

2005—2006 年大亚湾大鹏澳养殖区甲藻孢囊通量的沉积捕捉器研究

王朝晖, 曹宇, 张玉娟

(暨南大学水生生物研究所, 广东 广州 510632)

摘要: 于 2005 年 3 月至 2006 年 4 月在大亚湾的大鹏澳养殖区采用沉积物捕捉器, 对甲藻孢囊形成和水温、盐度、营养盐含量等环境因子进行了周年调查, 探索该区孢囊形成特征及其与环境因子的关系。在一年的沉积物捕捉器研究中, 共分析鉴定出 27 种甲藻孢囊类型, 锥状斯氏藻 *Scrippsiella trochoidea* 孢囊为该区最优势孢囊类群, 从孢囊的组成显示了该区的污染是以养殖和生活污染为主。孢囊形成没有明显的季节分布特征, 两个站年平均为 $1.07 \times 10^5 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 。高、低温都能在一定程度上促进孢囊的生成, 氮限制对孢囊的形成具有明显促进作用。首次发现亚历山大藻 *Alexandrium* 孢囊在冬季形成的高峰, 最高值达 $4.26 \times 10^5 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 。这说明核电站温排水冬季高水温对大亚湾生态环境有较大的影响。

关键词: 甲藻; 孢囊通量; 沉积物捕捉器; 大亚湾; 亚历山大藻 *Alexandrium*

中图分类号: X55; Q178.53 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2011)01-0113-06

The fluxes of dinoflagellate cyst from sediment traps deployed in Dapeng-Ao area of Daya Bay from 2005 to 2006

WANG Zhao-hui, CAO Yu, ZHANG Yu-juan

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

Abstract: A sediment trap study was conducted in shellfish culture area and caged fish area in Dapeng-Ao area of the Daya Bay in the South China Sea from March 2005 to April 2006. Cyst flux, water temperature, salinity and nutrient concentrations were investigated during the survey in order to understand the characteristics of cyst formation and the effects of environmental factors on encystment in subtropic sea areas. Twenty-seven cyst types were identified during one-year trap study. Cysts of autotrophic dinoflagellates dominated the cyst assemblages, and *Scrippsiella trochoidea* was the preponderant cyst type. The cyst composition revealed that the pollution of Dapeng-Ao was mainly caused by aquacultural and domestic pollution. Cyst fluxes showed no seasonal patterns, with the annual average of $1.07 \times 10^5 \text{ cysts} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Both high temperature and low temperature stimulated the cyst formation. Furthermore, low nitrogen level accelerated encystment. A winter peak of cyst flux of *Alexandrium* was first observed in this sea region during our study, with the maximum of $4.26 \times 10^5 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$. The results suggest that cooling water discharged by the Daya Bay Nuclear Power Station and consequential increasing of winter water temperature, might have some impacts on the nearby environment.

Key words: Dinoflagellate; cyst flux; sediment trap; Daya Bay; *Alexandrium*

孢囊是许多甲藻生活史中的一段特殊的休眠阶段, 是甲藻进行有性生殖的产物。孢囊萌发被认为是赤潮发生的种源, 而赤潮后期孢囊的大量出现又被认为是赤潮消亡的重要原因^[1-3]。不仅如此, 有毒

种类的孢囊还是底栖贝类毒素积累的重要来源^[4]。

自然生态条件下对孢囊的研究是甲藻研究的重要组成部分, 一般通过沉积物捕捉器对海水中包括孢囊在内的沉降颗粒进行收集捕捉, 以了解单位时

收稿日期: 2009-03-26; 修订日期: 2009-04-28。刘学东编辑

基金项目: 国家自然科学基金(40773063, 40873065); 国家自然科学基金委员会 - 广东省人民政府自然科学联合基金(U0633006)

作者简介: 王朝晖(1968—), 女, 湖南省长沙市人, 博士, 教授, 主要从事海洋生态学的研究。E-mail: twzh@jnu.edu.cn, Tel: 020-85225100

间、单位面积内孢囊的通量。早期有关出现孢囊的研究多在实验室条件下进行,但近10年来孢囊自然生态学研究日渐增加,不少文献报道了日本^[5]、韩国^[6]、波罗的海^[7]、地中海^[8]等海域孢囊出现及其与浮游植物种群动态和赤潮的关系。

大亚湾位于珠江口东北侧,是广东省沿岸最大的海湾之一,也是广东省重要的海洋水产养殖和育苗基地。自20世纪80年代以来,随着工业化的发展和人口剧增,大亚湾生态环境遭到了一定的破坏,有害赤潮发生日趋频繁。关于大亚湾海域的浮游植物状况已有诸多报道^[9-11],本课题组也对大亚湾澳头海域孢囊形成、萌发及其与锥状斯氏藻赤潮的关系进行了初步研究^[3, 12]。大亚湾大鹏澳海域是大亚湾核电站和岭澳核电站所在地,而且也是我国沿海麻痹性贝类毒素(PSP 毒素)高含量区,在该海域表层沉积物存在大量的有毒藻类亚历山大藻的孢囊^[13],但未见有关该海域孢囊变化特征的研究报道。本文对大鹏澳海域甲藻孢囊通量的季节变化进行了调查分析,目的在于了解该海域孢囊形成特征及其与环境因子、浮游植物群落结构的关系,为大亚湾生态环境的保护和可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样点的设置

在大亚湾大鹏澳设置2个监测站位(图1),设置沉积物捕捉器。St.1为贝类养殖区(22°33'25.7"N、114°30'54.1"E),St.2为鱼类网箱养殖区(22°33'51.7"N、114°31'20.2"E)。St.1受居民生活影响较小,St.2距离居民区较近,而且渔排上有人长期居住。



图1 大亚湾大鹏澳海域采样点的设置

Fig. 1 Sampling stations in the Dapeng-Ao area, Daya Bay

1.2 沉积物样品的采集和处理分析

考虑到孢囊需要经过2周至6个月左右的强制性休眠期才能萌发^[14],为了采集到新形成的未萌发

的活体孢囊,本研究中采样频率为半月一次。于2005年3月20日至2006年4月1日对以上2个监测站位进行定期采样。调查期间的四季分别定为:春季3—5月,夏季6—8月,秋季9—11月,冬季12月—来年2月。

采集捕捉器中的样品,用过滤海水定容至2L。摇匀后平均分成2份1L的子样品,其中一份加入4%的甲醛固定,用于孢囊分析鉴定;另外一份样品不固定,置于带有冰袋的保温箱中保存,在2—3h内带回实验室,进行孢囊萌发实验。

固定的样品静置48h后,逐步浓缩为50mL左右,待处理。首先将浓缩的样品超声波处理30s,然后依次通过125μm和20μm不锈钢网筛,收集20μm网筛中的样品至小塑料广口瓶中,定容至20mL。

观察时,吸取一定量(0.2—1.0mL)的沉积物样品于1.0mL计数框内,并加入适量的过滤海水稀释,然后在倒置显微镜(Leica DMIRB)下观察,对样品中的甲藻孢囊进行定性、定量分析。由于本研究中沉积物捕捉器样品是每隔半个月进行采集,捕捉到的孢囊应为尚未萌发的活体孢囊,而已经萌发的空孢囊则是由于海底沉积物再悬浮所造成。因此,在观察时只计数含有细胞内含物、没有萌发的活体孢囊。重复观察数次,使每个样品至少观察到100个孢囊。孢囊通量以每天每平方米水面出现的孢囊数量来表示($\text{cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$)。

1.3 环境因子的分析测定

采集离水面0.5m的表层水,立即用0.45μm的Millipore滤膜进行现场过滤,滤过水样低温保存,并在24h之内带回实验室测定。水化因子包括可溶性无机氮(DIN, 硝态氮+亚硝态氮+氨氮)、可溶性无机磷(DIP, 正磷酸盐)、可溶性硅酸盐(DSi, 活性硅酸盐)的测定参照《海洋调查规范》(GB 12763-1991)进行。水温、盐度、溶解氧等用YSI 85型水质分析仪进行现场测定。

2 结果

2.1 甲藻孢囊的种类组成

大鹏澳海域孢囊种类较为丰富,本研究在沉积物捕捉器样品中共观测到27种不同形态的甲藻孢囊,其中自养型和异养型甲藻的孢囊种类数相近,分别为13种和14种。锥状斯氏藻 *Scrippsiella trochoidea* 为优势孢囊类型,而膝沟藻属(*Gonyaulax*)和亚历山大藻属(*Alexandrium*)的孢囊也常常出现;原多甲藻属(*Protoperidinium*)是种类最为丰富的异

养型甲藻孢囊, 共观察到 9 种原多甲藻孢囊类型; 其他甲藻孢囊如裸甲藻目(Gymnodiniales)、多边舌甲藻 *Lingulodinium polyedrum*、网状原管藻 *Protoceratium reticulatum* 等的孢囊仅零星分布。

大鹏澳海域孢囊组成以自养型甲藻孢囊占据优势, 大部分时间自养型甲藻的孢囊百分比含量远远高于异养型。St.1 自养型甲藻孢囊百分比为 9.7%—99.5%, 平均 75.0%; St.2 为 5.2%—100%, 平均 69.5%。而异养型甲藻的孢囊仅在 9 月中旬明显超过自养型甲藻的孢囊, 其时异养型孢囊在 St.1 和 St.2 的百分比含量分别为 90.3%和 94.8%。

2.2 孢囊通量的季节变化

甲藻孢囊通量较高, 但季节变化趋势不明显, 在春夏秋冬四季均能形成峰值(图 2), 两站位年平均通量为 $1.07 \times 10^5 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 。St.1 孢囊通量变化范围为 3.93×10^3 — $5.12 \times 10^5 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 平均 $1.27 \times 10^5 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$; St.2 孢囊通量变化范围与平均值与 St.1 相近, 分别为 4.72×10^3 — $5.53 \times 10^5 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 和 $9.22 \times 10^4 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 。

锥状斯氏藻孢囊是大鹏澳海域第一优势孢囊, 锥状斯氏藻孢囊占总孢囊数量的年平均高达 52.1%, 最高可达 90.9%。St.1 锥状斯氏藻孢囊通量平均为 $6.61 \times 10^4 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 最高值为 $2.94 \times 10^5 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$; St.2 平均为 $3.75 \times 10^4 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 最高值为 $1.56 \times 10^5 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 。两站位锥状斯氏藻孢囊的年变化趋势相近, 均出现春、秋和冬季峰值(图 3)。

亚历山大藻属是产生麻痹性贝类毒素的重要赤潮藻类, 在本研究样品中观察到的亚历山大藻孢囊主要为椭圆形的塔玛亚历山大藻和链状亚历山大藻孢囊复合体(*Alexandrium catenella/tamarense* cyst complex, 下文简称亚历山大藻孢囊)。全年绝大部分时间亚历山大藻孢囊都较低(图 4), 一般不超过 $5 \times 10^4 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 年平均值为 $1.68 \times 10^4 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 。最高峰出现在 2006 年 2 月底的 St.1 站位, 通量比平时陡增了 10 倍之多, 为 $4.26 \times 10^5 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 百分比含量也高达 83.3%, 而该峰值也导致 St.1 的年平均通量($2.57 \times 10^4 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$)远高于 St.2 ($8.88 \times 10^3 \text{ cysts} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$)。

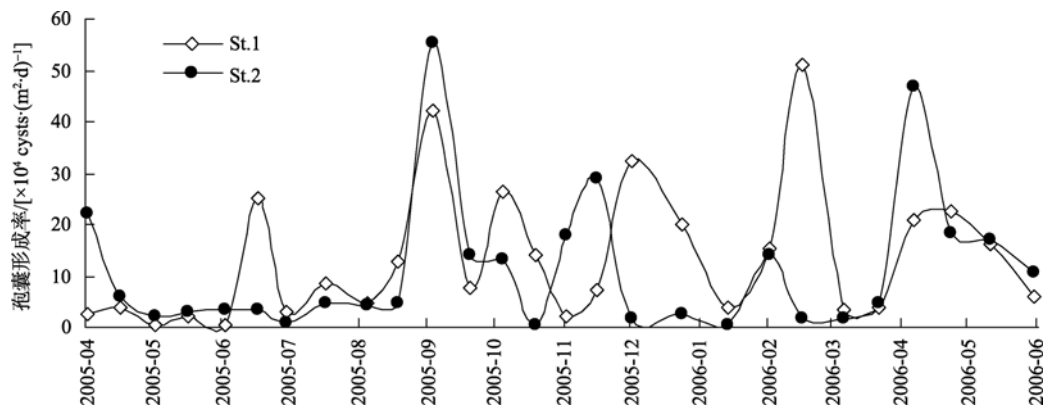


图 2 大鹏澳养殖海域甲藻孢囊通量的季节变化

Fig. 2 Seasonal changes in cyst fluxes in the Dapeng-Ao area of Daya Bay

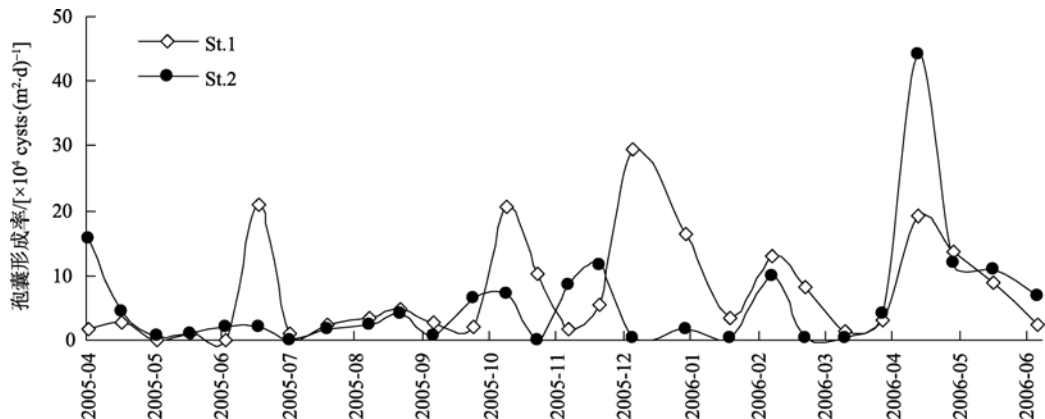


图 3 锥状斯氏藻孢囊通量的季节变化

Fig. 3 Seasonal changes in cyst flux of *Scrippsiella trochoidea*

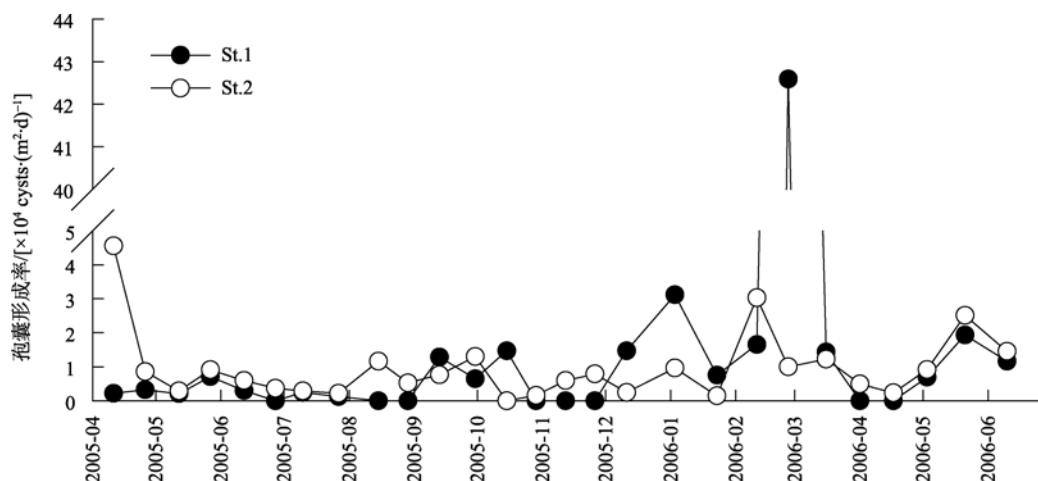


图4 塔玛亚历山大藻和链状亚历山大藻孢囊复合体通量的季节变化

Fig. 4 Seasonal changes in cyst flux of *Alexandrium catenella/tamarense* cyst complex

2.3 孢囊形成与环境因子的关系

大亚湾海域地处亚热带海域, 水温较高, 调查期间变化范围为 14.0 (2006 年 1 月 8 日) 至 32.5 (2005 年 7 月 4 日), 年平均为 25.4, 而且日照时数较长。因此, 在本研究中孢囊未出现明显的冬季高峰。但从孢囊出现与水温的关系来看(图 5), 当水温较高(>29) 或较低(<20) 时, 通量明显增加; 而水温合适的 20—29 范围内, 孢囊通量较低。结果说明孢囊的出现也许是营养细胞度过在亚适宜温度条件的一种生存策略。

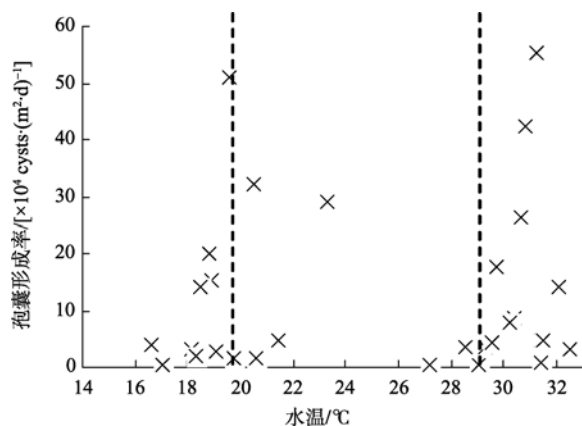


图5 甲藻孢囊通量与水温的关系

Fig. 5 Relationship between cyst flux vs. water temperature

虽然大鹏澳养殖区营养盐含量充足, DIN 变化范围为 3.26—21.90 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 年平均值为 10.35 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; DIP 变化范围为 0.067—2.94 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均值为 0.89 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。但孢囊通量与 N 含量以及 N 与 P 和 Si 的比值之间的关系密切: 与 DIN 呈显著的幂函数型负相关关系 [$\ln(\text{Cysts}) = 4.354 - 1.233 \times \ln(\text{DIN})$, $R=0.493$, $P=0.0123$], 与 N:P 呈现指数型负相关关系

[$\ln(\text{Cysts}) = 2.008 - 1.626 \times 10^{-2} \times (\text{N:P})$, $R=0.384$, $P=0.0509$], 与 Si:N 呈现指数型正相关关系 [$\ln(\text{Cysts}) = 0.626 \times (\text{Si:N}) + 0.729$, $R=0.357$, $P=0.0596$]。其他环境因子如 DO、DIP、DSi、Si:P 与孢囊通量均未显示出相关性。说明在自然生态条件下, N 限制(较低的 DIN 浓度以及 N:P、N:Si 值)也能在一定程度上促进孢囊的生成。

3 讨论

大鹏澳海域孢囊组成以自养型甲藻孢囊占据优势, 但在 2005 年 9 月异养型甲藻的孢囊含量急剧上升。异养型甲藻需要摄食其他小型藻类才能生长繁殖, 一般情况下, 自养型甲藻孢囊的产量大于异养型甲藻的孢囊^[15]。9 月中旬异养型甲藻的孢囊百分比含量的急剧上升与 8 月中旬“珊瑚”台风的登陆有关, 台风引起的暴风雨导致营养盐含量剧增, DSi 更是达到了全年最高。课题组同时进行的浮游植物分析发现, 大量的营养盐特别是硅酸盐使 8 月中旬出现了硅藻细胞数量高峰^[16]。大量的硅藻细胞为原多甲藻等异养型甲藻提供了丰富的食物, 导致异养型的原多甲藻种类增加、细胞数量上升, 同时由于孢囊生成的滞后性使异养型孢囊含量在 9 月中旬急剧增加。

锥状斯氏藻孢囊是该海域最为优势孢囊种类, 最高百分比可达 90%。锥状斯氏藻是大亚湾的常见赤潮种类, 其赤潮几乎每年均在大亚湾及其邻近海域发生, 秋季和春季是赤潮高发季节^[3, 12]。该藻孢囊生成的秋季和春季高峰反映了该时期高密度的营养细胞数量, 而冬季高峰则与低温、低光强对孢囊形成的促进作用有关^[17]。Sartre 等^[18]和 Dale 等^[19]通过

对挪威沿海沉积物中的孢囊研究提出, 认为沉积物中种类多样性的下降以及某一种自养型孢囊的绝对优势可以作为养殖型和生活型污染的指标。因此, 从锥状斯氏藻孢囊的绝对优势和较高的孢囊产量来看, 大鹏澳海域属于以营养盐输入为主的养殖型和生活型污染。事实上, 大亚湾氨态氮和磷酸盐主要来源于养殖污染, 而硝态氮和硅酸盐则主要来源于地表径流^[20-21]。富营养化使该海域无机氮含量在 1990 年代上升了 4 倍, 无机磷污染也已经达到国家三类海水标准^[22]。

值得注意的是, 在本研究中, 发现了亚历山大藻孢囊冬季的高峰, 这是在我国沿海孢囊通量研究中首次发现的现象。大亚湾大鹏澳海域一直是我国沿海 PSP 毒素高含量区和中毒事件高发区, 而且冬季 PSP 毒素水平较高^[23]; 同时该海域特别是贝类养殖区表层沉积物中亚历山大藻孢囊含量丰富^[13]。亚历山大藻是产生 PSP 毒素的重要赤潮藻类, 其生长的最适温度为 18℃ 左右, 而其赤潮也多发生在 13—18℃ 水温范围内^[1, 24]。随着核电站的运行, 温排水对大亚湾的生态环境造成一定区域的影响, 核电

站运行前后, 该区冬季的水温提高了 2℃^[25], 冬季水温明显高于邻近的澳头海域。水温的提高使浮游植物群落结构也发生了变化, 冬季生产力增加, 冬季硅藻水华消耗了水体中营养盐特别是硅酸盐之后, 亚历山大藻大量繁殖, 从而导致了其孢囊通量的冬季高峰。由此可见, 大鹏澳海域亚历山大藻孢囊的冬季高峰与核电站温排水的排放及由此所引起的冬季水温升高具有一定的关系。

4 结论

1) 大亚湾大鹏澳养殖区孢囊种类较为丰富, 通量较高, 组成以自养型孢囊为主, 但孢囊形成没有明显的季节分布规律。

2) 锥状斯氏藻孢囊是最优势的孢囊类群, 该藻孢囊的绝对优势说明该海域的污染类型属于以营养盐输入为主的养殖型和生活型污染。

3) 本研究中首次观察到了有毒亚历山大藻孢囊通量的冬季高峰, 而核电站温排水的排放所引起冬季水温的升高是亚历山大藻孢囊产量上升的重要因素。

参考文献

- [1] GRACÉC E, BRAVO I, VIA M, et al. Relationship between vegetative cells and cyst production during *Alexandrium minutum* bloom in Arenys de Mar harbour (NW Mediterranean)[J]. J Plankton Res, 2004, 26: 637–645.
- [2] ANDERSON D M, KEAFER B A, MCGILLICUDDY Jr D J, et al. Initial observations of the 2005 *Alexandrium fundyense* bloom in southern New England: General patterns and mechanisms[J]. Deep-Sea Research II, 2005, 52: 2856–2876.
- [3] WANG Z H, QI Y Z, YANG Y F. Cyst formation: an important mechanism for the termination of *Scrippsiella trochoidea* (Dinophyceae) bloom[J]. J Plankton Res, 2007, 29(2): 209–218.
- [4] SCHWINGHAMER P, HAWRYLUK M, POWELL C, et al. Resuspended hypnozygotes of *Alexandrium fundyense* associated with winter occurrence of PSP in inshore Newfoundland waters[J]. Aquaculture, 1994, 122(2–3): 171–179.
- [5] ISHIKAWA A, TANIGUCHI A. Contribution of benthos cysts to the population dynamics of *Scrippsiella* spp. (Dinophyceae) in Onagawa Bay, Northeast Japan[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1996, 140: 169–178.
- [6] KIM Y O, HAN M S. Seasonal relationships between cyst germination and vegetative population of *Scrippsiella trochoidea* (Dinophyceae)[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2000, 204: 111–118.
- [7] KREMP A. Distribution, dynamics and in situ seeding potential of *Scrippsiella hangoei* (Dinophyceae) cyst populations from the Baltic Sea[J]. J Plankton Res, 2000, 22(11): 2155–2169.
- [8] MONSTRESOR M, ZIGONE A, SARNO D. Dinoflagellate cyst production at a coastal Mediterranean site[J]. J Plankton Res, 1998, 20: 2291–2312.
- [9] 韦桂峰, 王肇鼎, 练健生. 大亚湾大鹏澳水域春季浮游植物优势种的演替[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2285–2292.
- [10] 李纯厚, 林钦, 张汉华, 等. 大亚湾大鹏澳网箱养殖水域的浮游植物生态特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(4): 784–789.
- [11] 陈菊芳, 齐雨藻, 徐宁, 等. 大亚湾澳头水域浮游植物群落结构及周年数量动态[J]. 水生生物学报, 2006, 30(3): 311–317.
- [12] 肖咏之, 王朝晖, 陈菊芳, 等. 广东大亚湾甲藻孢囊及其与锥状斯氏藻赤潮的关系[J]. 水生生物学报, 2003, 27(4): 372–377.
- [13] WANG Z, MATSUOKA K, QI Y, et al. Dinoflagellate cyst records in recent sediments from Daya Bay, South China Sea[J]. Phycological Research, 2004, 52: 396–407.
- [14] DALE B. Dinoflagellate resting cysts: “benthic plank-

- ton"[M]/FRYXELL G. A. Survival Strategies of the Algae, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1983: 69–136.
- [15] MATSUOKA K. Eutrophication process recorded in dinoflagellate cyst assemblages—a case of Yokohama Port, Tokyo Bay, Japan[J]. Sci Total Environ, 1999, 231: 17–35.
- [16] WANG Z, ZHAO J, ZHANG Y, et al. Phytoplankton community structure and environmental parameters in aquaculture areas of Daya Bay, South China Sea[J]. J Environ Sci, 2009, 21: 1268–1275.
- [17] SGROSSO S, ESPOSITO F, MONTRESOR M. Temperature and day length regulate encystment in calcareous cyst-forming dinoflagellates[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2001, 211: 77–87.
- [18] SARTRE M M L, DALE B, ABDULLAH M I, et al. Dinoflagellate cysts as potential indicators of industrial pollution in a Norwegian Fjord[J]. Mar Environ Res, 1997, 44(2): 167–189.
- [19] DALE B, THORWEN T A, FJELLSA A. Dinoflagellate cysts as indicators of cultural eutrophication in the Oslofjord, Norway[J]. Estuar Coast Shelf Sci, 1999, 48(3): 371–382.
- [20] 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[J]. 海洋环境科学, 2004, 23(2): 25–28.
- [21] 何玉新, 黄小平, 黄良民, 等. 大亚湾养殖海域营养盐的周年变化及其来源分析[J]. 海洋环境科学, 2005, 24(4): 20–22.
- [22] 彭云辉, 孙丽华, 陈浩如, 等. 大亚湾海区营养盐的变化及富营养化研究[J]. 海洋通报, 2002, 21(3): 44–49.
- [23] 江天久, 尹伊伟, 骆玉敏, 等. 广东大亚湾和大鹏湾麻痹性贝类毒素研究[J]. 中国环境科学, 2000, 20(4): 341–344.
- [24] BLANCO J. Cyst production in four species of neritic dinoflagellates[J]. J Plankton Res, 1995, 17: 165–182.
- [25] GIACOBBE M, GOLIVA D, MAIMONE G. Environmental factors and seasonal occurrence of the dinoflagellate *Alexandrium minutum*, a PSP potential producer, in a Mediterranean lagoon[J]. Estuar Coast Shelf Sci, 1996, 42: 539–549.
- [26] 王友绍, 王肇鼎, 黄良民. 近20年来大亚湾生态环境的变化及其发展趋势[J]. 热带海洋学报, 2004, 23(5): 85–95.