

海洋围隔生态系中营养盐和重金属 对浮游生物的影响

庄栋法 林昱

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门)

多年来北美、欧洲、日本和澳大利亚的海洋生态学家和海洋生物地球化学家广泛应用海洋围隔生态系研究营养盐浓度和通量的变化与有关的化学和生物学过程之间的关系。例如, H. S. Peter (1982) 系统综述了营养盐的地球化学循环^[1]。Isao Koike和 Akihiko Hattori 等人 (1982) 利用 CEPEX 详尽探讨沿岸水氮的动力学^[2]。K. Kremling 等人 (1978) 论述了在围隔实验生态系中营养盐的变化和用镉处理的生态系对海洋浮游植物生长的影响^[3]。还有 W. H. Thomas 等人 (1977) 评价了1976年在加拿大不列颠哥伦比亚萨阿尼奇湾的受控生态系污染实验中汞对海洋浮游植物群落的影响^[4]。

继加拿大和中国海洋科学工作者于1983年及1984年在加拿大萨阿尼奇湾进行海洋生态系围隔实验分散原油的生物学效应和化学归宿以及矿渣对海水中重金属影响的研究之后^[5-7], 1985年中国和加拿大海洋科学工作者又在厦门国家海洋局第三海洋研究所的海边大水池进行了添加重金属混合污染物的海洋生态系围隔实验。本文试图通过围隔水体中营养盐浓度的测定结果和有关的生物学实验数据初步探讨营养盐的变化与围隔水体中浮游生物生长之间的关系以及添加重金属混合污染物对浮游生物生长繁殖的影响。

一、实验方法

用特制玻璃钢波形板遮盖实验水池 (长20m, 宽10m, 深5m), 使透过波形板射入水池的光线减弱约50%。实验水池的水与厦门港的海水循环交换, 以保持池内海水温度的基本恒定。将三个直径为2m, 长度为4m的聚乙烯塑料袋分别悬挂在木质浮架下, 用隔膜泵抽取厦门港高平潮的海水经一条150m长管注入各个塑料袋, 每个塑料袋同时纳入约10m³的水体。各个塑料袋水体中添加营养盐的浓度 NO₃ = 5.0, PO₄ = 0.5 和 SiO₄ = 5.0 μmol/dm³ 以刺激浮游生物的生长。三个塑料袋水体中添加重金属混合污染物分别为 M1: 重金属低水平含量袋 (Cu, Pb, Zn, Cd, Hg 的含量分别为 3.5, 0.3, 3.5, 1.0, 0.2 μg/dm³); M3: 重金属高水平含量袋 (Cu, Pb, Zn, Cd, Hg 的含量分别为 10.0, 1.5, 17.5, 5.0, 1.0 μg/dm³); 第3个袋为对照实验袋 (C1)。

每个采样日从C1, M1, M3实验袋的0—3 m深垂直积分采集抽出的海水样品经Whatman GF/C, 55 mm滤纸过滤后, 置冰箱冷藏, 在4 h内用7520型分光光度计以中国海洋调查规范的方法测定磷酸盐和硅酸盐的浓度¹⁾; 采用美国自动分析仪以Friederich等人 and T. R. Parsons等人的方法测定硝酸盐和铵的浓度^[8]; 1985年厦门海洋生态系围隔实验组提供叶绿素a, 初级生产力, 浮游植物和浮游动物的实验数据。

二、结果与讨论

在所有添加重金属混合污染物的围隔水体中, 磷酸盐与硝酸盐比较, 磷酸盐至少提早6天被耗尽(图1, 2), 这一结果表明厦门围隔水体的营养盐限制因子是磷酸盐。

综观图1—4, 对照袋C1中叶绿素a的高峰期出现在实验开始后的第11—14 d内, 此时磷酸盐浓度为0, 随后C1中叶绿素a的含量随磷酸盐的耗尽而大大降低, 且随硝酸盐浓度和硅酸盐浓度的降低而迅速减少。这反映了营养盐浓度的变化影响着浮游植物的生长。同时还可以看出, 在整个实验过程中, 当对照袋C1中磷酸盐的浓度降低到几乎为零后的2—3 d内, 尽管其他营养盐还有一定的含量(硝酸盐浓度为 $3.8-3.6 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$; 硅酸盐浓度为 $33.1-31.2 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$), 然而叶绿素a的含量已大大降低。这表明磷酸盐对围隔水体中浮游植物的生长有较大的影响。陈世敢等人详细调查了厦门附近海域叶绿素含量的分布及其周年变化^[9], 指出叶绿素含量周年的最高峰(6月)正是磷酸盐含量的最低谷, 此时亚硝酸盐浓度为 $0.60 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 。1985年10月—1986年6月我们调查了厦门五通海区的叶绿素a含量和营养盐浓度的背景值, 发现叶绿素a含量与磷酸盐浓度的变化趋势同陈世敢等人的调查结果相类似。可见我们的围隔实验所得结果与上述两者的海区调查结果基本吻合, 这也说明了磷酸盐对厦门海区浮游植物的生长有较大的影响。我们这次围隔实验的结果与加拿大C. S. Wong等人(1983)的围隔实验结果也相当类似, 所不同的是在加拿大萨阿尼奇湾的围隔实验的营养盐限制因子是硝酸盐, 其实验结果还表明硝酸盐不仅影响了浮游植物的生长, 而且还起了限制作用。

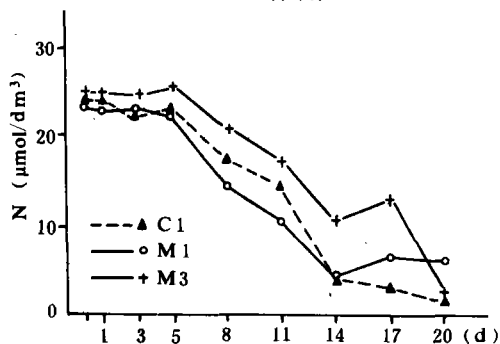


图1 围隔水体中硝酸盐的变化

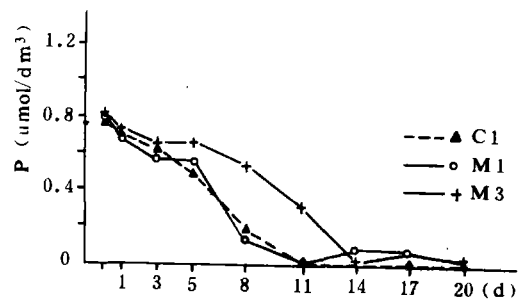


图2 围隔水体中磷酸盐的变化

J. P. Riley 等人指出磷似乎仅以正磷酸盐的形式被藻细胞摄取, 然而特别在磷酸盐供应短缺时, 从海水中的浓度等于或超过正磷酸盐的各种有机磷酸盐而来的磷也可以由于

1) 国家海洋局, 国家海洋调查规范, 1975。

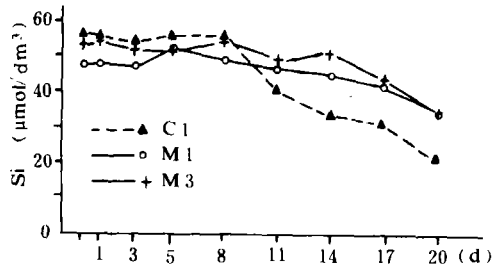


图3 围隔水体中硅酸盐的变化

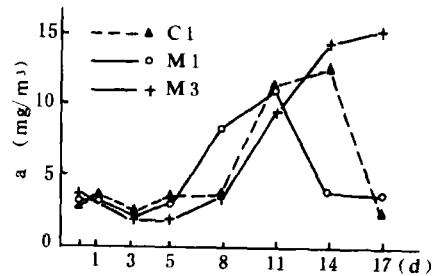


图4 围隔水体中叶绿素a的变化

磷酸酶的活性而被利用。当供应磷酸盐时,大多数藻类都表现出可以积累过量的磷酸盐以颗粒状多磷酸盐储存于细胞中,在没有更多的供给时,这种形式的磷即可用来支持种群的大量生长^[10]。因此不能轻易用海水中正磷酸盐作为浮游植物生长的限制因素,必须综合研究各种形式的磷与浮游植物生长的关系,才能得出可靠的结论。至于磷酸盐对我们的围隔水体或厦门海区的浮游植物的生长是否起限制作用,有待今后应用化学或生物学检验方法对浮游植物的生长与不同形式的磷的摄取之间关系进行调查,加以证实。

从图4可以看出对照袋C1中叶绿素a峰值的消失发生在实验的后期,此时从图5、6可见草食性桡足类浮游动物的数量较迅速增加,铵的浓度也逐渐回升。草食性桡足类的数量变动与铵的浓度变化之间的这种关系也许可以作这样解释,到实验的第11—14d,营养盐浓度迅速下降(其中磷酸盐浓度几乎降至为0),同时浮游植物出现了水华,随之浮游植物大量被草食性桡足类所摄食,从而大大促进草食性桡足类浮游动物的生长繁殖,所以铵浓度的回升很可能是由于草食性桡足类数量的增加,较大量新陈代谢而造成的。这一结果也佐证了营养盐浓度的变化与海洋生物的丰度和种类组成之间是息息相关的。

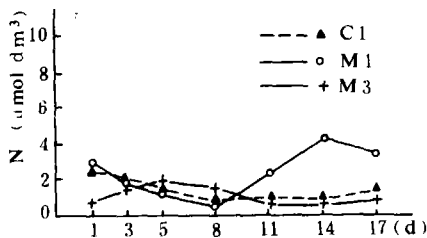


图5 围隔水体中铵浓度的变化

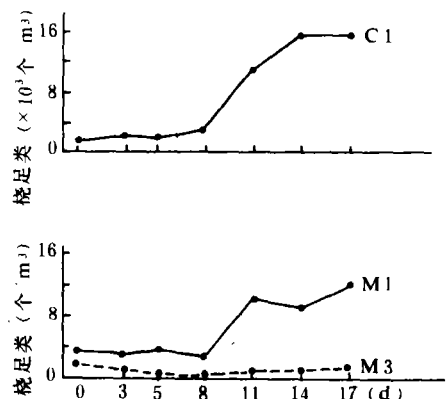


图6 围隔水体中草食性桡足类的数量变化

从图1—4, 7不难看出对照袋C1中硝酸盐、磷酸盐和硅酸盐的浓度下降速度最快, M1中营养盐的浓度下降速度次之,而M3最缓慢。这反映出在实验的前期M3中浮游植物对营养盐的消耗最少,因此M3中叶绿素a的含量和初级生产力在实验的前中期均没有发生很大变化, M3中初级生产力的高峰期比M1迟出现,比C1推得更迟才出现,直至实验第14—17

d 才出现。这种现象说明了在足够营养盐供给的情况下，产生了高水平含量（M3比C1高近30倍）的重金属混合污染物抑制海洋浮游植物生长繁殖的生态效应，但是并没有引起浮游植物种群的演替，在整个实验周期硅藻一直是优势种。

将图3与图8、9作比较，显而易见在实验第8d以后，对照袋C1中硅酸盐的浓度急剧减少，而硅藻总数（包括中心硅藻和羽纹硅藻）却随之迅速增加。与C1比较，在实验第8—17d，M3中硅藻总数（主要指中心硅藻）随着硅酸盐的浓度平稳减少而增加，可是其增加的幅度大大低于C1，这证明了硅藻的生长在一定程度上受到高水平含量的重金属混合污染物的抑制。然而从实验起始至末了，M1中硅酸盐的浓度一直相当缓慢地减少，这充分表明由于M1中硅藻的生长受到抑制，硅藻总数几乎没有增加多少（其最高值仅265个/cm³），所以硅酸盐很少被硅藻所利用，直至实验中后期，M1中微型鞭毛藻的数量突然激增，此时微型鞭毛藻便成为M1的优势种。

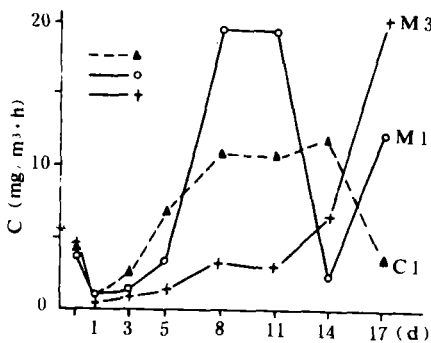


图7 围隔水体中初级生产力的变化

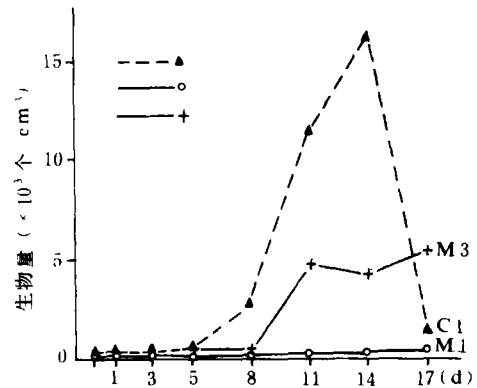


图8 围隔水体中硅藻的生物量变化

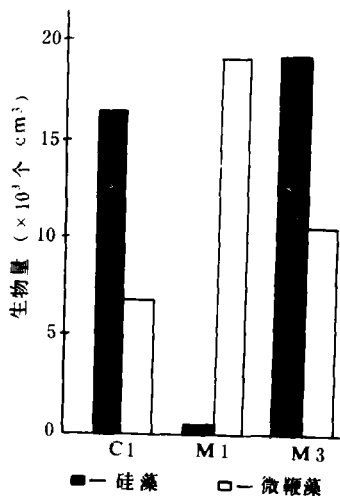


图9 围隔水体中硅藻与微鞭毛藻的生物量最高值对比

综上所述，我们的实验结果表明：（1）厦门围隔水体中营养盐限制因子是磷酸盐，且磷酸盐对围隔水体中浮游植物的生长有较大的影响；（2）当有足够营养盐供给的情况下，在围隔水体中产生了高水平含量的重金属混合污染物抑制浮游植物生长繁殖的生态效应；（3）添加低水平含量的重金属混合污染物引起海洋围隔实验生态系的较大变化，浮游植物种群之间发生了明显的演替

现象，其结果出现了硅藻的生长受到抑制，而微型鞭毛藻却大量生长繁殖。

参 考 文 献

- [1] Peter, H. Santschi, Application of enclosures to the study of ocean chemistry, *Marine Mesocosms*, Springer - Verlag, 1982, 63-80.
- [2] Isao Koiko, *et al.*, The use of enclosed experimental ecosystems to study nitrogen dynamics in coastal waters, *Marine Mesocosms*, Springer - Verlag, 1982, 291-304.
- [3] Kremling, K. *et al.*, Studied on the pathways and effects of cadmium in controlled ecosystem enclosures, *Mar. Biology*, 1987, 48: 1-8.
- [4] Thomas, W. H. *et al.*, Controlled ecosystem pollution experiment; Effect of mercury on enclosed water column, III. Phytoplankton population dynamics and production, *Mar. Sci. Comm.*, 1977, 3: 331-354.
- [5] Parsons, T. R. *et al.*, An experimental marine ecosystem response to crude oil and corexit 9527; Part 2—Biological effects, *Mar. Environ. Res.*, **13** (1984), 265-275.
- [6] Wong, C. S. *et al.*, An experimental marine ecosystem response to crude oil and corexit 9527; Part 1—Fate of chemically dispersed crude oil, *Mar. Environ. Res.*, **13** (1984), 247-263.
- [7] Wong, C. S. *et al.*, The effect of marine tailings on levels heavy metals in sea-water, *Acta Oceanologica Sinica*, **5** (1986), 3: 401-415.
- [8] Parsons, T. R. *et al.*, *A manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*, Pergamon, 1983, 3-25.
- [9] 陈世敢等, 厦门附近海域叶绿素含量分布及其周年变化, 台湾海峡, **2** (1983), 2: 66-75.
- [10] J. P. 赖利, G. 斯基罗主编, 化学海洋学, 第二卷, 海洋出版社, 1982, 435-436.