

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2011.00489

## 大窑湾养殖区赤潮甲藻孢囊种类组成及分布的研究

魏洪祥<sup>1</sup> 赵文<sup>1</sup> 梁玉波<sup>1,2</sup>

(1. 大连海洋大学生命科学与技术学院, 辽宁省水生生物学重点实验室, 大连 116023;  
2. 国家海洋环境监测中心, 大连 116023)

**摘要:** 2006—2007年对大窑湾养殖区的甲藻孢囊进行了研究, 结果检出10种甲藻孢囊, 分属于4大类9种甲藻孢囊, 其中原多甲藻类孢囊2种, 膜沟藻类孢囊5种, 钙质类孢囊1种, 裸甲藻类孢囊1种, 一种膜杆藻(*Ensiculifera Balech*)和一种易碎藻(*Fragilidium mexicanum*)是中国沿海新记录的两个种类, 此外还有一种无法鉴定到种的一种原多甲藻孢囊。膜沟藻类孢囊的种类数占绝对优势, 占50%, 其次是原多甲藻类孢囊占30%, 钙质类孢囊和裸甲藻类孢囊各占10%。10种孢囊中有3种异养型孢囊和7种自养型孢囊。并发现两种产麻痹性贝毒(PSP)的孢囊—塔玛亚历山大藻/链状亚历山大藻复合体(*Alexandrium tamarense/A. catenella*)和链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum*)。孢囊密度的季节分布呈现明显的双峰型, 在2007年1月份和2007年的8月份出现了两个高峰。2007年的1月份达到了调查全年的孢囊密度最高值, 达到了 $1.09 \times 10^3$  cysts/g 湿重, 2007年的8月份出现的第二次高峰期孢囊密度达到了 $0.86 \times 10^3$  cysts/g 湿重。孢囊密度最低值出现在2007年的10月, 只有280 cysts/g 湿重。全年孢囊平均密度为695.5 cysts/g 湿重。甲藻孢囊的多样性指数除了2007年的9月和10月以外, 相差不大, 变化范围为0.17—0.55, 全年的平均值为0.46。

**关键词:** 甲藻孢囊; 种类组成; 分布; 大窑湾海区

中图分类号: Q145<sup>+</sup>.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2011)03-0489-09

甲藻孢囊被认为是初春海域营养细胞及赤潮发生的“种源”, 赤潮发生后期大量孢囊的形成也是赤潮消亡的重要原因之一<sup>[1]</sup>。孢囊对物种分布、繁殖、保存都具有特殊的生物学意义, 有毒种类的孢囊还是底栖贝类毒素积累的来源之一。由于沉积物中的孢囊是某海域某一时期所形成孢囊的集群, 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。本文研究了大窑湾甲藻孢囊的种类和分布, 旨在为深入研究、保护和改善大窑湾海区的水域生态环境和资源可持续利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

2006.10—2007.10 对大窑湾养殖区甲藻孢囊进行了采样调查, 采样点设置(图1), 在大窑湾扇贝和牡蛎养殖区均匀设置5个采样点, 每月采样两次。底泥系使用柱状重力采泥器采集, 取表层沉积物, 柱状沉积物从表层开始2 cm 截取样品, 在4℃条件下保存。样品的处理过程为称量5 g 样品与灭菌海水混匀, 超声波处理2 min, 经100 μm 和15 μm 筛绢过滤, 取留在15 μm 筛绢上的样品, 收集两者之间的部分并转移至一表面皿中, 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瓶中, 并定容至50 mL。在Olympus 显微镜下对孢囊进行鉴定, 观察时, 吸取0.1—0.5 mL 已处理样品至1 mL 方格计数框中, 并加入适量的蒸馏水稀释。

收稿日期: 2010-03-08; 修订日期: 2010-12-15

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD09A01); 辽宁省教育厅创新团队项目(2007T016)资助

作者简介: 魏洪祥(1983—)男, 辽宁营口人; 助理工程师, 硕士; 主要从事水生生物学研究。E-mail: weihongxiang2002@yahoo.com.cn。

现在辽宁省淡水水产科学研究院工作

通讯作者: 赵文, E-mail: zhaowen@dlou.edu.cn

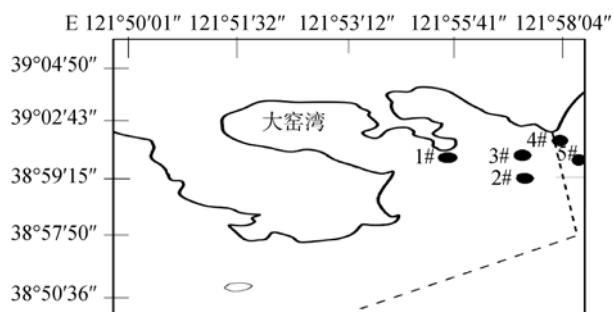


图 1 大窑湾采样点

2 结果

## 2.1 种类组成

大窑湾甲藻孢囊的种类组成和季节分布(表1)。由表1可见,大窑湾共检出10种甲藻孢囊,分属于4大类的9种甲藻孢囊,包括原多甲藻类孢囊2种,膝沟藻类孢囊5种,钙质类孢囊1种,裸甲藻类孢囊1种,其中发现了两种中国沿海新近记录的两个种类——一种艉杆藻和墨西哥易碎藻(*Fragilidium mexicanum*),还有一种无法鉴定到种的原多甲藻孢囊。共发现异养型孢囊3种,自养型孢囊7种。并发现两种产麻痹性贝类毒素(PSP)的孢囊,塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)和链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum*)。

艉杆藻孢囊(图版 -1) 孢囊为圆形, 直径 22  $\mu\text{m}$ , 双层壁, 孢囊体内充满淡绿色的颗粒, 有一个鲜艳的红色体, 孢囊外壁覆盖着 2  $\mu\text{m}$  长的有机质短刺。

塔玛亚历山大藻/链状亚历山大藻孢囊复合体  
(图版 -2) 如果不经过萌发, 仅通过营养细胞

分类，塔玛亚历山大藻和链状亚历山大藻孢囊在形态上很难区分。孢囊长椭圆形，长 43—72  $\mu\text{m}$ ，宽 28—40  $\mu\text{m}$ ，无色双层孢囊壁，较厚，外围常具有不定形透明黏性物质，内含红色或黄色色素体及大量无色淀粉粒。

三叶斯氏藻孢囊(图版 -3) 卵形孢囊, 长30.2—40.8  $\mu\text{m}$ , 宽20.0—30.4  $\mu\text{m}$ , 孢囊中部具有一颗明显的红色颗粒。孢囊表面具有许多三角形隆起, 外形与锥状斯氏藻相似, 但刺少且粗。

墨西哥易碎藻孢囊(图版 -4) 孢囊圆形。  
直径 54—60  $\mu\text{m}$ , 孢囊外壁有一圈很厚的胶质物,  
孢囊内充满淡白色的颗粒物以及淡褐色的原生质体,  
有一个鲜艳的黄色体清晰可见, 细胞壁很厚, 3—  
4  $\mu\text{m}$ , 无色, 壁上有颗粒性物质, 萌发孔大, 圆形  
偏在孢囊的一侧。

具刺膝沟藻孢囊(图版 -5) 该种甲藻在不同的环境条件下可产生不同形态的孢囊。在中国沿海沉积物中观察到 *Spiniferites hyperacanthus*、*Spiniferites ramosus* 和 *Spiniferites mirabilis* 三种类型。孢粉学名称 : *Spiniferites hyperacanthus*。孢囊为卵形至亚球形, 长 43.8—53.9  $\mu\text{m}$ , 宽 40.0—45.8  $\mu\text{m}$ 。孢囊副壳板角端和角间都密生许多凸起, 凸起长 8.7—12.3  $\mu\text{m}$ 。角端的凸起具有三分叉末端, 顶端又二叉, 而角间的凸起为二分叉。萌发孔梯形, 副横沟和副纵沟很清晰。该孢囊在我国沿海沉积物中广泛分布。

链状裸甲藻孢囊(图版 -6) 褐色至深褐色  
的球形孢囊, 孢囊直径为 42.5—46.3  $\mu\text{m}$ 。孢囊仅有  
一层有机质壁, 内含许多球形颗粒及一颗红色色素。

表 1 大窑湾海区甲藻孢囊种类名录  
Tab. 1 Species of dinoflagellate cysts in Dayao Bay area

体, 孢囊壁表面有许多微网状的花纹, 萌发孔是在孢囊中央伪横沟位置形成的一条长长的裂缝。该种藻类是产生麻痹性贝毒(PSP)的重要物种, 该种孢囊在我国沿海广泛分布。

**多边舌甲藻孢囊(图版 -7)** 孢囊球形, 直径 $30.5\text{--}55.5\text{ }\mu\text{m}$ , 双层无色壁, 具有许多渐尖形管状或非管状长刺状凸起, 凸起长 $8.3\text{--}11.5\text{ }\mu\text{m}$ 。萌发孔由3—5片副壳板脱落形成。

**长形原多甲藻孢囊(图版 -8)** 孢粉学名称Votadinium calvum。鲜褐色孢囊, 背腹扁平, 顶端较圆。孢囊长 $46.7\text{--}78.7\text{ }\mu\text{m}$ , 宽 $41.5\text{--}73.8\text{ }\mu\text{m}$ 。目前至少有三种形态的孢囊被证实为长形原多甲藻孢囊, Wall和Dale<sup>[11]</sup>对这三种孢囊的形态进行了描述, 主要根据前角和后角的位置进行区分。一种为鲜褐色心形孢囊, 表面较粗糙, 可见明显的副横沟的痕迹, 萌发孔位于背面近顶端处; 另一种五角形, 灰褐色, 表面光滑, 大的顶生萌发孔, 常为整个副顶板脱落形成, 有时萌发孔盖附着在孢囊体上; 第三种为菱形孢囊, 副横沟明显, 萌发孔较小, 为2a副壳板脱落形成。Wall和Dale<sup>[11]</sup>把心形孢囊古生物学名称定为Votadinium calvum, 而五角形和菱形的孢囊都被称为Lejeuneocysta sp.。该孢囊分布广泛, 为世界性分布种。三种孢囊类型均在我国沿海沉积物中出现。

## 2.2 种类比例

由图2可知, 在调查全年内膝沟藻类孢囊的种类数占绝对优势, 占50%, 其次是原多甲藻类孢囊占30%, 钙质类孢囊和裸甲藻类孢囊各占10%。

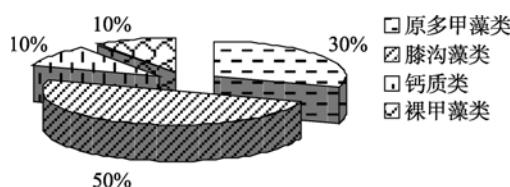


图2 大窑湾几类甲藻孢囊的比例

Fig. 2 The proportion of some kind of dinoflagellate cysts in Dayao Bay

由表2可知, 大窑湾调查海域甲藻孢囊的种类组成主要是膝沟藻类孢囊, 全年都有出现, 所占百分比在50.0%—80.0%, 最高百分比出现在2007年1、2月份和2007年4月份, 最低百分比出现在2007年的8月份, 全年平均百分比为67.16%。钙质类孢囊全年也都有出现, 种类数所占百分比为14.29%—

33.33%, 平均为20.60%。裸甲藻类孢囊只在2006年的11月份和12月份出现, 种类数所占百分比为14.29%, 原多甲藻类孢囊种类数所占百分比全年平均为6.99%。

## 2.3 孢囊密度的季节变化

大窑湾海域甲藻孢囊密度的季节分布呈现明显的双峰型(图3), 冬季和夏季孢囊的密度都非常大, 在2007年1月份和2007年的8月份出现了两次高峰。2007年的1月份达到了调查全年的孢囊密度最高值, 达到了 $1.09\times 10^3\text{ cysts/g}$  湿重, 2007年的8月份出现的第二次高峰期孢囊密度达到了 $8.55\times 10^2\text{ cysts/g}$  湿重。孢囊密度最低值出现在2007年的10月, 只有 $2.80\times 10^2\text{ cysts/g}$  湿重。全年孢囊平均密度为 $6.96\times 10^2\text{ cysts/g}$  湿重。

表2 几类甲藻孢囊组成的周年变化  
Tab. 2 The proportion of some kinds of dinoflagellate cysts in the year-round

时间 Date	种类百分比 Ratio of species (%)			
	原多甲藻类	膝沟藻类	钙质类	裸甲藻类
2006年10月	28.57	57.14	14.29	
2006年11月	14.29	57.14	14.29	14.29
2006年12月	14.29	57.14	14.29	14.29
2007年1月		80.00	20.00	
2007年2月		80.00	20.00	
2007年3月		75.00	25.00	
2007年4月		80.00	20.00	
2007年5月		75.00	25.00	
2007年6月	0.20	60.00	20.00	
2007年7月	0.20	60.00	20.00	
2007年8月	33.33	50.00	16.67	
2007年9月		75.00	25.00	
2007年10月		66.67	33.33	

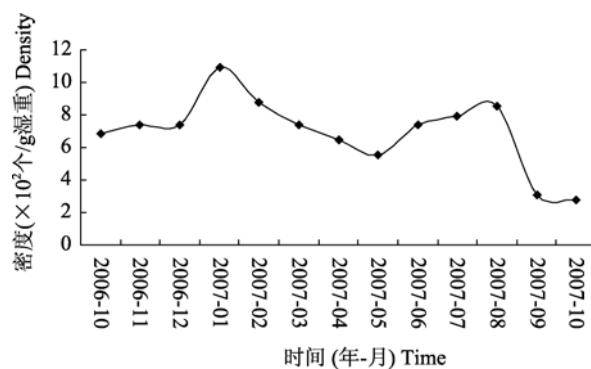


图3 大窑湾甲藻孢囊平均密度的季节变化

Fig. 3 Seasonal dynamics of density of dinoflagellate cysts in Dayao Bay

大窑湾沉积物中主要的几种甲藻孢囊的季节变化趋势(图 3)。从图 3 可见, 舰杆藻密度最大值出现在 2007 年的 7 月份, 最高值达到 555 cysts/g 湿重, 最低值出现在 2007 年的 10 月份, 最低值为 250 cysts/g 湿重。舰杆藻孢囊在调查全年中密度的季节变化总的趋势是呈下降趋势的, 在 2006 年的 12 月份和 2007 年的 1 月份间出现了一个峰值, 椭圆形亚历山大藻孢囊在调查全年中最高值出现在 2007 年的 8 月份, 达到 360 cysts/g 湿重, 最低值出现在 2007 年的 10 月份, 最低值为 100 cysts/g 湿重。椭圆形亚历山大藻孢囊在调查全年中密度的季节变化趋势是呈明显的双峰型, 分别在 2007 年的 1 月份和 2007 年的 7、8 月份出现两次峰值。三叶斯氏藻孢囊密度最高值出现在 2007 年的 2 月份, 为 175 cysts/g 湿重, 最低值出现在 2007 年的 11 月份, 为 67 cysts/g 湿重, 三叶斯氏藻孢囊在调查全年中密度的季节变化不明显, 略呈双峰型, 在 2007 年的 2 月份和 2007 年的 8 月份出现两个小的峰值。墨西哥易碎藻孢囊在调查全年的最高值出现在 2007 年的 1 月份, 达到 103 cysts/g 湿重, 最低值出现在 2006 年的 12 月份、2007 年的 4 月份、2007 年 7 月份、2007 年 10 月份, 都在 50 cysts/g 湿重左右。墨西哥易碎藻在调查全年的含量都比较低, 在 50—103 cysts/g 湿重范围内。具刺膝沟藻仅在 2006 年 10、12 月份、2007 年的 1、2、3、4 月份出现, 最高值出现在 2007 年 1 月份, 最高值 107 cysts/g 湿重, 最低出现在 2006 年 10 月份, 最低值为 33 cysts/g 湿重。具刺膝沟藻在调查全年的季节变化趋势是略呈下降趋势的。

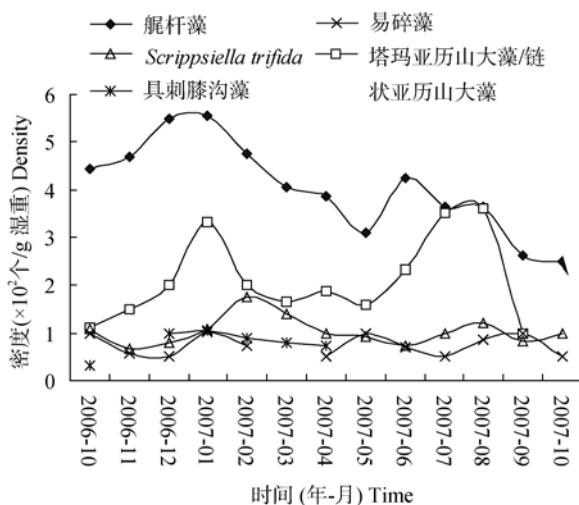


图 4 大窑湾几种主要甲藻孢囊平均密度的季节变化

Fig. 4 The seasonal change of density of some dominating dinoflagellate cysts in Dayao Bay

## 2.4 多样性指数

本调查期间甲藻孢囊多样性指数(图 5), 可见, 甲藻孢囊的多样性指数除了 2007 年的 9 月和 10 月以外, 相差不大, 最大值出现在 2006 年的 10 月, 为 0.55。最小值出现在 2007 年的 10 月, 为 0.17。全年的多样性指数平均值为 0.46。从图中的变化趋势看, 在 2007 年的 1 月和 2007 年的 8 月出现了两个小高峰期, 在 2007 年的 9 月和 10 月多样性指数陡然下降, 达到最小值。沉积物中孢囊优势种舰杆藻孢囊的数量百分比的季节变化与甲藻孢囊多样性指数的季节变化正好相反, 舰杆藻的数量百分比越大, 多样性指数就越小。经统计分析, 多样性指数与舰杆藻的密度百分比有显著的负相关关系( $P<0.05$ )。舰杆藻的数量百分比的变化范围在 46.9%—89.3%, 最高值出现在 2007 年的 10 月份, 最低值出现在 2007 年 8 月份。

由图 6 可知, 在调查全年内孢囊密度的变化趋势和生物多样性变化趋势非常相似, 都在 2007 年的 1 月份和 2007 年的 8 月份出现两个高峰期。经统计

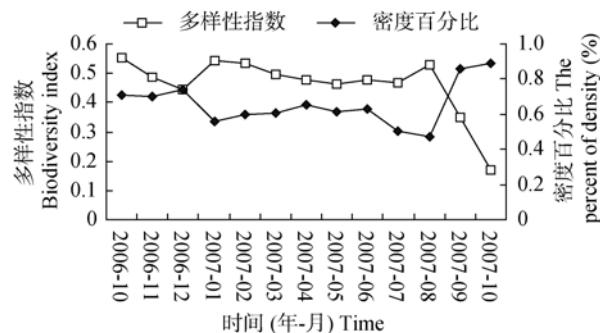


图 5 大窑湾甲藻孢囊多样性指数与舰杆藻孢囊密度百分比的季节变化

Fig. 5 The seasonal change of biodiversity index of dinoflagellate cysts and the percent of *Ensiculifera* cysts density in Dayao Bay

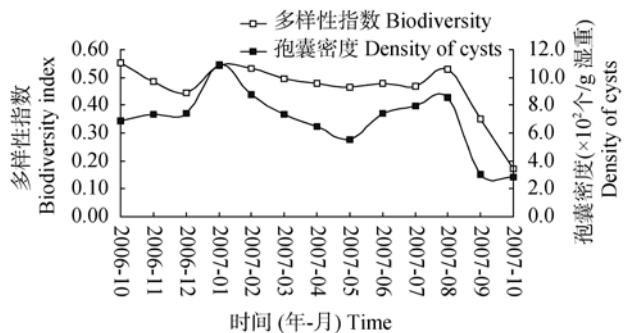


图 6 大窑湾海域孢囊多样性指数与平均密度的季节变化

Fig. 6 The seasonal change of biodiversity index and the cysts density in Dayao Bay

分析多样性指数与孢囊密度有极显著的正相关关系( $P<0.01$ )。当孢囊的密度比较大时, 孢囊的物种数也比较大, 优势种的优势度比较小, 因此多样性指数相对较大。

## 2.5 孢囊密度与水温、盐度的关系

大窑湾调查海域的水温和盐度的季节变化(图7), 水温季节变化明显, 最高值出现在2007年的8月份, 最高月平均水温24.3℃, 最低的月平均水温为2007年的2月份, 最低平均月水温为3.5℃, 年平均水温为13.0℃。月平均水温的全年变化趋势为单峰型, 在每年的8、9月份达到月平均水温的最高值, 在每年的1、2月份达到月平均水温的最低值。盐度变化不明显, 盐度的变化范围在35—37之间, 变化幅度仅为2, 在正常的变化范围之内。最高的盐度值出现在2007年的3、4、5月份, 最高值为37, 最低的盐度值出现在2006年的10、11月份和2007年的6、7、9、10月份。

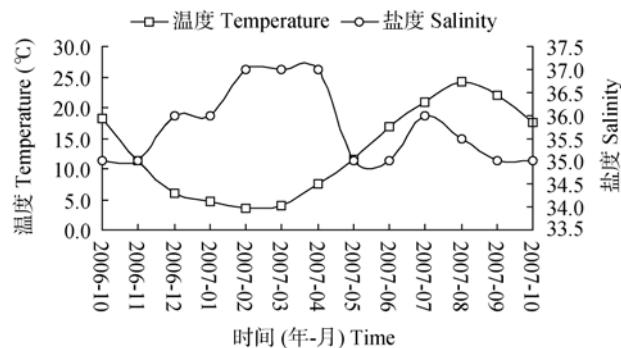


图7 大窑湾温度和盐度的季节变化

Fig. 7 The seasonal dynamics of water temperature and salinity in Dayao Bay

大窑湾甲藻孢囊密度与水温和盐度的关系总结(图8)。从图8可见, 甲藻孢囊密度有随温度升高而下降且随盐度升高而升高趋势, 但相关性均不显著( $P>0.5$ )。

## 3 讨论

### 3.1 大窑湾甲藻孢囊的种类组成特点

人们对甲藻孢囊的认识始自古生物学研究, 孢囊的命名与营养细胞名称常有所不同, 特别是早期观察发现的孢囊种类。根据孢囊的孢粉学分类, 将孢囊分为六大类, 分别为膝沟藻类(Gonyaulacoid group)、tuberculodinioid类、钙质孢囊类(Calco-dinellid group)、裸甲藻类(Gymnodinioid group)、原多甲藻类(Protoperidinioid group)和翼藻类(Diplopsalid), 前三者和除多沟藻(*Polykrikos*)外的裸甲藻类属于自养型甲藻孢囊, 其余为异养型类型。大窑湾出现的甲藻孢囊以自养型为主, 其种类数为异养型甲藻孢囊的3.5倍, 其中膝沟藻类甲藻孢囊是种类最丰富的孢囊类别, 共发现5种。艉杆藻甲藻孢囊是大窑湾海域最常见最丰富的种类, 艤杆藻孢囊和墨西哥易碎藻孢囊是中国沿海新近才有记录的孢囊种类<sup>[10]</sup>。这次大窑湾发现的其余种类甲藻孢囊都是中国东南沿海的常见种类。大窑湾发现的甲藻孢囊种类数与之前的东南沿海的调查结果相比数目较少, 仅10种。1991—1993年间, 齐雨藻教授研究小组<sup>[11]</sup>对我国东南沿海赤潮机理的研究和王朝晖等<sup>[11]</sup>于2000—2001年对黄海、东海和南海海域10个港湾的表层沉积的样品的研究的两次调查中共分析鉴定出南海65种甲藻孢囊类型。而通过齐雨藻

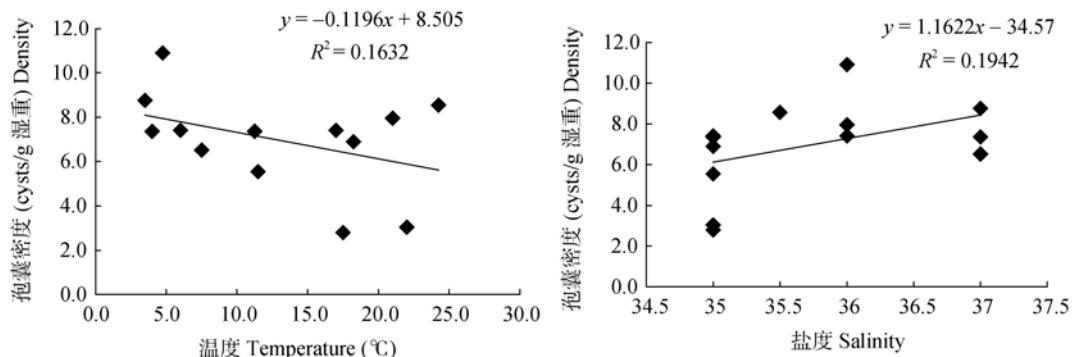


图8 大窑湾甲藻孢囊密度与温度、盐度的关系

Fig. 8 The relationship between density of dinoflagellate cysts and water temperature, salinity in Dayao Bay

等<sup>[11]</sup>于 1996 年研究了中国东南沿海孢囊的分布;日本学者 Matsuoka 研究小组<sup>[11]</sup>对长江口外海域的孢囊进行了研究;“973”项目组于 2002 年至 2006 年每年多航次对长江口赤潮多发区进行的调查研究。这些调查中,共分析鉴定出长江口海域甲藻孢囊 38 种,一般认为热带近岸海域物种多样性比温带要高<sup>[2,3]</sup>,以上事实也充分说明了这个问题。

椭圆形亚历山大藻孢囊在中国沿海广泛分布,特别是在大亚湾海域监测出较高密度的亚历山大藻孢囊,并且近年来该孢囊密度有逐年上升趋势,此外在黄海中心海域,沉积了大量该亚历山大藻孢囊。在长江口海域亚历山大藻赤潮高发区,该孢囊密度也较高。本次大窑湾海域该种孢囊也是优势种。

### 3.2 甲藻孢囊的沉积因素

孢囊的分布与许多因素有关,包括营养细胞的分布、孢囊的形成过程中各种生态因子、孢囊作为沉降颗粒在水动力学上的行为等<sup>[4]</sup>。孢囊多在颗粒大小与孢囊相近的黏土中积累,而且密度与沉积物黏土含量呈正比<sup>[5]</sup>。大部分孢囊的大小在 30—65 μm 之间,而且大窑湾沉积物为颗粒非常细小的黏土,很利于孢囊的沉降。此外,由于此湾很少有地表径流,不存在地表径流带来的大量的悬浮物质,沉积物的沉降速度不是非常快,所以沉积物中所积累的孢囊很多。

### 3.3 孢囊密度的季节变化

孢囊的萌发需要经过一段种间特异性的强制性休眠期,大约为 2 周至 6 个月<sup>[6,7]</sup>。目前有关孢囊萌发的研究报道较少<sup>[7-9]</sup>。孢囊在一年四季均可萌发,但春季孢囊萌发率较高,冬季较低。温度是调控孢囊萌发的主要因素之一,此外休眠期的长短、温度、光照长度及强度和溶解氧等对孢囊的萌发均具有重要的意义<sup>[6,9,10]</sup>。在春秋季节,合适的温度、光照条件是孢囊萌发的有利条件。而冬季的低温及较短的日照长度则不利于孢囊的萌发,所以萌发率处于较低的水平。由于冬季孢囊的大量形成,沉积物中积累了大量的已经成熟了的孢囊,故春季到来时,这些孢囊大多已度过了强制休眠期,具有萌发的潜力。春季水温上升,导致孢囊的萌发,故在 2007 年 3 月份开始,大窑湾海域甲藻孢囊密度开始下降,直到 5 月份达到密度的最小值,孢囊的萌发给水体中提供了一定数量的营养细胞,春季合适的水温以及水体中丰富的营养元素,营养细胞生长繁殖速度

加快,最终导致 4 月份的塔玛亚历山大藻细胞数量高峰。夏季孢囊萌发率较低,而且高温也不利于营养细胞的生长,营养细胞数量也较低。秋季水温下降,孢囊萌发率回升,因此 2007 年的 9、10 月份甲藻孢囊的密度的低峰期,夏末初秋孢囊的大量萌发给水体提供了丰富的“种源”,从而使该藻赤潮很容易发生。水温是调控孢囊萌发的重要因素,而营养细胞的快速生长导致营养盐的耗竭,也促进了孢囊的形成。孢囊形成、萌发以及营养细胞种群动态规律即首先通过孢囊萌发向水体提供一定数量的营养细胞,在温度适宜的春、秋两季,营养细胞可迅速繁殖,细胞数量大量增加,但随着水体营养盐的消耗和水温的升高或降低,孢囊的形成也上升,并在沉积物中积累,为下一季度或下年度营养细胞的生长、赤潮的发生提供了丰富的“种源”,从而保证了该藻种群在水体中的优势。

### 3.4 甲藻孢囊季节分布与水体富营养化的关系

甲藻孢囊在沉降过程中受到其沉降速度、流系的流向转送作用的影响。甲藻孢囊丰度与沉积物中细泥百分比有显著的关系。沉积物颗粒大小与孢囊大小相近,有利于孢囊的沉积和积累。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。孢囊的种类多样性可在一定程度上反映水体富营养化进程及污染程度<sup>[2]</sup>。单一的小型自养型甲藻孢囊数量和相对含量的上升正是养殖型富营养化的标志<sup>[1,3]</sup>。孢粉学研究已证明孢囊可作为海域环境演变的生物学指标 Dale 和 Fjellsaa<sup>[11]</sup>通过对挪威奥斯陆湾表层沉积物孢囊集群的研究,推测孢囊总密度的增加和某一特定种类孢囊数量的明显上升是养殖型污染的结果, Matsuoka<sup>[11]</sup>认为东京湾异养型孢囊的百分比上升是由于生活污染、养殖污染及工业污染所造成的富营养化引起。由大窑湾海域孢囊的调查结果可以看出,调查期间甲藻孢囊多样性指数变化不大,优势种—艉杆藻孢囊的优势度也没有明显变化,只有在 2007 年 9 月和 10 月甲藻孢囊的多样性指数突然降低,艉杆藻孢囊的数量百分比突然增大,但是此时整个甲藻孢囊的密度也突然下降。所以多样性指数下降和艉杆藻孢囊数量百分比增大很有可能是某些种类的孢囊大量萌发造成的,而不是由于某种孢囊的大量生成造成的。所以通过多样性指数及优势种数量百分比可推断该海域生态环境较好,没有严重污染。

大窑湾异养型甲藻孢囊物种的丰富性与水体中浮游植物组成也密切相关, 资料显示原多甲藻孢囊大量出现在营养盐含量较为丰富的海域, 如上升流区、近岸海域。大窑湾海域属于富营养化养殖内湾, 丰富的营养以及合适的水温等环境条件非常适合小型硅藻类的生长, 而且这个海域浮游植物组成以角毛藻等小型硅藻为主, 异养型甲藻以自养型微藻特别是小型硅藻类为食, 大量的食物使异养型甲藻的种类和数量大大增加, 从而也会导致异养型甲藻孢囊的种类和数量增加。原多甲藻孢囊的出现更说明了这个海域已经在一定程度上遭受了富营养化。膝沟藻类孢囊与原多甲藻类孢囊的比值( $G/P$ )为所有膝沟藻类孢囊数量与原多甲藻类孢囊数量的比值, 其比值的高低反映了自养型甲藻孢囊与异养型甲藻孢囊的比例, 较低的  $G/P$  值和较高的异养型孢囊百分比标志着由于富营养化所引起的高初级生产力<sup>[3]</sup>。然而大窑湾海域的异养型甲藻孢囊密度不高, 而且  $G/P$  在调查全年的值在每个月都很高, 有的月份只有自养型的膝沟类孢囊而没有异养型孢囊, 如此说来大窑湾海域初级生产力不是特别高, 富营养化程度也不是特别高。但是影响  $G/P$  值的因素很多,  $G/P$  值不能完全说明大窑湾水体富营养化的程度, 只能作为参考。

#### 参考文献:

- [1] Wang Z H, Qi Y Z, Jiang T J, et al. Vertical distribution of dinoflagellate resting cysts in recent sediments from Daya bay, the south China sea [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, **28**(5): 504—510 [王朝晖, 齐雨藻, 江天久, 等. 大亚湾近代沉积物中甲藻孢囊的垂直分布. 水生生物学报, 2004, 28(5): 504—510]
- [2] Dal E B, Thorsen T A, Fjells A. Dinoflagellate cyst as indicators of cultural eutrophication in Oslofjord Norway [J]. *Estuar Coastal Shelf Sci*, 1999, **48**: 371—382
- [3] Saetre M M L, Dal E B, Mohammed I, et al. Dinoflagellate cysts as potential indicators of industrial pollution in a Norwegian Fjord [J]. *Marine Environmental Research*, 1997, **44**(2): 167—189
- [4] Goodman D K. Dinoflagellate cysts in ancient modern sediments. In Taylor F J R (Eds.), *The Biology of Dinoflagellates* [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1987, 649—722
- [5] Yamaguchi M, Itakura S, Imai I, et al. A rapid and precise technique for enumeration of resting cysts of *Alexandrium* spp. in natural sediments [J]. *Phycologia*, 1995, **34**: 207—214
- [6] Ishikawa A, Taniguchi A. The role of cysts on population dynamics of *Scrippsiella* spp. (Dinophyceae) in Onagawa Bay, northeast Japan [J]. *Mar Biol*, 1994, **119**: 39—44
- [7] Kremp A, Anderson D M. Factors regulation germination of calcified cysts of the spring bloom dinoflagellate *Scrippsiella hangoei* from the northern Baltic Sea [J]. *J Plankton Res*, 2000, **22** (7): 1311—1327
- [8] 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
- [9] Kremp A. Effects of cyst resuspension on germination and seeding of two bloom-forming dinoflagellates in the Baltic Sea [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 2001, **216**: 57—66
- [10] Monstresor M, Zigone A, Sarno D. Dinoflagellate cyst production at a coastal Mediterranean site [J]. *J Plankton Res*, 1998, **20**: 2291—2312
- [11] Wang Z H. The Study on Dinoflagellate Cyst and Red Tide [M]. Beijing: Ocean Press. 2007, 23—205 [王朝晖. 中国沿海甲藻孢囊与赤潮研究. 北京: 海洋出版社. 2007, 23—205]
- [12] He Z H, Zhao W. Aquatic Ecology for Aquaculture [M]. Dalian: Dalian Press. 2001, 14—338 [何志辉, 赵文. 养殖水域生态学. 大连: 大连出版社. 2001, 14—338]

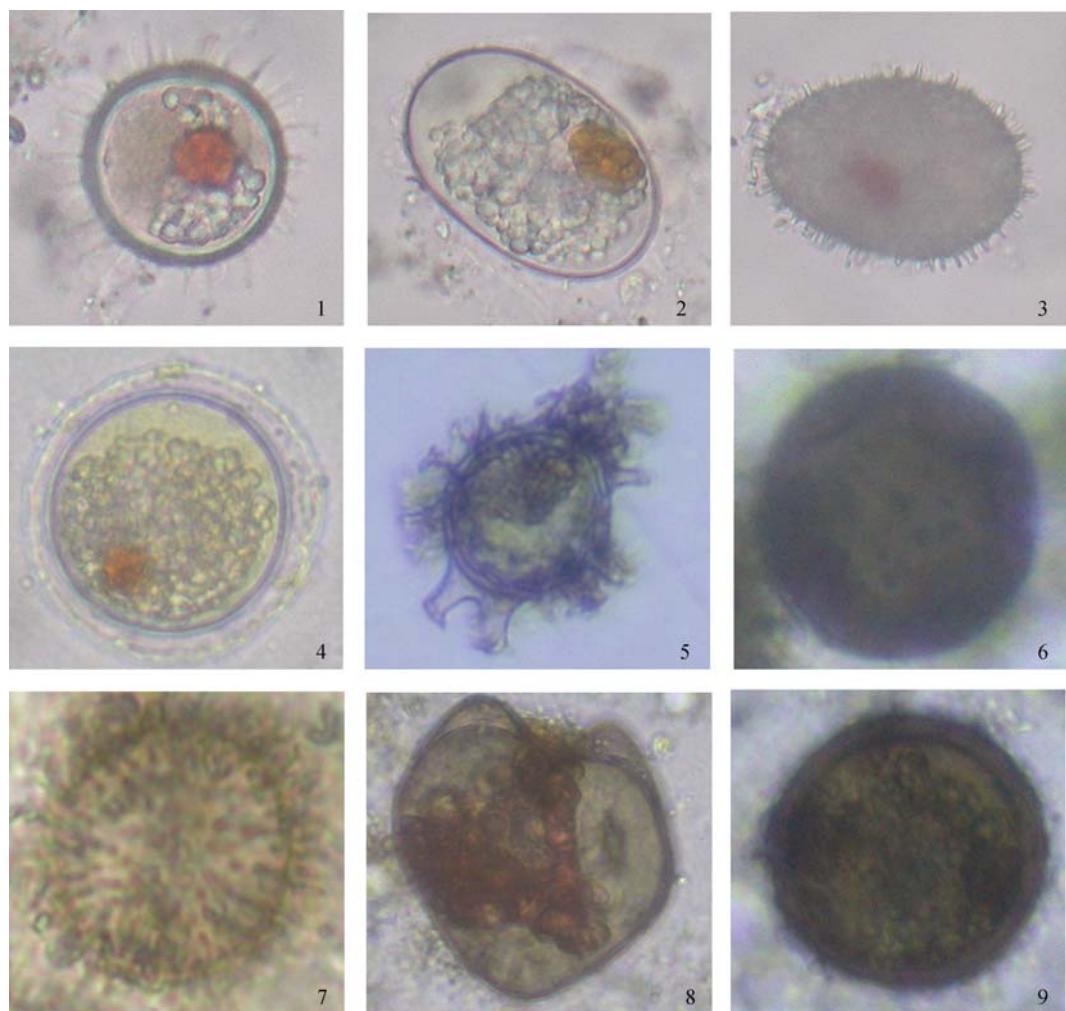
## STUDIES ON SPECIES COMPOSING AND DISTRIBUTION OF DINOFLAGELLATE CYST IN DAYAO BAY

WEI Hong-Xiang<sup>1</sup>, ZHAO Wen<sup>1</sup> and LIANG Yu-Bo<sup>1,2</sup>

(1. Liaoning Provincial Key Laboratory of Hydrobiology, College of Life Science and Technology, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 2. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China)

**Abstract:** Dinoflagellate cyst in the Dayao Bay, southern Liaoning, where the scallops and oysters were largely cultivated, was investigated from 2006 to July 2007. 10 species of dinoflagellate cysts in total were identified, which represented 4 general kinds of dinoflagellate cysts, including 2 species of *Protoperidinioid*, 5 species of *Gonyaulacoid* and 1 species of *Calciiodinellid*. One species of *Gymnodinioid*, *Ensiculifera* Balech and one species of *Fragilidium mexicanum* of dinoflagellate cysts were freshly recorded in the sea area of China. *Gonyaulacoid* was the most common and abundant cyst type of all species of dinoflagellate cysts, which took up 50%, *Protoperidinioid* was 30%, *Calciiodinellid* and *Gymnodinioid* were each 10% respectively. One species of *Protoperidinioid* dinoflagellate cysts could not be identified to genus. Three species of dinoflagellate cysts belonged to heterotrophic dinoflagellate cysts, and seven belonged to autotrophic dinoflagellate cysts. Two species of cyst produced by toxic dinoflagellate (*Alexandrium tamarense*, *A. catenella* and *Gymnodinium catenatum*) were also recorded, which produced Paralytic Shellfish Poisoning. The seasonal change curve of dinoflagellate cysts density had two obviously fastigium, which occurred on January and August 2007. The first highest density of dinoflagellate cysts appeared in January 2007, 1090 cysts/g W, and the second highest appeared in August 2007, 855 cysts/g W. The lowest density of dinoflagellate cysts appeared in October 2007, only 280 cysts/g W. The average density of dinoflagellate cysts was 695.5 cysts/g W all the year. The value of Shannon-Weaver diversity index ( $H'$ ) varied between 0.17 to 0.55, which were similar on each month except on September and October 2007. The average of species diversity index was 0.46.

**Key words:** Dinoflagellate cyst; Species composition; Distribution; Dayao Bay in Dalian



图版 I 大窑湾海底沉积物中的甲藻孢囊

Plate I Species of dinoflagllate cysts from submarine sediment in Dayao Bay.

1. 舰杆藻; 2. 椭圆形塔玛亚历山大藻; 3. 三叶斯氏藻; 4. 墨西哥易碎藻; 5. 具刺膝沟藻; 6. 链状裸甲藻; 7. 多边舌甲藻; 8. 长形原多甲藻; 9. 多甲藻  
1. *Ensicalifera* Balech; 2. *Alexandrium tamarensis/A. catenella*; 3. *Scrippsiella trifida*; 4. *Fragilidium mexicanum*; 5. *Gonyaulax spinifera*; 6. *Gymnodinium catenatum*; 7. *Lingulodinium polyedra*; 8. *Protoperidinium oblongum*; 9. *Protoperidinium* sp.