

青岛奥运帆船赛区理化、生物要素现状及 富营养化诱发赤潮的围隔实验

李瑞香¹, 王保栋¹, 王宗灵¹, 吴荣军², 冯慕华¹

(1. 海洋生态环境科学与工程国家海洋局重点实验室, 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061;

2. 南京气象学院环境科学系, 南京 210044)

摘要:于 2001 年 8 月和 9 月对青岛 2008 年奥运会帆船比赛海域进行了理化、生物等要素的综合调查, 并利用围隔生态实验手段, 在太平湾进行了营养盐与赤潮的关系研究。结果显示, 本海域水质良好, 基本符合一类海水水质标准, 仅有个别站位出现某种污染物超标现象, 如 8 月份麦岛附近海域氨氮和无机磷超标, 石油烃 8 月份在浮山湾东侧北海船厂附近超出一类海水水质标准。该水域的叶绿素 a 含量较低, 平均 $0.42 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 总的分布状况是太平湾西侧的海域较高。初级生产力 8 月高于 9 月, 分别为 $179.0 \text{ mgC m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $114.0 \text{ mgC m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。浮游植物以硅藻中的中肋骨条藻、奇异菱形藻、旋链角刺藻和塔形冠盖藻为主, 其细胞数量 8 月明显高于 9 月, 分别为 $457.26 \times 10^4 \text{ m}^{-3}$ 和 $16.38 \times 10^4 \text{ m}^{-3}$, 数量密集中心在调查区西部。浮游动物生物量 8 月比 9 月高近 10 倍, 分别为 $239.1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $24.7 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 强壮箭虫在生物量中起主要作用, 生物量和个体数量的分布与浮游植物基本相反。加营养盐的围隔实验表明, 加硅会导致海链藻、短弯角藻、丹麦细柱藻和中肋骨条藻中的任何一种赤潮, 硅成为该海域的主要限制因子。

关键词:奥运; 生态环境; 围隔实验

The status of chemical and biological factors and mesocosm experiment of eutrophication to cause bloom in the area for the Olympic sailing games in Qingdao

LI Rui-Xiang¹, WANG Bao-Dong¹, WANG Zong-Ling¹, WU Rong-Jun², FENG Mu-Hua¹ (1. The Key Lab. of Marine Ecological Environment Science and Engineering, SOA, First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061. 2. Department of Environment Science, College of Metalogy, Nanjing 210044). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 837~842.

Abstract: As the only partner city of the Beijing Olympic games, Qingdao will be the host city for sailing games. The marine environmental quality in the coastal water of Qingdao will be a very important criterion for "Green" Olympic games. In order to understand the status of ecological environment in this region, a comprehensive investigation was carried out in August and September 2001, and the impacts of nutrients on the occurrence of red tide was studied by a mesocosm experiment in Taiping Bay in August. The results showed that the sea water quality in the study area was good, as all requirements of Class 1 Sea Water were met. However, at a few stations, concentration of some pollutants clearly exceeded the criteria of Class 1 Sea Water. Ammonium and phosphate were much higher than their criteria in the area near Maidao in August. Petroleum oil exceeded the limit in the eastern Fushan Bay in August. The average chlorophyll-a in this region was low (0.42 mg m^{-3}). Highest concentrations of chlorophyll-a were found in the western region of Taiping Bay. Primary productivity was higher in August than that in September, at $179.0 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ and $114.0 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ respectively. Low primary productivity region

基金项目:科技部资助项目(2001CB409700, 2002CCA04900, 2002BA904B06, 2001BA603B-06-03-1)和国家自然科学基金资助项目(49876030)

收稿日期:2002-07-15; **修订日期:**2003-03-20

作者简介:李瑞香(1954~), 女, 山东高密人, 研究员, 主要从事浮游植物生态及赤潮研究。E-mail: dmb@public.qd.sd.cn

致谢:参加本项目工作的还有吕瑞华、张学雷、邹迎麟、魏修华、战闰、吴荣军、喻龙、董雷、董正臻等, 在此一并表示感谢。

Foundation item: Project of MDST (No. 2001CB409700, 2002CCA04900, 2002BA904B06, 2001BA603B-06-03-1); National Natural Science Foundation of China (No. 49876030)

Received date: 2003-07-15; **Accepted date:** 2003-03-20

Biography: LI Rui-Xiang, Professor, mainly engaged in ecology of marine phytoplankton and red tide. E-mail: liraixiang@fio.org.cn

appeared near Maidao ,where Secchi disc depth was the shallowest. The dominant species of phytoplankton were *Skeletonema costatum* ,*Nitzschia paradoxa* ,*Chaetoceros curvisetus* and *Stephanopyxis turris*. The total cell number was higher in August than that in September, with mean value of 457.26×10^4 cells m^{-3} and 16.38×10^4 cells m^{-3} respectively. The area of highest cell density was located in the west of. The biomass of zooplankton in August was about ten times higher than that in September, at $239.1\text{ mg }m^{-3}$ and $24.7\text{ mg }m^{-3}$ respectively. *Sagitta crassa* contributed largely to total biomass. The distribution of biomass and individual density of zooplankton was highest in the middle of the study region where chlorophyll-a was lowest. The result of nutrients-addition mesocosm experiment showed that growth of *Thalassiosira* sp. *Eucampia zoodiscus* ,*Leptocilidrus danicus* and *Skeletonema costatum* would occur when silicate was enriched. Silicate could be considered as the main limiting factor of phytoplankton growth here.

Key words: Olympic; eco-environment; mesocosm experiment
文章编号: 1000-0933(2004)04-0837-06 中图分类号: Q143 文献标识码: A

青岛作为北京 2008 年奥运会的伙伴城市,将承办其中的帆船赛事,因此,青岛市的海洋环境质量状况也将成为绿色奥运的一个非常重要的指标。赤潮作为一种重大海洋环境问题和生态灾害,近几年在青岛的胶州湾海域亦有增加的趋势。青岛东侧沿岸海域水环境良好,将作为奥运水上运动赛场的首选区域,但这一海域与胶州湾相邻,能否会受到胶州湾赤潮的潜在威胁必须引起高度重视,为了了解该海域的生态环境现状,摸清赤潮物种和可能暴发赤潮的潜在性,于 2001 年 8 月和 9 月对该海域的理化、生物等要素进行了综合调查,并利用围隔生态实验手段,在太平湾进行了营养盐与赤潮的关系研究,为以后针对性地专项研究打下了基础,并为市政府的决策提供依据。

1 调查与方法

2001 年 8 月和 9 月在青岛市东侧团岛湾至麦岛一带沿海岸域布设 11 个站(图 1),进行了水温、盐度、营养盐、石油烃、COD、浮游生物、叶绿素 a 与初级生产力等环境要素的调查,取样与分析方法按照《海洋调查规范》进行。浮游植物海上调查用浅水Ⅲ网,围隔中以水样定量。海上围隔实验于 8 月在太平湾进行,围隔直径为 1m,水面以下深度 3.5m,材料是透明的聚乙烯塑料薄膜,实验设计为:1 号围隔为对照;2 号围隔为加氮和磷;3 号围隔为加氮、磷和硅,围隔装置安装完后,一次性加入营养盐,取样时间为 9:00,实验周期为 8d。

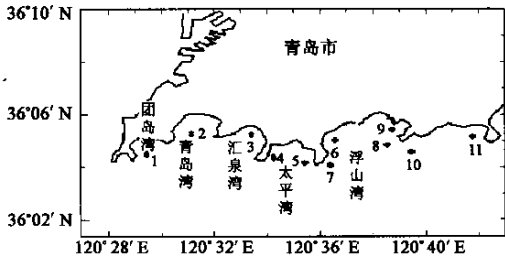


图 1 青岛奥运帆船赛区生态环境调查站位

Fig. 1 Survey stations in the area for the Olympic Sailing Games in Qingdao

2 结果与讨论

2.1 海域理化环境特征

表 1 列出了化学参数的测定结果。本调查海域 8、9 月的水温和盐度属正常年份水平。溶解氧、pH、悬浮物、COD、挥发酚等要素含量均属正常范围,均符合一类海水水质标准,其平面分布变化均很小。除温度 9 月低于 8 月外,其它要素 9 月均略高于 8 月。本海区石油含量在 $5.13\sim79.3\mu g\text{ L}^{-1}$ 之间,9 月平均含量略高于 8 月,但 8 月在浮山湾东侧的 9 号站超出一类海水水质标准,说明本海区存在一定程度的石油污染。

本海域无机氮以氨氮和硝酸盐为主要存在形式,前者高于后者。8 月总无机氮含量明显高于 9 月。8 月麦岛附近 11 号站的表层海水中氨氮超标严重,而硝酸盐则低于检出限,其它大多数站位的无机氮含量大致均匀。

无机磷含量在未检出 $\sim0.81\mu mol\text{ L}^{-1}$ 之间,9 月略高于 8 月。其中,8 月 7 号站底层、9 月 4、5、7、10 站和 11 号站超出一类海水水质标准,尤以 10 号站和 11 号站超标严重,这可能与麦岛污水处理厂的污水排放有关。

活性硅酸盐含量在未检出 $\sim21.3\mu mol\text{ L}^{-1}$ 之间,9 月平均含量高于 8 月。8 月活性硅酸盐含量以浮山湾的 6 号和 8 号站最高(大于 $20\mu mol\text{ L}^{-1}$),其它海域含量较低(小于 $3\mu mol\text{ L}^{-1}$)。9 月平面分布大致均匀。

一般认为,适于浮游植物生长的 N : Si : P 比值为 16 : 16 : 1,若偏离此比值过高或过低,浮游植物的生长则可能受到某一种或几种元素的限制^[1]。本海域夏季(8 月)Si/N 比值在 0~3.27 之间,平均值为 0.85,90% 以上的站位 Si/N 比值小于 1;N/P 比值在 7.6~673 之间,平均值为 124,绝大多数站位 N/P 比值远高于 Redfield 比值。因此,根据浮游植物生长的营养盐限制判定标准,可初步判定该海域浮游植物的生长主要受硅的限制,同时磷也可能是潜在的限制因素。此结论与其他研究者在胶州湾的研究结果^[2,3]吻合。

2.2 叶绿素 a 与初级生产力水平

表 1 浮山湾及其周边海域水环境要素调查结果

项目 Items	8月29日 29 Aug.			9月27日 27 Sep.		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
	Minimum	Maximum	Average	Minimum	Maximum	Average
温度 temperature(℃)	25.0	25.5	25.2	22.8	23.2	23.1
盐度 salinity	30.401	30.870	30.620	31.170	31.457	31.226
DO(mg L ⁻¹)	6.09	6.44	6.30	6.33	7.03	6.68
pH	8.12	8.26	8.20	8.20	8.30	8.27
NH ₄ -N(μmol L ⁻¹)	2.71	19.10	4.97	3.61	5.50	4.42
NO ₃ -N(μmol L ⁻¹)	LD	6.64	3.07	1.45	3.03	1.98
NO ₂ -N(μmol L ⁻¹)	LD	0.49	0.26	0.15	0.22	0.18
PO ₄ -P(μmol L ⁻¹)	0.02	0.80	0.20	LD	0.81	0.39
SiO ₃ -Si(μmol L ⁻¹)	LD	21.32	5.93	5.65	19.75	9.66
悬浮物 Suspended matter(mg L ⁻¹)	7	19	11	13	24	17
COD(mg L ⁻¹)	0.31	0.99	0.45	0.64	1.39	0.87
石油烃 Oil (μg L ⁻¹)	5.13	79.3	15.1	7.00	41.6	17.1
挥发酚 Hydroxybenzene(μg L ⁻¹)	0.47	1.98	1.32	0.93	1.98	1.58

LD:Limited detection,未检出

该海域 8、9 月的叶绿素 a 含量较低,而且两月份非常接近,全区平均值分别为 0.43mgm⁻³和 0.41mg m⁻³。8 月全区波动范围在 0.26~0.57mg m⁻³之间,虽然最高值在北海船厂外面的 9 号站,但总的分布状况是太平湾西侧的海域较高。9 月叶绿素 a 的分布更为均匀,波动范围为 0.38~0.52mg m⁻³,其分布与 8 月相似,但最高值在团岛湾(图 2)。叶绿素 a 的垂直分布显示出,调查区的水混合较好,上下比较均匀。

初级生产力 8 月高于 9 月,分别为 179.0mgC m⁻²d⁻¹和 114.0mgC m⁻²d⁻¹。初级生产力的高低除与浮游植物数量的多少有关外,还与光照强度有直接关系。8 月,海水透明度明显高于 9 月,初级生产力亦高,在海水透明度最低的 11 号站,叶绿素 a 虽不是最低,而初级生产力两个月份均处最低水平,分别只有 87.9mgC m⁻²d⁻¹和 75.9mgC m⁻²d⁻¹。从图 3 看出,初级生产力的分布基本与叶绿素 a 相对应。

2.3 浮游植物种类组成及数量变动

本海域两次调查共获得 91 种浮游植物,硅藻占总种数的 70%,甲藻 27 种,金藻 1 种,浮游植物种类组成的生态特点是近岸广布种和近岸暖温带种较多,如中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、奇异菱形藻(*Nitzschia paradoxa*)、旋链角刺藻(*Chaetoceros curvisetus*)、和塔形冠盖藻(*Stephanopyxis turris*)等,另外,该海域受外海水影响较大,还采到数量可观的外洋性暖水种,如甲藻中的短角藻(*Ceratium breve*)、三叉角藻(*C. trichoceros*)和纤细角藻(*C. tenue*)以及硅藻中的薄壁半管藻(*Hemiaulus membranacus*)和扭鞘藻(*Streptothecha thamesis*)等。8 月,优势种比较显著,中肋骨条藻占总平均值的 52%,旋链角刺藻占 24%。9 月的优势种所占比例较 8 月降低,且优势种较多,洛氏角刺藻(*Chaetoceros lorenzianus*)虽居首位,所占比例也只有 16%,其他优势种还有中肋骨条藻、圆筛藻(*Coscinodiscus* spp.)、透明海链藻(*Thalassiosira hyalina*)、奇异菱形藻和塔形冠盖藻。

浮游植物的细胞数量 8 月明显高于 9 月(图 4),分别为 457.26×10⁴ 个 m⁻³和 16.38×10⁴ 个 m⁻³,其分布亦有明显的不同。8 月,浮游植物的密集中心在调查区西部的 1~3 号站,3 号站高达 1057.40×10⁴ 个 m⁻³。该区域中肋骨条藻的数量所占百分比均超过 55%,尤其在团岛湾,数量高达 746×10⁴ 个 m⁻³(占

该站总量的 70%)。太平湾向东明显减少。该种类在 8 月中旬大雨过后在胶州湾发生了较大范围的赤潮,或许能影响到与之相邻的团岛湾至汇泉湾一带海域。9 月全区浮游植物细胞数量的波动范围在 3.74×10⁴~32.28×10⁴ 个 m⁻³,2 号站和浮山湾西

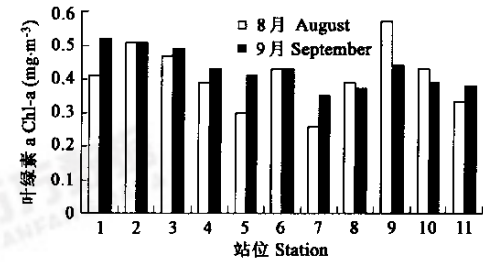


图 2 叶绿素 a 含量的分布
Fig. 2 Distribution of chlorophyll-a

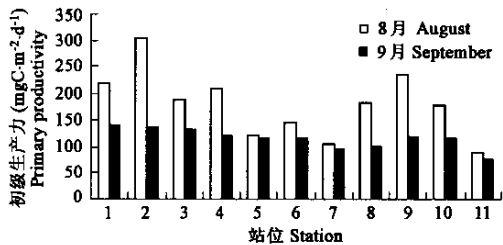


图 3 初级生产力的分布
Fig. 3 Distribution of primary productivity

侧的 5 号站均超过 30×10^4 个 m^{-3} , 湾东侧偏低, 但比较均匀, 麦岛附近的 11 号站数量最低。该月的优势种中肋骨条藻的平均数量比 8 月有明显的降低, 还不足 8 月的百分之一。

2.4 浮游动物种类组成与数量分布

8、9 月间调查海域的浮游动物有 20 多种, 桡足类的种数最多, 有 14 种, 中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*)、小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*)、太平洋纺锤水蚤 (*Acartia pacifica*) 是调查期间的优势种类, 其中小拟哲水蚤的数量在 8 月占的百分比最高, 太平洋纺锤水蚤在 9 月最多, 另外, 毛颚类的强壮箭虫 (*Sagitta crassa*) 不仅在个体数量中占优势, 而且在生物量中所占数量也最大。从种类组成看, 大多数种类为山东沿岸海域的习见种, 并多为暖、温带种, 这符合它们在中纬度的分布特点。

浮游动物生物量 8 月比 9 月高近 10 倍, 分别为 $239.1 mg m^{-3}$ 和 $24.7 mg m^{-3}$, 强壮箭虫在生物量中起主要作用, 在该种个体数量多的站位上, 一般浮游动物总生物量亦高。生物量的分布两次调查有明显的不同, 8 月全区波动范围较大, 在 $43.7 \sim 513.9 mg m^{-3}$ 之间, 低值区在团岛湾, 高值区在太平湾东侧至浮山湾西侧的海域, 北海船厂附近的两个站上生物量也明显低于平均值。9 月团岛湾的浮游动物生物量与 8 月相同, 但与其他站相比还属较高水平, 低生物量区在调查区中部的大部分站位上, 最高值在麦岛西侧 (10 站)。

浮游动物的个体数量两次分别平均 397 个 m^{-3} (8 月) 和 107 个 m^{-3} (9 月), 总的分布趋势与生物量基本一致 (图 5), 8 月强壮箭虫在各站均占优势, 该种的高密集区在 5~8 站和 11 站, 其密度均超过 200 个 m^{-3} , 小拟哲水蚤的高密度区多集中在 4~7 站, 多毛类幼体在 8~9 号站较多。

2.5 富营养化诱发赤潮的围隔实验

2.5.1 营养盐的变化 图 6 示出了 3 个围隔中营养盐的变化, 对照围隔中, 总无机氮的含量在第 3 天降至 $4.2 \mu mol L^{-1}$, 磷酸

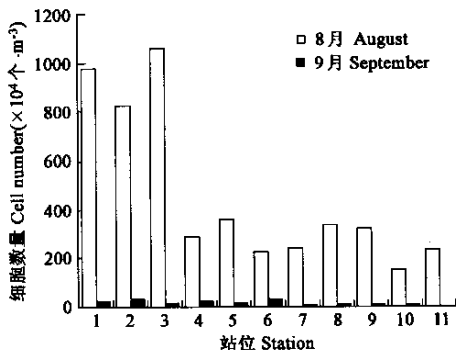


图 4 浮游植物细胞数量分布

Fig. 4 The cell number of phytoplankton

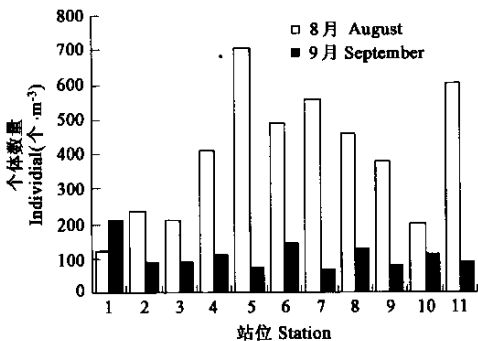


图 5 浮游动物个体数量分布

Fig. 5 The individuals of zooplankton

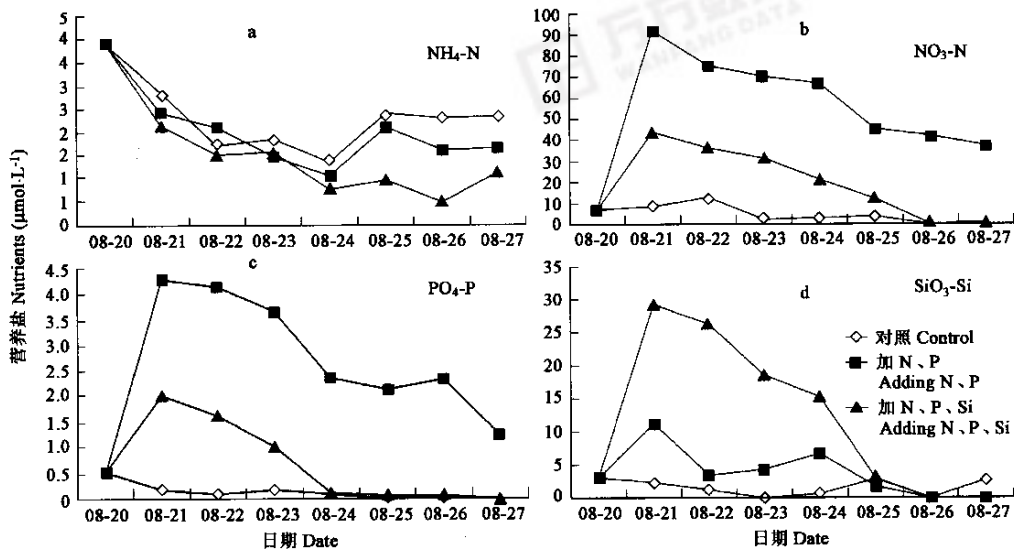


图 6 围隔中营养盐的变化

Fig. 6 Change of nutrients in mesocosm

盐的起始值仅为 $0.19\mu\text{mol L}^{-1}$,第3天则在检出限附近,此时硅酸盐也几乎降至检出限附近。显然磷和硅成为浮游植物的限制因子。2号围隔中,氮和磷分别加至 $94.92\mu\text{mol L}^{-1}$ 和 $4.26\mu\text{mol L}^{-1}$,实验结束时,它们分别减少到 $39.72\mu\text{mol L}^{-1}$ 和 $1.26\mu\text{mol L}^{-1}$,仍然很高,唯有硅酸盐成为硅藻的限制因子。3号围隔中,N、P、Si 分别加至 $46.59\mu\text{mol L}^{-1}$ 、 $2.01\mu\text{mol L}^{-1}$ 和 $29.22\mu\text{mol L}^{-1}$,实验结束时,无机氮降到 $1.22\mu\text{mol L}^{-1}$,磷酸盐在 $0.05\mu\text{mol L}^{-1}$ 以下,硅也接近检出限,可见,磷和硅相对无机氮而言,对浮游植物稍早起到了限制作用。

2.5.2 叶绿素 a 的变化 从图 7 看出,3 个围隔中叶绿素 a 的起始浓度基本接近,浮游植物对不同营养盐浓度的响应各不相同。对照围隔中,叶绿素 a 在第3天有一小小高峰,但由于各项营养盐的缺乏,使得浮游植物生长受到限制或死亡,叶绿素 a 随后明显下降。2号围隔中,叶绿素 a 出现两个峰,第3天达到 8.71mg m^{-3} ,但由于氮、磷仍然很高,在第一高峰过后,叶绿素 a 连续缓慢下降了2d后,又出现回升,到第8天达到 17.23mg m^{-3} 。水色呈褐色,即赤潮出现。3号围隔中,第4天水色呈黄褐色,第5天水色最深,叶绿素 a 浓度达 17.32mg m^{-3} ,随后水色消退,叶绿素 a 急剧下降至对照围隔中的水平。

2.5.3 浮游植物细胞数量的变化 图 8 示出了浮游植物细胞数量的变化。对照围隔中,细胞数量在第2天和第3天最高,超过了 1×10^6 个 L^{-1} ,而且硅藻的细胞数量占总量的98%以上。海链藻(*Thalassiosira* sp.)成为高峰时的优势种。实验末期降至起始值以下。2号围隔中,细胞数量第3天达 3.3×10^6 个 L^{-1} ,优势种出现明显的更替,海链藻第2天和第3天显示出它的增殖优势,所占百分比由起始浓度的9%增至第3天的91%,在硅藻下降的过程中,丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)略有回升趋势,第5天时占总量的60%,当该种第6天下降时,含硅质很少的扭鞘藻(*Streptothaca thamesis*)开始增加,第8天达 2.8×10^5 个 L^{-1} ,成为硅藻中的优势。实验末期该围隔中出现了二次赤潮,细胞数量超过前一个峰值为 4×10^6 个 L^{-1} ,但这次赤潮种是小型的甲藻和其他鞭毛藻,而不是硅藻,从叶绿素粒径的分级来看,细胞在 20μ 以下的叶绿素 a 含量占总叶绿素 a (17.23mg m^{-3})的84%。3号围隔中,在氮、磷、硅都丰富的情况下,浮游植物以较快的速度增加,第3天仍以海链藻居首位(占71%),第4天当浮游植物总量达顶峰(2.12×10^7 个 L^{-1})时,拟弯角刺藻(*Chaetoceros pseudocurvisetus*)、短弯角藻(*Eucampia zoodianus*)和中肋骨条藻激烈竞争压倒海链藻,三者所占比例均超过20%,随后由于营养盐的耗尽,赤潮逐渐消亡。

从3个围隔中浮游植物种类的组成来看,硅藻在实验初期均为优势,实验后期,其他小型的鞭毛藻和甲藻上升为优势,尤其甲藻在营养盐比较贫乏的时期,非但没限制它的繁殖,而且呈上升趋势,这与李瑞香等^[8]在长江口的围隔实验结果一致,也与陈慈美等^[6]的实验室结果一致,这可能与甲藻对有机营养盐的利用有关。值得注意的是,甲藻中一种有毒的链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum*)在8月份调查水域密度很低,最高密度仅为 6.8×10^3 个 m^{-3} (77μ 的网采样品),但是,在添加营养盐的围隔中,该种细胞每升水可达上万个,尤以3号围隔最多,当硅藻消亡后,它达到 5.9×10^3 个 L^{-1} ,由于这种甲藻含有麻痹性毒素,西班牙和英国规定该种的警戒浓度为 >500 个 L^{-1} ,也应引起密切关注。

3 结论

- (1)本海域的海水透明度较高,一般在2~4.5m之间,除了麦岛附近稍低外,整个调查海域水色感观很好。
- (2)本海域主要污染物是石油类、无机氮和无机磷。其中石油类超标的区域在北海船厂附近,无机氮和无机磷污染可能与麦岛生活污水处理厂排污有关。夏季(8月)该海域浮游植物的生长主要受硅的限制,同时磷也可能是潜在的限制因素。
- (3)浮游植物数量和初级生产力水平8月高于9月,8月的优势种为中肋骨条藻,该种夏季在胶州湾发生赤潮的记录较多^[7],所以夏季中肋骨条藻在该调查水域尤其是离胶州湾口较近的区域赤潮暴发的可能性。
- (4)浮游动物8月的生物量和个体密度很高,其对浮游植物的大量摄食是抑制赤潮的一个有利因素。

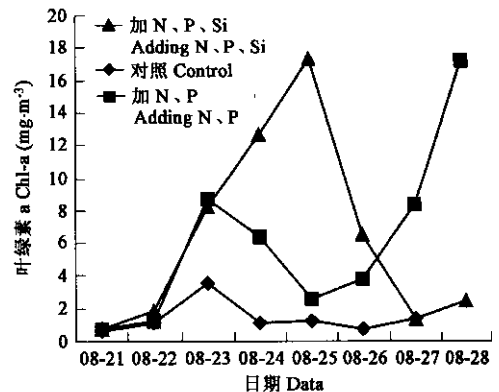


图 7 围隔中叶绿素 a 的变化

Fig. 7 Change of chlorophyll-a in mesocosm

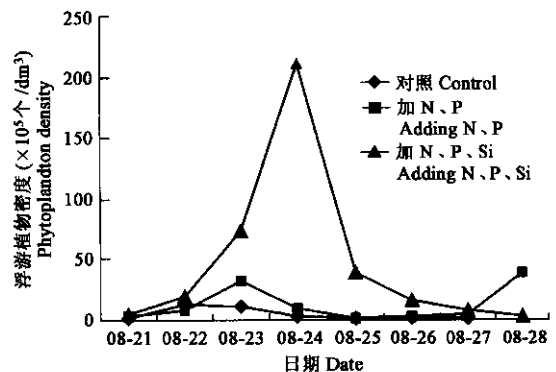


图 8 围隔中浮游植物的变化

Fig. 8 Change of phytoplankton in mesocosm

- (5)围隔实验结果表明,在氮、磷丰富的情况下,加硅会导致海链藻、短弯角藻、丹麦细柱藻和中肋骨条藻中的任何一种赤潮,其中短弯角藻和中肋骨条藻在汇泉湾和胶州湾也曾有过夏、秋季赤潮的记录. 如能控制陆源营养物质的输入,就会减少赤潮暴发的可能性.
- (6)该海域存在一种有毒的甲藻——链状裸甲藻,它的增多会通过食物链传递,危害人类健康.因此应加强对该种类数量甚至毒素监测。

References:

[1] Yang D F, Li H, Zhang Y M, *et al.* The factors and way of limiting nutrient for the growth of phytoplankton. *Marine Science*, 2000, **24**(12):47~50.

[2] Shen Z L, Lu J P, Liu X J. The nutrients in Jiaozhou Bay. *Quarterly of Marine Science*, 1994, **35**:115~129.

[3] Shen Z L. Long-term changes in nutrient structure and its influences on ecology and environment in Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, **33**(3): 322~331.

[4] Zhang J S, Shen Z L. A study of change in nutrient of structure of Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1997, **28**(5):121~127.

[5] Li R X, Zhu M Y, Chen S, *et al.* Responses of phytoplankton on phosphate enrichment in mesocosms. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(4): 603~608.

[6] Chen C M, Biao J J, Wu Y D. The form and concentrition of nutrients and its role in compition of phytoplankton in waste water discharge region. I :response of phosphyte. *Marine Environmental Science*, 1990, **9**(1): 6~12.

[7] Huo W Y, Yu Z M, Zou J Z, *et al.* Outbreak of *Skeletonema costatum* red tide and its relations to environmental factors in Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, **32**(3):311~318.

参考文献:

[1] 杨东方,李宏,张越美,等. 浅析浮游植物生长的营养盐限制及其判别方法. 海洋科学, 2000, **24**(12):47~50.

[2] 沈志良,陆家平,刘兴军. 胶州湾水域的营养盐. 海洋科学集刊, 1994, **35**:115~129.

[3] 沈志良. 胶州湾营养盐结构的长期变化及其对生态环境的影响. 海洋与湖沼, 2002, **33**(3):322~331.

[4] 张均顺,沈志良. 胶州湾营养盐结构变化的研究. 海洋与湖沼, 1997, **28**(5):121~127.

[5] 李瑞香,朱明远,等. 围隔生态系内浮游植物对富磷的响应. 生态学报, 2001, **21**(4): 603~608.

[6] 陈慈美等. 纳污海域营养物质形态及含量水平与浮游植物增殖竞争关系 I. 磷的效应. 海洋环境科学, 1990, **9**(1): 6~12.

[7] 霍文毅,俞志明,邹景忠,等. 胶州湾中肋骨条藻赤潮与环境因子的关系. 海洋与湖沼, 2001, **32**(3):311~318.