



胶州湾浮游藻类生态现象

Ecological phenomena of phytoplankton in Jiaozhou Bay

杨东方^{1,2,3}, 王凡³, 高振会², 崔文林², 霍素霞²

(1. 上海水产大学 渔业学院, 上海 200090; 2. 国家海洋局 北海监测中心, 山东 青岛 266033; 3. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071)

中图分类号: P76; X55 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2004)06-0071-04

胶州湾位于北纬 $35^{\circ}55' \sim 36^{\circ}18'$, 东经 $120^{\circ}04' \sim 120^{\circ}23'$, 面积为 $3\ 90\text{ km}^2$, 平均水深为 7 m , 是一个半封闭型海湾, 良好的自然条件, 滋润着丰富多样的生物群落。胶州湾浮游植物已鉴定的种类约 175 种, 近年初级生产力(以 C 计)平均为 $503\text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 浮游动物生物量约 $100\text{ mg}/\text{m}^3$, 已鉴定种类为 110 种, 底栖动物平均生物量为 $73.6\text{ g}/\text{m}^2$, 栖息度为 $203.6\text{ 个}/\text{m}^2$, 产量最高的经济底栖动物是菲律宾蛤仔^[1]。此外, 胶州湾是多种经济鱼、虾、蟹类的繁殖、发育和索饵场所, 也是对虾、扇贝、海带等经济物种的养殖基地。

胶州湾周围为青岛、胶州、胶南等城市所环抱, 形成了高度密集的沿海产业区。胶州湾与周边社会经济体系已构成了一个多元化的复合生态系统。胶州湾入海的十几条河流(如大沽河、洋河、海泊河、李村河等)的相当部分已成为周边城镇工农业生产和居民生活的排污渠道, 构成了外源有机物质和污染物的重要来源。其他人类活动(包括养殖、捕捞等)也给胶州湾的生态系统造成较大的影响。青岛经济的快速发展, 工业废水和城市生活污水大量注入胶州湾内, 造成一些海域严重污染, 生态环境愈趋恶化, 部分海域海洋生物资源枯竭。尤其近年来, 大沽河、洋河的流量逐渐减少, 海泊河、李村河成为排污河, 由于硅的输送在逐年减少, 而氮、磷在逐年增加^[2,3], 因此胶州湾水域日趋富营养化。

1 胶州湾生态现象

浮游植物作为食物链的基本环节是水域有机物的生产者, 了解某一海域浮游植物的种群结构、细胞数量分布和浮游植物藻种种群的季节变化, 可为开发利用该水域的生物资源、研究海洋环境提供基础资料。

作者据 1953 年 3 月至 1956 年 2 月(月份调查^[4]); 1977 年 2 月至 1978 年 1 月(月份调查^[5]), 整个调查共设 8 个站位(图 1); 1984 年 1 月至 1984 年 12 月(月份调查^[6]); 1991 年 5 月至 1994 年 2 月(季度调查^[7], 数据由胶州湾生态站提供), 整个调查共设 10 个站位(图 2), 计 4 次的调查数据, 分析了胶州湾的生态现象。

1.1 浮游植物的生长

胶州湾及其近海域浮游植物藻种种群的结构以硅藻和甲藻两大类为主, 特别是前者, 无论在种数上或细胞个数上, 都占绝对优势, 胶州湾及其近海浮游藻的种类、数量分布, 几乎由硅藻决定。湾内硅藻的细胞数量可占浮游藻细胞总量的 99.9% (1977 年 2 月至 96.0% (1977 年 7 月); 湾外 01 站(图 1)占 99.9% (1977 年 2 月)至 89.9% (1977 年 7 月)^[5]。李冠国等^[4]认为: 青岛近海浮游硅藻的细胞数量高峰出现在 9 月, 4~5 月为细胞数量最低时期。郭玉洁^[6]观察发现浮游植物在每年的 4~5 月的数量是一年中最低的。

在调查期内, 少数浮游藻种, 如刚毛根管藻(*Rhizosolenia setigena* Brightwell) 和柔弱根管藻(*R. delicatula* Cleve) 等曾出现正常状态细胞和发生色素体退色、细胞畸形的不正常细胞同时并存的现象。前者出现的时间长, 而且分布范围也比后者广。刚毛根管藻在胶州湾及其近海几乎全年均有, 并在 1977 年 4 月和 9 月的湾内局部海区出现数量优势, 而不正常

收稿日期: 2003-02-10; 修回日期: 2003-12-10

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX 2-207); 国家海洋局北海监测中心科研基金资助

作者简介: 杨东方(1962-), 男, 陕西延安人, 博士, 教授, 研究方向: 海洋生物学、生态学, E-mail: dfyang@shfi.edu.cn



状态细胞在4月前后出现,4月最明显(图3),其中04站的非正常细胞可占硅藻细胞总量的71%。

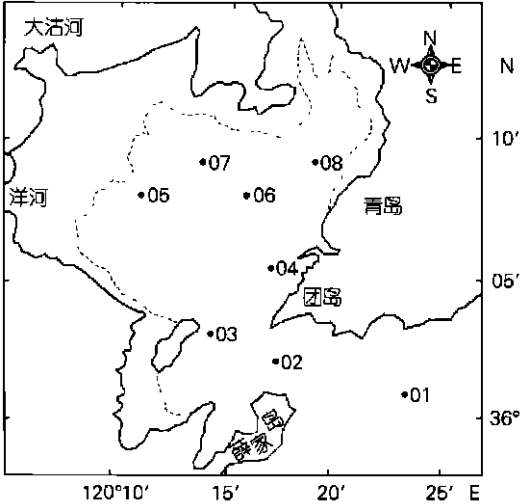


图1 1977年2月至1978年1月的胶州湾调查站位

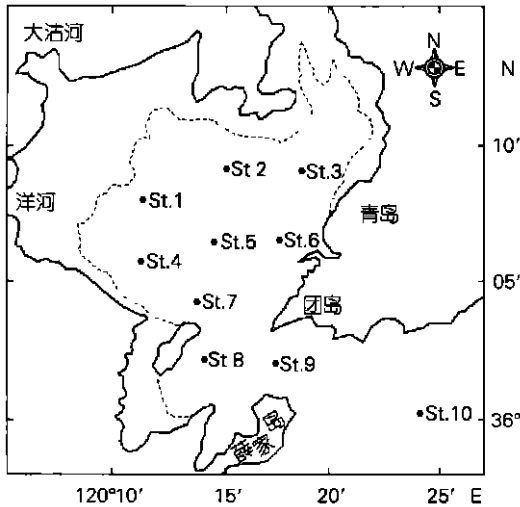


图2 1991年5月至1994年2月的胶州湾调查站位

1977年前后,胶州湾内外普遍出现刚毛根管藻等少数浮游藻类,而且发现了细胞畸形,色素体退色等现象。从形变的刚毛根管藻于湾内外的分布情况来看,位于青岛港外的马蹄礁附近04站以及黄岛油港附近(03站,图1)和船舶锚地西侧等海域的变形细胞数量占刚毛根管藻细胞总量的31%~71%^[5]。

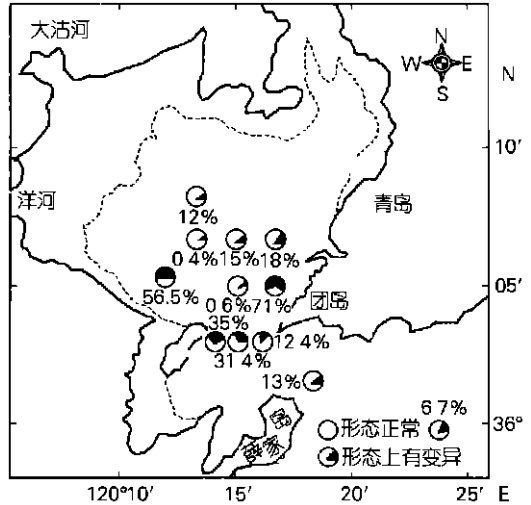


图3 1977年4月刚毛根管藻正常和非正常细胞分布

1.2 浮游植物的结构

值得注意的是湾西南部黄岛前湾8号站(图2),浮游植物优势种组成有与众不同的生态特点。夏季优势种暖水性的长角角藻(*Ceratium macroceros* (Her.) Cl.)在浮游植物总量中所占比例从7月开始就明显增加(较湾内其它测站提前1个月),而冬季优势种日本星杆藻(*Asterionella japonica* Cl.)的增加却较其附近测站推迟2个月,较湾北部诸站甚至推迟3个月^[6]。

2 胶州湾生态现象的剖析

2.1 地点

生态现象发生在胶州湾的04、03站位(图1)也是6号站、8号站(图2)。04站(图1)和6号站(图2)位于青岛港对外的附近水域,03站(图1)和8号站(图2)位于黄岛港附近水域。

从胶州湾资料分析来看,在国内属浮游植物高产海区,湾内浮游植物年平均数量为 8×10^6 个/ m^3 并且湾内浮游植物以细胞较小的硅藻为主^[6]。构成湾内冬季浮游植物高峰的优势种是日本星杆藻。最繁盛季节是自12月至翌年3月。2月,日本星杆藻的平均数量最高为 10^7 个/ m^3 。另外海链藻(*Thalassiosira* spp.)和冕孢角刺藻(*Chaetoceros Subsecundus* (Gru.) Hust.)也较多,这些都是硅藻^[6]。日本星杆藻的增殖适温是4~6℃,是寒期性的藻类^[8]。

由表1可知,在冬季以日本星杆藻为优势种在增殖适温条件下,其叶绿素a含量高。胶州湾是一个浅水海湾,在2月底时,其光照时间约为11.30h,营养



表1 1993年2月6号站位叶绿素a、温度、硅酸盐和初级生产力

Tab. 1 Chlorophyll- a, silicate and primary production measured at Station 6 in February 1993

叶绿素 a(mg/m ³)	温度 (°C)	硅酸盐浓度 (μmol/L)	初级生产力 mg/(m ² ·d)	C(NO ₃ ⁻ -N) (μmol/L)	C(NO ₂ ⁻ -N) (μmol/L)	C(NH ₄ ⁺ -N) (μmol/L)	C(PO ₄ ⁻ -P) (μmol/L)
8.394	3.43	0.89	309.4	2.95	0.415	12.40	0.46

注: 硅酸盐浓度低于0.05 μmol/L时, 约定为零(表中数据由胶州湾生态站提供)

盐氮、磷比较丰富。可见, 这对于冬季优势种日本星杆藻来说, 是生长适宜条件, 但是由于硅酸盐浓度很低, 甚至出现在检出限以下(在0.05 μmol/L以下), 造成其初级生产力的量值非常低。因此, 硅酸盐是初级生产力的限制因子。

在湾西南部(8号站)的硅酸盐浓度是整个湾中分布最低的。在7~9月湾内水温要比湾西南部(图2, 8号站)的水温高1~2°C。7~9月湾内的优势种短角弯角藻(*Eucampia zodiacus* Ehr.), 波状石鼓藻(*Lithodesmium undulatum* Ehr.), 骨条藻(*Skeletonema costatum* (Grev.) Cl.)都是硅藻。而在湾西南部(8号站)的夏季暖水性的长角角藻不属于硅藻类。因此, 所属硅藻的生长空间被长角角藻所占有。日本星杆藻是硅藻, 在2月份, 湾内水温比湾西南部(8号站)的水温低0.2~0.8°C, 而湾西南部(8号站)的水温为3.5~4.5°C。因日本星杆藻增殖的适温是4~6°C, 所以日本星杆藻冬季在湾西南部(8号站)推迟2个月才看出数量的增加, 可见其增殖缓慢。

作者根据胶州湾1991年5月至1994年2月的观测数据(所用数据由胶州湾生态站提供), 采用统计和微分方程分析比较研究了该水域主要理化因子, 如温、光和5项营养盐(NO₃⁻-N, NO₂⁻-N, NH₄⁺-N, SiO₄²⁻-Si, PO₄³⁻-P)与浮游植物、初级生产力时空分布变化之间的关系。结果表明, 胶州湾的硅酸盐是初级生产力的限制因子^[7]。

胶州湾湾内的硅酸盐浓度在8号站在每年中是最低的^[7], 初级生产力每年的分布几乎均为湾内高于西南部(8号站), 可见胶州湾湾内的初级生产力8号站在每年中是最低的。

胶州湾营养盐溶解硅(DiSi): 溶解氮(DIN)和DiSi: 溶解磷(DIP)展示了在胶州湾时空变化的特征分布和季节变化, 通过Si:DIN和Si:16DIP的值分析认为, 在整个胶州湾, 一年四季中, Si:DIN的比值都小于1, 春、秋、冬季的Si:16DIP的比值都小于1。证实了该水域硅酸盐在春、秋、冬季是浮游植物生长的限制营养盐。这样在胶州湾的季节尺度上和空间尺度上硅酸盐的浓度变化和营养盐比值的变化都充分

显示了溶解硅在溶解氮或溶解磷之前就趋于耗尽。胶州湾6、8号站位的Si:N和Si:16P的比值一年四季都小于1^[3]。

分析表明胶州湾6、8号站海域的浮游植物的生长一直都受到营养盐硅的限制。这些都说明了硅酸盐在胶州湾6、8号站海域一直都限制浮游植物的生长, 改变了浮游植物的集群结构。胶州湾6、8号站, 一直都在缺硅的环境下, 硅藻生长不断地受到抑制, 使浮游植物的细胞畸形、色素体退化^[5]。硅藻生长的海域空间被甲藻所代替, 甲藻逐步替代硅藻, 浮游植物的集群结构和食物链发生巨大的变化, 这样, 硅的匮乏改变了该水域的浮游植物集群的结构^[6]。

2.2 时间

发生色素体退化、细胞畸形的不正常细胞在4月最为明显, 在04站(图1)非正常细胞可占此种硅藻细胞总量的71%。由于4~5月为细胞数量最低时期。因此可以说此时的环境因子严重影响藻类细胞的生长。

根据胶州湾1991年5月至1994年2月的观测数据, 通过模型分析得到营养盐硅对浮游植物生长的阈值和阈值时间以及初级生产力受硅限制的阈值等结论。胶州湾浮游植物生长受到硅限制的阈值时间约为秋季的11月3日到11月13日, 硅满足浮游植物生长的阈值时间约为春季的5月22日到6月7日, 硅满足浮游植物生长的阈值为2.15~0.76 μmol/L和硅限制浮游植物生长的阈值为1.42~0.36 μmol/L。由此可知, 硅限制浮游植物生长的时间约为11月13日到第二年的5月22日, 而浮游植物的生长不受硅影响的时间约为6月7日到11月3日^[9]。

从11月13日到第二年的5月22日, 1984年逐月调查^[6]的初级生产力值小于294.00 mg/(m²·d), 这表明初级生产力非常低, 小于整个胶州湾受到营养盐硅限制的浮游植物生长的初级生产力的临界值336.05~610.34 mg/(m²·d)。这也证实了从11月13日到第二年的5月22日的处于阈值之下的营养盐硅一直是浮游植物生长的限制因子。可见, 当营养盐硅匮乏时, 浮游植物生长一直受到严重影响。在这个6



个多月的营养盐硅的长时间缺乏下,浮游植物的初级生产力一直都处于低值。在这期间,浮游植物一直都是缓慢地生长。通过这个巨大的自然试验空间—胶州湾和漫长的试验时间—1年中连续的6个多月(每月以30天计算)的检测和验证:营养盐硅是胶州湾初级生产力的限制因子。

根据硅酸盐浓度的变化,认为这是由于长时间(一年中6个多月)营养盐硅的缺乏造成了浮游植物得不到高值的初级生产力的补充,故在一年中浮游植物的数量在4至5月是最低的。这与李冠国等^[4]、钱树本等^[5]、郭玉洁和杨则禹^[6]的观察结果相一致。

综上所述,胶州湾浮游植物对硅的需要非常强烈,而且对硅变化的灵敏度很高,反应迅速,揭示了浮游植物的生长依赖硅的动态变化全过程。这也说明,整个胶州湾生态系统保持着长期的稳定,浮游植物的生长也一直保持着受控生态因子硅。

3 结论

作者认为,浮游植物生产过程的机制不取决于营养盐 N、P 的高低,而是取决于营养盐硅的变化。由于营养盐的比例变化,硅的作用显得更加突出,生态系统的反应是转换浮游植物的生理生长和浮游植物的集群结构来适应变化的环境,以便浮游植物能够生存下去。随着时间的延长,年代的久远,主要由硅藻组成的浮游植物集群将不断地进行结构转变,需求硅少的非硅类的种群在不断地增长,需求硅量大的硅藻种群在不断地减少。随着时间推移,需硅量大的硅藻种群的生理特征在不断地受到环境的压力,根据达尔文进化理论,藻类的生理特征将逐渐改变。这样,在海洋中,由于浮游植物是生态系统的能量流动和食物链的基础,当浮游植物的集群结构和硅藻的生理特征发生巨大的变化时,将会引起海洋生态系统的一系列的巨大变化。例如,也许一些生物象恐龙一样会突然消失。作者认为,在许多海域,硅藻藻种将会不断的消亡,继而代替的藻种——甲藻将会不断的扩张,例如,甲藻中的长角角藻。浮游植物集群结构的硅藻和甲藻的比例变化,硅藻下降,甲藻上升,将使得整个生态系统需要重新组成、改变和平衡。也许这会使食物链的金字塔的顶端的渔业资源受到沉重的打击,海洋生态系统的许多物种很快绝迹。大型物种被小型物种所代替,繁殖慢的物种被繁殖快的物种所代替。因此,为了人类在地球上生存顺利,必须保持海洋生态系统的连续性和稳定性,具有可持续发展。一方面,通过各种方

法减少 N、P 输入海洋;另一方面,提高河流的输入量以便其携带大量的含硅营养盐,以满足浮游植物生长的需求。同时,浅海养殖区的面积不断扩展,密度增大,养殖生物的排泄,将大量的 Si 沉降, N、P 再生。这样,进一步加剧了水域的 N、P 的增加和硅的损失。沿岸许多海域必须尽早、尽快改造优化浅海养殖区,认真选择养殖生物种类,减少 N、P 的污染,使海洋生态系统能够可持续发展。

参考文献:

- [1] 董金海, 焦念志. 胶州湾生态学研究[A]. 董金海, 焦念志. 胶州湾生态学研究总论[C]. 北京: 科学出版社, 1995. 47- 51.
- [2] 沈志良. 胶州湾营养盐变化的研究[A]. 董金海, 焦念志. 胶州湾生态学研究[C]. 北京: 科学出版社, 1995. 47- 51.
- [3] Yang Dongfang, Gao Zhenhui, Chen Yu, *et al.* Examination of silicate limitation of primary production in the Jiaozhou Bay, North China III. Judgment method, rules and uniqueness of nutrient limitation among N, P, and Si [J]. *Chin J Oceanol Limnol*, 2003b, 21(2): 114- 133.
- [4] 李冠国, 黄世玫. 青岛近海浮游硅藻季节变化研究的初步报告[J]. 山东大学学报, 1956, 2(4): 119- 143.
- [5] 钱树本, 王筱庆, 陈国蔚. 胶州湾的浮游藻类[J]. 山东海洋学院学报, 1983, 13(1): 439- 56.
- [6] 郭玉洁, 杨则禹. 胶州湾的生物环境: 初级生产力 [A]. 刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源[C]. 北京: 科学出版社, 1992. 110- 125.
- [7] Yang Dongfang, Zhang Jing, Lu Jibin, *et al.* Examination of silicate limitation of primary production in the Jiaozhou Bay, north China I. Silicate being a limiting factor of phytoplankton primary production [J]. *Chin J Oceanol Limnol*, 2002, 20(3): 208- 225.
- [8] 小久保清治(日)著, 华汝成译. 浮游矽藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1960. 18- 51.
- [9] Yang Dongfang, Zhang Jing, Gao Zhenhui, *et al.* Examination of silicate limitation of primary production in the Jiaozhou Bay, north China II. Critical value and time of silicate limitation and satisfaction of the phytoplankton growth [J]. *Chin J Oceanol Limnol*, 2003a, 21(1): 46- 63.

(本文编辑:张培新)