

大亚湾近代沉积物中甲藻孢囊的垂直分布

王朝晖 齐雨藻 江天久 许忠能

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632;)

摘要:用 TFO 采泥器于 2001 年 8 月采集了大亚湾大鹏澳海域 6 个采样点 8—18cm 柱状沉积物样品, 分层研究了甲藻孢囊在该海域表层沉积物中的垂直分布。在 35 个沉积物样品中共分析鉴定出甲藻孢囊 48 种, 其中自养型 20 种, 异养型 28 种, 优势种类为锥状斯氏藻。每个样品中所分析鉴定的孢囊种类数为 12—29 种, 孢囊的香农—威弗种类多样性指数(Shannon Weaver Diversity Index, H') 为 0.61—4.13, 并且在 2—4cm 层次处, 随深度的增加, 两者均有一个明显上升趋势。除鱼类养殖区的上表层较高外, 孢囊丰度大多为 1000—2000 cysts/g D Wt, 最高为 2.38×10^4 cysts/g D Wt。亚历山大藻孢囊分布广泛且密度较高, 最高丰度为 503 cysts/g D Wt, 同时表层沉积物中高密度的亚历山大藻孢囊为该藻赤潮的发生提供了丰富的种源, 而且也是该海域贝类体内冬季 PSP 毒素积累及高含量的重要原因。

关键词: 甲藻孢囊; 大亚湾; 亚历山大藻; 南中国海

中图分类号: Q914.82, X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2004)05-0504-07

甲藻是浮游生物特别是海洋浮游生物的重要组成部分, 许多甲藻能在其生活史的某一时期形成孢囊, 也就是休眠合子以度过不良的环境条件。经过一段时间的休眠期后, 孢囊遇到适合的条件又可萌发成营养细胞释放到水体中。孢囊对物质分布、繁殖、保存都具有特殊的生物学意义, 同时孢囊也被普遍认为是赤潮发生的“种源”和赤潮消亡的重要原因, 有毒种类的孢囊还是底栖贝类毒素积累的来源之一^[1-3]。由于沉积物中的孢囊是某一时期某海域所形成孢囊的集群, 而且大多数甲藻孢囊具有孢粉质状物质的孢囊壁, 可长期保存在底部沉积物中。因此, 沉积物中的孢囊集群能在一定程度上反映了浮游植物的历史信息, 同时也为追溯各海域浮游植物历史记录和水质历史状况提供了有效的信号^[4]。

大亚湾位于南海东北部海域, 是广东省沿岸最大海湾之一, 也是广东省重要的水产养殖和育苗基地。大亚湾特别是大鹏澳海域是我国 PSP 毒素高检出区和高含量区^[5,6], 由于食用染毒贝类而引起居民中毒的事件时有发生^[7]。而在该海域的浮游植物历史资料中较少检测出 PSP 毒素原因种亚历山大藻(*Alexandrium* spp.) 和链状裸甲藻(*Gymnodiniumcatenatum*), 而这两种

有毒藻类都能产生孢囊, 因此在某种程度上, 可通过孢囊的分布来了解这两种藻类游动细胞的分布状况。本研究调查了甲藻孢囊在大亚湾大鹏澳海域沉积物中孢囊的垂直分布, 了解该海域有毒甲藻的分布情况, 并推测有毒甲藻孢囊与贝类 PSP 毒素之间存在的可能关系。

1 材料与方法

1.1 采样海区及样品的采集 大亚湾湾内没有大的河流流入, 除台风季节外, 盐度变化较小, 在 26‰—32‰之间, 多年平均水温为 22℃左右^[8]。海底沉积物以细颗粒为主, 粉沙质和泥沙质占绝对优势, 黏土含量较低, 为 20%—30%^[9]。

在大亚湾大鹏澳海域共设置了 6 个采样点, 其中 St.1 位于鱼类养殖区, St.2 位于牡蛎养殖区, St.3 位于珍珠贝养殖区, St.4 位于虾类养殖区, St.5 位于翡翠贻贝养殖区, St.6 位于非养殖区的对照点, 采样点的设置见图 1。用日本产的 TFO 底泥采样器于 2001 年 8 月 18 日在 St.1 至 St.6 站分别采集了 18cm、10cm、12cm、8cm、10cm 和 12cm 的表层沉积物, 样品采集后, 放入 4℃冰箱中避光保存。沉积物从表层开始, 每隔 2cm 截取样品, 这样在 6 个采样

收稿日期: 2003-04-15; 修订日期: 2004-04-20

基金项目: 国家自然科学基金(40306020)和重大项目(39790110); 国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409700)资助

作者简介: 王朝晖(1968—)女, 湖南长沙人, 副教授, 从事水域生态学研究

通讯作者: 齐雨藻

点分别得到了 9、5、6、4、5、6 个 2cm 厚的沉积物样品。



图 1 大亚湾大鹏澳海域采样点的设置

Fig 1 Sampling stations in Dapeng Ao area of Daya Bay

1.2 样品的处理与观察 所有样品分成 2 份, 一份在 70℃烘箱中 24h 烘干, 以测定沉积物的含水率。另一份则进行孢粉学处理, 也就是加入浓盐酸和高氟酸, 除去钙质和硅质; 脱酸后, 用超声波处理 30s, 然后通过 125μm 和 20μm 不锈钢网筛, 收集两者之间的部分并转移至表面皿中, 旋转表面皿使液体涡旋, 然后用吸管吸取上层浮液至小塑料广口瓶中, 并定容至 10mL。

观察时, 吸取 0.1—0.5mL 已处理样品至 1mL 方格计数框中, 并加入适量的蒸馏水稀释, 然后在倒置显微镜(Olympux XB70)下分析观察。重复观察数次, 使每个样品至少观察到 100 个孢囊。孢囊丰度以每克干重沉积物的孢囊数表示(cysts/g D Wt)。

2 结果

2.1 种类组成

大亚湾大鹏澳海域孢囊种类十分丰富, 在 6 个采样点 35 个沉积物样品中共分析鉴定出 20 个属的 48 种甲藻孢囊类型, 其中自养型为 20 种, 异养型为 28 种; 包括 13 种膝沟藻(*Gonyaulacoid* group)、1 种 *Tuberculodinioid*、3 种钙质孢囊(*Calcoidinellid* group)、5 种裸甲藻(*Gymnodinioid* group)、23 种原多甲藻(*Protoperidinioid* group) 和 3 种翼藻(*Diplopsalid* group) 孢囊。表 1 列出了甲藻孢囊在各站位的分布及其孢粉学学名、生物学学名和中文名称。

各站位所观察分析到的孢囊种类数为 24—39 之间, 其中 14 种是各站位共有种类; 6 个站位中以

处于非养殖区的 St. 6 的孢囊种类多样性最高, St. 4 次之, St. 3 最低。而每个样品中所观察分析的种类数也较高, 在 12—29 之间, 平均 20.3; 除 St. 3 的最表层样品和 St. 1 的 4—10cm 层次沉积物中种类数出现一个较低谷外, 各站位各层次样品中所观察分析的孢囊种类数相近(图 2)。

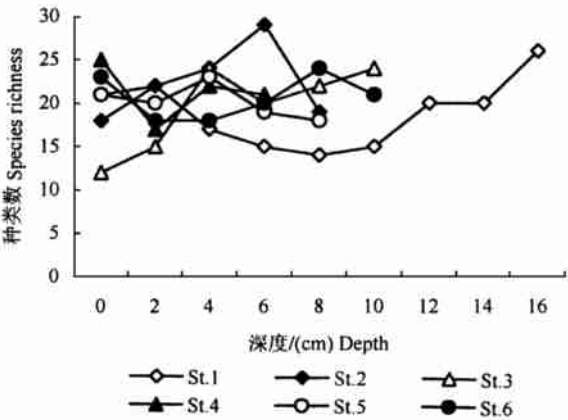


图 2 表层沉积物中甲藻孢囊种类数垂直变化趋势

Fig 2 Vertical changes in species richness of dinoflagellate cysts in sediments

(图 3 5、7 的图例同图 2)

孢囊的香农—威弗种类多样性指数(Shannon Weaver Diversity Index, H')除 St. 1 站的上表层样品外, 一般在 2.0 以上。总的变化趋势是表层样品的多样性指数值较低, 在中层样品(一般在 2—6cm 层次处)有一较大的升幅, 从 6—8cm 开始上升至 3.0 以上, 并逐渐上升至最深层次的最高值(图 3)。

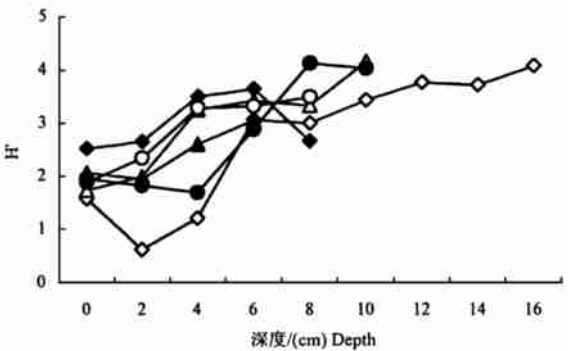


图 3 甲藻孢囊种类的香农—威弗多样性指数(H')的垂直变化趋势

Fig 3 Vertical changes in Shannon Weaver Diversity Index (H') of cyst

自养型孢囊在大亚湾孢囊集群中占据优势, 以锥状斯氏藻(*Scripsiella trochoidea*)为主的钙质孢囊是优势类群, 6 个采样点 0—8cm 沉积物中平均百分比含量为 51.3%—81.6%。膝沟藻类和原多甲藻类孢囊也在孢囊集群中占据一定地位, 它们的平均百

分比含量分别为 18.6%—27.6% 和 15.1%—23.8%，其他类型的孢囊也仅偶尔出现。

2.2 数量变化

2.2.1 孢囊丰度随深度的变化 孢囊丰度在 154—23810 cysts/g D Wt 之间,除St. 1 上表层外,大部分样品的孢囊丰度为 1000—2000 cysts/g D Wt (图4)。总的变化趋势是随深度的增加而降低,在2—4cm层次出现一个峰值,其中以 St. 1 的峰值最高,随后迅速下降,然后维持在 150—2000 cysts/g D Wt 之间。6 站位上表层 8cm 沉积物中平均孢囊丰度分别为 8844、1797、1984、2694、2302 和 3185 cysts/g D Wt。

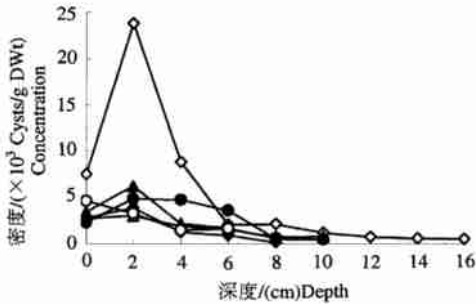


图4 表层沉积物中甲藻孢囊密度数垂直变化趋势

Fig. 4 Vertical changes in concentrations of dinoflagellate cysts in sediments



2.2.2 锥状斯氏藻孢囊的数量变化 锥状斯氏藻孢囊是大亚湾大鹏澳海域的主要孢囊类型,其数量变化的垂直变化规律与总孢囊数量相似,在2—4cm层次存在一个峰值(图5)并与总孢囊数量呈明显的正相关关系,相关系数 r 高达 0.99,而两者又与 Shannorr Weaver 多样性指数 (H') 呈明显负相关关系,相关系数分别为 -0.72 和 -0.74。说明锥状斯氏藻孢囊丰度越高,总孢囊丰度也相应增加,孢囊种类也越单一,从而引起孢囊种类多样性程度降低, H' 值下降。

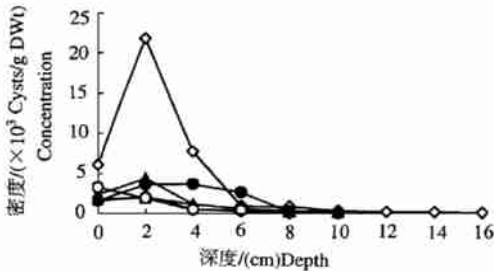


图5 表层沉积物中锥状斯氏藻孢囊密度垂直变化趋势

Fig. 5 Vertical changes in concentrations of cysts of *Scripsiella trochoidea*

各站位 0—8cm 上表层沉积物样品中,锥状斯氏藻孢囊的平均相对含量为 51.3%—86.6%，其水平

变化规律也与总孢囊丰度相似,位于鱼类养殖区的 St. 1 站无论是绝对含量还是相对含量都较其他站位高出许多(图6),平均丰度是其他站位的5—7倍。

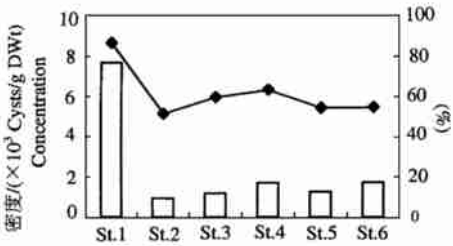


图6 不同采样点表层沉积物中(0—8cm)锥状斯氏藻孢囊平均密度及其百分比含量

Fig. 6 Abundance and relative frequency of *Scripsiella* cyst in surface sediments (0—8cm) from different functional cultural regions



2.3 亚历山大藻孢囊的分布

PSP 毒素原因种类亚历山大藻和链状裸甲藻孢囊在大亚湾大鹏澳海域均有分布(表1),链状裸甲藻在除 St. 3 外的 5 个站位观察到,而椭圆形塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)和链状亚历山大藻(*A. catenella*)孢囊复合体则在所有站位检测出,另外一种圆球形的微小亚历山大藻(*A. minutum*)或相似亚历山大藻(*A. affine*)孢囊也在 5 个站位出现。链状裸甲藻孢囊虽分布较广泛,但数量较低,最高仅为 45.7 cysts/g D Wt。而亚历山大藻孢囊丰度则较高,最高丰度出现在 St. 5 站的 2—4cm 层次样品中,为 508 cysts/g D Wt (图7)。大部分亚历山大藻孢囊分布在 8cm 以上的表层沉积物中,St. 1 的 18cm 柱状沉积物亚历山大藻孢囊总量中,0—6cm 上表层孢囊占 82.95%,6—12cm 中层占 11.23%,12—18cm 下层占 5.82%,说明该海域亚历山大藻孢囊数量近年来有不断增加的趋势。亚历山大藻孢囊数量的水平分布与锥状斯氏藻恰好呈相反的变化趋势,在锥状斯氏藻丰度较高的 St. 1 (图6),亚历山大藻孢囊数量较低(图8),而其余 5 个站位相差较小。

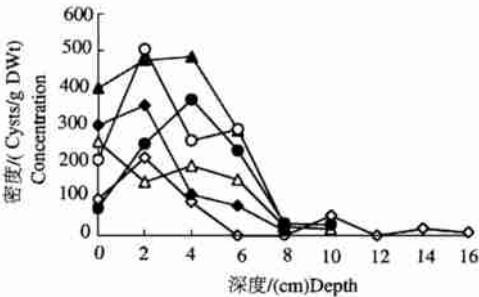


图7 表层沉积物中亚历山大藻孢囊密度垂直变化趋势

Fig. 7 Vertical changes in concentrations of *Alexandrium* cysts in sediments

表 1 甲藻孢囊在大亚湾大鹏澳海域各采样点的分布

Tab 1 Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from Dapengao area, Daya Bay, the South China Sea

孢粉学名称	生物学名称	中文名称	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6
Paleontological name	Scientific name	Chinese name						
Gonyaulacoid group		膝沟藻类						
<i>Alexandrium</i> sp. 1(ellipsoidal)	<i>Alexandrium catenella/ tamarense</i>	链状亚历山大/ 塔玛 亚历山大藻	+	+	+	+	+	+
<i>Alexandrium</i> sp. 2(globe)	<i>Alexandrium minutum</i>	微小亚历山大藻	+	+	+	+		+
<i>Lingulodinium machaeropharum</i>	<i>Lingulodinium polyedra</i>	多边舌甲藻	+	+	+	+	+	+
<i>Operculodinium centrocarpum</i>	<i>Protoceratium reticulatum</i>	网状原角管藻	+		+	+	+	+
<i>Spiniferites bentri</i>	<i>Gonyaulax digitalis</i>	膝沟藻	+	+	+	+		+
<i>Spiniferites bulloides</i>	<i>Gonyaulax scrippsae</i>	膝沟藻	+	+	+	+	+	+
<i>Spiniferites</i> sp. cf. <i>delicatus</i>	<i>Gonyaulax</i> sp.	膝沟藻	+					+
<i>Spiniferites delicatus</i>	<i>Gonyaulax</i> sp.	膝沟藻	+	+		+	+	+
<i>Spiniferites elongatus</i>	<i>Gonyaulax spinifera</i> complex	具刺膝沟藻						+
<i>Spiniferites hyperacanthus</i>	<i>Gonyaulax spinifera</i> complex	具刺膝沟藻	+	+	+	+	+	+
<i>Spiniferites mirabilis</i>	<i>Gonyaulax spinifera</i> complex	具刺膝沟藻	+	+		+		+
<i>Spiniferites ramosus</i>	<i>Gonyaulax spinifera</i> complex	具刺膝沟藻		+		+		+
<i>Spiniferites</i> spp.	<i>Gonyaulax</i> spp.	膝沟藻	+	+	+	+	+	+
Tuberculodinioid group		Tuberculodinioid 类						
<i>Tuberculodinium vancampoae</i>	<i>Pyrphacus steinii</i>	窄形扁甲藻	+	+	+	+		+
Caloidinellid group		钙质类						
—	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	锥状斯氏藻	+	+	+	+	+	+
—	<i>Scrippsiella</i> sp. 1	斯氏藻		+	+	+	+	+
—	<i>Scrippsiella</i> sp. 2	斯氏藻						+
Gymnodinioid group		裸甲藻类						
—	<i>Cochlodinium</i> sp. cf. <i>polykrikoides</i>	旋沟藻			+			
—	<i>Gymnodinium catenatum</i>	链状裸甲藻	+	+		+	+	+
—	<i>Pheopolykrikos hurmannii</i>	哈曼褐多沟藻	+	+		+		
—	<i>Polykrikos kofoidii</i>	科夫多沟藻	+	+	+	+	+	+
—	<i>Polykrikos schwartzi</i>	无纹多沟藻	+	+	+	+	+	+
Protoperidinioid group		原多甲藻类						
<i>Brigantadinium ariacoense</i>	<i>Protoperidinium avelanum</i>	褐色原多甲藻	+	+		+	+	+
<i>Brigantadinium majusculum</i>	<i>Protoperidinium pentagonum</i>	原多甲藻	+	+	+	+	+	+
<i>Brigantadinium simplex</i>	<i>Protoperidinium conicoides</i>	原多甲藻			+	+	+	+
<i>Brigantadinium</i> sp.	<i>Protoperidinium denticulatum</i>	原多甲藻		+				
<i>Brigantadinium</i> sp. 1	<i>Protoperidinium</i> sp	原多甲藻	+	+		+	+	+
<i>Brigantadinium</i> spp	<i>Protoperidinium</i> spp.	原多甲藻	+		+	+	+	+
—	<i>Protoperidinium americanum</i>	美丽坚原多甲藻				+		
—	<i>Protoperidinium minutum</i>	微小原多甲藻		+		+		+
—	<i>Protoperidinium</i> sp 1	原多甲藻 1						+
—	<i>Protoperidinium</i> sp 2	原多甲藻 2		+				
	<i>Protoperidinium</i> sp 3	原多甲藻 3	+	+	+	+	+	+
<i>Quinquecupis constrictum</i>	<i>Protoperidinium leonis</i>	里昂原多甲藻	+	+	+	+	+	+
<i>Selenophimphix nephroides</i>	<i>Protoperidinium subinermis</i>	赛裸原多甲藻	+	+	+	+	+	+
<i>Selenophimphix quanta</i>	<i>Protoperidinium conicum</i>	锥形原多甲藻	+	+		+	+	+
<i>Stelladinium abei</i>	<i>P.</i> sp. cf. <i>compressum</i>	原多甲藻					+	+
<i>Stelladinium redii</i>	<i>Protoperidinium</i> sp	原多甲藻				+		
<i>Stelladinium stellatum</i>	<i>Protoperidinium compressum</i>	扁平原多甲藻	+					

							续表	
孢粉学名称	生物学名称	中文名称	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6
Paleontological name	Scientific name	Chinese name						
<i>Trinovantedinium capitatum</i>	<i>Protoperidinium pentagonum</i>	原多甲藻	+	+		+	+	+
<i>Trinovantedinium</i> sp. 1	<i>Protoperidinium</i> sp	原多甲藻						+
<i>Votadinium calvum</i>	<i>Protoperidinium oblongum</i>	长形原多甲藻	+	+	+	+	+	+
<i>Votadinium spinosum</i>	<i>Protoperidinium claudicans</i>	窄角原多甲藻	+	+	+	+	+	+
<i>Votadinium</i> sp. 1	<i>Protoperidinium</i> sp	原多甲藻					+	+
<i>Xandaradinium xanthium</i>	<i>Protoperidinium divaricatum</i>	原多甲藻	+		+	+		
Diplopsalid group		Diplopsalid 类						
—	<i>Diplpelta parva</i>		+	+		+	+	+
—	<i>Diplpelta lenticula</i>		+	+		+	+	+
<i>Dubridinium caperatum</i>	<i>Zygabikodinium lenticulatum</i>				+			
Autotrophic species number		自养型孢囊种类数	15	15	12	16	10	18
Total species observed		孢囊总种类数	32	32	24	36	28	39

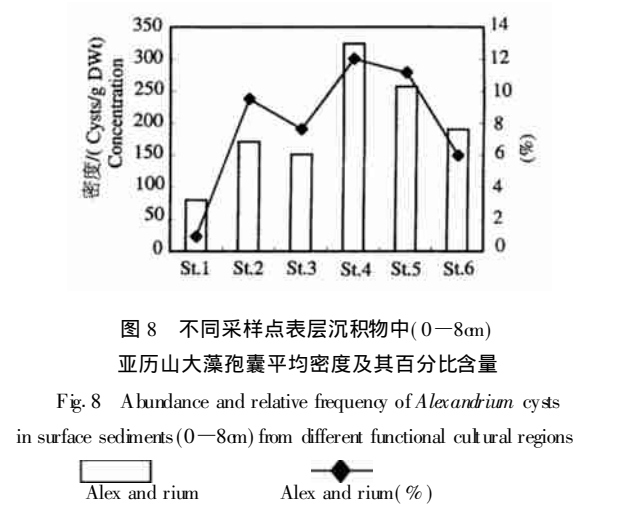


图 8 不同采样点表层沉积物中(0—8cm) 亚历山大藻孢囊平均密度及其百分比含量

Fig. 8 Abundance and relative frequency of *Alexandrium* cysts in surface sediments(0—8cm) from different functional cultural regions

3 讨论

3.1 孢囊分布与环境的关系 大亚湾大鹏澳海域是位于大亚湾西南侧的一个半封闭的小内湾, 而与外界的水体交换主要依赖潮汐、潮流周期性的水动力学, 水体交换缓慢, 湾内形成的孢囊很难通过潮流迁移出去。该海域孢囊种类比较丰富, 本研究中共分析鉴定出 48 种孢囊类型, 而且每个样品中所观察分析的孢囊种类也较丰富, 其种类多样性明显高于沿海其他有关孢囊水平分布的研究报道^[10], 也高于同处大亚湾的澳头海域^[11]。Qi 等^[10]在 1991—1993 年对中国东南沿海甲藻孢囊水平分布的调查中, 也发现大亚湾海域孢囊种类丰富, 是所有 14 个站位中种类最为丰富的海区之一。

该海域水质优良, 营养盐含量较低, 但初级生产力较高^[12], 浮游植物优势种类在硅藻和甲藻之间交替, 优势硅藻以小型种类如星杆藻(*Asterionella*)、角毛藻(*Chaetoceros*)、拟菱形藻(*Pseudonitzschia*) 等为

主, 甲藻则为一些小型的自养型种类如锥状斯氏藻、裸甲藻(*Gymnodinium*) 和膝沟藻(*Gonyaulax*) 等, 异养型甲藻在春季的硅藻水华之间也常常出现^[8]。该海域孢囊组成正反映了浮游植物组成, 孢囊组成以自养型的锥状斯氏藻为主, 其他种类的孢囊也较为丰富。

由于孢囊可在赤潮中后期大量产生, 而且也是赤潮消亡的原因之一^[13], 锥状斯氏藻孢囊的密度高峰表明这一时期在附近海域发生了该藻赤潮。因此, St. 1 的 2—4cm 层次处锥状斯氏藻孢囊数量高峰反映的是 2000 年秋发生的该藻赤潮(图 5)。说明该海域沉积物的沉积率应在 2cm/a 左右, 由于上表层沉积物比较疏松, 比黄乃明等^[14]得出大鹏澳海域沉积物的沉积速率(0.94—1.42cm/a)略高。

锥状斯氏藻不仅是 大亚湾优势和常见孢囊类型, 也是南海和中国沿海其他海域常见优势种^[10]。某种特定自养型甲藻孢囊丰度和相对含量的上升正是养殖型富营养化的标志^[15], 在大鹏澳海域, 这种指示孢囊是锥状斯氏藻, 而且在污染程度和营养盐含量较高的鱼类养殖区, 锥状斯氏藻孢囊含量也较高。各站位总孢囊数量和锥状斯氏藻相对含量的明显增加从 4—6cm 层次开始, 根据该海域沉积物的沉降速率, 说明该海域的污染大致是从 20 世纪 90 年代后期开始, 而且是以养殖污染型为主。而大亚湾水质变化的年代进程也证实了这一点, 从 1986 年到 1995 年 10 年间, 大鹏澳海域的可溶性氮(TIN)和可溶性磷(DIP)含量基本上没有增加^[16], 20 世纪 90 年代后期开始, 该海域 DIN 含量迅速增加, 而 DIP 含量则下降, DIN 含量由 1985—1986 年度的 18μg/L 左右上升至 1998 年的 80μg/L 左右, 而 DIP 含量则由

35 $\mu\text{g/L}$ 左右下降至 4 $\mu\text{g/L}$ 左右, 1996 年后该海域从 N 限制型转变为 P 限制型^[12, 16]。

当水体受到污染后, 群落的种类往往大幅度减少, 而少数具有特异性生态习性种类的数量会大大增加, 从而使香农—威弗种类多样性指数(H') 呈现低值。一般认为, H' 值低于 3, 表明该水体已受到轻微污染扰动, 小于 1 则表示受到严重污染。因此, 6 个站位不同的富营养化水平以及富营养化程度的垂直变化可以从种类多样性指数(H') 反映(图 3)。各站位在最上层沉积物中的 H' 都较低, 随后逐渐上升, 最大值都超过了 3.0。而站位之间又以 S.1 站的上表层 H' 值较低。这表明位于鱼类养殖区的 St. 1 站污染较为严重, 而且近年来该海域污染日趋严重。

3.2 亚历山大藻孢囊与 PSP 毒素的关系 亚历山大藻孢囊在世界各地分布广泛, 同时也是中国海区的常见孢囊种类之一。Qi 等^[10] 在我国东海、南海 14 个站位中的 8 个站位的表层沉积物内检测出了亚历山大藻孢囊, 而 Cho & Matsuoka^[17] 在黄海、东海几乎每个所设置的采样点均观察到了亚历山大藻孢囊。

大鹏澳海域表层沉积物中的亚历山大藻孢囊丰度(0—503cysts/g W Dt, 即 0—589.7cysts/ cm^3), 虽低于一些 PSP 毒素世界性高发区^[18], 但由于亚历山大藻在极低密度下就能使贝类积累较高毒性, 而且其孢囊还是冬季贝类积累毒素的主要来源之一^[2], 亚历山大藻孢囊在该海域如此高的丰度无疑是一颗定时炸弹, 随时可引发赤潮, 应引起高度重视。

该海域一直是我国沿海 PSP 中毒事件高发区和毒素高含量区^[5, 6], 因食用染毒贝类而引起居民中毒的事件也时有发生^[7]。林燕棠等^[5] 在 1990 年至 1992 年对广东沿海贝类中 PSP 毒素进行调查, 发现大亚湾贝类中 PSP 毒素含量在所有采样点中最高, 可达 1000 μg STX equ./100g 肉, 超出标准 80 μg STX equ./100g 肉 12 倍。而江天久等^[6] 发现冬季(1999 年 1 月) 该海域贝类体内 PSP 毒素含量为全年最高, 超过标准值 40 多倍, 其次是春季。冬季和春季 PSP 毒素含量高高峰期正是亚历山大藻孢囊形成和游动细胞密度高峰期, 说明亚历山大藻孢囊是大鹏澳海域冬季贝类 PSP 毒素积累的重要来源之一。

大亚湾是一个封闭的海湾, 水体交换十分缓慢。高浓度的亚历山大藻孢囊说明水体中曾存在较高密度的游动细胞; 而另一方面, 表层沉积物中的孢囊又给水体中游动细胞提供了丰富的种源。但在该海域

的浮游植物记录中虽有亚历山大藻存在, 但丰度和出现频率均较低, 常见种类主要是一些小型硅藻和不形成孢囊的原甲藻(*Prorocentrum*)、角甲藻(*Ceratium*) 等^[8]。沉积物中的孢囊是水柱中所有水层所形成孢囊较长时间累积的结果, 而浮游植物样品的采集则局限于某一时间、某一区域、某一层次的水样, 其分析结果难免具有一定的局限性, 因此孢囊的分析结果在某种程度上能更完整地反映水体中浮游植物状况, 在孢囊研究中有记载而在浮游植物研究中未分析到的种类时有发生, Matsuoka^[3] 在研究东京湾沉积物中孢囊时也观察到了 30 多种在浮游植物分析中未记录种。

参考文献:

- [1] McGillicuddy D J, Signell R P, Stock C A *et al.* A mechanism for offshore initiation of harmful algal blooms in the coastal Gulf of Maine [J]. *J. Plankton Res.*, 2003, **25**: 1131—1138
- [2] Schwinghamer P, Hawryluk M, Powell C, *et al.* Resuspended hypnozygotes of *Alexandrium fundyense* associated with winter occurrence of PSP in shore Newfoundland waters [J]. *Aquaculture*, 1994, **122**: 171—179
- [3] Xiao Y Z, Wang Z H, Chen J F, *et al.* Seasonal dynamics of dinoflagellate cysts in sediments from Daya Bay, the South China Sea, its relationship to the bloom of *Scyphosylla trochoidea*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, **27** (4): 372—377. [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. 水生生物学报, 2003, **27** (4): 372—376.]
- [4] Matsuoka K. Eutrophication process recorded in dinoflagellate cyst assemblage—a case of Yokohama Port, Tokyo Bay, Japan [J]. *Sci. Total Environ.* 1999, **231**: 17—35.
- [5] Lin Y T, Yong M, Chen R, *et al.* Study on paralytic shellfish poison in shellfish from Guangdong coast [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*. 1994, **25**: 220—225. [林燕棠, 杨美兰, 陈瑞雯, 等. 广东沿海麻痹性贝类毒素的研究. 海洋与湖沼, 1994, **23** (2): 220—225.]
- [6] Jiang T J, Yin Y W, Luo Y M, *et al.* Study on the paralytic poisoning in shellfish of Daya Bay and Dapeng Bay, Guangdong [J]. *China Environ. Science*. 2000, **20** (4): 341—344. [江天久, 尹伊伟, 骆育敏, 等. 广东大亚湾和大鹏湾麻痹性贝类毒素研究. 中国环境科学, 2000, **20** (4): 341—344]
- [7] Anderson D M, David M, Qi Y Z, *et al.* Paralytic shellfish poisoning in southern China [J]. *Toxin*, 1996, **34** (5): 579—590
- [8] Liang S. Studies on resources and environment in the South China Sea [c]. Guangzhou Zhanshan University press. 1999. 219—228. [梁松. 南海资源与环境研究文集. 广州: 中山大学出版社. 1999, 219—228]
- [9] Lu B, Zhang F S, Huang S J, *et al.* Surface sediment properties and their influence on sea water culture in Daya Bay [J]. *J of Oceanography in Taiwan Strait*, 2002, **21** (4): 489—495. [卢博, 张福生, 黄韶健, 等. 大亚湾表层沉积物性质及其对海水养殖的影响.

- 台湾海峡, 2002, **21**(4): 489—495]
- [10] Qi Y Z, Hong Y, Zheng L, *et al.* Dinoflagellate cysts from recent marine sediments of the South and East China Seas[J]. *Asian Mar. Biology*, 1996, **13**: 87—103
- [11] Wang Z H, Matsuoka, Qi Y Z, *et al.* Vertical distribution of dinoflagellate resting cysts in surface sediments from Aotou area of Daya Bay, the South China Sea[J]. *Marine Environmental Science*, 2003, **22**(4): 5—8. [王朝晖, K Matsuoka, 齐雨藻等. 大亚湾澳头海域表层沉积物中甲藻孢囊的垂直分布. 海洋环境科学, 2003, **22**(4): 5—8]
- [12] Qiu Y W. The characteristic of nutrient variation in the Daya Bay[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, **23**(1): 85—93. [丘耀文. 大亚湾营养物质变异特征. 海洋学报, 2001, **23**(1): 85—93]
- [13] Xiao Y Z, Qi Y Z, Wang Z H, *et al.* The relationship between *Scrippsiella trochoidea* red tide and cyst in the Daya Bay[J]. *Marine Science*, 2000, **25**(9): 50—54. [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]
- [14] Huang N M, Song H Q, Niu G Q, *et al.* Variations of specific activity of γ radionuclides in marine sediments with depth at GNPS site and evaluation of sedimentation velocity[J]. *Radiation Protection Bulletin*, 1999, **19**(2): 12—9. [黄乃明, 宋海青, 牛广秋, 等. 大亚湾海底泥中 γ 放射性核素比活度随深度的变化及底泥沉积速率的估算. 辐射防护通讯, 1999, **19**(2): 12—9]
- [15] Dale B, Thorsen T A, Fjellsa A. Dinoflagellate cyst as indicators of cultural eutrophication in Oslofjord Norway[J]. *Estuar. Coastal. Shelf Sci.* 1999, **48**: 371—382
- [16] Peng Y H, Wang Z D. Analysis of nutrient status and hydrochemical indexes in seawater of aquacultural area at Dapeng'ao Bight in Daya Bay[J]. *J of Oceanography in Taiwan Strait*, 1999, **18**(1): 26—32. [彭云辉, 王肇鼎. 大亚湾大鹏澳养殖海区水化学指标的变化及营养状况分析. 台湾海峡, 1999, **18**(1): 26—32]
- [17] Cho H J, Matsuoka K. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the Yellow Sea and East China Sea[J]. *Marine Micropaleontology*, 2001, **42**(3/4): 103—123
- [18] Takasugi Y, Noguchi H, Yasuda H. Wind induced vertical circulation and distribution of resting cysts of the toxic plankton in sediments in Hiroshima Bay[J]. *Suisan Kaiyō Kenkyō*, 1998, **62**: 187—198. (in Japanese with English Abstract)

VERTICAL DISTRIBUTION OF DINOFLAGELLATE RESTING CYSTS IN RECENT SEDIMENTS FROM DAYA BAY, THE SOUTH CHINA SEA

WANG Zhao-Hui, QI Yu-Zao, JIANG Tian-Jiu and XU Zhong-Neng

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

Abstract: Six sediment cores from length of 8 to 18cm were collected from DapengAo area, Daya Bay, the South China Sea, by TFO core sampler in Aug. 2001 to investigate the vertical distribution of dinoflagellate resting cysts. 48 different cyst morphotypes representing 20 genera and 6 groups were identified from 35 sediment samples in this study. There were 20 autotrophic species and 28 heterotrophic ones. Cyst species richness in each sample varied from 12 to 29, while the values of Shannon-Weaver's Diversity Index(H') were between 0.61 and 4.13. There were an obvious increase of species richness and H' values in the depth of 2—4cm. Cyst concentrations varied from 154 to 2.38×10^4 cysts/g D Wt, and were between 1000 and 2000 cysts/g D Wt in most samples, while the highest concentration was obtained at the depth of 2—4cm in fish raised area of St. 1. *Scrippsiella trochoidea* was the most common and abundant cyst type. Meanwhile, the abrupt increase of cysts of *S. trochoidea* in the depth of 2—4cm layer of sediment reflected the bloom of this species in nearby sea areas in 2000. The results from cyst assemblages showed some trend of changes in water quality in this area to some extent, and indicated the typical type of pollution caused by cultural eutrophication, which began in the late 1990s. Cysts of *Alexandrium* mainly those of *A. catenella* and *A. tamarense* complex occurred frequently and abundantly in this area, with the highest concentration and relative frequency of 503 cysts/g D Wt and 12.0% respectively. Thus, high concentrations of *Alexandrium* cysts provided rich "seed bed" for *Alexandrium* blooms and an important resource of PSP toxin especially in winter.

Key words: Dinoflagellate cyst; Daya Bay; *Alexandrium*; The South China Sea