

铁对浮游植物生长影响的研究进展*

ADVANCES IN STUDIES ON THE EFFECT OF NUTRIENT Fe ON THE GROWTH OF PHYTOPLANKTON

杨东方 谭雪静

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

浮游植物初级生产是海洋食物链的第一环节。光、温度和营养盐是影响海洋浮游植物光合作用的重要环境因子。这些环境因子的影响效应表现在藻类生长与繁殖的快慢。因此,人们对抑制浮游植物生长的营养盐是哪一种元素,众说纷纭。随着时间流逝,科学的发展趋势和研究结果使人们目前逐渐了解营养盐对浮游植物生长影响的机理和过程,同时,也了解营养盐生物地球化学过程。国内外学者对营养盐的研究也不断加深,研究结果也日新月异。本文主要阐述铁对浮游植物的增长影响和目前的研究进展。

1 铁是浮游植物生长的限制因子的起源

1982年, Gordon 等第一次发表的“海水中溶解铁的断面”,显示了铁在海水表层耗尽到亚微摩尔级。这使人们思考铁可能是在广阔海域的生物限制因子。

1988年, Fitzwater 和 Gordon 发表了加铁的实验结果,这些实验是取之太平洋近北极 HNLC(High nitrate low chlorophyll, 高氮量低叶绿素量)海区的海水装入瓶中在甲板上进行的。从这些实验结果可以看出,在这些海域的浮游植物对营养盐的低利用是与铁的限制有关。

1988年6月,在伍兹霍尔海洋研究所的研讨会

上,在温室效应的可能调解的文中, Martin 首先提出了用铁作为肥料大尺度给 HNLC 海域施肥的概念。

1989年春季,国际研究委员会总结:通过提高新初级生产力,减缓大气中 CO₂ 的增加,在概念上是切实可行的,并作了进一步推荐。在经过慎重的考虑建立相关模型和初步实验之后,实施了国际的瞬间加铁实验。

1991年2月一个特别美国团体召开了关于海洋湖沼(Limnology and Oceanography)的学术会议,重点讨论在广阔的高营养盐海域控制浮游植物生产力的问题。1991年, Chisolm 和 Morel 提出“铁的假定”或者“控制 HNLC 海区的营养盐吸收的因子”。虽然提出些质疑。认为用铁作为肥料来降低 CO₂ 增加是具有科学性的不确定缓和措施,并敦促不要考虑把铁当肥料作为一个政策。但是人们一致同意的解决方法是:保证以不封闭的加铁实验作为唯一的办法,来说明在整个食物链的中加铁是否会导致净群落生产的提高^[1]。

铁实验 I 和其后的铁实验 II 的结果证明了赤道太平洋生态系统的生物集群在加铁后具有直接和明确的反应。这些实验在某种程度上提供了一个有力

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告 3709 号。

收稿日期:1999-02-01;修回日期:1999-03-10

的证据来支持 Martin“铁的假定”,这些实验也证明了这种现场实验是切实可行的。正如 Chisolm 和 Marel 1991 年所说的,对于广阔海域生态研究不必限定在被动的观察和瓶的实验及“通过培养瓶的变形镜片来审视海洋世界”。在未来的海洋研究中地球化学和生态研究方式的改变是非常重要的^[1]。

虽然在 20 世纪 80 年代后期之前,海洋营养盐中铁的重要性就已经被认识到,但是,只有 Martin 小组是第一次在海水中用快捷的方法测试了铁的假定,近些年来许多研究表明,在自然浮游植物集群中添加微摩尔的铁就会提高光合成电子输送效率和初级生产力。在船上的瓶中培养实验和中尺度几公里的现场实验都看到这个结果^[2]。在太平洋近北极的水域,在高纬度的南大洋和东赤道太平洋都显示了铁作为限制因子在起作用。

2 铁是浮游植物生长的限制因子的证据

铁对现代海洋初级生产力限制的直接证据是通过现场在赤道太平洋东部(HNLC 海区)加铁的研究^[3]。研究人员发现加铁后,光化学能储藏效率提高、生物量增加、初级生产力提高^[3,4]。间接证据是在 HNLC 海域加铁后发现:在铁的来源的下流区域,在赤道太平洋^[3]和 1993 年 Sullivan 等人调查的南大洋有高浓度的叶绿素持久板块。在小尺度上,发现在南极前沿内初级生产力和浮游植物生物量与铁浓度正相关^[5]。

3 结果

最近的研究认为,在铁贫瘠的海区铁的作用是限制氮的固定^[6]。Hutchins 和 Bruland^[7],Takeda^[8]的研究显示了与氮相比硅藻对硅的吸收受到铁的影响。又 Hutchins 和 Bruland 检测了上升流如 the California Current, northern California, Big Sur 海区的环境中加铁的影响。他们研究最初的目标是证明在这个区域初级生产力是否受到铁的限制作用。研究结果显示这些沿岸海区的初级生产力不受铁限制。他们认为,河流和大陆架的沉积提供了大量的营养盐供给。然而在 Big Sur 海区,低的冲积输入和窄的大陆架减少了铁的来源。Hutchins 和 Bruland 认为上升流强有力的营养盐的提供和低铁量的输入导致了加利福尼亚沿岸的 HNLC 环境。

Hutchins 和 Bruland^[7]在实验室里研究表明,加铁几天后,培养的自然浮游植物集群的增殖率和氮吸收率就提高了。从自然含铁量较高的附近海域采集的样品,加铁后,浮游植物并没有进一步增长。这个结果说明了铁的重要性。也就是说,在不缺铁的海域其浮游植物增长不受加铁的影响,而在缺铁的海域,浮游植物的增长却受到铁的影响,加铁后,浮游植物增长迅速。认为在 HNLC 的海域,铁是限制因子。

4 存在的问题

在以前的试验中,表明生产效率的提高几乎完全是由于大型硅藻的反应,这些大型硅藻特征之一是它们具有硅质的骨架。然而,以前并没有监测铁的提高对硅吸收的影响。在新近的实验中进行的监测结果表明,加铁后,硅藻增殖迅速,而且,吸收氮更快。但是,这种过度增长对硅的吸收影响却是微不足道的,以致, Si : N 的比率在铁贫瘠海区要比加铁后的培养要高达 2~3 倍^[8]。

从以上分析研究可以得出这样的结论:铁无论是在实验室培养瓶中的缺铁的海水中,还是在大规模缺铁的海洋里,尤其在低营养盐、低浮游植物生物量的海区里,都使海水中的浮游植物过度猛增。同时,在陆源提供充足的营养盐的海区,其中铁的量级较高,再加铁,也不会使浮游植物迅速增殖,从这些结果来看,铁对浮游植物生长有着重要的影响。然而,最新研究表明,浮游植物中铁能使之迅速增殖的种类竟是大型硅藻,而且,硅藻在加铁后,对硅的吸收几乎不增。从这个结果来看,作者认为对浮游植物生长来说,由于铁改变了浮游植物的吸收比例,这样,要么铁是硅替代品,要么铁改变了浮游植物本身的结构。因此,铁是否为浮游植物生长的限制因子是值得进一步思考的,相信在不久的将来从营养盐的角度会发现,也许,我们推测硅是浮游植物的生长限制因子。

参考文献

- 1 Kenneth Coale. *Deep-sea Research Part*, 1998, 45(6):915~918
- 2 Coale, K. H. *et al.* *Nature*, 1996, 383:495~501
- 3 Martin, J. H. *et al.* *Nature*, 1994, 371:123~129
- 4 Kolber, Z. S. *et al.* *Nature*, 1994, 371:145~149
- 5 De Baar, H. J. W. *et al.* *Nature*, 1995, 373:412~415
- 6 Falkowski, P. G. *Nature*, 1997, 387:272~275
- 7 Hutchins, D. A., Bruland, K. W. *Nature*, 1998, 393:561~564
- 8 Takeda, S. *Nature*, 1998, 393:774~777