

## 南海大鹏湾甲藻孢囊分布研究

郑磊 齐雨藻

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

Donald M. Anderson

(Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543, USA)

**摘要** 甲藻及其它赤潮生物孢囊被认为是赤潮发生的种源, 其分布特征是赤潮发生预测的重要依据。本研究对南海大鹏湾赤潮发生密集海区底泥进行了采集分析。在调查的12个站位中, 共发现甲藻孢囊29种, 针孢藻孢囊1种, 其中以锥状斯氏藻 (*Scrippsiella trochoidea*) 为最优势种, 多边膝沟藻 (*Gonyaulax polyedra*)、褐色原多甲藻 (*Protoperdinium avellana*) 和塔马亚历山大藻 (*Alexandrium tamarense*) 为优势种。孢囊的水平分布以水深最深的S2和水流最缓的S4两站位孢囊的种类、数量最为丰富, 且两站位的营养盐含量高于其他站位。对孢囊的垂直分布的调查显示, 大多数生活孢囊集中于N/P和活性磷酸盐丰富的0-5 cm底泥中, 5 cm以下孢囊数量骤减。根据样品中各类孢囊的比例与分布特征, 对大鹏湾水域孢囊形成、沉降、水底运动和分布机制进行了推测。

**关键词** 甲藻; 孢囊; 赤潮生物; 大鹏湾

## DISTRIBUTION FEATURES OF DINOFLAGELLATE CYSTS IN DAPENG BAY

Zheng Lei Qi Yuzao

(Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632)

Donald M. Anderson

(Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543, USA)

**Abstract** The species and distribution of the cysts of dinoflagellates and other organisms in Dapeng Bay, the South China Sea, was investigated in March 1992 at 12 sites by collecting the sediments on sea-bed. From cysts of 30 species found, *Scrippsiella trochoidea* was the most dominant one at all sites investigated, and *Gonyaulax polyedra*, *Protoperdinium avellana* and *Alexandrium tamarense* were common species. It was found that highest cyst abundance was in sediment at site under deep water and in sediment at site where water flow was stable. Most of the living cysts accumulated in sediment layer at 0-5 cm with high phosphate concentration and low N/P value. On the basis of the distribution of cysts of different species, the possible outbreak of red tide is discussed.

**Key words** Dinoflagellates; Cyst; Red tide; Dapeng Bay

大鹏湾是我国南部海域赤潮发生最为频繁的海湾, 浮游植物的种类、数量都非常丰富。自八十年代以来, 每年都发生十次以上的赤潮<sup>[1-2]</sup>。甲藻孢囊被认为是引发赤潮的种源, 是赤潮的种子库。对水域沉积物中孢囊的种类、数量进行鉴定、统计, 可以使我们对海区浮游甲藻的种类从另一层面有所认识, 并对引发赤潮种类进行监测, 进而对海区赤潮发生的可能性进行预测, 从而有助于对赤潮发生进行防治。

关于甲藻孢囊的研究, 我国的报道殊少。齐雨藻等<sup>[3-4]</sup>对我国东南沿海甲藻孢囊种类首次进行了描述, 但对孢囊在区域水体中分布特征上仍有待进一步的探讨。本文通过对南海大鹏湾赤潮高发水域底泥的采集分析, 对这一区域甲藻孢囊种类及其空间分布进行了调查, 对其分布机制进行了推测, 以图预测孢囊分布与赤潮发生的可能关系。

## 1 材料与方法

**样品采集与贮存** 1992年3月对大鹏湾12个站位底泥及一个站位沉积物进行了采集(图1和表1)。底泥采集使用Ekman箱式采泥器。采集到的海底底泥, 用圆柱形长塑料筒(直径10 cm, 高20 cm)切取中间未搅动部分, 用薄钢尺切取表层0-2 cm, 2-5 cm和5 cm以下三层, 分装于100 ml广口瓶, 加入5 ml过滤海水, 将瓶口用胶带密封。用沉积物捕捉器(Sediment trap)采集沉积物, 将沉积物捕捉器悬挂于S11站位渔排下约2 m深处(1991年1-3月)约3个月, 取出泥样保存。所有样品均贮存于黑暗4℃冰箱中。

**样品分析与观察** 泥样的分析处理采用网筛过滤法<sup>[5-6]</sup>。从广口瓶取2 g混合均匀的泥样, 加入20 ml过滤海水, 用JC-3型超声处理机震动30 s后, 将样品倒入底部为90 μm网筛的PVC塑料筒, 用过滤海水冲洗, 冲洗过滤泥水再经底部为20 μm网筛的塑料筒, 用过滤海水冲洗, 收集20 μm网筛上泥样于50 ml刻度烧杯, 定容至20 ml。取1 ml混合均匀的样品

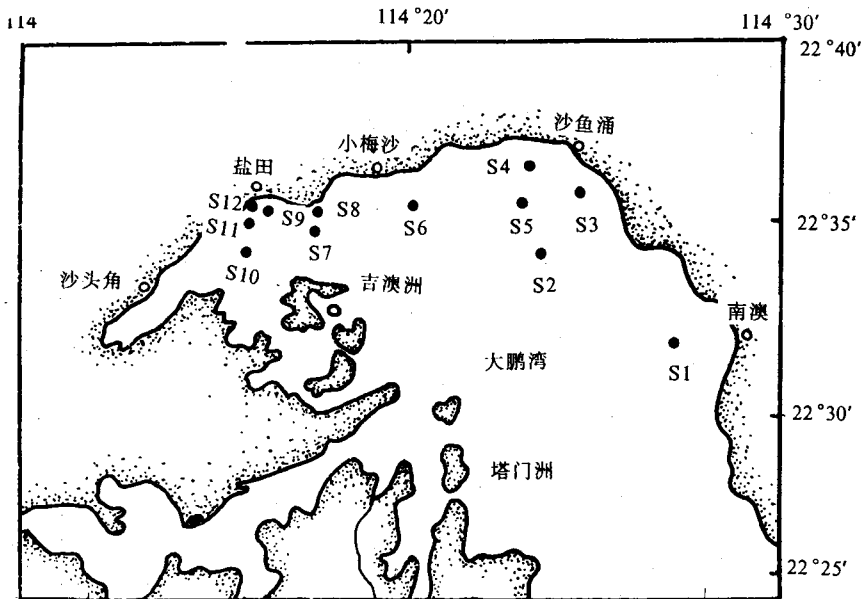


图1 大鹏湾采样站位分布图

Fig. 1 Distribution map of sampling sites in Dapeng Bay

于 1 ml 浮游植物计数框上, 在 Olympus 显微镜下进行孢囊镜检, 计数 3 次, 取平均值。泥样中孢囊密度 = 计数平均值  $\times 20$  个/2 g 泥样。

表 1 采样站位与样品编号  
Table 1 Sampling sites and sample codes

站位 Sites	水深 (m) Water depth	泥样分层 Sediment layer			站位 Sites	水深 (m) Water depth	泥样分层 Sediment layer		
		0-2 cm	2-5 cm	>5 cm			0-2 cm	2-5 cm	>5 cm
S1	17	J01	J02	J03	S7	17	J19	J20	J21
S2	19	J04	J05	J06	S8	15	J22	J23	J24
S3	16	J07	J08	J09	S9	12	J25	J26	J27
S4	16	J10	J11	J12	S10	12	J28	J29	J30
S5	17	J13	J14	J15	S11*	7	J31	J32	J33
S6	17	J16	J17	J18	S12	4	J34	J35	J36

\* Sediment trap was used for sampling at 2 m under sea level from January 1991 for 3 months at S11.

## 2 结果

### 2.1 孢囊种类

对 37 份样品详细检查, 鉴定出生活甲藻孢囊 29 种, 包括有亚历山大藻属 (*Alexandrium*) 4 种, 为链状亚历山大藻 (*A. catenella*)、李氏亚历山大藻 (*A. leei*)、葡萄牙亚历山大藻 (*A. lustranicum*)、塔马亚历山大藻 (*A. tamarense*); 膝沟藻属 (*Gonyaulax*) 4 种, 为多边膝沟藻 (*G. polyedra*)、具刺膝沟藻 (*G. spinifera*)、网状原角藻 (*Protoceratium reticulatum* = *G. grindleyi*)、斯氏膝沟藻 (*G. scrippsae*); 裸甲藻属 (*Gymnodinium*) 2 种, 即链状裸甲藻 (*G. catenatum*) 和裸甲藻 (*G. sp.*); 原多甲藻属 (*Protoperdinium*) 9 种, 分别为褐色原多甲藻 (*P. avenalla*)、窄角原多甲藻 (*P. claudicans*)、锥形原多甲藻 (*P. conicum*)、锥腹原多甲藻 (*P. conicoides*)、小齿原多甲藻 (*P. denticulatum*)、里昂原多甲藻 (*P. leonis*)、微小原多甲藻 (*P. minutum*)、长形原多甲藻 (*P. oblongum*) 和赛裸原多甲藻 (*P. subinense*) 等; 斯氏藻属 (*Scrippsiella*) 3 种, 前头斯氏藻 (*S. precaria*)、锥状斯氏藻 (*S. trochoidea*) 与法罗恩多甲藻 (*Peridinium faeroense* = *S. faeroense*); 其它种类 7 种, 即旋沟藻 (*Cochlodinium sp.*)、微细双盾藻 (*Diplopelta parva*)、哈曼褐多沟藻 (*Phaeopolykrikos hamannii*)、科夫多沟藻 (*Polykrikos kofoidii*)、无纹多沟藻 (*P. schwartzii*)、*Pyrodinium bahamense*、窄形扁甲藻 (*Pyrophacus sp.*)。此外还发现针胞藻纲 (Rhaphidophyceae) 孢囊 1 种, 即海洋褐胞藻 (*Chattonella marina*)。

在总共 30 种孢囊中, 潜在的有毒种有 6 种, 分别为链状亚历山大藻、李氏亚历山大藻、塔马亚历山大藻、链状裸甲藻、*Pyrodinium bahamense* 和海洋褐胞藻。底泥中以锥状斯氏藻、多边膝沟藻、褐色原多甲藻和塔马亚历山大藻等为优势种。其中主要优势种见图版 I: 1-7。

### 2.2 水平分布

对所有 12 个站位 0-2 cm 表层样品孢囊生物总量统计结果表明, J04、J10 样品中甲藻孢囊的种类、数量都远远高于其它各样品, 孢囊总数分别达到 520 个/g 泥样和 620 个/g 泥样; J34 孢囊

数量最少，仅为70个/g泥样。所有各样品中锥状斯氏藻孢囊数量与所占比例都高于其它种类(>20%)。所有站位以S2、S4站位孢囊生物量最为丰富，S12站位孢囊数量最少(图2)。

### 2.3 垂直分布

从部分站位孢囊在底泥3个层次中的分布情况来看，大鹏湾开阔水域(S2、S4站位)的垂直分布以表层(0-2 cm)孢囊生物量最为丰富，孢囊总数分别为520和620个/g泥样；2-5 cm

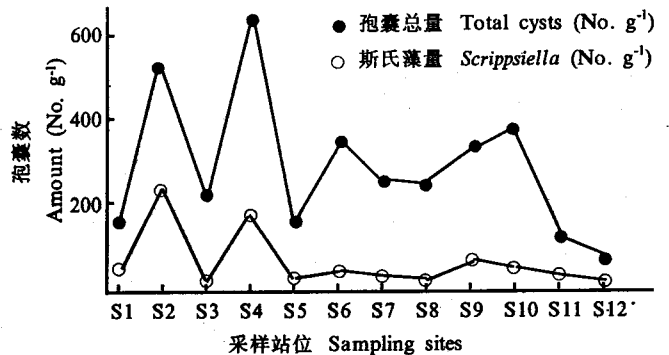


图2 大鹏湾底泥表层(0-2 cm)孢囊水平分布

Fig. 2 Horizontal distribution of cysts in surface sediment at depth of 0-2 cm in Dapeng Bay

层较0-2 cm层稍少分别为400和460个/g泥样；5 cm以下层孢囊的种类、数量大为减少，孢囊总数仅40和100个/g泥样；而在吉澳洲与盐田之间较闭塞水域(S10、S11)，孢囊虽也集中于0-5 cm表层上，但2-5 cm层泥样(孢囊总数分别为420和170个/g泥样)孢囊较0-2 cm层(孢囊总数分别为380和120个/g泥样)丰富(图3)。

### 2.4 孢囊种类数量比例

对孢囊种类数量最丰富的J10样品中各类孢囊所占比例的分析结果见图4。J10样品经斯氏藻所占比例最高，达26.5%；膝沟藻属几个种也较为丰富，总量居第二位，有毒的亚历山大藻和裸甲藻只占7.4%和13.2%，相对较少。

## 3 讨论

大鹏湾是中国南部海湾赤潮发生最为频繁的海区之一，各种赤潮生物种类、数量极为丰富。曾发生夜光藻(*Noctiluca scintillans*)、海洋褐胞藻(*Chattonella marina*)等种类的赤潮<sup>[2,7]</sup>。此外，塔马亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)和多纹膝沟藻(*Gonyaulax polygramma*)在浮游植物种群中也常达到较高的密度。本研究所报道的29种甲藻孢囊是对本海域甲藻孢囊的首次全面报道，种类组成上与Mao & Harland报道的南中国海古生物孢囊种类有较大区别<sup>[8]</sup>。对各站位样品分析结果表明，孢囊组成以广布性、常年可形成孢囊的锥状斯氏藻为主，但在海区浮游植物调查报告中，却不见其有明显的优势，在许多站位甚至未能发现。这一方面是因其个体较小(20 μm左右)，用普通浮游植物网采集往往漏掉，另一方面据报道这一种类在一年四季皆可形成孢囊，因而在泥样中就发现较多。在调查中发现的五种有毒甲藻孢囊中有两种占有较高的比例，即链状裸甲藻和塔马亚历山大藻。在对大鹏湾的浮游植物常规调查中由于采样与固定方法的困难，较少发现它们的营养细胞存在。Anderson等

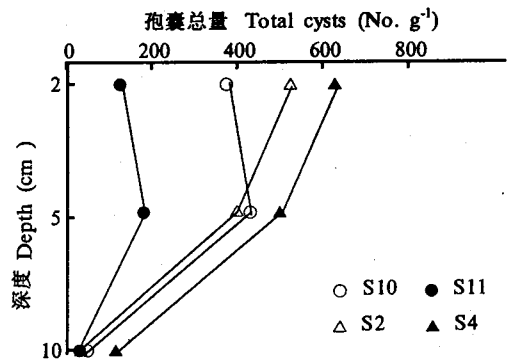


图3 大鹏湾4个典型站位底泥甲藻孢囊垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of cysts in surface sediment at different depths in Dapeng Bay at 4 sites

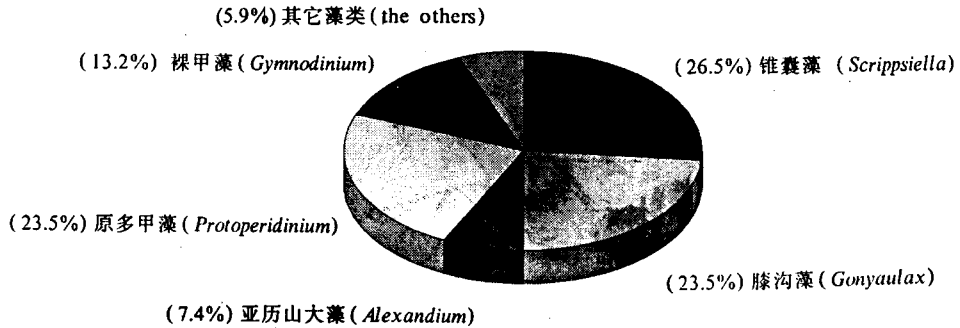


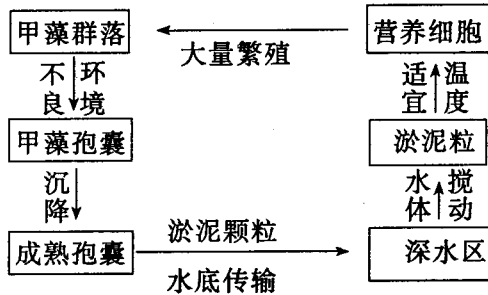
图 4 J10 样品中各类孢囊所占比例

Fig. 4 Percentage of different cysts in sample J10

对这一海湾 PSP 毒性进行了检测, 发现了多种毒素<sup>[9]</sup>。这两种引发有毒赤潮的甲藻种类在大鹏湾的发现, 对我们更进一步的摸清大鹏湾水域诱发 PSP 的种类具有重要的指引作用。

从孢囊总量来看, 大部分站位孢囊的垂直分布以表面 0-2 cm 层中最为丰富, 2-5 cm 层较 0-2 cm 层稍少, 5 cm 以下层生活孢囊锐减。Anderson 等<sup>[10,11]</sup>在研究孢囊的水平与垂直分布时发现, 在不同海岸、不同种孢囊的垂直分布也各不相同。如 *Gonyaulax tamarensis* (= *Alexandrium tamarensis*) 常在表层下 3-4 cm 层中出现高峰, 而 *Gyrodinium uncatenatum* 则在 0-2 cm 层出现高峰; 这些结果都说明, 现代甲藻孢囊分布以表层 0-5 cm 最为丰富, 是与本研究的结果一致的。

根据国外的经验, 甲藻孢囊大多沉积于泥质为青黑色、营养较丰富的底泥中, 而沙质底泥孢囊数量较少。我们的调查也发现, 在所有调查的 12 个站位中, 沙质底泥的 S12 站位孢囊总数最少, S2 点水深达 19 m, 是调查站位中最深的, S2、S4 两站位的孢囊总量较其余各站位都高得多(图 2)。根据杨炼锋等<sup>[12]</sup>报道, 大鹏湾底泥中存在着大量可交换活性磷, 在 0-2 cm 层含量高达 4 mgP L<sup>-1</sup> 间隙水, S2 站位可交换活性磷高达 7 mgP L<sup>-1</sup> 间隙水; 各站位 N/P 比一般在 0.2 左右, 比水体低几十、甚至几千倍。从孢囊在大鹏湾的分布可明显看出底泥泥质、水深度和水流(潮汐、水底径流和水团)对孢囊在底泥中分布的影响。大鹏湾孢囊集中分布于海底表层底泥 0-5 cm 层, 水平分布常位于避风浪、水流搅动不大、水位较深、活性磷含量高而 N/P 值低的底泥中。我们推测水体低浓度的活性磷酸盐是浮游植物生长的限制因子, 而底泥中的低 N/P 值更有利于孢囊的休眠。在来年春季由于水流变化(台风、暴雨等)的影响, 海底丰富营养物和孢囊一起搅动至水面, 形成有利于浮游植物的生长和孢囊萌发的营养条件, 在适宜温度和光照下, 孢囊发, 重新形成营养细胞种群。因此对海区底泥表层中密度较大的孢囊种类, 特别是有毒种类应该给予足够的重视。从我们调查的结果来看, 锥状斯氏藻、塔马亚历山大藻和链状裸甲藻等种类孢囊在大鹏湾底泥中都达到较大的丰度, 是引发赤潮的可能种类, 对它们的生活史变迁与季节变动的探讨, 是进一步揭示赤潮发生、探索赤潮机理和预防预报赤潮的关键。甲藻分布与运动示意图如下:



参考文献

- 1 齐雨藻等. 中国沿海的赤潮. 暨南大学学报, 1989, 赤潮研究专刊, 10-21
- 2 齐雨藻等. 南海大鹏湾浮游植物的生态学特征. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 1995, 16(1):111-117
- 3 Qi Y Z et al. Studies on dinoflagellate cysts along the coast of China. Asian Marine Biology, 1997
- 4 郑磊等. 大鹏湾有毒赤潮生物孢囊研究. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 1995, 16(1):131-136
- 5 郑磊, 齐雨藻. 赤潮甲藻孢囊研究综述. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 1995, 16(1):137-149
- 6 Matsuoka K et al. Methods for modern dinoflagellate cyst studies. In: Okaichi K et al eds. Red tide: Biology, environmental science and toxicology. Elsevier Publ. Co., New York, 1989, 461-469
- 7 齐雨藻等. 南海大鹏湾海洋褐胞藻赤潮及其成因. 海洋与湖沼, 1994, 25(2):132-137
- 8 Mao S, Harland R. Quaternary organic-walled dinoflagellate cysts from the South China Sea and their paleoclimatic significance. Palynology, 1993, 17:47-65
- 9 Anderson D M et al. Paralytic shellfish poisoning in Southern China. Toxicon, 1996, 34(5):579-590
- 10 Anderson D M et al. Vertical and horizontal distributions of dinoflagellate cysts in sediments. Limnol Oceanogr, 1982, 27(4):757-765
- 11 Anderson D M, Keafer B. Dinoflagellate dynamics in coastal and estuarine waters. In: Anderson D M et al. eds. Toxic Dinoflagellates, 1985, 219-224
- 12 杨炼锋等. 沉积物中营养盐对大鹏湾赤潮影响的初步探讨. 海洋与湖沼, 1995, 增刊, 26(5):34

图版说明

1. 塔马亚历山大藻孢囊, 示粘质物; 2. 褐色原多甲藻孢囊; 3. 锥形原多甲藻孢囊, 示萌发孔; 4. 无纹多沟藻孢囊; 5. 多边膝沟藻孢囊, 示萌发孔; 6. 锥状斯氏藻孢囊; 7. 链状裸甲藻孢囊. 比例尺 = 10 μm.

Explanation of plate

1. *Alexandrium tamarense* cyst, showing viscous materials; 2. *Protoperidinium avellana* cyst; 3. *P. conicum* cyst, showing archeopyle; 4. *Polykrikos schwartzii* cyst; 5. *Gonyaulax polyedra* cyst, showing archeopyle; 6. *Scrippsiella trochoidea* cyst; 7. *Gymnodinium catenatum* cyst. Bar=10 μm.