

符传辉, 陈峻峰, 刘志媛, 等. 海南岛西部海域球形棕囊藻赤潮过程环境因子变化特征及影响因素分析[J]. 海洋学报, 2023, 45(5): 27–38, doi:10.12284/hyxb2023062

Fu Chuanhui, Chen Junfeng, Liu Zhiyuan, et al. Analysis on the variation characteristics of environmental factors and influencing factors in the process of *Phaeocystis globosa* bloom in the western waters of Hainan Island[J]. Haiyang Xuebao, 2023, 45(5): 27–38, doi:10.12284/hyxb2023062

海南岛西部海域球形棕囊藻赤潮过程环境因子变化特征及影响因素分析

符传辉^{1,2}, 陈峻峰², 刘志媛¹, 张燕伟², 刘焕淳², 吕淑果^{2*}

(1. 海南大学 海洋学院, 海南 海口 570228; 2. 海南省环境科学研究院, 海南 海口 571126)

摘要: 通过 2022 年 3 月 10–15 日在海南岛西部昌江昌化沿岸海域开展为期 6 d 的现场跟踪调查, 结合水文气象资料分析了本次球形棕囊藻 (*Phaeocystis globosa*) 赤潮生消过程环境因子变化特征及影响因素。本次赤潮高峰期球形棕囊藻丰度及 COD_{Mn} 分别高达 3.10×10^8 cells/L 及 35 mg/L, 远高于其他海域报道记录。赤潮暴发前降雨及风浪扰动促进了陆源输入及沉积营养盐释放, 为赤潮暴发提供物质条件。气温骤升诱导赤潮发生, 更大潮差及较低风速为囊体沿岸聚集创造了有利的外部条件。赤潮消亡过程中, DIN、PO₄-P、DO、COD_{Mn} 及 Mn 浓度显著下降, 其中 DIN 及 PO₄-P 是本次赤潮消亡的限制因子, DO、COD_{Mn} 及 Mn 为本次赤潮消亡的重要特征因子。黄色囊体出现破碎后, Chlorophyll *a* 及 SiO₃-Si 浓度也迅速下降, 随后缓慢上升甚至高于高峰期浓度水平, 此时以旋链角毛藻 (*Chaetoceros curvisetus*) 等代表的硅藻丰度逐渐增加。研究还初步探索了本次赤潮的基本生消过程, 为进一步揭示本区域球形棕囊藻赤潮爆发机理提供重要参考依据。

关键词: 球形棕囊藻; 囊体; 环境因子; 变化特征; 影响因素

中图分类号: P735; Q178.53

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2023)05-0027-12

1 引言

球形棕囊藻 (*Phaeocystis globosa*) 隶属定鞭藻纲棕囊藻属, 为全球广泛分布的有害赤潮藻种, 也是在我国海域唯一引起棕囊藻赤潮的常见藻种^[1-2]。球形棕囊藻具单细胞和囊体形态交替的异型生活史。囊体形态可有效抵御病毒、细菌入侵及浮游动物摄食^[3], 为囊体内细胞生长提供保护, 是球形棕囊藻赤潮的主要存在形态。

1997 年, 球形棕囊藻赤潮在广东至福建沿海首次报道^[4], 其后在广西、海南、河北及天津等海域陆续发生^[5]。2000 年 2 月至今海南共记录到 13 次球形棕囊

藻赤潮, 主要分布于海口至昌江西北部近岸海域^[6-7], 2014 年洋浦至昌江沿岸一带赤潮曾造成附近海域鱼类大量死亡(内部资料, 未公开)。目前, 球形棕囊藻赤潮现场研究主要集中在黄、渤、东海及南海广东、广西海域, 关于海南岛近岸海域球形棕囊藻赤潮的现场跟踪研究尚未见公开报道。

2022 年 3 月 9 日, 渔民反映在海南岛西部昌江昌化沿岸海域发现赤潮。后据昌江海尾养殖场、儋州市生态环境局工作人员提供信息, 3 月 3 日开始在昌江海尾至儋州海头沿岸海域出现赤潮, 养殖场还因此关闭了进水系统。本研究根据现场跟踪监测数据和水文气象资料, 对昌江昌化沿岸海域浮游植物及环境

收稿日期: 2022-10-09; 修订日期: 2022-12-02。

基金项目: 2019 年海南省基础与应用基础研究计划(自然科学领域)高层次人才项目(2019RC353)。

作者简介: 符传辉(1998—), 男, 海南省文昌市人, 主要从事海洋生态环境保护研究。E-mail: 2449441919@qq.com

* 通信作者: 吕淑果(1976—), 女, 内蒙古锡林郭勒盟人, 研究员, 博士, 主要研究方向为海洋生态学。E-mail: shuolu@163.com

因子变化特征进行分析,探究赤潮生消的关键影响因素,为赤潮防控提供科学依据,同时填补该海域球形棕囊藻赤潮的现场研究空白。

2 材料与方法

2.1 站位和时间

研究海域位于海南岛西部,毗邻昌化江入海口,

附近主要分布有昌化镇、昌化渔港及海水集中养殖连片区。根据赤潮发生范围,在距离岸线 600 m 内设 1 个监测断面,共 3 个调查站位,水深范围为 0.3~10.0 m(图 1)。调查时间为 2022 年 3 月 10–15 日,其中 CJ1 为赤潮站位分布大量囊体,跟踪调查至囊体完全消失,共 6 d; CJ2 和 CJ3 均为对照站位,表层无囊体分布,开展为期 4 d 的跟踪调查用于对比分析。



图 1 昌江昌化沿岸海域赤潮跟踪调查站位

Fig. 1 Station of the bloom tracking survey in the coastal waters of Changhua, Changjiang

2.2 样品采集与测定

涨潮时采集表层海水进行环境因子分析。水温(T)、盐度(S)、酸碱度(pH)和溶解氧(DO)浓度通过校正后的水质多参数仪 HQ-40D 现场测定,化学需氧量(COD_{Mn})、活性磷酸盐($\text{PO}_4\text{-P}$)浓度、硝酸盐($\text{NO}_3\text{-N}$)浓度、亚硝酸盐($\text{NO}_2\text{-N}$)浓度、氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)浓度、活性硅酸盐($\text{SiO}_3\text{-Si}$)浓度、微量元素(铁(Fe)浓度、锰(Mn)浓度、叶绿素 a ($\text{Chl } a$)浓度分别按照《海洋监测规范》(GB 17378.4–2007/GB 17378.7–2007)^[7–8]中的碱性高锰酸钾法、磷钼蓝分光光度法、锌镉还原法、萘乙二胺分光光度法、次溴酸盐氧化法、硅钼蓝法、石墨炉原子吸收分光光度法及分光光度法进行。以采水法采集 CJ1 站位表层 1 L 浮游植物样品,现场加 5% 甲醛溶液固定保存,带回实验室静置 24 h 后,使用包裹筛绢(孔径为 0.077 mm)的虹吸管轻轻吸去上清液,水样反复浓缩至 40~400 mL。经摇晃均匀后,取 0.1 mL 样品注入浮游植物计数框内观察、鉴定和计数。

2.3 数据分析

本研究日平均气温及降雨为站点数据(区站号

59838),日平均风向风速使用 ERA5 再分析资料,研究海域潮汐情况通过查询潮汐表获取。使用 SPSS26.0 和 Excel2019 软件统计各环境因子测定数据,使用 ArcMap10.4.1 绘制赤潮调查站位图,使用 origin2022 软件绘制各环境因子逐日变化及相关性图件。采用富营养化指数(E)公式评价海水富营养化状况^[9]:

$$E = (\text{化学需氧量} \times \text{无机氮} \times \text{活性磷酸盐}) / 4500 \times 10^6, \quad (1)$$

式中,化学需氧量、无机氮、活性磷酸盐为其对应的浓度,单位为 mg/L。评价标准 $E < 1$ 为贫营养, $1 \leq E < 2.0$ 为轻度富营养, $2.0 \leq E < 5.0$ 为中度富营养, $5.0 \leq E < 15.0$ 为重富营养, $E \geq 15$ 为严重富营养。

3 结果与分析

3.1 赤潮原因种及水体变化现象

通过生物显微镜鉴定发现,本次赤潮原因种为球形棕囊藻, CJ1 站位观察到囊体、(囊体内及游离的)无鞭毛不动细胞及具鞭毛游动细胞 3 种形态^[10–12]。3 月 10–11 日球形棕囊藻主要以囊体形态分布,大量无鞭毛不动细胞被包裹在囊体或附着于囊体碎片上

(图 2a, 图 2b); 3月 12-14日主要以游离的无鞭毛不动细胞分布为主(图 2c), 开始出现少量具鞭毛游动

细胞(图 2d); 3月 15日主要以具鞭毛游动细胞分布为主, 无鞭毛不动细胞零星存在, 未发现囊体及碎片分布。

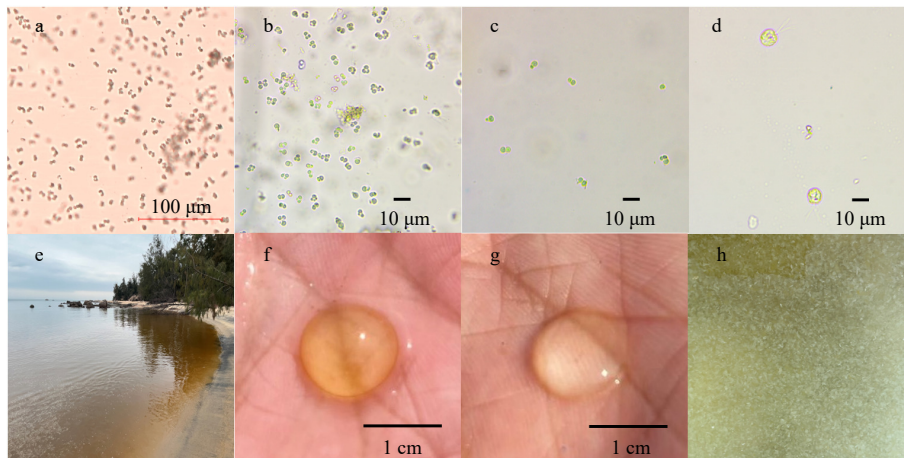


图 2 CJ1 站位镜检及现场图

Fig. 2 Microscopic examination and on-the-spot map of Station CJ1

a, b. 囊体内无鞭毛不动细胞 100×/400×; c. 游离的无鞭毛不动细胞 400×; d. 具鞭毛游动细胞 400×; e. 高峰期赤潮水体;
f. 黄色囊体; g. 透明囊体; h. 透明囊体碎片

a, b. Flagellar-less immobile cells in the colony 100×/400×; c. free flagellar-less immobile cells 400×; d. flagellar motile cells 400×; e. the bloom during the peak period; f. yellow colony; g. hyaline colony; h. hyaline colony fragment

3月 9日, 当地渔民反映昌化渔港内及沿岸海域有囊状球体漂浮于水面, 水体呈淡黄色; 3月 10日, 研究团队展开现场调查, 发现 CJ1 站位及沿岸海域出现大量黄色囊体聚集并伴随少量泡沫出现(图 2e), 囊体直径 8~12 mm 不等(图 2f), 水体呈棕黄色且伴有恶臭味; 3月 11日, CJ1 站位分布大量黄色囊体碎片及少量完整黄色囊体; 3月 12日, CJ1 站位分布透明囊体(图 2g), 3月 13日透明囊体又出现破碎现象, 囊体碎片于 14日大量聚集(图 2h), 3月 15日肉眼观察下水体恢复正常。

3.2 浮游植物群落组成及演替规律

对 CJ1 站位浮游植物鉴定, 共发现 4 门 52 种。其中, 硅藻门 49 种, 蓝藻门、黄藻门及金藻门均为 1 种。3月 10日, 球形棕囊藻丰度最高值为 3.10×10^8 cells/L, 3月 12日, 下降至 3.97×10^6 cells/L, 3月 13-14日又缓慢回升, 14日回升至 5.54×10^6 cells/L, 最终于 3月 15日降至 8.52×10^5 cells/L, 调查期间球形棕囊藻占绝对优势(表 1)。其他浮游植物丰度也呈现“先降后升”的变化趋势, 于 3月 15日升至 9.18×10^5 cells/L, 期间主要伴随种为新月菱形藻(*Nitzschia closterium*)、尖刺拟菱形藻(*Pseudo-nitzschia pungens*)、绕孢角毛藻(*Chaetoceros cinctus*)、角毛藻属(*Chaetoceros* spp.)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)及旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)等长或刺型硅藻(表 1, 图 10)。

3.3 环境因子变化特征

3.3.1 水文气象因子

赤潮暴发前, 研究海域附近于 3月 7日出现一次 2.794 mm 降雨, 日平均气温由 25.28℃ 骤降至 21.50℃; 3月 10日日平均气温升至 23.89℃, 调查期间气温维持在 23.80~25.33℃, 赤潮逐渐消亡(图 3)。CJ1 站位水温变化范围为 23.00~28.30℃, 表层水温受气温及光照影响较大, 整体变化趋势与气温基本一致。研究海域 3月 7-11日、3月 14日以东北风为主, 3月 12-13日、3月 15日转向西北风为主, 其中 3月 7日平均风速高达 8.63 m/s, 随后风速仅在 0.91~2.81 m/s 间波动(图 3)。另外, 3月 8-10日潮汐逐渐由半日潮向全日潮转变, 潮差由 0.95 m 上升至 1.62 m。CJ1 站位涨潮期间囊体聚集程度明显高于退潮期间, 对照站位囊体仅分布于海水底层。

3.3.2 水化学因子

3.3.2.1 S、pH、DO 浓度、COD_{Mn}

跟踪调查期间, CJ1 站位 S 变化范围为 28.50~33.20, 整体呈下降趋势, 尤其在 3月 14-15日囊体完全消失前变化幅度最为明显(图 4a); pH 变化范围为 7.95~8.28, 随时间呈先降后升的变化趋势, 3月 13日拐点最低值为 7.95(图 4b); 3月 10日, DO 浓度和 COD_{Mn} 分别高达 12.33 mg/L 和 35 mg/L, 明显高于 CJ2、CJ3 对照站位, 二者均在 3月 11日囊体出现破碎后迅速

表 1 调查期间 CJ1 站位浮游植物种类组成及丰度 (单位: cells/L) 逐日变化情况

Table 1 Daily variation of species composition and abundance (unit: cells/L) of phytoplankton in the Station CJ1 during the survey period

门类	种类	拉丁名	3月10日	3月11日	3月12日	3月13日	3月14日	3月15日
硅藻门	双眉藻	<i>Amphora</i> sp.	—	2.67×10 ³	—	—	—	—
	奇异棍形藻	<i>Bacillaria paradoxa</i>	3.33×10 ⁴	—	—	—	—	—
	中国盒形藻	<i>Biddulphia sinensis</i>	1.33×10 ³	—	—	—	1.33×10 ³	1.33×10 ³
	大洋角管藻	<i>Cerataulina pelagica</i>	—	—	—	1.33×10 ³	—	—
	窄隙角毛藻	<i>Chaetoceros affinis</i>	—	1.33×10 ³	—	—	—	6.40×10 ⁴
	绕孢角毛藻	<i>Chaetoceros cinctus</i>	—	—	2.67×10⁴	2.80×10 ⁴	—	1.20×10 ⁵
	扁面角毛藻	<i>Chaetoceros compressus</i>	—	—	—	—	1.87×10 ⁴	—
	旋链角毛藻	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	—	—	1.20×10 ⁴	1.60×10 ⁴	—	1.27×10⁵
	柔弱角毛藻	<i>Chaetoceros debilis</i>	—	—	6.67×10 ³	1.47×10 ⁴	—	4.67×10 ⁴
	并基角毛藻	<i>Chaetoceros decipiens</i>	—	—	—	—	—	2.67×10 ⁴
	粗股角毛藻	<i>Chaetoceros femur</i>	—	—	—	4.00×10 ³	—	—
	洛氏角毛藻	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	—	4.00×10 ³	—	6.67×10 ³	—	4.80×10 ⁴
	拟弯角毛藻	<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	—	—	1.33×10 ³	3.20×10 ⁴	—	4.13×10 ⁴
	暹罗角毛藻	<i>Chaetoceros siamense</i>	—	—	4.00×10 ³	3.33×10 ⁴	—	3.33×10 ⁴
	聚生角毛藻	<i>Chaetoceros socialis</i>	—	—	—	—	—	9.33×10 ³
	角毛藻	<i>Chaetoceros</i> spp.	—	—	1.60×10 ⁴	5.87×10⁴	6.67×10 ³	8.00×10 ⁴
	圆柱角毛藻	<i>Chaetoceros teres</i>	—	—	1.73×10 ⁴	4.00×10 ³	—	2.93×10 ⁴
	扭链角毛藻	<i>Chaetoceros tortissimus</i>	—	—	—	1.47×10 ⁴	—	4.93×10 ⁴
	圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> spp.	1.07×10 ⁴	—	4.00×10 ³	6.67×10 ³	9.33×10 ³	1.33×10 ³
	椭圆双壁藻	<i>Diploneis elliptica</i>	5.33×10 ³	1.33×10 ³	—	—	8.00×10 ³	4.00×10 ³
	太阳双尾藻	<i>Ditylum sol</i>	—	—	1.33×10 ³	—	—	—
	长角弯角藻	<i>Eucampia cornuta</i>	—	—	—	1.33×10 ³	—	—
	丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i>	5.33×10 ³	1.33×10 ³	2.67×10 ³	1.87×10 ⁴	1.47×10 ⁴	8.00×10 ³
	颗粒直链藻	<i>Melosira granulata</i>	2.93×10 ⁴	—	1.33×10 ⁴	—	1.07×10⁵	2.67×10 ⁴
	念珠直链藻	<i>Melosira moniliformis</i>	—	—	—	—	—	5.33×10 ³
	舟形藻	<i>Navicula</i> spp.	1.60×10 ⁴	1.33×10 ³	1.87×10 ⁴	1.20×10 ⁴	2.40×10 ⁴	1.33×10 ⁴
新月菱形藻	<i>Nitzschia closterium</i>	3.60×10⁴	1.33×10 ³	1.20×10 ⁴	5.33×10 ³	8.13×10 ⁴	1.07×10 ⁴	
菱形藻	<i>Nitzschia</i> spp.	2.13×10 ⁴	1.33×10 ³	1.20×10 ⁴	8.00×10 ³	2.27×10 ⁴	9.33×10 ³	
美丽斜纹藻	<i>Pleurosigmaformosum</i>	1.33×10 ³	—	—	—	1.33×10 ³	1.33×10 ³	
柔弱拟菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	4.00×10 ³	6.67×10 ³	6.67×10 ³	9.33×10 ³	2.40×10 ⁴	4.00×10 ³	
尖刺拟菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	—	8.00×10³	—	1.07×10 ⁴	2.00×10 ⁴	5.33×10 ³	
翼根管藻	<i>Rhizosolenia alata</i>	—	—	—	1.33×10 ³	—	—	
螺端根管藻	<i>Rhizosolenia cochlea</i>	—	—	—	1.33×10 ³	—	—	
厚刺根管藻	<i>Rhizosolenia crassispinata</i>	—	—	—	—	—	1.33×10 ³	
斯托根管藻	<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	—	—	1.33×10 ³	5.33×10 ³	—	5.33×10 ³	

续表 1

门类	种类	拉丁名	3月10日	3月11日	3月12日	3月13日	3月14日	3月15日
	覆瓦根管藻	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	1.33×10^3	—	—	—	—	—
	刚毛根管藻	<i>Rhizosolenia setigera</i>	1.33×10^3	1.33×10^3	2.67×10^3	—	—	6.67×10^3
	中华根管藻	<i>Rhizosolenia sinensis</i>	2.67×10^3	—	2.67×10^3	—	2.67×10^3	1.33×10^3
	笔尖根管藻	<i>Rhizosolenia styliformis</i>	1.33×10^3	—	—	—	1.33×10^3	—
	中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>	—	—	2.53×10^4	8.00×10^3	1.33×10^4	1.12×10^5
	塔形冠盖藻	<i>Stephanopyxis turris</i>	—	—	—	—	8.00×10^3	—
	芽形双菱藻	<i>Surirella gemma</i>	—	—	—	—	1.33×10^3	—
	伽氏针杆藻	<i>Synedra fulgens</i>	—	—	—	—	2.67×10^3	—
	针杆藻	<i>Synedra</i> spp.	6.67×10^3	—	1.20×10^4	9.33×10^3	1.33×10^4	4.00×10^3
	肘状针杆藻	<i>Synedra ulna</i>	—	—	1.33×10^3	—	1.33×10^3	—
	菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	6.67×10^3	—	—	5.33×10^3	9.33×10^3	1.47×10^4
	密联海链藻	<i>Thalassiosira condensata</i>	4.00×10^3	—	—	—	2.00×10^4	—
	佛氏海毛藻	<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	—	—	—	—	4.00×10^3	—
	大龙骨藻	<i>Tropidoneis maxima</i>	1.33×10^3	—	—	—	—	1.33×10^3
蓝藻门	红海束毛藻	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	2.53×10^4	—	—	—	8.67×10^4	—
黄藻门	海洋卡盾藻	<i>Chattonella marina</i>	1.07×10^4	4.00×10^3	—	4.00×10^3	8.00×10^3	5.33×10^3
金藻门	球形棕囊藻	<i>Phaeocystis globosa</i>	3.10×10^8	1.17×10^8	3.97×10^6	4.23×10^6	5.54×10^6	8.52×10^5

注: 加粗字体表示球形棕囊藻名称及丰度, 下划线加粗字体表示调查期间其他浮游植物第一优势种名称及丰度, —表示未鉴定出该物种。

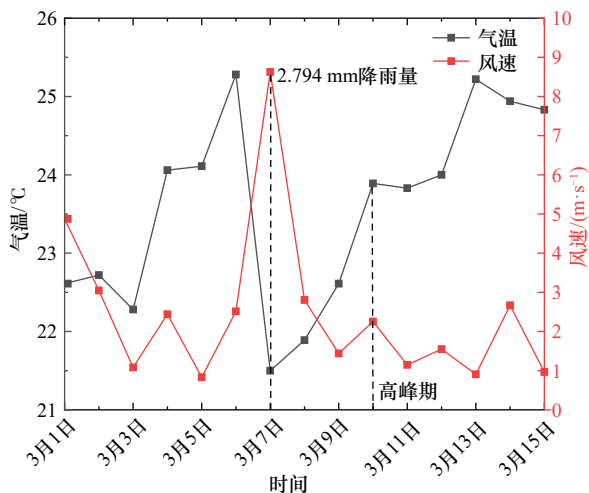


图3 赤潮前后日平均气温及风速逐日变化

Fig. 3 Daily variation of daily mean temperature and wind speed before and after the bloom

下降, 随后 DO 浓度在 7.95~8.65mg/L 间波动, COD_{Mn} 在 3 月 11 日和 14 日仍较高(图 4c, 图 4d)。

3.3.2.2 营养盐

跟踪调查期间, CJ1 站位 DIN、 PO_4 -P 和 SiO_3 -Si 浓度变化范围分别为 0.052~0.338 mg/L、0.005~0.086 mg/L 和 0.287~0.923 mg/L。其中, DIN 及 PO_4 -P 浓度于 3 月

10 日为最高值, 远高于 CJ2、CJ3 对照站位, 随后迅速下降并在 3 月 14–15 日回升(图 4e, 图 4f); SiO_3 -Si 浓度整体高于对照站位, 并于 3 月 13 日浓度开始上升, 最高值出现于 3 月 15 日(图 4g)。

由图 5 可看出, 3 月 10–11 日, CJ1 站位处于富营养状态($E > 1$), E 由 226.08(严重富营养)迅速下降至 3.64(中度富营养), 随后与对照站位一致均处于贫营养。根据前人基于浮游植物 Redfield 比值进一步提出的营养盐限制因素标准^[13–16]: (1) $N/P < 10$ 且 $Si/N > 1$, 表明 DIN 为限制因子; (2) $N/P > 22$ 且 $Si/P > 22$, 表明 PO_4 -P 为限制因子; (3) $Si/N < 1$ 且 $Si/P < 10$, 表明 SiO_3 -Si 为限制因子。结合图 6 可知, CJ1 站位 3 月 10 日黄色囊体分布时处于 Si 相对限制状态, 3 月 12 日透明囊体分布时处于 P 相对限制状态, 其余时间未出现相对限制情况。

3.3.2.3 微量元素

CJ1 站位 Fe 浓度变化范围为 5.99~16.30 $\mu\text{g/L}$, 浓度整体稍高于对照站位, 与 CJ2 站位浓度变化趋势一致(图 4h); Mn 浓度变化范围为 0.26~5.04 $\mu\text{g/L}$, 3 月 10 日分别为 CJ2、CJ3 对照站位的 11.72 倍和 56 倍, 随后浓度迅速下降(图 4i)。

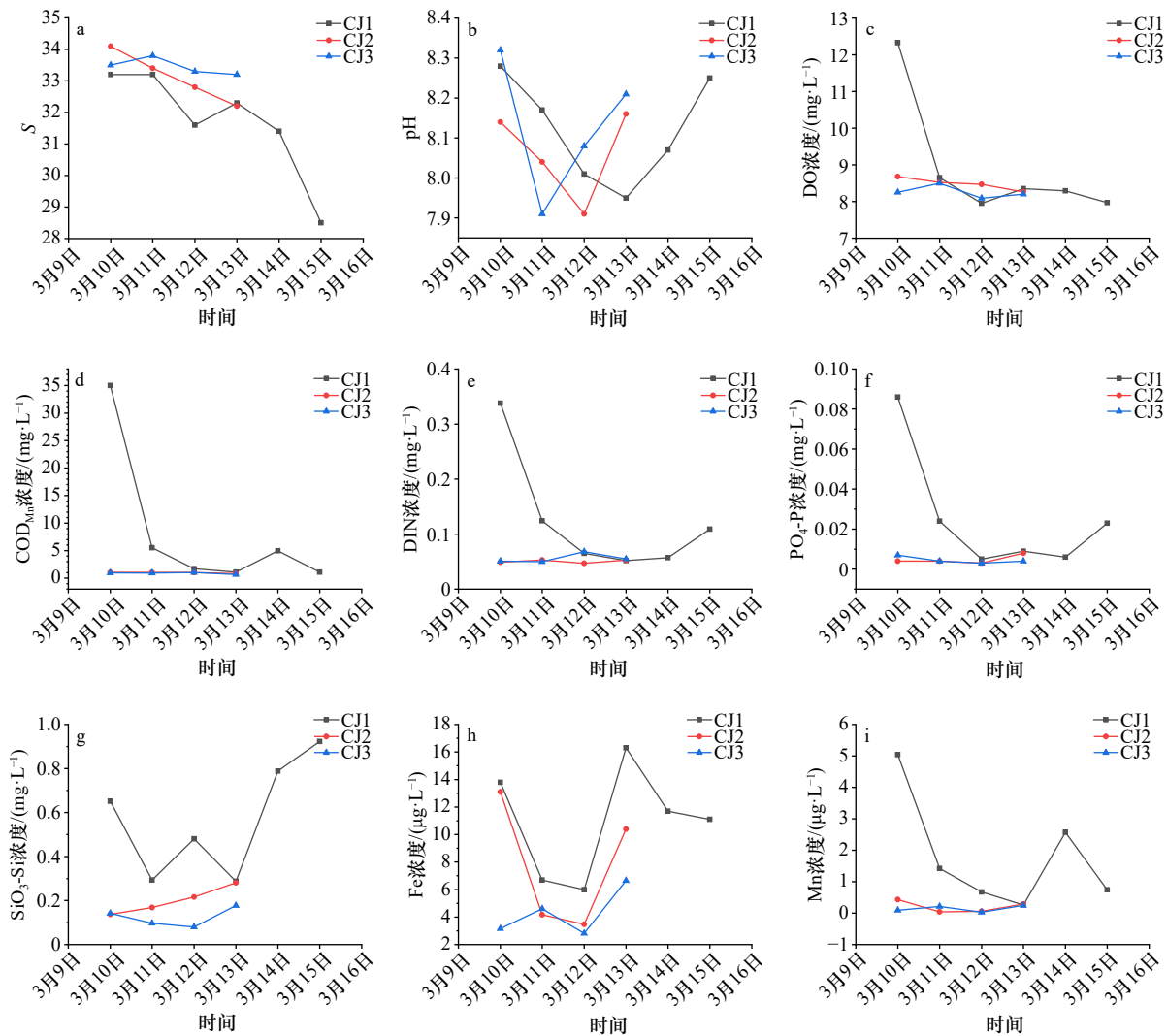


图4 调查期间水化学因子逐日变化

Fig. 4 Daily variation of hydrochemical factors during the survey period

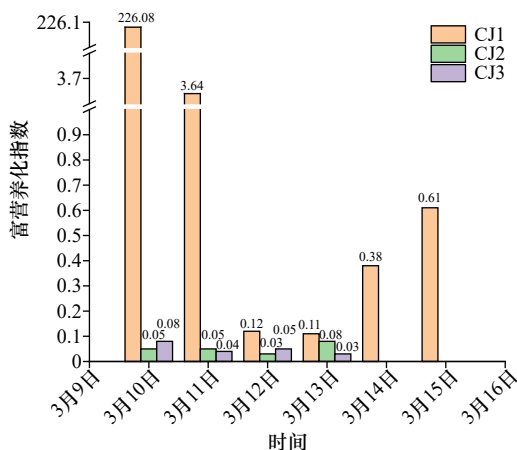


图5 调查期间富营养化指数逐日变化

Fig. 5 Daily variation of eutrophication index during the survey period

3.3.3 生物学因子

由图7可知, CJ1 站位 Chl *a* 浓度呈先降后升趋

势, 其中 3 月 10 日浓度为 4.08 $\mu\text{g}/\text{L}$, 3 月 11 日浓度迅速下降至 0.35 $\mu\text{g}/\text{L}$, 随后浓度持续上升并于 3 月 15 日高达 9.06 $\mu\text{g}/\text{L}$, 囊体消失后 Chl *a* 浓度高于赤潮高峰期浓度。同时, 对照站位 Chl *a* 浓度整体呈上升趋势。

3.4 球形棕囊藻丰度与环境因子相关性分析

通过 Pearson 相关系数及双尾显著性检验得知, CJ1 站位球形棕囊藻丰度与 DO 浓度、 COD_{Mn} 、DIN 浓度、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度及 *E* 均呈极显著正相关, 与 Mn 浓度呈显著正相关(图 8)。

4 讨论

4.1 水文气象因子与球形棕囊藻赤潮的关系

球形棕囊藻为广温型, 不同地理株系的最适温度有所不同。据记载, 南海爆发球形棕囊藻赤潮的水温通常为 15~27 $^{\circ}\text{C}$ [17], 本次赤潮高峰期水温为 24.60 $^{\circ}\text{C}$, 之后赤潮开始消退。这与李杰等[18]室内试验相吻合,

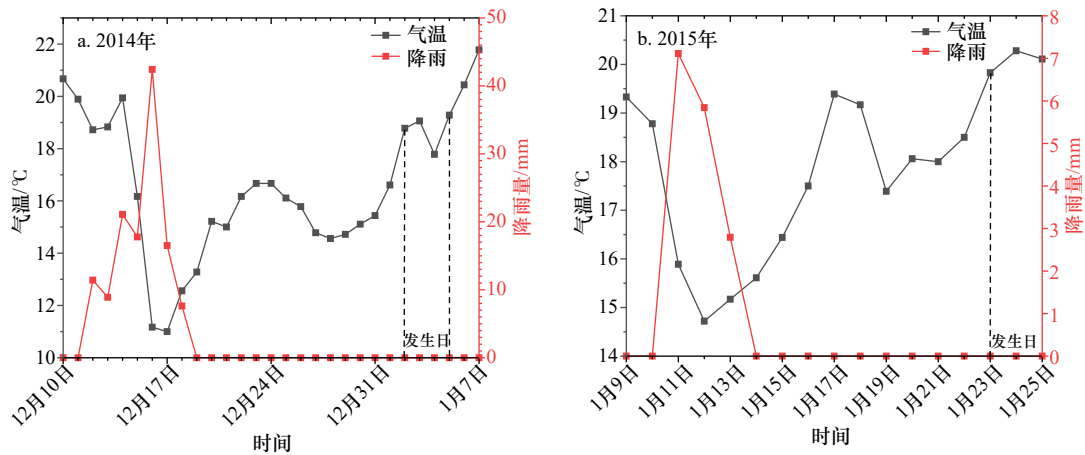


图9 海南岛西北部海域两次球形棕囊藻赤潮前日平均气温及降雨逐日变化

Fig. 9 Daily variation of daily mean temperature and rainfall before two *Phaeocystis globosa* bloom in the northwestern area of Hainan Island

组成比例的改变,促使球形棕囊藻的大量繁殖。CJ2和CJ3对照站位表层水体均未发现囊体,主要原因是囊体具极高的下沉率(平均高达189 m/d^[21]),加上赤潮期间风速小水动力弱,囊体的再悬浮能力大大降低。3月10日,半日潮转为全日潮,更大潮差驱动囊体在沿岸聚集达到高峰,水动力较弱情况下潮汐可能是驱动赤潮沿岸分布的主要外部因素。

4.2 水化学因子与球形棕囊藻赤潮的关系

海南岛第二大河——昌化江年径流量约 $37.43 \times 10^8 \text{ m}^3$,汇入研究海域对监测断面的盐度影响较大,调查期间盐度随时间下降幅度明显。庄万金^[22]曾指出,在赤潮期间海水pH主要受浮游植物控制。石鑫等^[23]也指出,海水pH与浮游植物生物量及叶绿素a浓度呈正相关性。本研究各站位pH随时间推移呈先降后升的相似变化,拐点值从CJ3到CJ1站位相继出现(图4b),可能与赤潮消亡期间浮游植物组成及演替有关,具体原因有待进一步探讨。3月10日,CJ1站位DO浓度、COD_{Mn}、DIN浓度、PO₄-P浓度、SiO₃-Si浓度及Mn浓度明显高于对照站位(图4c至图4g,图4i),表明以上因子在赤潮过程发挥关键的调控或指示作用。球形棕囊藻丰度与DO浓度、COD_{Mn}呈极显著正相关,由于藻体光合作用产氧,高峰期大量囊体聚集使光合作用增强,DO浓度升高,之后随着囊体分解耗氧、浮游植物丰度下降后迅速恢复至正常范围。在广西廉州湾、铁山港湾及深圳大鹏湾球形棕囊藻赤潮期间,溶解氧浓度也处于较高水平(DO浓度大于10 mg/L),并随赤潮消亡迅速下降^[24-25]。COD_{Mn}是衡量水体有机物、硫化物等还原性物质含量的综合性指标^[26]。DMS为挥发性含硫化合物,是某些藻类DMSP经细菌分解后的产物,而球形棕囊藻是DMS/DMSP的高产种,赤潮期间海水中的DMS浓度平均

是邻近海域的近10倍^[5,27],尤其在细胞生长稳定后会导导致水体溶解态DMS/DMSP的骤然升高^[28]。3月10日,COD_{Mn}高达35 mg/L,明显高于李波等^[25]报道浓度,极可能是高峰期藻体产生大量的DMS及DMSP导致。

海水富营养化是赤潮暴发的基础,除昌化江外,附近水产养殖尾水、城镇生活污水排放及渔港生产活动均是营养盐及有机物输入的重要途径(图1)。球形棕囊藻丰度与E呈极显著正相关,随水体由富营养向贫营养转变球形棕囊藻丰度迅速下降,同时球形棕囊藻丰度与DIN浓度、PO₄-P浓度也呈极显著正相关,在赤潮消亡过程中两者浓度下降明显且变化趋势基本一致,表明DIN和PO₄-P均为本次赤潮消亡的限制因子。这与其他海域研究结果相吻合^[24-25,29],其中PO₄-P可能为最主要的限制因子^[30]。值得注意的是,DIN浓度和PO₄-P浓度在3月14日后出现回升,而此时SiO₃-Si浓度也迅速上升。有研究表明,当SiO₃-Si浓度充足时硅藻可能会代替棕囊藻成为优势藻种^[31],且硅藻赤潮往往暴发于球形棕囊藻赤潮前后^[32]。从营养盐相对限制也可看出,3月10日,CJ1站位出现SiO₃-Si相对限制(图6),硅藻受营养限制有利于球形棕囊藻暴发性繁殖,Wang等^[33]在北部湾调查也发现大量囊体分布伴随着硅酸盐相对限制的情况。3月12日,又出现PO₄-P相对限制,且此时的PO₄-P浓度已开始低于细胞成囊条件^[34],仅形成了透明的“幽灵囊体”。

Fe、Mn均为浮游植物生长繁殖所必须的微量元素,同时也大量富集于棕囊藻囊体的黏液中^[35]。对比发现,Fe、Mn浓度较1997-1998年广东省饶平柘林湾海域球形棕囊藻赤潮期间浓度明显偏低^[31]。球形棕囊藻丰度与Mn呈显著正相关,高峰期Mn浓度明显高于对照站位及邻近海域非赤潮时浓度水平(2021

年春初调查数据,未公开),表明 Mn 与 DO 浓度、COD_{Mn} 指标均可作为表征本次赤潮走向消亡的重要特征因子。

4.3 生物学因子与球形棕囊藻赤潮的关系

Chl *a* 浓度通常作为表征浮游植物现存量的有效指标,早期也有学者将 Chl *a* 浓度作为球形棕囊藻丰度的间接指标^[31]。2021 年冬末春初在洋浦湾开展的现场研究(待发表)及部分学者在北部湾海域的研究中均指出球形棕囊藻丰度与 Chl *a* 浓度呈显著正相关^[36-37]。但对 CJ1 站位的跟踪研究发现,Chl *a* 浓度与球形棕囊藻丰度相关性并不显著(图 8)。由图 10 也可看出,由于球形棕囊藻占绝对优势,决定着浮游植物整体变化趋势,Chl *a* 浓度则与其他浮游植物丰度变化基本一致。相对来说,Chl *a* 浓度更适合预测硅藻等浮游植物^[38]。随着球形棕囊藻丰度下降、其他浮游植物(尤其是硅藻)丰度增加,Chl *a* 指标由表征球形棕囊藻逐渐转向硅藻,进而导致本次赤潮消亡过程球形棕囊藻与 Chl *a* 呈现出并不相关的结果。

高峰期球形棕囊藻丰度高达 3.10×10^8 cells/L,明显高于前人在其他海域报道的丰度水平^[20, 24-25, 36],但此前在海南岛澄迈盈滨半岛西侧海域、儋州市白马井至排浦镇近岸海域也曾分别观察到 2.29×10^8 cells/L(内部资料,未公开)和 2.36×10^8 cells/L^[6] 高丰度的情况。由现场观察发现,赤潮期间出现黄色及透明囊体两种形态,黄色囊体主要是囊体内无鞭毛不动细胞高度聚集的结果,镜检下观察到无鞭毛不动细胞均匀分布于囊体内,大多正以二分裂方式增殖,表明黄色囊体破裂还可能与细胞分裂活动有关。透明囊体为黄色囊体碎片富集再生的产物,最明显的区别是囊体内无鞭毛不动细胞丰度的减少和包膜稳定性的下降。跟踪调查期间其他浮游植物优势种均为长或刺型硅藻,与

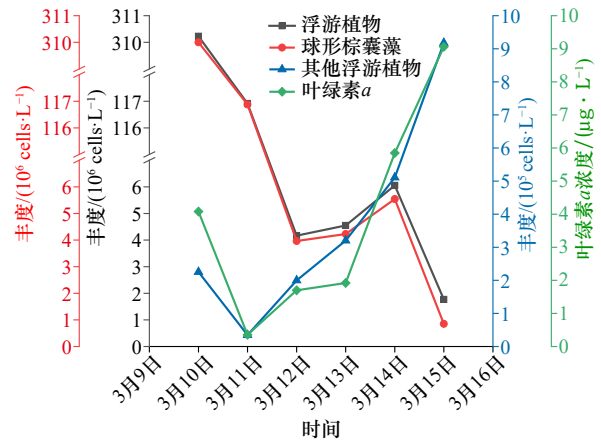


图 10 调查期间 CJ1 站位浮游植物与叶绿素 *a* 浓度对比

Fig. 10 Comparative of phytoplankton and Chl *a* concentration in Station CJ1 during the survey period

不同海域研究报道情况基本一致^[20, 36, 39-40]。本次调查期间优势种类存在更替现象,3月15日,角毛藻属(旋链角毛藻丰度最高)丰度整体明显增长,且在镜检过程发现部分单细胞球形棕囊藻附着在角毛藻藻体及角毛上。球形棕囊藻丰度的迅速下降,伴随着以旋链角毛藻等代表的硅藻快速增殖,阐释了赤潮消亡过后优势藻种逐渐更替的变化趋势。

5 结论

本文针对此次球形棕囊藻赤潮开展现场跟踪调查,结合水文气象资料对赤潮过程中环境因子变化特征及影响因素进行分析,初步探索了本次赤潮的基本生消过程(图 11),并得出以下 4 点主要结论。

(1)跟踪调查期间,球形棕囊藻随时间呈“黄色囊体-黄色囊体破碎-透明囊体-透明囊体破碎-囊体碎

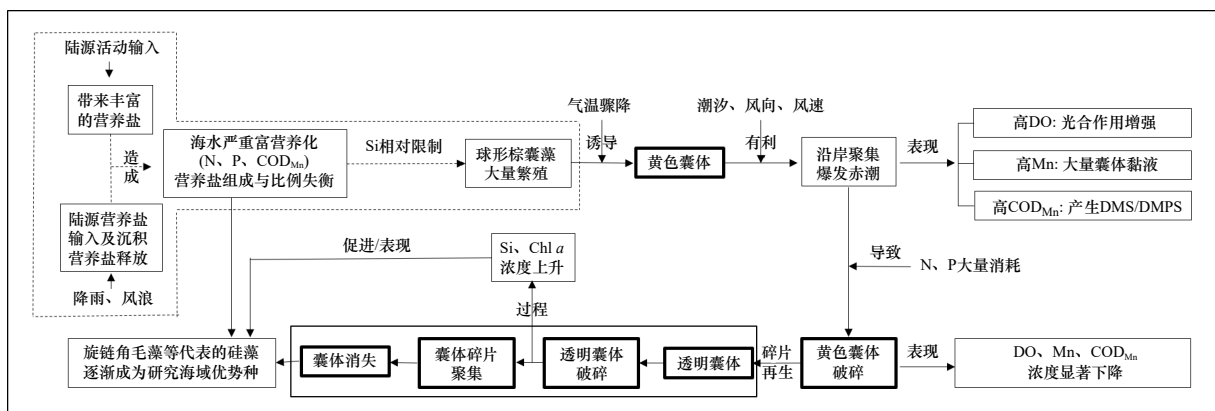


图 11 昌江昌化沿岸海域球形棕囊藻赤潮生消流程图

Fig. 11 Flow map of generation and elimination of *Phaeocystis globosa* bloom in the coastal waters of Changhua, Changjiang

虚线框内的流程表示赤潮爆发前根据背景数据资料进行的推测,其余流程为现场跟踪调查的测定结果

The flow in the dotted frame shows the conjecture based on the background data before the bloom, and the rest of the process is the results of the on-site follow-up investigation

片聚集-囊体消失”的变化特征,镜检下观察到细胞由“囊体内无鞭毛不动细胞为主-游离的无鞭毛不动细胞为主-具鞭毛运动细胞为主”的交替形式。

(2)研究海域长期受昌化江、养殖尾水、城镇生活污水及渔港生产生活等沿岸陆源输入影响,丰富的营养盐为赤潮暴发奠定物质基础。气温骤升诱导赤潮发生,更大潮差驱动囊体往沿岸聚集达到峰值。

(3)DO、COD_{Mn}及Mn在高峰期浓度较高,赤潮消亡过程浓度迅速下降,均可作为表征赤潮消亡的重要特征因子。DIN和PO₄-P被大量消耗后无法满足球形棕囊藻再次暴发性增殖,均为本次赤潮的限制

因子。

(4)赤潮消亡过程Chl *a*浓度先降后升,与其他浮游植物丰度变化趋势基本一致。3月14日营养盐尤其是SiO₃-Si浓度上升,促使以旋链角毛藻等代表的硅藻大量繁殖,呈现出球形棕囊藻赤潮消亡过程优势种逐渐被演替的趋势。

致谢:感谢海南省生态环境监测中心雷宇工程师及暨南大学生命科学技术学院岑竞仪实验师在浮游植物鉴定工作中给予的指导与帮助,感谢审稿专家在评审过程中给予诸多宝贵的意见和建议。

参考文献:

- [1] Wang Xiaodong, Song Huiyin, Wang Yan, et al. Research on the biology and ecology of the harmful algal bloom species *Phaeocystis globosa* in China: progresses in the last 20 years[J]. *Harmful Algae*, 2021, 107: 102057.
- [2] Schoemann V, Becquevort S, Stefels J, et al. *Phaeocystis* blooms in the global ocean and their controlling mechanisms: a review[J]. *Journal of Sea Research*, 2005, 53(1/2): 43-66.
- [3] Hamm C E. Architecture, ecology and biogeochemistry of *Phaeocystis* colonies[J]. *Journal of Sea Research*, 2000, 43(3/4): 307-315.
- [4] 陈菊芳, 徐宁, 江天久, 等. 中国赤潮新记录种——球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*)[J]. 暨南大学学报(自然科学版), 1999, 20(3): 124-129.
Chen Jufang, Xu Ning, Jiang Tianjiu, et al. A report of *Phaeocystis globosa* bloom in coastal water of Southeast China[J]. *Journal of J'nan University (Natural Science)*, 1999, 20(3): 124-129.
- [5] 沈萍萍, 齐雨藻, 欧林坚. 中国沿海球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*)的分类、分布及其藻华[J]. 海洋科学, 2018, 42(10): 146-162.
Shen Pingping, Qi Yuzao, Ou Linjian. *Phaeocystis globosa* in coastal China: taxonomy, distribution, and its blooms[J]. *Marine Sciences*, 2018, 42(10): 146-162.
- [6] 海南省海洋与渔业厅. 2003-2017年海南省海洋环境状况公报[R]. 海口: 海南省海洋与渔业厅, 2003-2017.
Department of Ocean and Fisheries of Hainan Province. State of the marine environment in Hainan Province, 2003-2017[R]. Haikou: Department of Ocean and Fisheries of Hainan Province, 2003-2017.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB 17378.4-2007, 海洋监测规范 第4部分: 海水分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration. GB 17378.4-2007, The specification for marine monitoring—Part 4: Seawater analysis[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB 17378.7-2007, 海洋监测规范 第7部分: 近海污染生态调查和生物监测[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration. GB 17378.7-2007, The specification for marine monitoring—Part 7: Ecological survey for offshore pollution and biological monitoring[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [9] 中华人民共和国环境保护部. HJ 442-2008, 近岸海域环境监测规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. HJ 442-2008, Specification for offshore environmental monitoring[S]. Beijing: China Environmental Press, 2009.
- [10] 沈萍萍, 王艳, 齐雨藻, 等. 球形棕囊藻的生长特性及生活史研究[J]. 水生生物学报, 2000, 24(6): 635-643.
Shen Pingping, Wang Yan, Qi Yuzao, et al. Growth characteristics and life cycle of *Phaeocystis globosa* Scherffel[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(6): 635-643.
- [11] 胡章喜, 邓蕴彦, 唐赢中. 我国北部湾球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*)的表面形态和细胞超微结构的电镜观察[J]. 海洋与湖沼, 2019, 50(3): 621-629.
Hu Zhangxi, Deng Yunyan, Tang Yingzhong. Scanning and transmission electron microscopy observation on morphology and ultrastructure of *Phaeocystis globosa* from Beibu Gulf, China[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2019, 50(3): 621-629.
- [12] 徐轶肖, 何喜林, 张腾, 等. 北部湾棕囊藻华原因种分析[J]. 热带海洋学报, 2020, 39(6): 122-130.
Xu Yixiao, He Xilin, Zhang Teng, et al. Causative species of *Phaeocystis* blooms in Beibu Gulf[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2020, 39(6): 122-130.
- [13] Dortch Q, Packard T T. Differences in biomass structure between oligotrophic and eutrophic marine ecosystems[J]. *Deep-Sea Research*

- Part A: Oceanographic Research Papers, 1989, 36(2): 223–240.
- [14] Justić D, Rabalais N N, Turner R E. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1995, 30(1): 41–46.
- [15] 施玉珍, 赵辉, 王喜达, 等. 珠江口海域营养盐和叶绿素 a 的时空分布特征[J]. *广东海洋大学学报*, 2019, 39(1): 56–65.
Shi Yuzhen, Zhao Hui, Wang Xida, et al. Distribution characteristics of nutritive salts and chlorophyll a in the Pearl River Estuary[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2019, 39(1): 56–65.
- [16] 马奔, 赵辉. 夏季珠江口叶绿素 a 和营养盐分布特征及其与环境因子的关系[J]. *海洋环境科学*, 2021, 40(5): 707–716.
Ma Ben, Zhao Hui. Distribution characteristics of chlorophyll a and nutrients in the Pearl River Estuary in summer and their relationship with environmental factors[J]. *Marine Environmental Science*, 2021, 40(5): 707–716.
- [17] Wang Kang, Chen Baohong, Gao Yahui, et al. Harmful algal blooms caused by *Phaeocystis globosa* from 1997 to 2018 in Chinese coastal waters[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2021, 173: 112949.
- [18] 李杰, 陆家昌, 赖俊翔, 等. 球形棕囊藻游离单细胞的密度与囊体形成的关系研究[J]. *植物科学学报*, 2022, 40(1): 84–95.
Li Jie, Lu Jiachang, Lai Junxiang, et al. Study on the relationship between solitary cell density and colony formation of *Phaeocystis globosa* Scherffel[J]. *Plant Science Journal*, 2022, 40(1): 84–95.
- [19] 黄长江, 董巧香, 郑磊. 1997年底中国东南沿海大规模赤潮原因生物的形态分类与生态学特征[J]. *海洋与湖沼*, 1999, 30(6): 581–590.
Huang Changjiang, Dong Qiaoxiang, Zheng Lei. Taxonomic and ecological studies on a large scale *Phaeocystis pouchetii* bloom in the southeast coast of China during late 1997[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1999, 30(6): 581–590.
- [20] 王超, 李新辉, 赖子尼, 等. 珠江口球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*)赤潮后期的浮游植物群落结构特征研究[J]. *生态科学*, 2010, 29(2): 140–146.
Wang Chao, Li Xinhui, Lai Zini, et al. Study on phytoplankton community structure at the late stage of a *Phaeocystis globosa* bloom in the Pearl River Estuary[J]. *Ecological Science*, 2010, 29(2): 140–146.
- [21] Smith W O Jr, Liu Xiao, Tang K W, et al. Giantism and its role in the harmful algal bloom species *Phaeocystis globosa*[J]. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2014, 101: 95–106.
- [22] 庄万金. 厦门西海域赤潮发生区海水pH的分布及与赤潮的关系[J]. *海洋环境科学*, 1992, 11(3): 64–70.
Zhuang Wanjin. Relationship between red tide outbreak and pH distribution in the red tide occurring area of Xiamen west harbor[J]. *Marine Environmental Science*, 1992, 11(3): 64–70.
- [23] 石鑫, 宋金明, 李学刚, 等. 长江口邻近海域海水pH的季节变化及其影响因素[J]. *海洋与湖沼*, 2019, 50(5): 1033–1042.
Shi Xin, Song Jinming, Li Xuegang, et al. Seasonal change of pH in the waters off Changjiang River Estuary and its impact factors[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2019, 50(5): 1033–1042.
- [24] 刘悦, 李丽, 翟晓辉, 等. 深圳大鹏湾一次球形棕囊藻藻华的发生过程及成因分析[J]. *热带海洋学报*, 2022, 41(3): 164–171.
Liu Yue, Li Li, Zhai Xiaohui, et al. Analysis of the bloom caused by colonial *Phaeocystis globosa* in Mirs Bay[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2022, 41(3): 164–171.
- [25] 李波, 蓝文陆, 李天深, 等. 球形棕囊藻赤潮消亡过程环境因子变化及其消亡原因[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(5): 1351–1358.
Li Bo, Lan Wenlu, Li Tianshen, et al. Variation of environmental factors during *Phaeocystis globosa* blooms and its implications for the bloom decay[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(5): 1351–1358.
- [26] 朱健, 李捍东, 王平. 环境因子对底泥释放COD、TN和TP的影响研究[J]. *水处理技术*, 2009, 35(8): 44–49.
Zhu Jian, Li Handong, Wang Ping. The impact of environmental factors on COD, TN, TP release from sediment[J]. *Technology of Water Treatment*, 2009, 35(8): 44–49.
- [27] Liss P S, Malin G, Turner S M, et al. Dimethyl sulphide and Phaeocystis: a review[J]. *Journal of Marine Systems*, 1994, 5(1): 41–53.
- [28] 齐雨藻, 徐宁, 王艳, 等. 中国赤潮研究的新进展——球形棕囊藻赤潮及其产硫的研究[J]. *中国基础科学*, 2002(4): 25–30.
Qi Yuzao, Xu Ning, Wang Yan, et al. Progress of studies on red tide in China——studies on *Phaeocystis globosa* red tide and its DMS(DMSP) production[J]. *China Basic Science*, 2002(4): 25–30.
- [29] 屠建波, 张秋丰, 徐玉山, 等. 渤海湾天津近岸海域首次棕囊藻赤潮初探[J]. *海洋通报*, 2011, 30(3): 334–337.
Tu Jianbo, Zhang Qiufeng, Xu Yushan, et al. Preliminary analysis of *Phaeocystis globosa* Scherffel red tide in Tianjin coastal sea areas of Bohai Bay[J]. *Marine Science Bulletin*, 2011, 30(3): 334–337.
- [30] Xu Mingben, Zhang Rongcan, Jiang Fajun, et al. Spatiotemporal variation in phytoplankton and physiochemical factors during *Phaeocystis globosa* red-tide blooms in the Northern Beibu Gulf of China[J]. *Water*, 2022, 14(7): 1099.
- [31] 徐宁, 齐雨藻, 陈菊芳, 等. 球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa* Scherffel)赤潮成因分析[J]. *环境科学学报*, 2003, 23(1): 113–118.
Xu Ning, Qi Yuzao, Chen Jufang, et al. Analysis on the cause of *Phaeocystis globosa* Scherffel red tide[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2003, 23(1): 113–118.
- [32] 刘琦. 硅藻对球形棕囊藻生长与囊体形成的影响[D]. 厦门: 厦门大学, 2019.
Liu Qi. Effects of Diatom on the growth and colony formation in *Phaeocystis globosa*[D]. Xiamen: Xiamen University, 2019.
- [33] Wang Jinxiu, Kong Fanzhou, Geng Huixia, et al. CHEMTAX analysis of phytoplankton assemblages revealed potential indicators for blooms of haptophyte *Phaeocystis globosa*[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 131: 108177.

- [34] Riegman R, Noordeloos A A M, Cadée G C. *Phaeocystis* blooms and eutrophication of the continental coastal zones of the North Sea[J]. *Marine Biology*, 1992, 112(3): 479–484.
- [35] Davidson A T, Marchant H J. Binding of manganese by Antarctic *Phaeocystis pouchetii* and the role of bacteria in its release[J]. *Marine Biology*, 1987, 95(3): 481–487.
- [36] 苏芯莹, 陈波, 牙韩争, 等. 涠洲岛海域球形棕囊藻藻华过程中营养盐及浮游植物群落组成分析[J]. *热带亚热带植物学报*, 2022, 30(6): 863–873.
Su Xinying, Chen Bo, Ya Hanzheng, et al. Analysis of nutrient and phytoplankton Community During *Phaeocystis globosa* bloom in Weizhou Island Waters[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2022, 30(6): 863–873.
- [37] 贺成, 宋书群, 李才文. 广西北部湾海域球形棕囊藻囊体时空分布及其影响因素[J]. *海洋与湖沼*, 2019, 50(3): 630–643.
He Cheng, Song Shuqun, Li Caiwen. The spatial-temporal distribution of *Phaeocystis globosa* colonies and related affecting factors in Guangxi Beibu Gulf[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2019, 50(3): 630–643.
- [38] 李天深, 蓝文陆, 卢印思, 等. 近岸海域自动监测浮标在赤潮预警中的应用及其缺陷[J]. *海洋预报*, 2015, 32(1): 70–78.
Li Tianshen, Lan Wenlu, Lu Yinsi, et al. Application of automatic monitoring buoy in early warning for algal blooms in offshore area[J]. *Marine Forecasts*, 2015, 32(1): 70–78.
- [39] Seuront L, Vincent D. Increased seawater viscosity, *Phaeocystis globosa* spring bloom and *Temora longicornis* feeding and swimming behaviours[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2008, 363: 131–145.
- [40] Kang Zhenjun, Yang Bin, Lai Junxiang, et al. *Phaeocystis globosa* bloom monitoring: based on *P. globosa* induced seawater viscosity modification adjacent to a nuclear power plant in Qinzhou Bay, China[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2020, 19(5): 1207–1220.

Analysis on the variation characteristics of environmental factors and influencing factors in the process of *Phaeocystis globosa* bloom in the western waters of Hainan Island

Fu Chuanhui^{1,2}, Chen Junfeng², Liu Zhiyuan¹, Zhang Yanwei², Liu Huanchun², Lü Shuguo²

(1. College of Ocean, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Hainan Research Academy of Environmental Sciences, Haikou 571126, China)

Abstract: Combined with hydrometeorological data, a six-day tracking survey was carried out in the coastal waters of Changhua Town, Changjiang County, western Hainan Island on March 10 to 15, 2022. And this study analyzed the variation characteristics of environmental factors and influencing factors in the process of *Phaeocystis globosa* bloom. During the peak of the bloom, the abundance of *Phaeocystis globosa* and COD_{Mn} were as high as 3.10×10⁸ cells/L and 35 mg/L, which were much higher than those reported in other areas. The rainfall and wind wave disturbance before the bloom promoted the terrestrial runoff and the release of sedimentary nutrients, which provided material conditions for the bloom. The sudden rise of temperature induces the bloom, and the larger tidal range and lower wind speed create favorable external conditions for the accumulation along the colony. During the elimination of the bloom, the concentrations of DIN, PO₄-P, DO, COD_{Mn} and Mn decreased significantly, in which DIN and PO₄-P were the limiting factors, and DO, COD_{Mn} and Mn were important characteristic factors. After the yellow colony broken, the concentrations of Chl *a* and SiO₃-Si also decreased rapidly, and then slowly increased or even higher than the peak concentration level, when the diatom abundance represented by *Chaetoceros curvisetus* gradually increased. The study also preliminarily explores the basic generation and elimination process of the bloom, which provides an important reference for the further study of the bloom mechanism of *P. globosa* in this area.

Key words: *Phaeocystis globosa*; colony; environmental factors; variation characteristics; influence factors