

文章编号: 0529-6579 (2000) 05-0058-05

柘林湾赤潮与 Fe、Mn、Se^{*} 和营养盐指数的关系

杨秀环, 唐宝英, 吴京洪, 曾尊祥, 张展霞
(中山大学化学与化学工程学院, 广东 广州 510275)

摘 要: 1997 年底广东省柘林湾发生褐囊藻 (*Phaeocystis pouchetii*) 赤潮期间, 水体、沉积物和赤潮生物中 Fe、Mn 的质量含量很高. 借助叶绿素 a 与海洋初级生产力呈正相关性, 探讨了褐囊藻赤潮与 Fe、Mn、Se 的质量浓度和营养盐综合指数的关系.

关键词: 褐囊藻 (*Phaeocystis pouchetii*); Fe, Mn, Se; 营养盐指数; 广东省柘林湾

中图分类号: P734.4 **文献标识码:** A

1997 年 10 月下旬福建厦门西港海域发生微型蓝藻赤潮后, 11 月底广东饶平县柘林湾水域发生了历史罕见的褐囊藻 (*Phaeocystis pouchetii*) 赤潮. 赤潮生物如水母状覆盖于海面呈暗棕色, 致使鱼类养殖业造成巨大的经济损失^[1]. 课题组于 1997 年 12 月 27 日至 1998 年 1 月 6 日赤潮期间对该水域的水质、底质和赤潮生物进行采集、监测. 发现该水体中 Fe 和 Mn 的质量含量比其它海湾高几倍至几十倍, 而营养盐综合指数 (*E*) 均值亦达到富营养状态.

本文对该区的微量营养元素 Fe、Mn、Se 及其质量含量和营养盐指数与赤潮的关系作了初步探讨.

1 实验方法

1.1 采样布点和分析方法

1.1.1 采样布点 见图 1.

1.1.2 样品采集 样品采集由国家海洋局南海分局监测中心负责. 测定可溶性元素的水样经 0.45 μm 滤膜过滤, 加酸保存. 01 站每天上、下午各取 1 次; 03 站每 3 d 取 1 次 (上午); 其它站位取 1 次; 沉积物样品各站位取 1 个; 赤潮生物样 1 个.

1.1.3 分析方法

(1) 制样: 沉积物样品由国家海洋局南海分局监测中心采集、制备, 提供干样. 赤潮生物采集后速冻保存, 制样时解冻抽滤、石英亚沸蒸馏水洗涤 3 次, 用干净滤纸吸干再称量.

(2) 样品消化: 沉淀物样品和赤潮生物样品预处理用 MK-1 型光纤压力自控密闭微波消解炉 (上海新科微波技术应用研究所), 按表 1 条件消化.

(3) 分析方法: 水样中各可溶性元素用塞曼石墨炉原子吸收测定, 加 ρ 为 2% 抗坏血

* 基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目 (3979011003)

收稿日期: 1999-12-17; 作者简介: 杨秀环 (1938~), 女, 教授.

酸作改进剂; 沉淀物和生物样品中的元素用火焰原子吸收法测定.

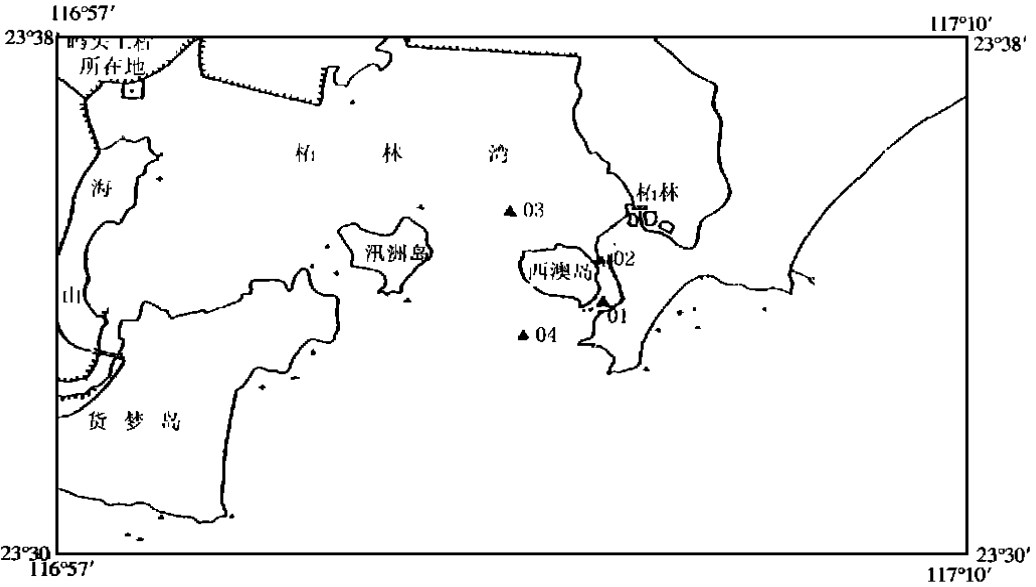


图 1 柘林湾赤潮监测站位

Fig.1 The monitored locations of red tide in Zhelin Bay

01、02、03、04 为监测站位; 01 为连续监测站

表 1 试样消解条件

Tab 1 The digestion conditions for samples

样品	试样质量/g	酸介质及用量	定容体积/ mL	消化条件	
				工作压力/ MPa	时间/ min
赤潮生物	1. 500 0(鲜样)	浓 HNO ₃ 2 mL	10. 0	0. 5	2
				1. 0	3
底质	0. 400 0(干样)	(3+ 1)HNO ₃ -HClO ₄ 4 mL	25. 0	0. 5	2
				1. 0	4

2 结果与讨论

2.1 柘林湾大面站微量元素和营养盐指数概况

柘林湾赤潮期间, 于 1997 年 12 月 27 日上午采集了 01~04 站位表、底层水样, 28 日上午采集了 01、03 站表、底层水样. 对浮游植物所必须微量元素 Fe、Mn、Se、Co 进行定量分析, 由于 Co 检出率低, 不作讨论. 同时由南海分局监测中心提供的 COD、DIN 和 DIP 的数据, 按 $E = (COD + DIN + DIP) / 1\,500$ 计算营养盐综合指数 (日本冈市友利). 当 $E > 1$ 时, 表示该地区达到富营养化程度. 表 2 列出了该水域营养元素的质量浓度和营养盐指数情况.

从表 2 可见, 该水域的 Fe 和 Mn 的质量浓度均值比大鹏湾高数倍^[2], 而 E 的均值为

0.357, 尚未达到富营养化. 但 01 站的 $\rho(\text{Fe})$ 和 E , 03 站的 $\rho(\text{Mn})$ 和 $\rho(\text{Se})$ 相对较其它站位高. 对表底层分布除 E 值底层高于表层外, Fe 、 Mn 、 Se 质量浓度分布的规律性不明显. 据报导^[1] 柘林湾水不深, 发生赤潮时波及面较广. 在涨潮时赤潮生物聚集在内湾 01、02 站, 潮退时则分布在西澳岛周围(03、04 站), 因此表 2 数据仅作该区营养元素初步的了解.

表 2 柘林湾微量元素的质量含量和营养盐指数

Tab 2 The mass concentration of microelements and synthetic indexes of nutrient salt in Zhelin Bay

采样时间	站位	深度/m 表/深	E	$\rho/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$		
				Fe	Mn	Se
19971227, 上午	01	0/4.0	0.436	240	38.6	2.15
			0.770	284	34.2	0.50
	02	0/3.8	0.038	257	17.2	1.50
			0.123	197	11.4	1.50
	03	0/5.0	0.197	250	17.7	3.80
			0.273	281	28.5	2.74
	04	0/5.0	0.003	262	12.1	2.28
			0.021	285	6.62	3.19
	19971228, 上午	0/3.1	0.356	327	17.2	0.50
			0.920	318	30.9	3.46
	03	0/5.0	0.533	266	66.9	7.30
			0.612	210	20.0	3.39

2.2 连续监测点的叶绿素 a、营养元素的质量浓度和 E 的时空分布

叶绿素 a (Chl-a) 与海洋初级生产力呈正相关^[3]. 鉴于褐囊藻赤潮生物形状特别而未能定量计数, 本文用 Chl-a 的质量浓度随时空的变化进行讨论. 在 01 站, 从 1997 年 12 月 27 日至 1998 年 1 月 6 日, 每天上、下午各采集表层水 1 次, Chl-a 与营养元素的质量浓度、 E 值随时间的变化见图 2.

从图 2 可见: ①Chl-a 与 Fe 、 Mn 、 Se 的质量浓度和 E 值上午的浓度高且变化幅度比下午大; ②上午 Chl-a 质量浓度的变化趋势与 $\rho(\text{Mn})$ 、 E 值和 $\rho(\text{Se})$ 相似, 而与 $\rho(\text{Fe})$ 有较大区别, 在 $\rho(\text{Chl-a})$ 出现最大值之前, $\rho(\text{Fe})$ 在 1997 年 12 月 27 日~1998 年 1 月 1 日间均值保持在 $249\mu\text{g/L}$, 2 至 6 日均值降至 $78.9\mu\text{g/L}$. 表 3 为 Chl-a 与营养元素的质量浓度和 E 出峰前后的数值和时间.

表 3 01 站 Chl-a 与营养元素的质量浓度和 E 出峰前后数值和日期¹⁾

Tab 3 The values and dates of the mass concentration of Chl-a, nutrient elements and E in the front of peak and behind the peak at 01 location

项 目	出峰前后日期								平均值
	19971229	30	31	19980101	02	03	04	05	
$\rho(\text{Chl-a})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	—	1.88 b	—	—	27.6 h	—	4.31 v	—	10.2
E	0.294 b	—	—	—	6.17 h	—	0.955 v	—	1.56
$\rho(\text{Fe})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	—	—	181 b	332 h	27.4 v	—	—	—	172
$\rho(\text{Mn})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	—	3.77 b	—	69.5 h	—	3.33 v	—	—	27.5
$\rho(\text{Se})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	—	1.04 b	23.7 h	—	—	—	1.43 v	—	7.04

1) b 为峰前谷; h 为峰值; v 为峰后谷

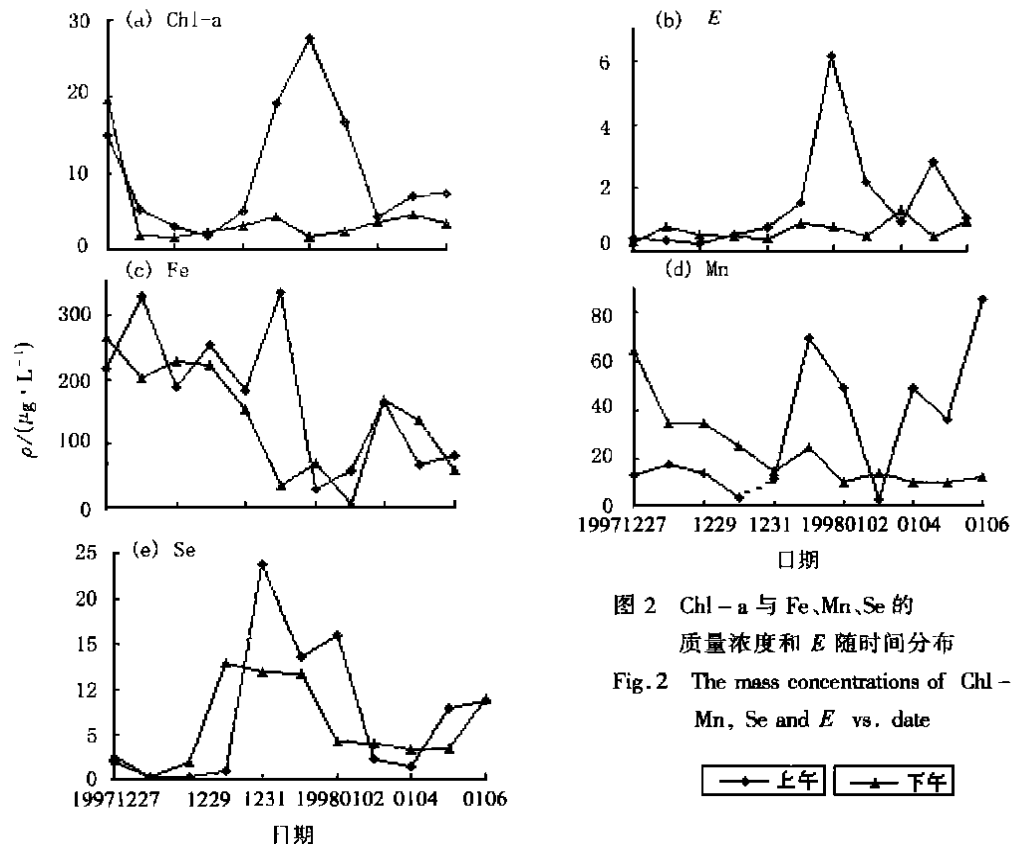


图 2 Chl-a 与 Fe、Mn、Se 的质量浓度和 E 随时间分布
Fig.2 The mass concentrations of Chl-a, Fe, Mn, Se and E vs. date

—◆— 上午 —■— 下午

$\rho(\text{Chl-a})$ 从增值到消退时间为期 5 d, 与 E 值的变化几乎同步. 这意味着赤潮生物增殖过程, E 不断提高, 并处于富营养状态. 即使赤潮生物消退, E 值仍保持 0.955, 有可能赤潮期间水体中大量微生物的矿化作用使营养盐指数维持较高的数值, $\rho(\text{Fe})$ 、 $\rho(\text{Mn})$ 和 $\rho(\text{Se})$ 比 $\rho(\text{Chl-a})$ 的超前 1 或 2 d 达到峰值, 但 Fe 很快被赤潮生物吸收利用, 当 $\rho(\text{Chl-a})$ 达到峰值时, $\rho(\text{Fe})$ 已下降了 12 倍. $\rho(\text{Mn})$ 相隔 2 d 后降低 20.9 倍, $\rho(\text{Se})$ 在 4 d 降低了 16.6 倍, 表明赤潮生物繁殖过程对营养元素的需求. 随着赤潮渐渐消退, $\rho(\text{Mn})$ 回升较快, $\rho(\text{Fe})$ 、 $\rho(\text{Se})$ 下降较缓慢, 估计不同元素被吸收利用的机制不同所致.

2.3 $\rho(\text{Chl-a})$ 与营养元素的质量浓度和 E 的相关性

根据 01 站表层水所监测的数据, 分别在上午和全天以 $\rho(\text{Chl-a})$ 对营养元素 Fe, Mn, Se 的质量浓度和 E 值进行相关系数的统计, 上午的相关系数分别为 -0.297 6, 0.272 8, 0.358 4 和 0.759 9; 全天为 -0.239 5, 0.384 9, 0.097 2 和 0.430 3.

在不同时段 $\rho(\text{Chl-a})$ 与 E 、 $\rho(\text{Mn})$ 、 $\rho(\text{Se})$ 都为正相关, 且与 E 关系密切, 表明赤潮生物增殖过程, 水体中微生物矿化作用亦增强, 使 $\rho(\text{Chl-a})$ 与 E 值同时达到极值, 相关系数达 0.759 9; 而可溶性 Fe 则为负相关, 表明该赤潮生物对 Fe 的吸收利用比 Mn、Se 元素所需量大. 该水域 $\rho(\text{Fe})$ 较高, 随着叶绿素含量的增长而缓慢下降, 当 $\rho(\text{Chl-a})$ 达到极值时, $\rho(\text{Fe})$ 降至最低, 但 $\rho(\text{Se})$ 和 $\rho(\text{Mn})$ 随着赤潮生物增长而提高, 保持一定吸收—释放的平衡状态, 可见 Fe 对褐囊藻的增殖有重要作用. 上午时段的相关系数(除 Mn 外)比全天统计要高, 主要是上午水体中的 Chl-a 和营养元素质量浓度、 E 值均比下午高且变化幅度大.

2.4 沉积物和赤潮生物中的微量元素

在赤潮发生期间，采集的沉积物和赤潮生物分析结果见表 4.

表 4 沉积物和赤潮生物的微量元素
Tab 4 The amount of microelements in sediments and red tide organism

样品	站位	$\rho/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		
		Fe	Mn	Se
沉积物（干样）	01	3.31×10^4	1.18×10^3	3.65
	02	2.94×10^4	1.02×10^3	3.19
	03	2.57×10^4	1.55×10^3	3.51
	04	2.86×10^4	1.14×10^3	0.722
	均值	2.92×10^4	1.22×10^3	2.77
赤潮生物（鲜样）	柘林湾	85.9	18.1	0.281

从表 4 可见，沉积物样品中的 Fe、Se 的质量含量以 01 站最高，Mn 的质量含量以 03 站高. 各站位的平均值与大鹏湾水域沉积物相比， $\rho(\text{Fe})$ 为 1.3 倍， $\rho(\text{Mn})$ 为 3.16 倍. 除了环境因素外，与该区的鱼类养殖业所带来的污染不可忽略；柘林湾水深较浅，受潮汐作用和鱼类活动影响，易使沉积物翻动，从而使水体中 Fe、Mn 的质量含量高且变幅大.

赤潮生物以褐囊藻为绝对优势种，按湿样分析计算 Fe、Mn 的质量含量分别为 85.9 mg/kg 和 18.1 mg/kg. 由于赤潮生物中 Fe、Mn 质量含量少见报道，只与同水域水体中可溶性 Fe、Mn 的质量含量作比较. 褐囊藻中 Fe 和 Mn 的质量含量分别是水体中均值的 334 倍和 871 倍. 可见该赤潮生物吸收和积累了大量的 Fe 和 Mn. 当赤潮生物达到最大值时，水体中 Fe、Mn 的质量浓度迅速地下降，直至赤潮生物消亡，水中 Fe、Mn 的质量浓度才缓慢回升，Mn 回升的速度比 Fe 快.

参考文献:

[1] 梁松, 钱宏林, 许时耕. 南海资源与环境研究文集[C]. 广州: 中山大学出版社, 1999. 243.
[2] 黄良民, 钱宏林, 李锦蓉. 大鹏湾赤潮多发区的叶绿素 a 分布与环境关系初探[J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(2): 197~204.
[3] 国家海洋局南海分局. 大鹏湾环境与赤潮的研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1996. 16~31.

Relationship Between Fe, Mn, Se, Synthetic Index of
Nutrient and Red Tide in Zhelin Bay

YANG Xiu-huan^{*}, TANG Bao-ying, WU Jing-hong, ZENG Zun-xiang, ZHANG Zhan-xia

Abstract: While *Phaeocystis pouchetii* bloom occurred at the end of 1997, the mass concentration of Fe and Mn is very high in water, sediments and red tides organism. Based on the correlation between chlorophyll-a and initial productivity of ocean, the relationship between *Phaeocystis pouchetii* red tied occurrence and Fe, Mn, synthetic index of nutrient salt is discussed.

Keywords: *Phaeocystis pouchetii*; Fe, Mn, Se; synthetic index of nutrient; Zhelin Bay

^{*} School of Chemistry and Chemical Engineering, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China