

海水养殖实验围隔中海洋原甲藻水华的发生及其影响

王 岩 张鸿雁 齐振雄
(青岛海洋大学水产学院, 266003)

摘 要 研究发现在 $PO_4\text{-P}$ 浓度较高且静滞的围隔水体中海洋原甲藻易大量发生形成水华; 发生水华后围隔水呈棕红色, 浮游植物生物量、叶绿素 α 、初级生产力、水呼吸、COD 和 POC 等都显著升高, 溶解氧和透明度随海洋原甲藻的昼夜垂直迁移表现出相应的昼夜变化; 发生水华的围隔内中国对虾和台湾红尼罗罗非鱼尚能存活和生长, 但体色暗红, 海湾扇贝则全部死亡, 表明海洋原甲藻水华对海产贝类的危害较鱼类和虾类更为严重。

关键词 海洋原甲藻, 实验围隔, 水华, 赤潮

近 20 年来, 我国沿海因富营养化加剧赤潮暴发频繁[Qi 等 1993], 对浅海渔业造成巨大危害。部分赤潮种类还侵入海水养殖池塘中形成水华, 影响养殖生产的正常进行。关于海洋赤潮暴发原因和机制方面的研究已很多, 但对赤潮种类在养殖池塘中暴发及其效应尚未见报道。1996 年 4~10 月作者在进行海水虾池生态系统结构优化的实验过程中, 个别实验围隔内发生了严重的海洋原甲藻(*Prorocentrum micans*)水华。本文初步讨论了该藻水华发生的条件及其对围隔水质和放养生物的影响, 旨在为今后生产中正确处理此类问题提供科学依据。

1 材料和方法

围隔实验分别于 1995 年 6~10 月和 1996 年 4~10 月在位于黄海丁子湾内的山东省烟台黄海水产集团养虾场($36^{\circ}40'N$, $120^{\circ}48'E$)进行。实验用陆基围隔由竹木框架外覆白色聚乙烯双面涂塑编织布构成, 面积为 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$, 扎设在虾池中, 每个围隔内安装一台 12W 搅水机以防止水体分层。

1995 年实验用 12 个围隔, 1996 年用 50 个围隔。1996 年围隔中主养中国对虾(*Penaeus chinensis*)或鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*), 并按不同比例配养台湾红尼罗罗非鱼(*Oreochromis mossambicus* \times *O. niloticus*)、海湾扇贝(*Argopecten irradians*)和缢蛏(*Sinonovacula constricta*), 其中对虾散养, 尼罗罗非鱼、鲈鱼和海湾扇贝分别养在网箱或网笼内, 缢蛏散播在围隔底质上。每天向主养对虾的围隔中投对虾饲料, 向主养鲈鱼的网箱内投碎鲜杂鱼, 并酌情施化肥保持围隔内水体的浮游植物丰度。

实验中定期采样分析围隔中浮游植物和浮游动物的种类与生物量, 叶绿素 α 、总氮(TN)、总磷(TP)、 $NO_2\text{-N}$ 、 $NO_3\text{-N}$ 、氨氮、 $PO_4\text{-P}$ 和 COD, 其中除 $NO_3\text{-N}$ 以铜-镉还原法测定, TN 和 TP

以过硫酸钾同步消化后分别比色测定外,其余均按海洋调查规范中推荐的方法测定。1996年围隔发生水华后立即记录时间,并采样测定有关水质指标。选择水华最严重的PS3号围隔研究海洋原甲藻、溶氧和浮游动物的时空变化。随时观察围隔中放养生物的生活情况,实验结束时统计其成活率。

2 结果与讨论

2.1 海洋原甲藻水华发生的时间和环境背景

1996年6月17日混养鲈鱼、对虾和非鲫的PFL3号围隔中首先出现海洋原甲藻水华,其后在对虾与海湾扇贝混养的PS3号、对虾与非鲫混养的PF0号和PF22号等围隔中相继发生该藻水华。4个围隔中水华持续时间超过一周,占该年实验围隔总数的8%,其中PS3号持续时间超过两个月。PFL3号和PS3号围隔发生水华的时间及当时的部分理化环境指标见表1。

表1 1996年PFL3号和PS3号围隔中海洋原甲藻水华发生的时间和环境背景

Tab. 1 The time and environmental background of some enclosures when *Prorocentrum micans* bloom appeared in 1996

日期(月-日)	围隔	水温(°C)	盐度	COD(mg/L)	NO ₃ -N(μg/L)
06-18	PFL3	24.0	33.5	6.08	
07-13	PS3	26.2	26.9	3.87	3.46

形成水华的海洋原甲藻细胞呈心脏形,长39 μm,宽30 μm,厚19 μm,具两根鞭毛,鞭毛侧有一小刺。该藻趋光性很强,日间聚集水表层10~20 cm处。水华初期水呈鲜棕红色,随光线变化有云雾状聚散现象,中后期转为乌褐色,水面形成絮状泡沫,散发出浓重的腥味。

海洋原甲藻是太平洋沿岸主要赤潮发生种之一,曾在我国的大连湾、广东和福建沿海以及朝鲜近海形成赤潮[吕颂辉和齐雨藻 1992, Qi等 1993, 齐雨藻和钱锋 1994]。黄海水产集团养虾场1992年以来连年有部分虾池出现赤色水华,黄海丁字湾内逢春夏之交时海水变赤现象看来都与该藻的大量发生有关,这表明黄海丁字湾内富营养化已非常严重,潜伏着大面积暴发赤潮的危机。

海洋原甲藻的自然分布很广,1995年和1996年的实验围隔中该藻经常出现,但仅在1996年的少数围隔内形成持续水华,并且1996年部分围隔中该藻和硅藻经常交替成为浮游植物优势种,那么究竟是何种原因造成了围隔中海洋原甲藻水华的暴发呢?早期的工作表明海洋中甲藻大量发生往往出现在营养盐贫乏时[林昱等 1992];林昱等[1994]稍后又指出相对稳定的水体和一定的活性磷浓度(超过0.9 mol/L)是诱发海洋原甲藻赤潮的重要因素;朱丛举和齐雨藻[1994]则认为NO₃-N浓度对海洋原甲藻赤潮的形成影响很大。1995年围隔中NO₃-N浓度较高,PO₄-P浓度很低,海洋原甲藻虽出现但未形成优势,1996年围隔中PO₄-P浓度很高,NO₃-N浓度较低,结果该藻在部分围隔中大量发生并形成持续水华(表2),这与林昱等[1994]的描述较接近,由于养殖围隔环境条件复杂且变化快,也不能完全排除其它因素起作用的可能性。

表2 1995年和1996年实验围隔中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的浓度和 $\text{DIN}/\text{PO}_4\text{-P}$ Tab. 2 Concentration of nitrate reactive phosphate and $\text{DIN}/\text{PO}_4\text{-P}$ in 1995 and 1996 experimental enclosures

年份	围隔数	$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g/L}$)	$\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g/L}$)	$\text{DIN}/\text{PO}_4\text{-P}$
1995	12	90.34 \pm 3.99	9.12 \pm 3.50	26.8 \pm 15.5
1996	18	23.07 \pm 11.98	86.04 \pm 44.39	0.7 \pm 0.4*

注: $\text{DIN}=(\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}+\text{TAN})$, *示统计围隔数为15

海产滤食性贝类能够100%地滤取直径 $>4\ \mu\text{m}$ 的颗粒[Shumway 1985],一般能够强烈地压制浮游植物,但本实验中海湾扇贝密度最高的PS3号围隔水华却最严重,持续时间最长,主要原因是海洋原甲藻水华暴发突然,并很快导致海湾扇贝死亡,由此可见,虾池中混养海湾扇贝并不一定能够有效地防止海洋原甲藻水华的发生。

2.2 海洋原甲藻水华发生后对围隔水质的影响

从表3可见,围隔发生海洋原甲藻水华后浮游植物生物量、叶绿素 α 、初级生产力和水呼吸都明显高于同期未发生水华的围隔,其中浮游植物生物量和叶绿素 α 分别约为后者的23~371倍和10~74倍;水华围隔中海原甲藻在浮游植物生物量中的比例达98%以上,浮游动物往往以个体较大的桡足类如火腿许水蚤(*Schmackeria poplesia*)等为优势种,其生物量一般也高于未发生水华的围隔。

表3 1996年海洋原甲藻水华对围隔水质的影响

Tab. 3 Effect of *Prorocentrum micans* bloom on water quality of experimental enclosures in 1996

水质指标	发生水华的围隔(PS3)	其它未发生水华的围隔
浮游植物生物量 (mg/L)	103.80	0.28~4.15
浮游动物生物量 (mg/L)	5.70	0.19~4.45
叶绿素 α (mg/m^3)	169.60	2.30~17.96
毛初级生产力 (gO_2/m^2)	10.37	0.50~6.30
水呼吸 (gO_2/m^2)	3.42	0.53~2.60
6:00时表层溶解氧 (mg/L)	0.95	3.64~9.98(6.492 \pm 0.25)
17:00时表层溶解氧 (mg/L)	22.50	8.63~19.98(14.58 \pm 4.36)
COD (mg/l)	6.44	2.39~4.20
POC ($\mu\text{gC/L}$)	13270	738~1515
$\text{NO}_2\text{-N}$ ($\mu\text{g/L}$)	14.22	3.88~41.80
$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g/L}$)	4.05	10.19~55.47
TAN ($\mu\text{g/L}$)	8.35	7.61~12.07
TN (mg/L)	3.260	2.068~2.423
$\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g/L}$)	100.80	3.01~220.00
TP ($\mu\text{g/L}$)	317.90	87.10~220.76

注:比较时间为6月25日~8月7日

海洋原甲藻有明显的昼夜垂直迁移现象,日间9:00~15:00时主要分布在水表层0~20cm处,该处叶绿素 α 分别是40~80cm、100~140cm处的2.2~3.2倍和2.7~4.6倍。黄昏后藻细胞向下扩散,表层和底层间的差距减小,20:00时各层的叶绿素 α 已接近,次日凌晨3:00时水体中海原甲藻细胞分布基本均匀,早晨6:00后藻细胞又重新聚集于水面(图1)。这种垂直迁移受天气状况影响很大,阴雨天时藻分层现象相对较弱。相比之下,围隔中桡足类的昼夜垂直迁移不明显。

发生水华后围隔中的透明度随海洋原甲藻垂直迁移而变化, 晴天日间仅有 10~30cm, 清晨和黄昏可达到 80~100cm。水华初期溶解氧晨低夕高, 昼夜变幅较大, 垂直分布差异明显, 到后期昼夜变幅相对减小。从图 1 可见, PS3 号围隔发生水华期间表层溶解氧始终高于中层和底层, 但这种差距在夜间缩小。水华后期围隔底部始终处于缺氧状态, 阴雨天时缺氧更为严重。

养殖池塘中发生水华后浮游植物生物量普遍较高, 溶解氧和 pH 昼夜变幅较大[何志辉 1989]。PS3 号围隔内溶解氧垂直分布昼夜差异较大的原因可能是尽管围隔装备了搅水机, 但开机时间非常有限, 未能从根本上打破水体的分层状态, 水华发生后海洋原甲藻日间集中在表层, 夜间扩散到底层, 因此底层日间光合作用很弱而夜间呼吸作用较强, 溶解氧被大量消耗形成低氧区, 所以水华暴发后很容易在底层形成厌氧环境, 这对于底栖动物是十分有害的。

发生海洋原甲藻水华的 PS3 号围隔内 TN、TP、COD 和 POC 均高于同期未发生水华的围隔, NO₃-N 低于后者, PO₄-P、氨氮和 NO₂-N 与后者差别不明显(表 3), 其中 COD 大幅度升高是围隔发生水华后水质变化的一个显著特点。富营养化是水域暴发赤潮的重要起因, 但水中有机负荷高低与赤潮暴发的关系尚未见述及, 围隔发生海洋原甲藻水华后 COD 显著升高的现象究竟应解释为 COD 升高引发了水华, 还是发生水华导致 COD 升高尚待深入探讨, 林昱等[1994]认为沉积物再矿化作用产生的营养盐可能是赤潮发生前富营养化的主要来源, 而水中溶解有机质一般能够促进浮游植物对营养盐的利用。

3 海洋原甲藻水华对养殖中国对虾、尼罗罗非鱼和海湾扇贝的影响

发生海洋原甲藻水华的围隔中对虾和尼罗罗非鱼尚能存活和生长, 但对虾游动缓慢, 虾和鱼的体色变暗红; 海湾扇贝则全部死亡。

赤潮种类对水生动物的主要危害途径为产生毒素毒害、堵塞鳃和降低水中溶氧等[Grindley 1979]。部分作者发现海洋原甲藻可分泌对贝类有害的毒素, 该藻水华可使尼罗罗非鱼摄食量降低以至死亡(卢敬让 1996), 但本实验表明发生海洋原甲藻水华对中国对虾和尼罗罗非鱼的成活率没有显著的影响, 当地虾农也反映以往虾池中出现赤色水华时也未发现对虾大量死亡。作者认为: 海洋原甲藻水华对池塘放养生物的主要危害可能是造成水体底层缺氧, 中国对虾和尼罗罗非鱼的活动能力较强, 当围隔底层缺氧时可到溶氧较高的表层趋避, 笼养的海湾扇贝则因无法脱离低氧区, 或者鳃被堵塞而窒息死亡, 因此海区中发生海洋原甲藻赤潮或池塘中发生该藻水华对贝类的危害程度比鱼类和虾类的危害更大。

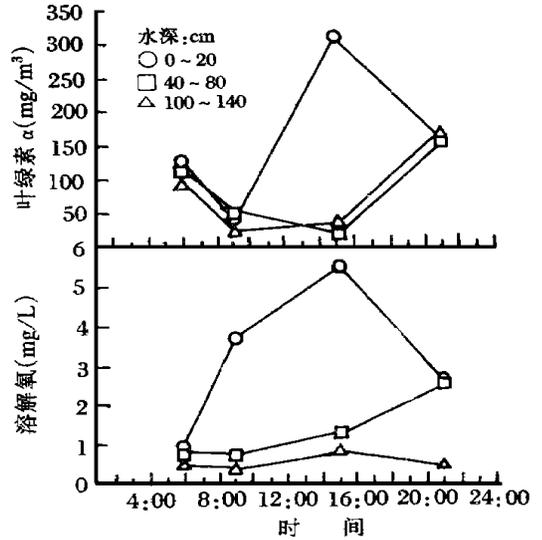


图 1 PS3 围隔中海洋原甲藻水华后期时叶绿素 α 和溶解氧的昼夜垂直变化

Fig. 1 Deil vertical variance of dissolved oxygen and chlorophyll α in PS3 enclosure at post stage of *Prorocentrum micans* bloom

(1) 卢敬让, 1996. 虾池施肥养殖围隔生态系浮游生物生态学研究, 青岛海洋大学博士论文.

本研究系国家攀登B专题(PD-B6-7-3)和国家自然科学基金(39430102)资助项目。作者王岩现为中国科学院水生生物研究所博士后,张鸿雁现在中国科学院海洋研究所工作。李德尚先生惠为审阅文稿,谨此致谢。

参 考 文 献

- 朱从举, 齐雨藻. 1994. 铁、氮、磷、维生素 B₁ 和 B₁₂ 对海洋原甲藻的生长效应. 海洋与湖沼, 25(2): 206~210.
- 齐雨藻, 钱 锋. 1994. 大鹏湾几种赤潮甲藻的分类学研究. 海洋与湖沼, 25(2): 206~210.
- 吕颂辉, 齐雨藻. 1992. 南海大鹏湾的主要赤潮生物. 暨南大学学报(自然科学), 11(3): 130~133.
- 何志辉. 1989. 养鱼池的生态学. 北京: 中国池塘养鱼学(张扬宗, 谭玉钧, 欧阳海主编). 科学出版, 68~70.
- 林 昱, 陈孝麟, 庄栋法等. 1992. 海洋围隔生态系中赤潮发生前后浮游植物群落结构的初步分析. 生态学报, 12(3): 213~218.
- 林 昱, 庄栋法, 陈孝麟. 1994. 初析赤潮成因研究的围隔实验结果—几个理化因子与硅藻赤潮的关系. 海洋与湖沼, 25(2): 139~146.
- Grindley J R. 1979. Factors determining the productivity of south Africa coastal waters. IBP 20— Marine production mechanisms. Cambridge University Press. 101~125.
- Qi Y Z, Zhang Z P, Hong Y, et al. 1993. Occurrence of red tides on the coasts of china. Toxic Phytoplankton Blooms in the sea. Elsevier Science Publishers B V. 43~46.
- Shumway S E. 1985. Particle selection, ingestion and absorption in filtering-feeding bivalves. J Exp Mar Biol, 91: 77~92.

OCCURENCE AND EFFECTS OF HARMFUL BLOOM CAUSED BY *PROROCENTRUM MICANS* IN SEAWATER EXPERIMENTAL ENCLOSURES

WANG Yan, ZHANG Hong-Yan, QI Zhen-Xiong
(Fisheries College, Ocean University of Qingdao, 266003)

ABSTRACT Occurrence and effects of harmful bloom caused by a kind of redtide algae, *Prorocentrum micans*, in seawater experimental enclosure were studied. When high concentration of reactive phosphate was available and motion of water was weaken in enclosures, phytoplankton was easily dominated by *P. micans*, and then serious harmful bloom of the species formed. The color of water in the enclosures with harmful bloom was brown red at the beginning and turned to black brown at the post stage. Biomass of phytoplankton, chlorophyll α , gross primary production, respiration of water column, chemical oxygen demand, and particle organic carbon were much higher in the enclosure with harmful bloom than those without bloom. Both dissolved oxygen and Secchi depth usually varied dramatically with diel vertical motion of *P. micans*. There were no significant effects of *P. micans* bloom on survival and growth of *Penaeus chinensis* and a hybrid tilapia of *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus* to be detected although their body color became brown red, but mortality rate of bay scallops stocked in enclosures with serious harmful bloom was 100%. Clearly *P. micans* bloom was more harmful to marine bivalves than to finfish and prawn.

KEYWORDS *Prorocentrum micans*, Experimental enclosure, Harmful bloom, Redtide