



(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

王 勇 焦念志:

营养盐对浮游植物生长的上行效应的研究方法*

RESEARCH METHODS FOR NUTRIENT BOTTOM - UP EFFECT ON PHYTOPLANKTON GROWTH

浮游植物是海洋食物链的第一个环节,它们通过光和作用将无机物转化为有机物,为海洋中的一切生命活动提供物质和能量来源。在海洋生态系统的研究中,与浮游植物有关的一些生态过程及其动力学研究,正越来越受到人们的重视。浮游植物的生长受到营养盐的调控:在一定的浓度范围内,营养盐对浮游植物有正的作用,但如果营养盐浓度过低,则会对浮游植物的生长产生限制性作用;同样,如果浓度过高,则会产生富营养作用,严重时,还会导致赤潮的发生。

1 研究方法

1.1 评估营养盐对浮游植物限制作用的方法

营养盐对浮游植物的控制和调节作用统称为上行效应,用来评估营养盐对浮游植物的限制作用的方法主要分为4类。

1.1.1 生理法 一些生物新陈代谢的特征被用来指示营养盐的限制性。如浮游植物的生长率、新陈代谢率是否受到营养盐本底值的调控。Goldman等1979年用藻细胞内的化学物质组成与生理反应来反映营养盐的限制性。虽然藻的种类不同,但大多数藻对营养盐的限制性有相似的生理反应,所以这些反应用来指示营养盐的水平是有用的。但这些观察结果只能反映瞬时的情况,对整个生态系统的描述则需要重复取样。

1.1.2 数学法 统计方法或

动态/数值模型。如营养盐本底值与浮游植物生物量,生产力的相关性分析,或浮游植物对营养盐输入的数学响应模型。该方法应用较为广泛,理论价值较高。

1.1.3 化学算法 计算无机营养盐在负荷(Loadings)上的相对可得性,或水体中营养盐溶解现存量或颗粒现存量被用来指示营养盐的限制或耗尽。溶解营养盐的浓度被最早用来指示营养盐的限制性。这些主要基于一些负的实

* 国家重点基金资助项目 39630060 号和国家自然科学基金资助项目 39625008 号。

收稿日期:1999-08-31;

修回日期:2000-03-21



验证证据,例如 Nixon 与 Pilson 1983 年发现,当海水中磷酸盐仍然可测时,溶解硝酸盐已经检测不到,暗示氮(N)可能比磷(P)更限制浮游植物的生长。但是在营养盐浓度无法检测得到的情况下,仍然有许多浮游植物种类对 N, P 有很高的亲和能力,因此藻的生长并未受到营养盐的限制,所以在目前的分析水平下,用溶解营养盐数据是无法说明营养盐限制作用的。营养盐数据可用来计算水体生态系统中营养盐的通量,如果藻的生长对某种营养盐通量的依赖性超过其他营养盐的通量,这种营养盐就更限制藻的生长。

1.1.4 增长评估法 在浮游植物的培养液中,或圈定自然浮游植物群落,或整个生态系统添加营养盐,通过浮游植物生物量或数量的变化情况来反应营养盐的作用。

1.2 用数学模型反映营养盐对浮游植物的控制作用

现在越来越多的人喜欢用数学模型来反映营养盐对浮游植物的控制作用,但正如 Olli^[3]等, Heiskanen^[1], Zettler^[4]等以及 Hillebrand 与 Sommer^[2]所强调的,增长评估法是研究营养盐限制浮游植物生长的最佳方法。其研究手段主要是营养盐添加实验,一般是将一种或多种营养盐添加至一定体积的海水中,经过一段时间的培养,以检查浮游植物的生长是否受到营养盐添加的促进。但实验结果与测试系统的大小有密切关系。一般分为 4 个层次水平。

1.2.1 藻种培养实验 在特定海区采集浮游植物样品,分离纯种,在海水或培养基中(可更新)添加一种或多种营养盐,实验室条件下培养,通过培养期间浮游植物的

数量和生物量的变化来反应营养盐添加对浮游植物的影响。时间尺度为几个小时至几天,培养的水体体积在 $10^{-3} \sim 10^0 \text{ m}^3$ 左右。该方法的优点是可对浮游植物生长的所有参数进行完全的调控,从某种意义上讲是设计者的思路决定了实验的价值。数据可以进行多种严格的统计分析。缺点是培养的种系组成与野外的浮游植物群落组成不相同,而且实验条件不能反映自然海区的现场状况。

1.2.2 群落培养实验 基本是现场实验,采集海水,简单处理后,添加营养盐,模拟现场条件(主要是光照与温度)培养,可较长时间观察营养盐对浮游植物的作用,时间尺度为几天,培养的水体体积在 $10^{-3} \sim 10^0 \text{ m}^3$ 左右。该方法的优点是实验中浮游植物群落的组成和自然状况几乎一致,同时还有小型浮游动物存在(但去除了大型浮游动物,以免造成复杂的随机影响),实验在现场进行,条件基本能反映现场的状况,因此实验结果对野外情况有较真实的反映。缺点是不能完全排除瓶子效应,且是以小样本反映总体,所以有一定的局限性,该方法实验数据的统计处理性较第一种下降。现在比较普遍的是这种方法,对于各种营养元素的研究都较适用。

1.2.3 围隔——中尺度实验 在自然海区隔离一片水面形成围隔,在围隔中添加营养元素,通过生物量,营养盐以及其他生物、化学指标来反应营养盐添加对浮游植物生长的作用。该方法操作接近现场,生物群落与自然状况完全一致(有小型浮游动物与大型浮游动物,有些围隔中还有小型鱼类)。同时,围隔中的海水可与大

气,底质进行营养物质的交换,且影响水体的理化指标和周围海区一致,可以进行长期检测,时间尺度为几天至几个月,培养的水体体积在 $10^1 \sim 10^3 \text{ m}^3$ 左右。缺点是可控性不高,数据的统计处理能力进一步降低。另外围隔实验中还有室效应(Chamber effect)或壁效应(Wall effect),这影响到两周后实验数据的可靠程度。

1.2.4 生态系统水平实验 对一定面积的海区进行营养盐的添加实验,生物组成与自然状况完全一致(包括小型浮游动物,大型浮游动物,鱼类种群等对浮游植物生长有调控机制的生物群落),同时除添加营养盐外,所有影响浮游植物生长的理化因子也同自然状况相同,有与大气的交换,有与沉积物的交换,系统内的营养盐交换,动植物之间的相互作用等,时间尺度为几天至数年,培养的水体体积在 $10^6 \sim 10^{18} \text{ m}^3$ 左右,实验结果真实可靠,是研究营养盐对浮游植物上行效应的最直接方法。但操作难度大,难以重复实验,实验结果难以进行统计分析。

根据受河水输入还是深海水输入影响程度的不同,海洋生态系统被分为河口湾、沿岸以及大洋生态系统。但无论是那一种生态系统,与淡水生态系统相比较,第 III 等级水平的实验就已经是海洋生态系统中最高等级的富营养化实验了(有弱潮汐交换的小海湾除外),因为海洋生态系统水体体积太大,而且水体的边缘难以区别且不断变化。因此,第 IV 等级水平的富营养化实验在海洋生态系统中几乎就没有应用。目前在海洋生态系统中应用最广泛的是第 II 等级水平的富营养化实验。

2 研究展望

海洋中营养盐对浮游植物的控制机制,是海洋生态学研究的一个基本问题。全面地了解世界各大洋及主要海区的营养盐可得性状况及其对初级生产过程的调控作用,对于海洋资源评估、海洋物质通量以及全球气候变化研究具有重要意义。例如按照 Martin 等 1990、1991 年的“铁(Fe)假说”理论,若确认 Fe 是大洋生物泵的“启动子”的话,通过向大洋施加有限量的 Fe 肥,有效地提高海洋固碳能力,从而对大气二氧化碳产生调控作用,在一定程度上可缓解全球气候变暖。

就我国海区研究状况而言,以往海洋普查,中美、中日联合调

查以及近些年的 JGOFS、LOICZ 和其他国家和地方研究课题、基金课题等均在营养盐、生物量、生产力观测等方面做了大量的工作,积累了宝贵的数据资料。但目前有关过程研究相对较少,现场实验研究数据有限,因而目前还很难对我国各海区的营养盐对浮游植物生长的调控作用作出较全面客观的定论。例如,哪些海区明显富营养化,哪些海区存在营养盐限制?是常量营养盐还是微量(痕量)元素限制?常量营养盐中是 N 还是 P 更限制,或两种同时或交替限制?是否存在硅限制?程度如何?微量营养盐中起主导作用的是哪种元素?大洋主要海区缺乏的 Fe 是否在边缘

海也缺乏?近岸海水中丰富的铜对群落结构有何影响等等。所有这些问题都需要大量的实验数据特别是现场培养及至围隔实验数据来回答。只有这些问题明确了,生态系统群落结构、物质循环以及生态系统的研究才会有较扎实的基础。

参考文献

- 1 Heiskanen A.S. . *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1996, 145: 195 ~ 208
 - 2 Hillebrand H. and Sommer U. . *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1997, 160: 35 ~ 46
 - 3 Olli K. et al. . *J. Plankton Res.*, 1996, 18(9): 1587 ~ 16044
 - 4 Zettler E. R. et al. . *Deep Sea Research II*, 1996, 43: 1017 ~ 1029
- (本文编辑:张培新)