

二十年来渤海生态环境参数的演化和相互关系

④
15-19

于志刚, 米铁柱, 谢宝东, 姚庆祯, 张经

(青岛海洋大学化学化工学院, 山东 青岛 266003)

X145
X171

摘要: 通过系统分析近20 a来渤海中部海域3 a(1982~1983, 1992~1993, 1998~1999年)10航次的生态环境特征参数的变化, 描述了变化趋势, 初步讨论了各特征参数之间的相互关系。研究发现, 近20 a来, 渤海中部营养盐的浓度和结构(N/P和Si/N)均发生了显著变化, 表现为: 硝酸盐、亚硝酸盐、总无机氮持续增加, 活性磷和硅显著降低, N/P值升高, Si/N值下降。N/P值3 a的五月和十月平均值分别为1.64、5.24和16.12, Si/N值分别为13.2、3.87和1.32。渤海中部海域氮限制的状况正在逐步改变, 活性硅和磷从供给充分改变为硅和磷限制的临界; 渤海营养盐结构若按此趋势演化, 必将造成磷和硅限制。黄河口及毗邻海域磷很低, 不是渤海磷的主要来源, 而氮和硅主要由黄河输入, 近几年来黄河断流减少了主要由风化过程产生的硅的入海量, 而农用化肥的流失总量并未改变, 这是造成上述变化趋势的主导因子。渤海赤潮近几年频发, 硅的减少使硅藻生长受到了较大压力, 从而间接地助长了甲藻的生长可能是一个重要原因。

关键词: 渤海; 生态系统; 营养盐; 赤潮

中图分类号: X171

文献标识码: A

生态环境, 环境参数

文章编号: 1007-6336(2000)01-0015-05

Changes of the environmental parameters and their relationship in recent twenty years in the Bohai Sea

YU Zhi-gang, MI Tie-zhu, XIE Bao-dong, YAO Qing-zhen, ZHANG Jing

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China)

Abstract: The series data of nutrients and biological parameters in the central Bohai Sea for 20 years were reviewed. It is found that both concentration and relative content of nutrients were changed dramatically. The increase of nitrogen and decrease of phosphate and silicate led to the dramatically increase of N/P ratio and the decrease of Si/N ratio. The average ratio of N/P in May and October in the central Bohai Sea was increased from 1.64 in 1982~1983 to 16.2 in 1998~1999, but the average ratio of Si/N was decreased from 13.2 in 1982~1983 to 1.32 in 1998~1999. The situation of nitrogen limiting in the central Bohai Sea was gradually changing to that of relative lack of phosphate and silicate. The decrease of Yellow River flow into to Bohai Sea may be resulted in this change. These may limit the growth of diatom and thus promote the development of pyrophyta if other conditions (e.g. temperature and hydrodynamics) were suitable. This may be the major factor for pyrophyta red tide occurred in Bohai Sea.

Key words: Bohai Sea; ecosystem; nutrients; red tides

近20 a来, 渤海生态环境发生了比较显著的变化, 赤潮发生次数不断增加, 渔业资源衰退, 引起了各界的广泛关注, 有的学者甚至发出了渤海面临“荒漠化”的警告。但是这些问题决非是一时形成的。因此, 根据历史资料研究渤海环境参数的变化, 分析各参数之间的相互关系, 将有助于认识渤海环境恶化的机制并预测发展趋势, 为渤海生态环境的保护与修复提供依据。

收稿日期: 1999-08-27, 修改稿收到日期: 1999-10-25

基金项目: 国家自然科学基金重大项目资助课题(497901001)

作者简介: 于志刚(1962-), 男, 山东青岛人, 博士, 教授, 主要研究方向为海洋生物地球化学。主持完成了一项国家自然科学基金和一项山东省自然科学基金, 参加完成了多项国家自然科学基金课题。发表论文30余篇。

1 资料来源和方法

近 20 a 来,渤海有 3 次较大、较系统的海洋调查 1982~1983 年和 1992~1993 年的“六五”、“八五”期间国家对渤海的生态环境和生物资源的调查^[1];1998~1999 年的国家自然科学基金重大项目和中—德渤海生态系联合调查。前两次在 2、5、8、10 月进行,分别代表冬、春、夏、秋季,1998~1999 年的调查只在 5 月和 10 月进行。为保持资料的可比性,同时也是为了避开近岸水域受偶然事件影响较大的问题,所分析的数据仅限于渤海中部海域(118.5°~121.0°E,38.0°~39.0°N)。

3 次资料在经选择和处理后,区域均位于前述的中部水域。因为 1998~1999 年仅有 5 月和 10 月资料,故除非特别说明,均指五月和十月的平均值。

调研项目:硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、磷酸盐、硅酸盐、叶绿素 a、初级生产力、浮游植物个体总量和浮游动物生物量。其中生物参数目前只讨论 1982~1983、1992~1993 年数据。

数据统计分析方法:营养盐数值均取渤海中部海域里各测站表、底层数值的平均值,生物参数均取渤海中部海域各测站表层数值的平均值。

2 结果与讨论

2.1 渤海营养盐浓度的变化

渤海中部水域 3 a 营养盐 5 月和 10 月的平均值见表 1。

表 1 渤海中部水域营养盐 5 月和 10 月的平均值($\mu\text{mol/L}$)

Tab. 1 Average concentration of nutrients in May and October in the central Bohai Sea ($\mu\text{mol/L}$)

营养盐	1982~1983	1992~1993	1998~1999
磷酸盐	1.06	0.33	0.31
硅酸盐	23.00	6.70	6.60
亚硝酸盐	0.08	0.16	0.63
氨氮	0.57	0.24	0.82
硝酸盐	1.10	1.32	3.55
总溶解无机氮	1.75	1.72	5.00
N/P	1.64	5.24	16.12
Si/N	13.20	3.87	1.32

从表 1 可知,近 20 a 来渤海中部海域磷酸盐总的变化趋势是下降,1998~1999 年不到 1982~1983 年的 1/3,但在 1992~1993 年至 1998~1999 年间变化幅度不大。

硅酸盐的变化趋势与磷酸盐一致,但变化幅度不同,且季节影响很大。5 月枯水期硅酸盐含量的下降幅度明显高于 10 月丰水期(图 1)。说明黄河断流是造成渤海硅酸盐含量下降及下降幅度呈现季节性变化的主要因素,表 2 为近 20 a 来黄河利津段断流天数统计^[2]。

从无机氮的 3 种不同的具体形式来看:亚硝酸盐持续上升且幅度很大,1982~1983 年仅为 $0.08 \mu\text{mol/L}$,1992~1993 年为 $0.16 \mu\text{mol/L}$,而 1998~1999 年已高达 $0.63 \mu\text{mol/L}$,近 20 a 来上升了 8 倍。硝酸盐也升高了,1982~1983 年为 $1.10 \mu\text{mol/L}$,1992~1993 年为 $1.32 \mu\text{mol/L}$,1998~1999 年为 $3.55 \mu\text{mol/L}$ (图 2)。与磷和硅不同,总溶解无机氮(DIN)含量升高(图 3)。氨氮的变化不明显。

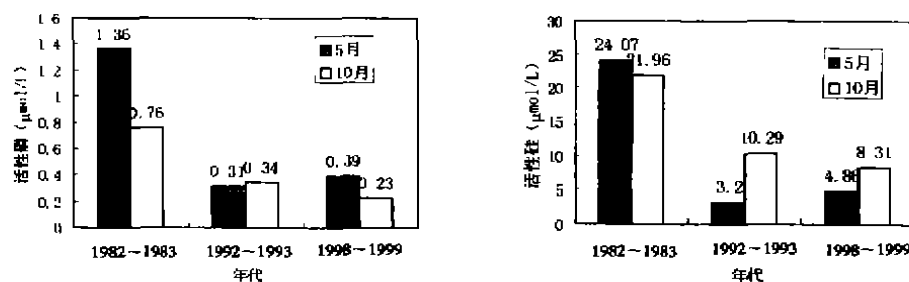


图 1 不同月份渤海中部海域磷酸盐、硝酸盐的变化

Fig. 1 Content of phosphate and silicate in differential month in the central Bohai Sea

表 2 黄河利津段断流天数统计

Tab.2 Days of the drying up of Yellow River at Lijin hydrologic station

年份	1982	1983	1987	1988	1989	1991	1992	1993	1994	1995
断流天数	10	5	17	4	20	13	72	61	74	119

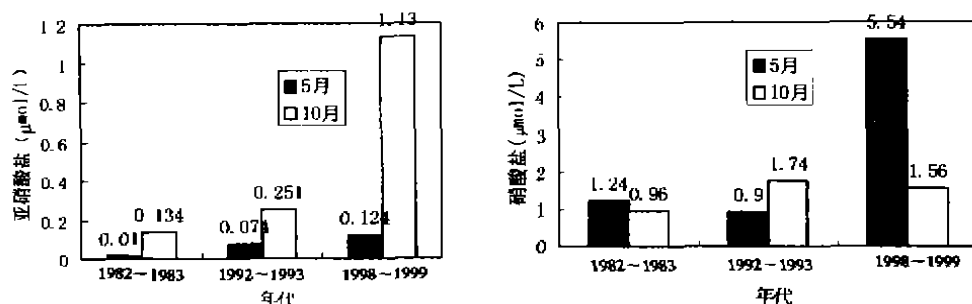


图 2 不同月份渤海中部海域亚硝酸盐、硝酸盐的变化

Fig.2 Content of nitrite and nitrate in differential month in the central Bohai Sea

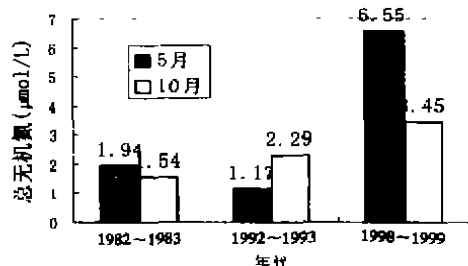


图 3 不同月份渤海中部海域总无机氮的变化

Fig.3 Content of dissolved total inorganic nitrogen in differential month in the central Bohai Sea

2.2 渤海营养盐结构的变化

这里所谓的营养盐结构,指营养盐的相对

组成,即 N/P 值和 Si/N 值。

N/P 值是考察海区营养盐结构的重要指标,通常以 Redfield 值 $N/P = 16$ 为开阔海区的适宜值。渤海中部海域的 N/P 值近 20 年来大幅度上升,5 月和 10 月平均值 1982~1983 年为 1.6,1992~1993 年为 5.3,1998~1999 年猛增到 16.2,从图 4 可以清晰地看出这一变化趋势。渤海中部海域从 1992~1993 年以前明显的氮限制演化为 1998~1999 年的 N/P 值接近 Redfield 值,主要是由于无机氮的升高所致。若此趋势继续发展,会导致磷供给的相对不足,相应地会使生态系统对磷的浓度变化十分敏感。

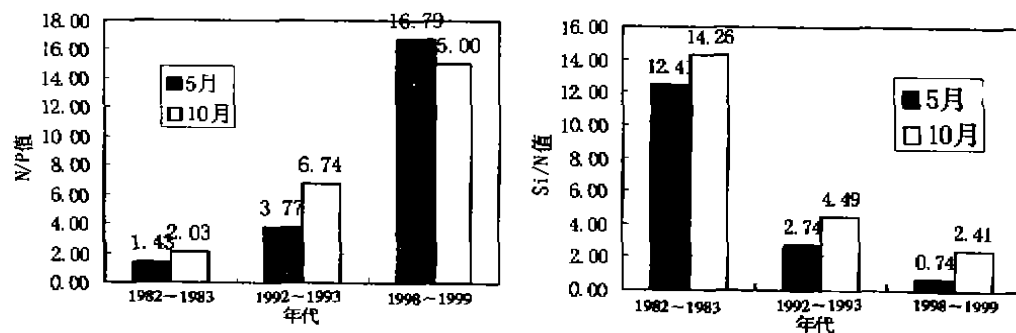


图 4 不同月份渤海中部海域 N/P 值和 Si/N 值的变化

Fig.4 Ratio of N/P and Si/N in differential month in the central Bohai Sea

渤海 Si/N 值的变化也十分显著,5 月与 10 月平均值 1982~1983 年为 13.2,1992~1993 年为 3.87,1998~1999 年则下降为 1.32。从图 4 可以看出 5 月份(枯水期)Si/N 比值变化更加显著,5 月份从 1982~1983 年的 12.4 下降到 1998~1999 年的 0.74, Si/N 值的下降主要是黄河断流从而减少了活性硅的入海量所致,以及前述近 20 a 来无机氮大量增加所致。

Hutchins 等^[3]近来研究发现,近岸水体中浮游植物吸收硅和氮的比例,若铁供给充分,一般 Si/N 为 0.8~1.1;若存在铁限制,则吸收硅和氮的比例上升 2~3 倍,一般 Si/N 为 1.6~2.7。亦即当铁限制时,浮游植物对硅的吸收增强。渤海中是否存在铁限制,尚无法作出判断,但一般考虑,铁应当是充分的。这样,适宜的 Si/N 比应为 1.0 左右。按照这样的标准,1998~1999 年 5 月份渤海 Si/N 比已经达到了 0.74,因此,就硅和氮的供给来看,渤海中部海域也从硅供给相当充分演化为比例适当,并向着硅相对不足的方向发展。

综合以上可以看到,近 20 a 来渤海中部海域氮、磷、硅的供给从氮限制向磷和硅供给相对不足方向演化,主要原因是无机氮增加而活性磷和硅下降;估计农用化肥的流失、黄河断流是产生这一变化的主要因素。这一方面会使硅藻生长有较大压力,间接地助长了甲藻的生长,同时又使生态系统对磷的变化十分敏感,当其他条件(水动力稳定、适宜的温度和光照等)具备,这二点均可能成为诱发渤海甲藻赤潮的危险因素。故这一变化趋势应引起高度重视,进行更多、更全面的观测和研究。

2.3 渤海中部水域初级生产者和浮游动物生物量的变化

因为 1998~1999 年资料不全,此处仅对 1982~1983 和 1992~1993 年的资料作一简单说明。数据取自表层,年平均指中部海域各测站 5、8、10 和 2 月的平均,结果见图 5。可以看到,自 1982~1983 年到 1992~1993 年

10 a 间,反映初级生产者生物量的数值降低了约 1/3,同时浮游动物生物量则上升约 1/3。

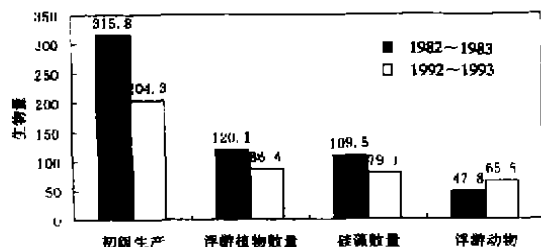


图 5 渤海中部海域年平均生物量的变化
单位:初级生产力($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$);浮游植物数量(10^4 cells/ m^3);硅藻数量(10^4 cells/ m^3);浮游动物(mg/m^3)

Fig. 5 Annual average biomass in the central Bohai Sea

2.4 渤海中部水域营养盐、初级生产者和浮游动物生物量的关系

考虑到资料的完整性,这里也只分析 1982~1983 年到 1992~1993 年 10 a 间的情况。此 10 a 间,活性磷和硅年平均值分别从 $1.06 \mu\text{mol}/\text{L}$ 和 $23.0 \mu\text{mol}/\text{L}$ 大幅度降低为 $0.33 \mu\text{mol}/\text{L}$ 和 $6.7 \mu\text{mol}/\text{L}$,总无机氮则几乎未改变(分别为 $1.74 \mu\text{mol}/\text{L}$ 和 $1.73 \mu\text{mol}/\text{L}$);与此相应,N/P 的年平均值从 1.64 增加为 5.24, Si/N 值从 13.2 降低到 3.57,磷和硅的相对量尽管都减少了,但是,渤海中部海域氮限制的情况并未改变。

相关分析表明,浮游植物细胞总数和硅藻的个体数量与营养盐存在一定的关系。与无机氮的相关系数分别为 0.659 与 0.664,这从另一个方面说明 80 年代 10 a 间氮是渤海中部海域浮游植物生长的一个限制因子。浮游植物个体数量与磷酸盐含量的相关系数为 0.432,这表明,尽管此间渤海中部为氮限制,但磷酸盐浓度却是浮游植物生长的另一个限制因子。邹景忠等^[4]提出浮游植物繁殖生长所需要的磷酸盐起码浓度为 $0.48 \mu\text{mol}/\text{L}$,而渤海中部海域磷酸盐含量从 1982~1983 年每季度都大于 $0.6 \mu\text{mol}/\text{L}$ 降低到 1992~1993 年有 3 个季度磷酸盐不到 $0.4 \mu\text{mol}/\text{L}$,可说

明渤海浮游植物的减少与该海域磷酸盐含量的减少有一定的关系。硅藻是渤海的优势种,但渤海中部海域浮游植物细胞总数与硅酸盐含量的相关系数仅为 0.222,表明无论从绝对量还是相对量来看,此 10 a 间(1982~1993)渤海中部海域浮游植物的生长繁殖不受硅酸盐含量的限制。

此外,尽管初级生产者的生物量降低了,但浮游动物的生物量却增加了约 1/3。以浮游植物细胞数量和硅藻个体数量与浮游动物生物量作相关分析,发现其相关系数分别为 -0.844 和 -0.843,说明浮游植物的减少除了受到上述营养盐变化的影响以外,浮游动物对其捕食压力的增大也可能是一个重要因子。当然,浮游植物个体数量的减少也可能与海域的石油和重金属污染有关,但由于缺乏资料,此处无法考虑。

3 结 论

本文通过系统地分析近 20 a 来渤海中部海域 3 a(1982~1983、1992~1993、1998~1999 年)10 航次的生态环境特征参数的变化,描述了其变化趋势,初步讨论了各特征参数之间的相互关系,主要结果:

(1) 渤海营养盐的浓度和结构(N/P 值和 Si/N 值)均发生了显著变化,表现为:硝酸盐、亚硝酸盐、总无机氮持续增加,活性磷和硅显著降低,N/P 值升高,Si/N 值下降。渤海中部海域氮限制的状况正在逐步向磷和硅相对

缺乏的方向演化。

(2) 近 20 a 来黄河断流减少了主要由风化过程产生的硅的入海量,而农用化肥的总量并未改变甚或增加,这是造成上述变化趋势的主导因子。渤海赤潮近几年频发,硅的减少使硅藻生长受到了较大压力,从而间接地助长了甲藻的生长可能是一个重要原因。

(3) 自 1982~1983 年到 1992~1993 年 10 a 间,反映初级生产者生物量的数值降低了约 1/3,同时浮游动物生物量则上升约 1/3。

(4) 对 1982~1993 年 10 a 间的化学和生物参数进行相关分析表明,10 a 间氮是渤海中部海域浮游植物生长的主要限制因子,磷酸盐浓度则因绝对量极低,可能是浮游植物生长的另一个限制因子。无论从绝对量还是相对量来看,此 10 a 间渤海中部海域浮游植物的生长不受硅酸盐含量的限制。此外,浮游植物细胞数量和浮游动物生物量呈现良好的负相关关系,浮游动物的捕食压力增大也可能是初级生产者生物量降低的重要因子。

参考文献:

- [1] 唐启升,孟田湘. 渤海生态环境和生物资源分布图集[M]. 青岛:青岛出版社,1997.
- [2] 田家怡,等. 黄河断流对三角洲附近海域生态环境影响的研究[J]. 海洋环境科学,1997,16(3):59~65.
- [3] Hutchins D A, Bruland K W. Iron-Limited diatom growth and Si:N uptake ratios in a coastal upwelling regime[J]. Nature, 1998, 393(11):561~564.
- [4] 邹景忠,等. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨[J]. 海洋环境科学,1983,2(2):42~54.