

# 大亚湾海域锥状斯氏藻赤潮及其与孢囊的关系\*

肖咏之 齐雨藻<sup>①</sup> 王朝晖 吕颂辉

(暨南大学水生所 广州 510632)

**摘要** 用沉积物捕捉器取样,研究了大亚湾海域2000年6~9月孢囊(Cyst)种群动态,同时分析了浮游植物种群动态。研究期间(8~9月)该海域发生了一起大规模的锥状斯氏藻赤潮。赤潮前一个月,锥状斯氏藻孢囊的平均日形成率为 $2.05 \times 10^5$  cysts/(m<sup>2</sup>·d),丰度为50.22%,该时期以有性生殖产生的静止期孢囊为主;在赤潮盛期的8,9月初,孢囊的平均日形成率达到 $2.01 \times 10^6$  cysts/(m<sup>2</sup>·d),丰度为96.97%,此时期的孢囊多为营养细胞所形成的暂时性孢囊;赤潮结束后,由于环境条件的恶化,暂时性孢囊的形成达到高峰,平均日形成率为 $1.24 \times 10^7$  cysts/(m<sup>2</sup>·d),丰度为99.53%。结果表明大亚湾丰富的孢囊是潜在的种源(Seed bed),2000年的夏季、秋季持续高温(>25℃),台风减少及风力减弱等有利锥状斯氏藻的环境条件诱发孢囊萌发,开始了该种类的赤潮。

**关键词** 孢囊,锥状斯氏藻,底泥捕捉器,大亚湾

大亚湾位于南海东部,毗邻香港,是一个浅水内湾,受外海系统影响小,风浪不大,该海域是重要的网箱养殖区,沉积物淤积相当肥厚,水域富营养化,且曾多次发生赤潮<sup>[1]</sup>。

2000年8~9月,在大亚湾澳头海域发生了一起大规模的赤潮,面积约20 km<sup>2</sup>,该水域网箱养殖鱼大量死亡,经济损失超过700 000元。8月8日,赤潮首先在大亚湾坝前海域出现,之后向澳头湾内扩散,赤潮持续了一段时间后略有缓和,但到了9月2日又出现了第2个高峰。

本次赤潮生物主要是锥状斯氏藻(*Scriptsiella trochoidea*),是一种广泛分布在沿岸浅水海域的甲藻(Dinophyceae), Cortés-Altamirano R. 1995年、Akira Ishikawa 1996年报道,美国、日本等国家都发生过这类无毒赤潮。

锥状斯氏藻在不良环境下会形成孢囊(Encystment),而当外在、内在条件都合适时孢囊又会重新萌发(Excystment)成营养细胞。Akira Ishikawa 1996年、Dale 1983年认为孢囊萌发形成赤潮,而赤潮后期不良环境直接导致孢囊的形成,可见两者是息息相关的。

作者在锥状斯氏藻赤潮期间对大亚湾澳头附近

海域表层沉积物中的孢囊进行了系统的种类和数量分析。以探讨孢囊的形成、萌发与锥状斯氏藻赤潮的相关性。

## 1 方法

在大亚湾设置了4个采样点采集沉积物样品(图1,表1)。S1作为对照点,设置在无养殖区的海域,水体较干净。S2处在一个较封闭的水域,不易与外界发生水流交换,同时又是一个网箱养殖区,水体富营养化(数据源自国家海洋局南海分局)。位于东升海域的S3和S4站同样也是养殖区,但处在海湾较开阔地带,水体交换良好,且与居民区有一定距离,水体富营养化程度相对S2较低。以S4站海域为主要研究位点,每3 d采集一次水样,用4%福尔马林固定,以

\* 国家自然科学基金重大项目39970110号及国家自然科学基金主任基金39950001号。承蒙广东省大亚湾水产增殖种苗培育中心刘付永忠副主任及生产部王培卫部长多方支持,谨致谢意。王明军和阿伍同志在野外工作中给予了很大的帮助,一并致谢。

① 通讯作者。

收稿日期:2000-11-22;修回日期:2001-03-06

进行浮游植物定性定量分析及测量水温、溶解氧、pH值、盐度,记录气象。

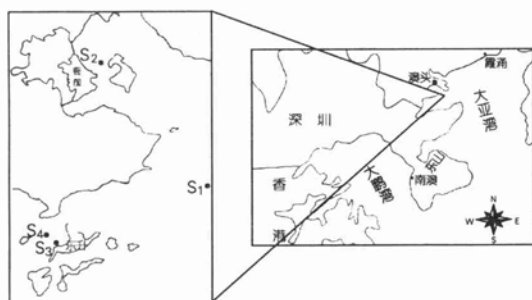


图1 大亚湾4个采样点

S1. 对照点; S2. 衙前养殖区; S3、S4. 东升养殖区

Fig. 1 Map of Daya Bay with the location of the sediment sampling stations

S1. control station; S2-S4. breed aquatic area

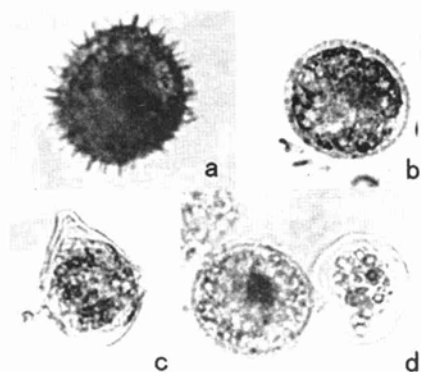


图2 锥状斯氏藻 (*Scrippsiella trochoidea*) ( $\times 400$ )

a. 休眠孢囊; b. 暂时性孢囊; c. 营养细胞; d. 营养细胞脱壳形成孢囊

Fig. 2 *Scrippsiella trochoidea* ( $\times 400$ )

a. resting cyst; b. temporary cyst; c. vegetable cell; d. vegetable cell comes into cyst

用圆柱形树脂玻璃桶(高26 cm,直径10 cm)作为沉积物捕捉器(Sediment trap),悬挂在S4站的渔排上,深度为4 m,接近海底表面。从2000年1~9月每个月收集一次沉积物样品,用来估算孢囊平均日形成率(Cyst flux),即每天在每平方米上形成的孢囊数量,用  $\text{cysts}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  表示。

从2000年5~9月分别在S1、S2、S3、S4位点用日本产TFO重力采力器(TFO gravity corer)采集表层沉积物,取表层0~2 cm分装在塑料离心管中,在4℃中黑暗保存至分析。用来估算孢囊在沉积物表层的密度,用  $\text{cysts}/\text{cm}^3$  表示。

采集的样品置于50 ml烧杯,加入30 ml过滤海

水,用超声波机探头震荡30 s,洗入80  $\mu\text{m}$ 网筛,孢囊与微小颗粒经过该网筛,并收集于20  $\mu\text{m}$ 网筛中,将20  $\mu\text{m}$ 网筛上残留物质转至表面皿中。用洗瓶中过滤海水喷射残留物,使水流环行,孢囊和其他轻的物质悬浮,重物沉于皿正中,将悬浮水再倒入20  $\mu\text{m}$ 网筛,重颗粒留在表面皿中,重复数次,即可得到较干净的孢囊样品。样品在Olympus光学显微镜100倍下观察,用1 ml计数框计数,每个样品大约计数200个孢囊。

表1 表层沉积物采样点

Tab. 1 Sample sites of surface sediment

采样点	深度 (m)	采样设备	沉积物类型
S1	5	重力采泥器	灰色泥,含沙
S2	4	重力采泥器	黑色淤泥
S3	4.5	重力采泥器	灰黑色泥,有贝壳的碎屑
S4	4.5	重力采泥器及底泥捕捉器	灰黑色泥,有贝壳的碎屑

## 2 结果与讨论

### 2.1 浮游植物种群动态及与气象的相关性

赤潮最先是从小亚湾坝光海域(8月8日)开始(图1),然后逐渐向衙前内湾扩散。直至8月15日才开始在S4站出现锥状斯氏藻细胞的密度增加( $630\ 000\ \text{cell}/\text{L}$ ),尚未达到赤潮的数量级,但此时锥状斯氏藻细胞丰度(用百分比表示)也达到92.7%。随后硅藻细胞(主要为优美辐杆藻 *Bacteriastrum delicatissima*)密度增加,锥状斯氏藻细胞丰度下降到44.64%(图3)。8月23~29日期间锥状斯氏藻细胞丰度出现两个峰值,9月6日锥状斯氏藻细胞的密度( $3.17 \times 10^8\ \text{cell}/\text{L}$ )及丰度(99.9%)达到最高峰,这时海水透明度仅0.1 m,海水颜色为暗红褐色,散发出藻细胞腐烂的气味。9月11日锥状斯氏藻细胞密度下降,丰度仍较高。9月19日后,硅藻细胞(主要为丹麦细柱藻 *Leptocylindrus danicus*)密度增加,取代了锥

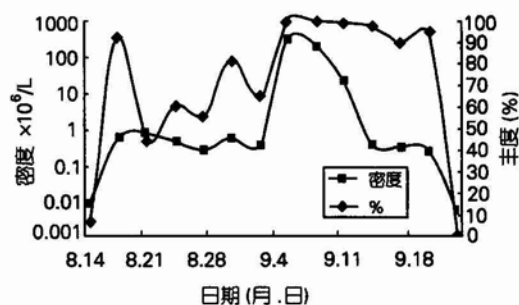


图3 赤潮发生前期至后期S4位点 *S. trochoidea* 的种群动态

Fig. 3 *S. trochoidea* dynamics at station 4 during bloom

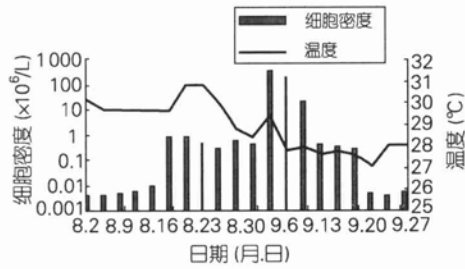


图4 S2 站点 8,9 月温度与 *S. trochoidea* 细胞密度  
Fig.4 Cell density of *S. trochoidea* and temperature in August and September in station

状斯氏藻细胞在种群中的主导地位(图 4)。

赤潮发生期间,水温介于 25.5~30℃,从图 7 可以看到在此范围内水温与浮游植物的密度发展趋势相似,在水温达到高值时,浮游植物的密度也达到高值。随后由于台风,温度下降,浮游植物的密度也同时减少。Costat E. 1989 年报道,西班牙海域的锥状斯氏藻最适温度一般为 23~25℃,与本文研究的锥状斯氏藻(最适温度为 28~30℃)不一样,可能是大亚湾处在亚热带,该海域的锥状斯氏藻为适应高温株,其生理特性还有待进一步研究。

2.2 孢囊形态描述

在研究海域观察到的锥状斯氏藻孢囊分为两类,一种是休眠孢囊,为球型至椭圆型(直径 5~35 μm),有显著的红色色素体,钙质刺,长度和形状的变化从钝到尖不等(图 2a)。这种孢囊是由营养细胞分化而成的雌雄配子有性生殖产生的“游动合子”(Planozygote)。休眠孢囊经一定时期(25 d)的休眠后,又可重新萌发成营养细胞;另一种暂时性孢囊,是由于营养元素的衰减和细胞自身硫化物的毒性等因素,造成暂时不利条件,使细胞发生脱壳,失去运动功能,形成圆形的孢囊(图 2b),当这类孢囊被转移到适宜的环境中时,又可快速恢复成活动的营养细胞<sup>[1]</sup>(图 2c, d)。

2.3 孢囊种群动态

赤潮发生前(5~7月),锥状斯氏藻孢囊主要是休眠孢囊。在该期间 4 个采样点的锥状斯氏藻孢囊丰度 ≥40% (图 6),孢囊密度最高为 160.34 cysts/cm<sup>3</sup>(图 5)。孢囊经过一段时间休眠后,遇到适宜的环境条件,就大量萌发成营养细胞,其细胞数量足以开始形成赤潮<sup>[6]</sup>。因此作者认为大亚湾 5~7 月的丰富休眠孢囊是随后发生的锥状斯氏藻赤潮的种床(Seed bed)。

7 月份 S4 站的锥状斯氏藻孢囊平均日形成率为

205 000 cysts/(m<sup>2</sup>·d)(图 7),丰度为 50.22%,比 6 月份(平均日形成率 317 000 cysts/(m<sup>2</sup>·d),丰度 64.29%)有所下降,可能是此时条件适宜,部分孢囊萌发成营养细胞浮游到水体中。

8~9 月份赤潮发生,由于细胞过量生长消耗水体中大量营养,诱发锥状斯氏藻产生许多暂时性孢囊,在锥状斯氏藻孢囊中占主导地位。8 月份锥状斯氏藻孢囊平均日形成率为 2.01 × 10<sup>6</sup> cysts/(m<sup>2</sup>·d),丰度达到 96.97%。营养细胞形成孢囊(Encystment)与孢囊萌发(Excystment)达到了一个动态平衡。8 月 29 日大亚湾挂 1 号风球,海浪促使湾内的水体和外海的水体发生了较强的交换,环境条件改变了。于是这类孢囊迅速恢复成营养细胞再次悬浮到水体中,形成了第 2 次赤潮高峰。9 月 11 日赤潮开始消散,这类孢囊的平均日形成率达到了高峰(1.24 × 10<sup>7</sup> cysts/(m<sup>2</sup>·d)),丰度高达 99.53%。赤潮结束 2 周后,孢囊的平均日形成率有所下降,为 6.68 × 10<sup>6</sup> cysts/(m<sup>2</sup>·d),可能是水体中大量藻细胞死亡,所以形成的孢囊数量也随之减少。

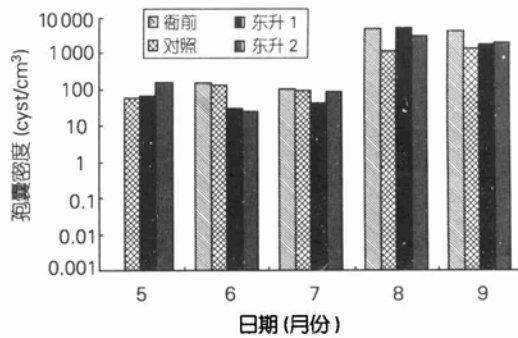


图5 5~9月 4 个采样点的 *S. trochoidea* 孢囊密度  
Fig.5 Cyst density of *S. trochoidea* at four sample stations from May to September

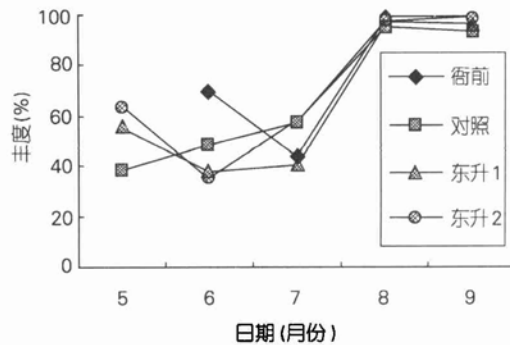


图6 4 个采样点 *S. trochoidea* 孢囊丰度  
Fig.6 Percentage of *S. trochoidea* in four sample stations

与此同时,9月底暂时性孢囊的形态也发生了改变,孢囊颜色发暗,红色色素体变黑,新鲜孢囊所具有的油质光彩消失,是因为条件不适宜萌发而变旧。这些没有萌发的孢囊积聚在沉积物中,待有适宜的条件,或许会引发另一次赤潮<sup>[4]</sup>。同时,赤潮末期形成大量孢囊可能是赤潮藻细胞消失的可能原因之一,同时孢囊在调节赤潮数量级大小方面可能起重要作用<sup>[3]</sup>。从图8可以看到孢囊形成率高峰滞后于营养细胞的高峰,在赤潮末期形成了大量的孢囊,赤潮结束后两周孢囊的形成率随着营养细胞的减少而减少。

泥质的沉积物比沙质的有更多的孢囊,封闭性海湾比开阔性海岸(有风浪)更能积聚孢囊。S2站处在内湾,水体较难发生交换且内有网箱养殖,其养殖区内沉积物是肥厚的淤泥,所以是本次赤潮最严重的地区。该地区8月份孢囊密度最高,达到5020 cysts/cm<sup>3</sup>,丰度为99.13%。S3和S4也属于养殖区,其沉积物也是泥质为主,这3个点的孢囊数量多,种类单一,锥状斯氏藻占了主导地位。相比之下,S1由于处在海面较宽阔地区,距离养殖区有一定距离,其沉积物含一定比例的沙,所以该地区孢囊数量相对较少,但由于水体相对干净,所以孢囊种类较丰富。

本次赤潮期间,孢囊的最大平均日形成率为 $1.24 \times 10^7$  cysts/(m<sup>2</sup>·d),比Akira Ishikawa 1996年报道的 *Scrippsiella* spp. 孢囊最大平均日形成率314000 cysts/(m<sup>2</sup>·d),以及Montesor M.<sup>[5]</sup>报道的 $1.7 \times 10^6$  cysts/(m<sup>2</sup>·d)都要高。用沉积物捕捉器收集孢囊,虽然能够对新形成的孢囊种群的时间和组成进行定量分析,但是由于沉积物表层混合物的再悬浮,使孢囊沉降过程复杂化,特别是在浅水的海域,用该方法估算孢囊的平均日形成率存在一定的误差。研究海域水深最大仅6m,退潮期间降至约4.5m,用沉积物捕捉器收集到的孢囊部分可能是由于水流交换所引起的

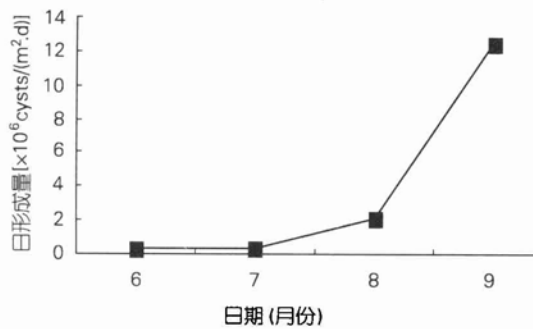


图7 S4 采样点 *S. trochoidea* 孢囊形成的平均日形成量  
Fig. 7 Mean daily flux for *S. trochoidea* cysts at station 4

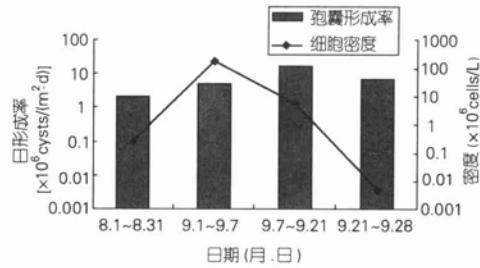


图8 S4 站点营养细胞密度与孢囊平均日形成率  
Fig. 8 *S. trochoidea* cell density and mean daily flux for cysts at station 4

沉积物表层孢囊再悬浮,因而估算的平均日形成率值偏高。所以实验过程中,同时用重力采泥器采集表层沉积物,计算孢囊的密度。本次赤潮期间孢囊密度最大值为5020 cysts/cm<sup>3</sup>,较芬兰的Baltic 海域 *Scrippsiella hangoei* 赤潮期间孢囊密度(5020 cysts/cm<sup>3</sup>)<sup>[4]</sup>值小,可能是因为本次赤潮形成的孢囊主要是暂时性孢囊,可以在1~2d内又再萌发成营养细胞,所以减少了沉积物表层的密度,却增加了孢囊平均日形成率的计算值。

#### 2.4 孢囊与气象的相关性

温度、光照、溶氧、营养状况及孢囊年龄都能影响孢囊萌发。但温度是调节静止(Quiescent)孢囊的基本环境因子,能延长静止期。

孢囊的“休眠”与“静止”是不同的,“休眠”是指内部抑制,是一种强制性机制,而“静止”是指不良环境抑制。即使在适宜环境状况下,休眠孢囊如未完成质的变化也不能萌发,而静止孢囊却能萌发。许多孢囊在萌发前,必须通过暂时的休眠期(一般持续几个星期到几个月,这取决于物种)。这种间隔一般作为生理的“成熟”期。成熟期长短对水华的出现有显著效应,长成成熟的物种一年内只能出现1或2次水华。而那些能在短时间内萌发的物种,会在一个季节内出现多次赤潮。物种在休眠和静止间转换,取决于内部每年的“生物钟”。

锥状斯氏藻孢囊有一段约25d的休眠期,在该期间不会萌发,且不受温度影响。目前还不清楚是什么调节锥状斯氏藻孢囊的强制性休眠持续时间,可能是温度起作用。一旦休眠结束,外在因素调节萌发,萌发温度约高于14℃。从3月份开始,S4站的水温就超过14℃,6~7月份持续高温(水温≥30℃),从而缩短了孢囊的静止期,提高完成休眠期孢囊的萌发率,诱导了8月份的赤潮。

不适宜的光照和低氧状况都令孢囊维持一种静止状态。孢囊可在黑暗下萌发,但萌发率比在有光的情况下低。缺氧情况下孢囊萌发受到抑制。静止期的孢囊如果埋在沉积物里,就会因为缺氧而抑制萌发。

2000年的夏季,在大亚湾登陆的台风少于往年,而且风力较往年小。同时汕头海域是内湾,受外海系统影响小,所以风浪较少。由于缺乏海浪搅动沉积物,新形成的孢囊就不断地堆积在沉积物表层,不存在缺氧,所以当外界条件适宜,静止期的孢囊就纷纷萌发。

营养对孢囊萌发不产生很大的影响,虽然它们能很大地影响孢囊萌发出来的营养细胞的生存和生长。该海域一直是网箱养殖区,海岸周围是密集的居民住宅区,所以水体长期富营养化,其海底沉积物是营养成分丰富的淤泥,最适宜沉积孢囊。

同年9月底至10月初深圳、香港相继也发生了锥状斯氏藻的赤潮。可能是该时期的持续高温,台风减少,以及养殖区的富营养化有关。

当浮游植物细胞在条件不适宜其营养细胞生长的情况下,部分能够产生孢囊的物种就可以通过产生有性生殖产生孢囊沉降到沉积物表层,待到孢囊成熟并结束休眠,此时适宜的生态环境促使孢囊再度萌发

成为营养细胞浮游在水体中,数量不算多的营养细胞也足以引发赤潮。孢囊分析结果表明,大亚湾海域除了有丰富的锥状斯氏藻孢囊外,还有有毒种类 *Alexandrium tamarense*, *Gymnodinium catenatum* 以及一些常见种类: *Gonyaulax spinifera*, *Lingulodinium polyedra*, *Polykrikos schuartzii*, *Protoperidinium oblongum*, *Pyrophacus steinii* 等孢囊,所以该海域沉积的孢囊是赤潮藻的丰富种源(Seed bed),它随时向水体产生不同种的营养细胞,就象一个定时炸弹,当内在、外在调节因子达到某个物种的最适要求就会引发赤潮,对该地区的水产养殖带来经济损失。

#### 参考文献

- 1 齐雨藻、郑磊、汪蓉。海洋与湖沼,1997,28(6):588~593
- 2 陈菊芳、齐雨藻。海洋环境科学,2000,19(3):20~23
- 3 Anke Kremp and Donald M. Anderson. *J. Plankton Res.*, 2000, 22(7): 1 311~1 327
- 4 Anke Kremp. *J. Plankton Res.*, 2000, 22(11):2 155~2 169
- 5 Montresor M. and Zingone A. et al. *J. Plankton Res.*, 1998, 120(20): 2 291~2 312
- 6 Laura Nuzzo and Marina Montresor. *J. Plankton Res.*, 1999, 121(10): 2 009~2 018

## THE RELATIONSHIP BETWEEN *Scrippsiella trochoidea* RED TIDE AND CYSTS IN THE DAYA BAY

XIAO Yong-zhi QI Yu-zao WANG Zhao-hui Lü Song-hui  
(Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou, 510632)

Received: Nov., 22, 2000

Key Words: Cyst, *Scrippsiella trochoidea*, Sediment trap, Daya Bay

### Abstract

Cyst in sediment surface and sediment trap samples and also phytoplankton in water samples were analyzed in the Daya Bay, South China Sea, from June to September, 2000. A large scale bloom of the dinoflagellate *Scrippsiella trochoidea* occurred during the study period (Aug. Sep.). The population of cyst in July, before the bloom, was dominated by the resting cyst in quiescent stage. The mean daily cyst flux was 205 000 cysts/(m<sup>2</sup>·d) and the abundance was 50.22%. At the peak of bloom (Aug. early Sep.), temporary cyst increased greatly and take the place of the resting cyst to become the dominant population. The cyst production rates increased to 2.01×10<sup>6</sup> cysts/(m<sup>2</sup>·d) and the abundance to 96.97%. The cyst flux came to the maximum (1.24×10<sup>7</sup> cysts/(m<sup>2</sup>·d), abundance 99.53%) at the termination of the bloom. The results suggested that the abundant cysts on the sediment surface of Daya Bay may serve as a potential seed bed for the dinoflagellate bloom. The excystment was induced by the high temperature (> 25℃), optimum light intensity and less occurrence of typhoon from summer to mid-autumn which was responsible for the initiation of *S. trochoidea* bloom.

(本文编辑:张培新)