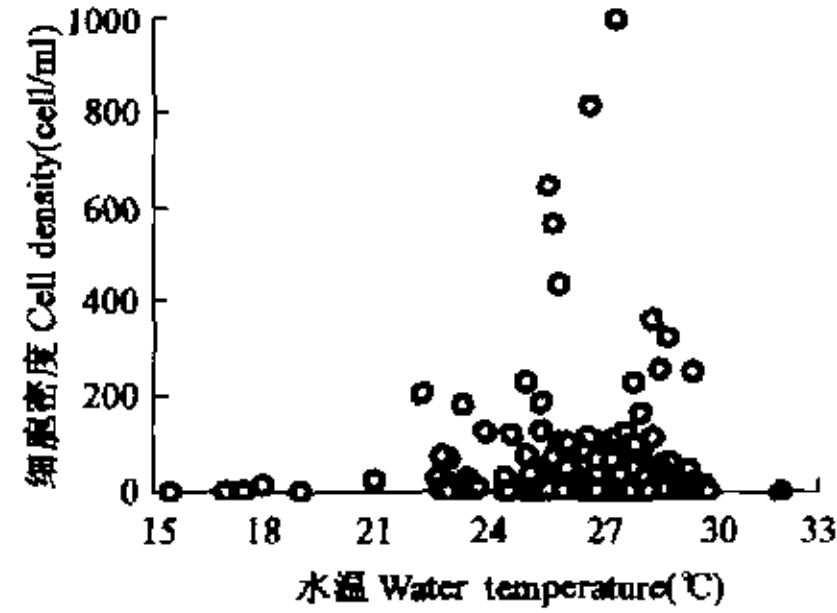


图 5 裸甲藻细胞密度与水温
Fig. 5 Cell density of *Gymnodinium* spp. and water temperature

大亚湾的盐度年变化范围在 15.1‰~32.8‰ 之间(图 6),高密度的裸甲藻种群仅出现在盐度为 24‰~32‰ 之间,在 30‰ 左右裸甲藻密度最大,盐度低于 24‰ 时,裸甲藻只是零星出现(图 7),S1 站裸甲藻出现的 4 次密度高峰时盐度在 28.3‰~30.3‰ 之间。大亚湾海域盐度季节变化不大,除大量降雨的台风季节外,盐度变动范围较小,仅在裸甲藻生长适合范围内变动,因此 4 月、5 月份出现的 4 次裸甲藻数量高峰与盐度无明显相关。

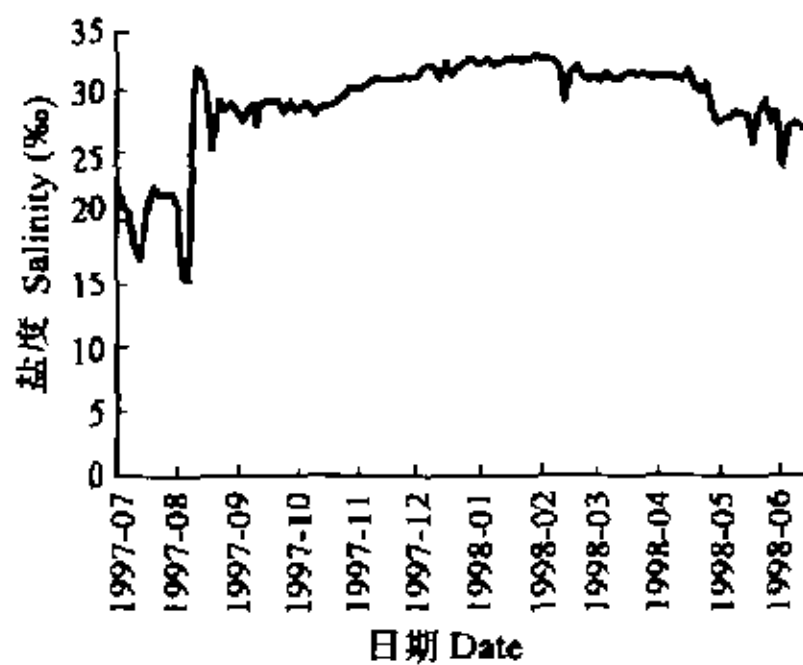


图 6 1997 年至 1998 年大亚湾海域盐度的年变化

Fig. 6 Annual changes in salinity from 1997 to 1998

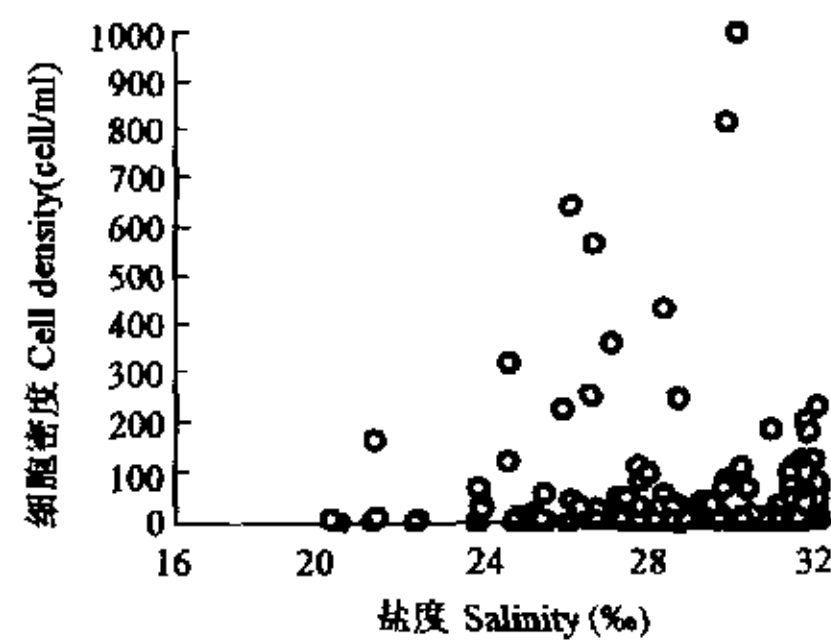


图 7 裸甲藻细胞密度与盐度
Fig. 7 Cell density of *Gymnodinium* spp. and salinity

2.4 裸甲藻种群数量变化与氮、磷、硅含量的关系

S1 站 1998 年 4 月至 6 月份总可溶性无机氮(DIN)、无机磷酸盐(DIP)变化范围分别在 10.47~325.6μg/L、2.9~29.8μg/L 之间,表底两层无明显差异,表层略高于底层。高密度的裸甲藻种群仅出现在氮含量低于 150μg/L、磷含量低于 20μg/L,而氮、磷含量较高时,裸甲藻种群密度则处于低谷(图 8)。裸甲藻种群动态与 DIP 关系也显示,当 DIP 浓度高于 20μg/L 时,裸甲藻仅低密度零星出现(图 9)。

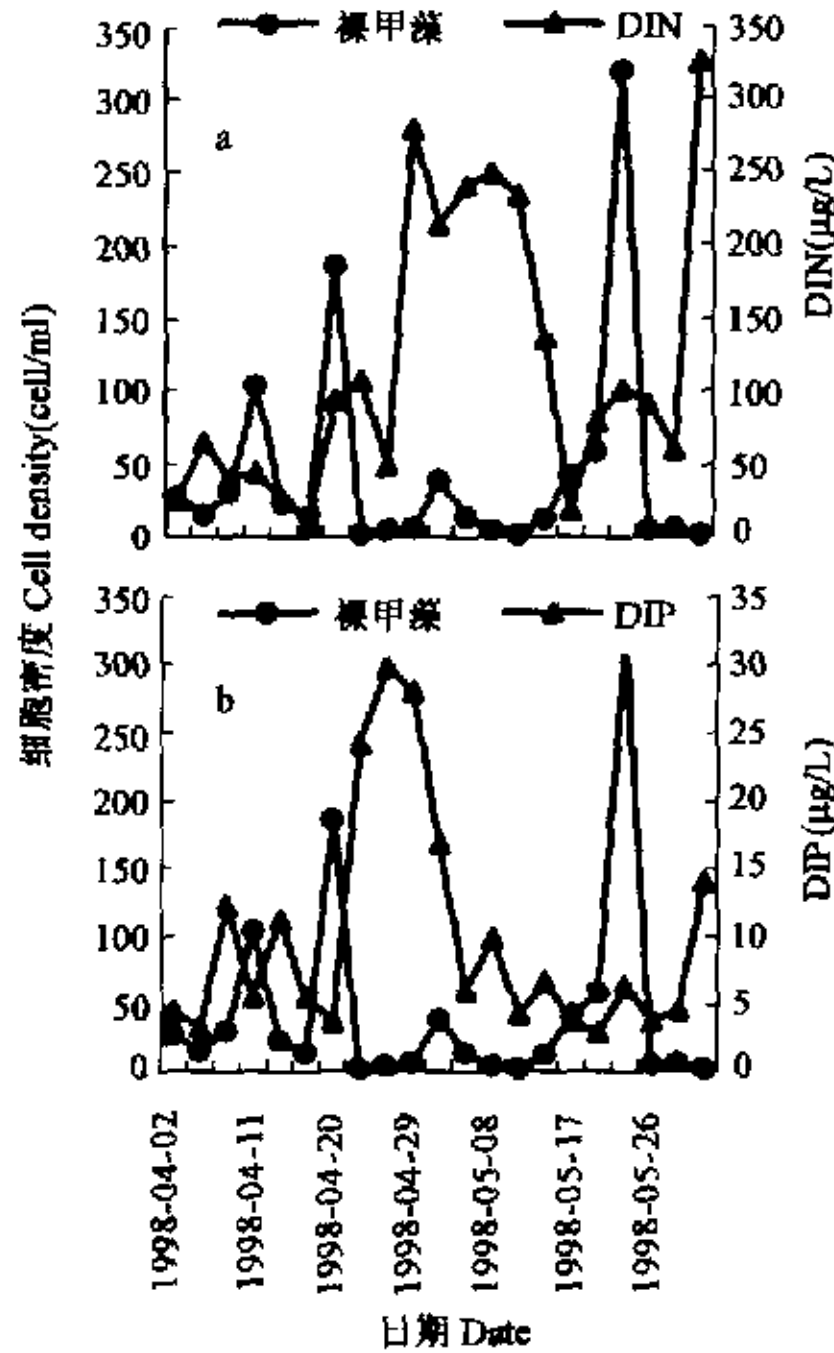


图 8 S1 表层裸甲藻密度与 DIN (a)、DIP(b) 含量

Fig. 8 Cell density of *Gymnodinium* spp. in S1 surface water and DIN(a), DIP(b)

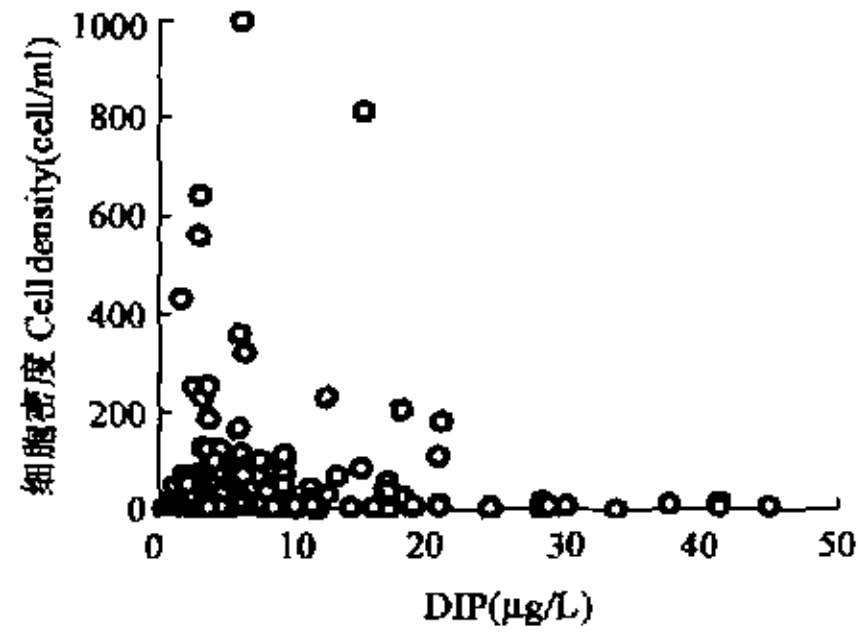


图 9 裸甲藻种群动态与 DIP 含量
Fig. 9 Cell density of *Gymnodinium* spp. and DIP

大亚湾海域 N:P 在 0.31~143.1 之间波动,高密度的裸甲藻出现在 N:P 为 5~30(图 10)。S1 站(图 11)4、5 月份裸甲藻出现的 4 次数量高峰时, N:P 为 8~30 左右, N:P 的急剧变动也影响到裸甲藻种群密度的急剧变动。1998 年 4 月 11 日, S1 站表层裸甲藻密度达到 104 个/ml 以上, N:P 为 8; 4 月 14 日 N:P 降至 5 以下, 裸甲藻密度也降低至 2.34 个/ml; 4 月 20 日 N:P 回升至 25.4, 裸甲藻密度达到第二个高峰, 密度为 186 个/ml。同样 5 月 2 日裸甲藻密度较大时, N:P 处于较适合的 10~15 之间, 随 N:P 的急剧上升, 裸甲藻数量下降, 5 月

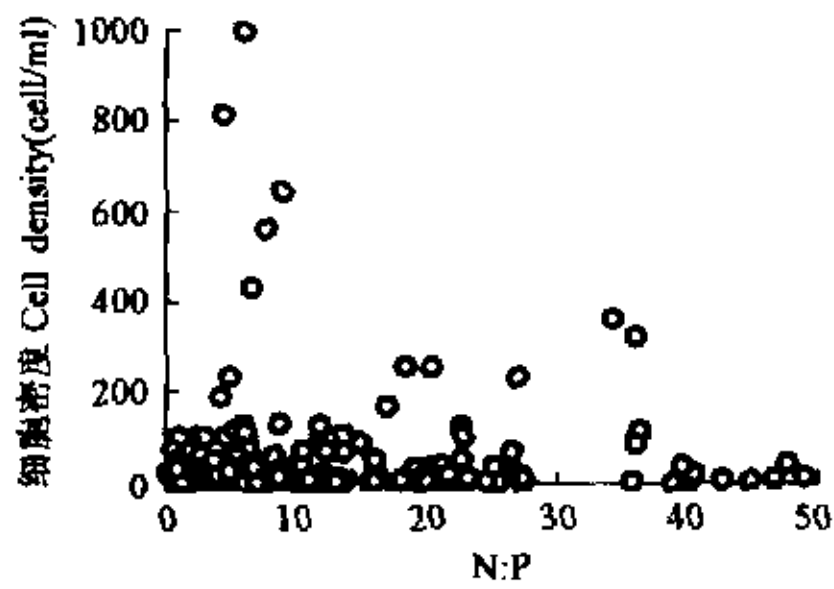


图 10 裸甲藻种群动态与 N:P

Fig. 10 Cell density of *Gymnodinium* spp. and N:P

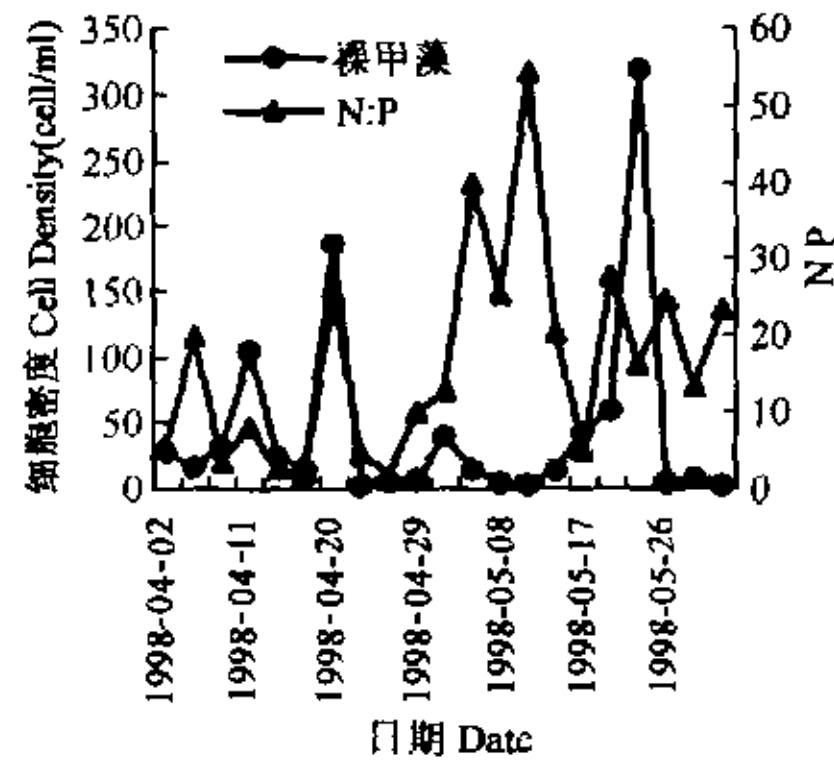


图 11 S1 表层裸甲藻密度与 N:P

Fig. 11 Cell density of *Gymnodinium* spp. in S1 surface water and N:P

14 日降至低谷, 5 月 20 日 N:P 下降至较合适的范围后, 裸甲藻数量逐渐增加, 5 月 23 日达到最高峰, 密

度为 318.8 个/ml,而此时 N:P 恰为 15(16.1)左右。这说明 N:P 的变动能较大程度影响到裸甲藻种群数量的变动。

Si:N 和 Si:P 也影响到裸甲藻种群的出现和数量,大亚湾海域 Si:N 和 Si:P 变动范围较大,年变化范围分别为 1.02~462.1 和 0.6~1093.7,裸甲藻几乎只在 Si:N 和 Si:P 分别小于 90 和 700 的情况下出现,而高密度种群则分别出现在 30 和 400 以下,而 S1 站 4 月、5 月裸甲藻数量的高峰期 Si:N 和 Si:P 也分别在 10~30 和 150~300 之间, Si:N 和 Si:P 的峰值正与裸甲藻数量的低谷相对应(图 12)。

3 讨论

3.1 温度和盐度与裸甲藻种群的季节分布

温度是影响浮游植物季节分布的重要因素,特别是在沿岸海湾和增养殖区,水体营养物质丰富,不存在营养物质季节性缺乏,因此温度就成为影响浮游植物密度和群落结构的重要因素。大亚湾处于亚热带的南海东北部海域,冬季水温一般低于 20℃,3 月至 4 月份,存在一个水温增幅较大的升温期,温度变化幅度为 5~10℃,使水温从 3 月初的 20℃ 以下增加至 4 月初的 25℃ 左右,这种升温期在南海其它海湾也同样存在^[5]。水温的上升给许多藻类的生长提供了适合的温度条件,而这种温度的升高也是南海大鹏湾夜光藻赤潮在 3~5 月份经常发生的原因之一^[2],同时也是 1998 年南海珠江口米氏裸甲藻赤潮和深圳湾环节环沟藻赤潮发生的诱因之一^[14]。

许多裸甲藻能在水温 20~30℃ 的水域出现,赤潮发生时温度为 25℃ 左右^[7,9],在温带海域的日本海域,米氏裸甲藻赤潮常在暖夏大规模发生^[9],同时高温也是金黄环沟藻(*Gyrodinium aureolum*)赤潮在欧洲和北美发生的主要因素^[7]。本研究结果表明,大亚湾 3 月至 4 月份水温的急剧增加也使裸甲藻数量大量增加,裸甲藻 4 次密度高峰期均出现在温度适宜的 4 月份、5 月份。这说明温度是裸甲藻高密度出现的限制性因子之一。

盐度也能影响藻类的季节分布,特别是在河口海域,盐度时常成为某些半咸水藻类出现和形成水华的重要原因^[5,10],如盐度是环节环沟藻赤潮发生和消亡的重要因素^[10]。大亚湾比较开阔,附近没有大的河流流入,盐度的季节变化规律不明显,只是在大量降雨之后盐度有所下降,但短时间内可恢复至 30‰ 左右,因此盐度对裸甲藻的季节分布无明显影响。

3.2 N、P、Si 等营养物质与裸甲藻数量变动

总可溶性无机氮(DIN)、无机磷酸盐($PO_4\text{-P}$, DIP)和硅酸盐($SiO_4\text{-Si}$, DSi)均为海洋浮游藻类生长必需的营养物质,这 3 种营养物质对裸甲藻种群密度都有较大影响。大亚湾由于高密度的网箱养殖及生活污水的污染,氮、磷、硅含量都不缺乏,它们之间合适的比例是影响浮游植物密度及群落结构的重要因素,只有当三者含量相当,比例恰当时,裸甲藻种群数量才会出现一定峰值。4 月 23 至 29 日, S1 站表层裸甲藻密度的低谷就与当时过低的 N:P 和过高的 DIP 含量有关;而 5 月 5 日至 5 月 14 日的低谷期则与过高的 DIN:N:P 有关(图 8~图 11)。

DIN、DIP 和 DSi 及它们之间的比例能影响浮游植物优势种群的变动,米氏裸甲藻赤潮常发生在 DIP 含量不缺乏的年份,较低的 TN、TP、DIN、DIP、DSi 及中等的 N:P 有利于米氏裸甲藻成为优势种群^[11]。本研究也发现裸甲藻密度的低谷正与 DIN、DIP、N:P 的高峰相对应(图 8~图 11)。

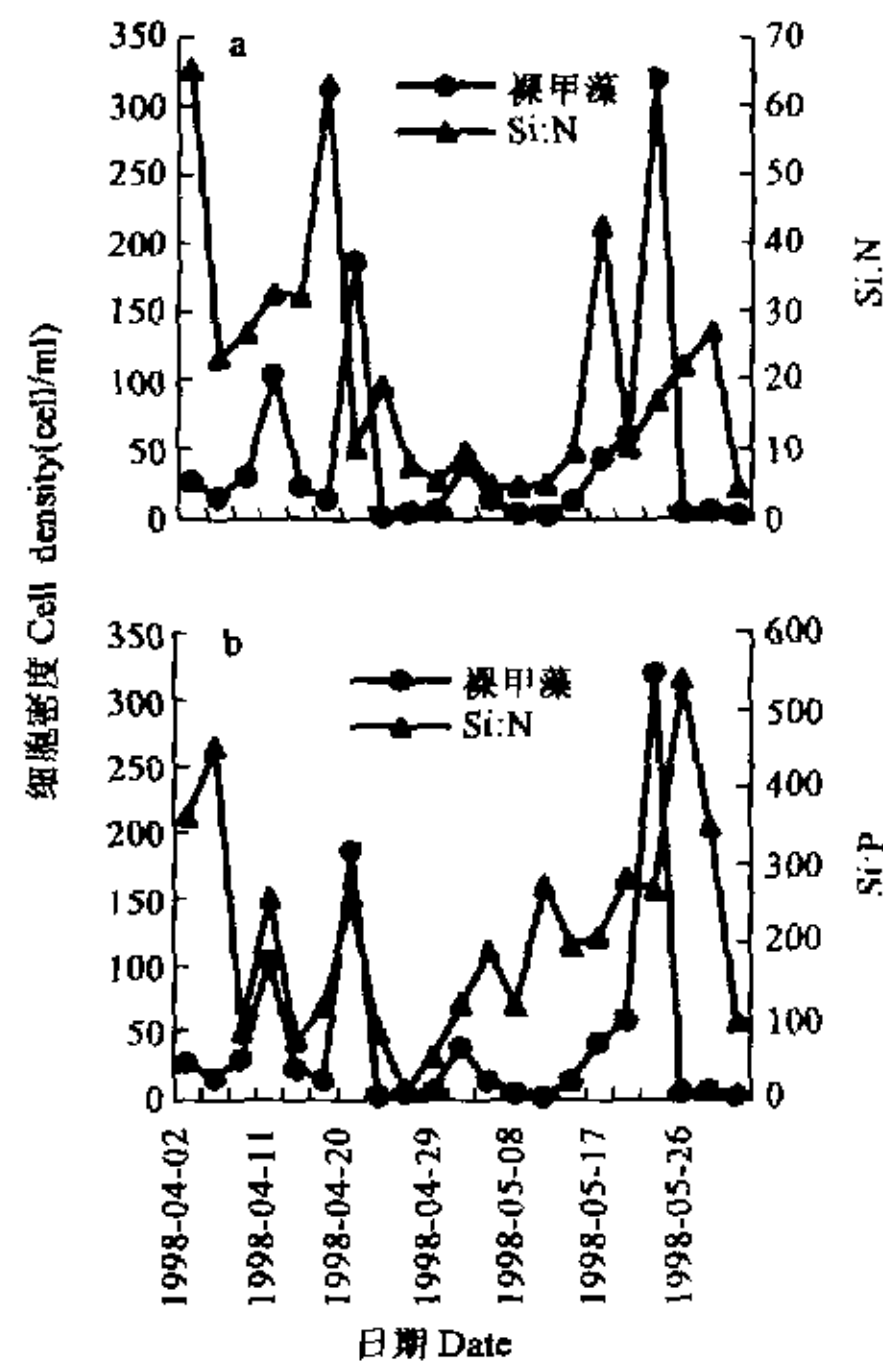


图 12 S1 表层裸甲藻密度与 Si:N (a) 和 Si:P (b)

Fig. 12 Cell density of *Gymnodinium* spp. in S1 surface water and Si:N (a), Si:P (b)

甲藻的生长并不需要硅,但硅与氮及磷之间的比例能影响甲藻与硅藻种群之间的竞争, $Si:N$ 、 $Si:P$ 比值的增加有利于浮游植物群落优势种群向硅藻转变,与甲藻的生长无直接关系^[1]。本研究中 S1 表层 4 月 26 日裸甲藻种群密度出现低谷时,虽 $Si:P$ 也较小,但主要原因是磷含量过高使 $N:P$ 下降引起;同样 5 月 5 日的低谷期则与 $N:P$ 过高有关(图 11)。 $N:P$ 是影响海洋和湖泊浮游植物密度的重要因素,适合大多数甲藻生长的 $N:P$ 应在 15 左右^[1],裸甲藻适合生长的 $N:P$ 范围较大,在 $N:P$ 为 5~30 之间均可高密度出现。虽然许多海洋环境特别是沿岸海域属于氮缺乏性海域,但从本研究结果来看,大亚湾不存在氮缺乏, $N:P$ 变动范围较大,合适的 $N:P$ 成为大亚湾浮游植物和裸甲藻高密度出现的重要因子。

硅藻需要硅用于构建细胞壁,只有当环境中尚存在可溶性硅酸盐时,硅藻便能正常分裂生长^[1],但由于大亚湾不存在硅缺乏现象,硅并非大亚湾硅藻生长的限制性因子,因此硅含量的增加未能引起浮游植物优势种群从不需硅的裸甲藻向硅藻种类角毛藻转变。

磷的含量与藻类生长同样密切相关,海洋藻类对磷的需求分 3 种类型^[1],第 1 种最适生长浓度在 $20\mu\text{g/L}$ 以下,高于此数值难以生长;第 2 种最适生长浓度高于 $20\mu\text{g/L}$;第 3 种最适生长浓度虽低于 $20\mu\text{g/L}$,但高于此值仍能生长。从本研究结果来看,裸甲藻属于第一种类型,在磷浓度高于 $20\mu\text{g/L}$ 时,裸甲藻几乎没有出现(图 8,图 9)。

3.3 裸甲藻赤潮防治措施的探讨

随着沿岸海区和海湾富营养化,海洋环境日趋恶化,许多沿岸海域氮、磷等营养物含量长期处于富营养化状态,使氮、磷、硅之间的比值改变,海洋生态环境中浮游植物优势种群从而发生变化,许多原先的非优势种群如有毒鞭毛藻类随环境的改变而逐渐占据优势^[1],特别是象裸甲藻等鞭毛藻类能分泌毒素,有的还能利用有机营养物,能使之在种群竞争中迅速脱颖而出,成为优势种群,一旦赤潮发生极易造成海洋养殖业的灾难性损失。

富营养化是这类赤潮频繁发生的主要原因之一,大亚湾营养物质含量长期居高不下,只要其它条件成熟便可引发赤潮,而且有机物污染也是裸甲藻赤潮高频率发生的重要原因^[9],因此控制富营养化特别是养殖区自身有机物的污染是裸甲藻赤潮预防的重要而且有效的措施。日本濑户内海 20 世纪 60 年代至 70 年代,有毒鞭毛藻赤潮高频率、大范围发生,平均每年就有几百起赤潮事件,70 年代后政府立法控制污染物的排入,大力治理富营养化,使水质明显好转,赤潮也大幅度下降^[10]。

4 结论

1998 年春季大亚湾裸甲藻高密度、高频率的出现与环境条件密切相关,该海域温度、盐度条件一年中较长时间处于裸甲藻生长的适合范围内,营养盐常处于富营养化水平,使裸甲藻这种南海非常见优势种类长时间高密度出现,虽然在大亚湾海域尚未观测到明显的裸甲藻赤潮现象,当地的海洋养殖业也未因此而受到较大损失,但在大亚湾富营养化的温床中,裸甲藻总会有爆发性增长并形成赤潮的机会。因此,应采取有效的措施治理富营养化,防止水质的进一步恶化,从而防范裸甲藻赤潮于未然。

参考文献

- [1] Taylor F J R, Fukuyo Y and Larsen J. Taxonomy of harmful dinoflagellates. In: Hallegraeff G M, Anderson D M and Cembella A D eds. *Manual on harmful marine microalgae*. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manuals and Guides*, 1995, (33): 283~317.
- [2] 齐雨藻,吕颂辉. 南海大鵬湾浮游植物的生态学特征. 暨南大学学报, 1995, 16(1): 118~120.
- [3] 梁松, 钱宏林. 珠江口及其邻近海域赤潮的研究, 见: 梁松主编. 南海资源与环境研究文集. 广州: 中山大学出版社, 1999. 189~195.
- [4] 王朝晖, 尹伊伟, 齐雨藻, 等. 珠海桂山岛米氏裸甲藻赤潮对鱼鳃损伤的病理组织学观察. 海洋学报, 2001, 23(1): 138~143.
- [5] 黄长江, 齐雨藻, 黄奕华, 等. 南海夜光藻种群生态及其赤潮成因分析. 海洋与湖沼, 1997, 28(3): 245~257.
- [6] 王朝晖, 齐雨藻, 尹伊伟, 等. 1998 年春深圳湾环蛇沟藻赤潮及其发生原因的探讨. 海洋科学, 2001.
- [7] Yamaguchi M and Honjo T. Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the noxious red tide flagellate *Gymnodinium nagasakiense* (Dinophyceae). *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1990, 55(1): 2029~2036.
- [8] Chang J and Carpenter E J. Blooms of the dinoflagellate *Gyrodinium aureolum* in a Long Island estuary: Box mod-

- el analysis of bloom maintenance. *Marine Biology*, 1985, **89**:83~93.
- [9] Yoshida Y, Kodama K, Sakai Y, *et al.* Relationship between the bloom of *Gymnodinium mikimotoi* and water quality or meteorological factors in Osaka Bay and Harima nada. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1998, **64**(6):1006~1012.
- [10] Jimenez R. Ecological factors related to *Gyrodinium aureolum* bloom in the inner estuary of the gulf of Guayaquil. In: Smayda T J and Shimizu eds. *Toxic phytoplankton blooms in the sea*. 1993. 257~262.
- [11] Yutaka H, Miyahara K, 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.
- [12] Hecky R E. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments; a review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.*, 1988, **33**(4, part 2):796~822.
- [13] Hodgkiss I J & Ho K C. Are changes in N:P ratios in coastal waters the key to increased red tide blooms? *Hydrobiologia*, 1997, **352**:141~147.
- [14] Paasche E Silicon. In: Morris I ed. *Physiological Ecology of Phytoplankton*. Oxford; Blackwell Scientific Publications, 1980. 259~284.
- [15] Nalewajko C and Lean D R S. Phosphorus. In: Morris I ed. *Physiological Ecology of Phytoplankton*. Oxford; Blackwell Scientific Publications, 1980. 235~258.
- [16] Smayda T. Global epidemic of noxious phytoplankton blooms and food chain consequences in large ecosystems. In: Sherman K., Alexander L M and Gold B D. Eds. *Food chains, yields, models and management of large marine ecosystems*. Oxford; Westview Press. 1992. 275~307.
- [17] Hallegraeff G M. Harmful algal bloom; a global overview. In: Hallegraeff G M, Anderson D M and Cembella A D eds. *Manual on harmful marine microalgae*. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manuals and Guides*, 1995, (33):1~22.

植物生态学报

欢迎订阅, 欢迎投稿!

《植物生态学报》,原名《植物生态学与地植物学丛刊》,1955年创刊,是我国生态学领域创刊最早的专业性学术刊物,深受国内外读者的欢迎和赞誉。以发表植物生态学领域及其与本学科有关的创造性原始论文或有新观点的国际植物生态学研究前沿和动态的综述(中、英文稿)。本刊还设有“植物生态学论坛”栏目,用以阐述国内外新观点、新概念、新方法、新技术,国内外重要书刊评介和学术动态等,并展开争鸣。

- 与美、英、日、法、德、加、俄、韩等 20 多个国家和地区有期刊交换
- 被国内外多家权威检索系统收录
- 2000 年获中国科学院优秀期刊一等奖
- 连续 4 年影响因子分别为 0.438, 0.488, 0.620, 0.634, 生物学类排名第 3
- 国内率先实行责任编辑、责任编委制
- 英文摘要由澳大利亚墨尔本大学 Ben P. Miller 教授审阅
- 1999 年创办“ICT”最佳论文奖(详见我刊)

我刊为双月刊,单月 20 日出版,128 页,大 16 开本,期定价 26.00 元,年定价 156 元,发表周期(从收稿到出版)10 个月左右。

国内外公开发售,全国各地邮局均可订阅,敬请广大读者继续关心我刊,及时订阅,踊跃投稿!

另,我编辑部尚有部分《植物生态学报》1999 年增刊,增刊共发表论文 26 篇,内容涉及植物生态学研究的各个方面,主要包括植物生理生态学、种群生态学、群落生态学、生态系统生态学、资源生态学、生物多样性等。定价:25.00 元。有欲订购增刊者请与编辑部联系。

地址:(100093)北京香山南辛村 20 号 中科院植物研究所《植物生态学报》编辑部

电话:(010)62591431-6134 Fax:(010)82592636

E-mail:apes@public2.east.net.cn

《植物生态学报》编辑部