

海洋围隔生态系中无机氮对
浮游植物演替的影响*

林 昱 唐森铭 庄栋法 陈孝麟

(国家海洋局第三海洋研究所海洋实验生态系统研究中心, 厦门, 361005)

5948.891

A

摘 要 本文评述了1992年秋冬季在厦门进行的一次海洋围隔生态系实验的结果。实验重现了围隔水体连续富营养引发了甲藻赤潮的现象。间歇性的供给无机氮, 不会影响浮游植物演替的顺序, 但会导致甲藻赤潮出现时间长短和优势种的差异。实验结果还表明, 演替过程对甲藻赤潮的形成起着重要的作用。而不同种属甲藻的生活习性和它们的自养能力使它们的生存能力存在差异, 这是形成甲藻赤潮优势种的一个主要因素。甲藻赤潮的发生并不完全依靠水体中营养盐浓度的大小。

关键词: 演替, 甲藻赤潮, 无机氮, 围隔, 生态系

浮游植物, 氮

向相对稳定的厦门西海域的海水中连续不断地供给丰富的营养盐, 可引起硅藻的水华, 随后发生甲藻的赤潮。这是1990年的围隔实验的结论^[1,2]。厦门西海域1986年发生的甲藻赤潮的过程与此基本相似。但不同的是, 在硅藻水华后, 营养盐有过严重的衰退, 在再次出现富营养时, 才发生甲藻的赤潮^[3]。可溶性活性磷对厦门西海域的浮游植物的增殖有一定的控制作用, 这方面已得到许多学者的肯定^[4,5]。无机氮作为营养要素之一, 其浓度、输入通量和频率对甲藻赤潮兴衰的影响, 需要进一步的了解, 以便能更深入地明了甲藻赤潮发生的机理。

本文就1992年秋冬季进行的一次围隔实验结果, 报道和评述无机氮的输入量和频率对浮游植物群落结构以及甲藻赤潮的规模、物种等的影响。

1 方法

实验(代号R₅)从1992 09 20—12 04结束, 历时76d。围隔体采用1.5m³的玻璃钢桶。静置在海洋三所的灌满天然海水的临海陆基水池中^[6]。实验开始时, 同步向各围隔桶中注入海堤外天然海水, 添加营养盐使之富营养。并立即跟踪观测各围隔桶中的营养盐浓度和浮游植物种类与数量的变化。

围隔桶C₀作为对照, 连续富营养。根据采样监测结果, 及时添加营养盐。活性磷、硅保持在略高于附近海区海水的浓度水平。硝酸盐浓度维持在30μmol/L的左右。

围隔桶N, 活性磷、硅的浓度水平保持与C₀相仿。而硝酸盐不保持富足, 待其耗尽并保持一段时间的寡无机氮后, 再添加。周而复始。

基本每5d采样一次。监测分析营养盐和浮游植物。营养盐添加的次日, 增测营养盐浓度一次。水样由取1.5m以多个表水柱柱样混合而成。

2 结果

实验期间, 可溶性活性磷、硅都供给充足, 尤其活性磷, 最低也有0.5μmol/L。保证了活性

* 国家自然科学基金资助项目(9389008)。

收稿日期: 1993 01 06, 修改稿收到日期: 1993 04 11。

磷不成为浮游植物生长的限制因子。

对照桶 C_5 , 在最初加进营养盐, 约 8d 后, 硝酸盐消耗降到 $5\mu\text{mol/L}$ 以下, 由于及时添加, 实验期间多保持在 $25\text{--}35\mu\text{mol/L}$ 之间(图 1a)。 C_5 中的浮游植物在添加营养盐后的几天里, 从原有的天然群落基础上开始增长。但硅藻逐渐占优势, 迅速地增殖成硅藻水华。在第 21d 达到高峰, 数量为 3.6×10^9 个/ m^3 , 优势种为新月菱形藻(*Nitzschia closterium*)占浮游植物总量的 95.4%。这天以后硅藻水华便开始消退, 并在第 36d 后镜检不出, 直到实验结束的最后一个采样日重又出现。甲藻的数量在硅藻水华期间变化不大。略有减少, 但仍旧在同一数量级的水平上。从第 26d 开始迅速增长, 在第 46d 形成甲藻赤潮, 第 66d 达到顶峰, 5.0×10^{10} 个/ m^3 。优势种为海洋原甲藻(*Prorocentrum micans*)。占浮游植物总量的 93.4%。其他的都是微鞭毛藻($2\text{--}20\mu\text{m}$, microflagellates)。微鞭毛藻以及蓝藻(Cyanophyta)、隐藻(Cryptophyta)等, 在硅藻水华时数量略有下降, 而当水华衰退时, 先于甲藻, 它们的数量开始增加; 在甲藻增殖而未形成赤潮时, 这些藻类的数量达到了顶峰并开始下降。在甲藻赤潮高峰时, 它们的数量降低到仅比实验初始多一个数量级的水平上(图 2a)。

从图 1a 和图 2a 还可看到, 尽管在第 56d 后硝酸盐的浓度水平在 $0.5\mu\text{mol/L}$ 以下, 但甲藻的数量仍保持在 3.1×10^{10} 个/ m^3 以上, 到实验结束, 一直持续了 20d 以上。

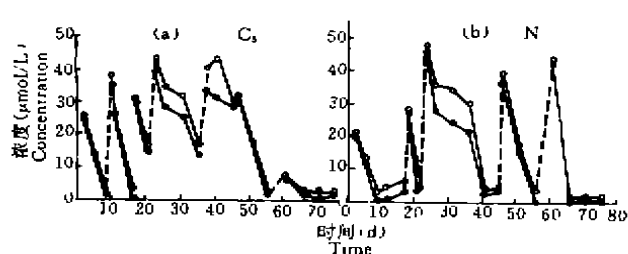


图 1 C_5 (a)和 N(b)桶中无机氮(○—○)和硝酸盐(●—●)浓度随时间的变化

Fig. 1 The concentrations of inorganic nitrogen(○—○) and nitrate (●—●) in C_5 (a) and N(b) during experiment

与 C_5 相比, N 桶的变化较为复杂(图 1b, 图 2b)。在最初的富营养后, 硅藻在原有群落基础上增殖, 第 9d 达到最大值形成水华。数量为

2.3×10^9 个/ m^3 。没有明显的优势种。由于营养盐耗尽, 水华很快衰退。和 C_5 一样, 硅藻在第 36d 至实验结束, 都几乎镜检不出。微鞭毛藻和 C_5 一样, 兴盛在硅藻水华之后, 衰弱在甲藻开始增殖时。不同的是微鞭毛藻在实验后期又再次回升, 且数量仍较高。甲藻在第 36d 开始增殖, 第 46d 形成赤潮高峰后很快地衰败, 第 56d 开始镜检不出。赤潮的优势种是一种裸甲藻(*Gymnodinium* sp.), 最多时有 1.4×10^{10} 个/ m^3 。N 桶甲藻赤潮的规模和持续的时间显然比 C_5 小而短。在甲藻开始增殖前 10(26—35d)无机氮浓度在 $30\text{--}35\mu\text{mol/L}$ 之间。这个浓度水平并不高。而在甲藻增殖过程中(36—45d)无机氮浓度更低, 低于 $20\mu\text{mol/L}$ 。这似乎可以说明, 裸甲藻对无机氮有一定的需求, 但不苛求高度富营养。

对比 C_5 和 N 桶中甲藻赤潮的不同情况和形成条件, 表明在稳定水体中群落演替到一个

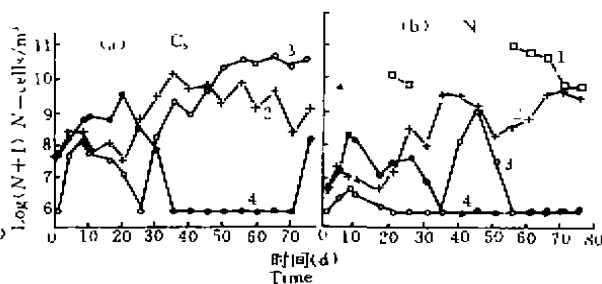


图 2 实验期间 C_5 (a)和 N(b)中的硅藻、甲藻和微鞭毛藻密度随时间的变化

Fig. 1 The temporal distribution of diatom, dinoflagellates and microflagellates in C_5 (a) and N(b) during the experiment

1. 微鞭毛藻 Picophytoplankton, 2. 微鞭毛藻 Microphytoplankton, 3. 甲藻 Dinoflagellate, 4. 硅藻 Diatom

阶段,甲藻就占优势;在这之前,若供有足量的营养盐就可能引起甲藻的赤潮;供给的多寡会导致优势种的差异、赤潮的规模和时间长短的差异。

N 桶中浮游植物群落结构变化与 C₃ 最大的不同是出现了微型藻类(Pico-phytoplankton)。C₃ 中没出现过。第 1 次出现在第 21d,数量有 1.4×10^{11} 个/m³,海水显淡茶水色,约持续 1 周后消退。在第 56d 时再次出现,直到实验结束。数量最高达 9.6×10^{11} 个/m³。这 2 次赤潮发生前无机氮都处于贫寡水平。这个现象再次说明,有些物种的赤潮并不一定受营养盐控制。

3 讨论

与自然海区相比,围隔生态系中的水体相对稳定。这是实验的环境条件。因此实验的结果有一定的局限性,但对于海区中水系较为平静的区域仍然有着实际的意义,比如封闭性的港湾,水产养殖区。受水流扰动的水系的实验结果将另行讨论。

实验再次证实浮游植物演替的顺序是:先硅藻,后鞭毛藻,最后是甲藻占优势。Davis 也这样认为^[7]。M. Takahashi 的实验结果与本研究一样,但他认为,微鞭毛藻是在营养盐耗尽之后代替硅藻的^[8]。

演替到甲藻占优势时,如果营养盐输入通量(包括来自各方面的营养盐输入)适宜某种甲藻生长时,就可能形成甲藻的赤潮。C₃ 在实验末期,无机氮几乎耗尽的情况下,海洋原甲藻赤潮仍持续了 20d 以上。N 桶的裸甲藻在并不富足的无机氮情况下,同样发生了赤潮。都说明水体中营养盐浓度的多少不是形成赤潮的决定因素,演替造成的时机倒是重要的。这和甲藻的生活习性以及它们的自养能力有关。甲藻具有洄游(migration)能力和垂直移动的生活习性。F. J. R. Taylor 指出,由于甲藻的洄游性,可以移动到它们所需要的营养盐浓度水平的水层,而进一步发展成赤潮^[9]。本城凡夫等人也持同样的观点^[10]。R₃ 实验里,营养盐供给主要途径是添加和沉积物再矿化再生的营养盐。甲藻可以在沉积物与水的界面层获得营养盐。所以,甲藻完全可以不依赖水体中的营养盐浓度进行增殖。郑重等人指出,甲藻一般进行昼夜垂直移动,在一昼夜间上下移动 2 次^[11]。不同种属的甲藻具有不同的生活习性和不同的自养能力对不同营养盐浓度的环境有不同的适应能力,因此,营养盐输入通量的大小必然会影响到优势种的形成。也将影响赤潮的规模和持续的时间。M. Takahashi 把赤潮生物种分为富、中和贫营养盐等 3 类型,裸甲藻为中间型^[12]。这与本实验结果一致。

实验期间 N 桶中微型藻大量繁殖形成一种类型赤潮的现象很引人注目。L. Vailela 曾评议了有争论的关于细胞大小在浮游植物演替过程交换机制中的作用问题。有人认为,小细胞与大细胞相比具有更大的表面积和体积比,有利于营养盐的摄入,分裂速率和生长速率也会加快,有利于在低营养盐环境中生长。而有人的实验结果则与此相反^[13]。且不管这些争论,从实验结果看,微型藻的出现并不是演替的一环。但在贫寡营养盐时出现这种现象,应为人们所警惕。

4 结语

厦门西海域围隔水体中,富营养后浮游植物演替的顺序是:先硅藻,后鞭毛藻,最后是甲藻占优势。甲藻赤潮只能出现在演替的最后阶段。

只有在甲藻占优势时,且有一定量的营养盐供给才可能发生甲藻赤潮。间歇性的输入无机氮及其输入通量的大小不影响演替的顺序。但输入总量的多寡会影响浮游植物的数量或甲藻

赤潮的规模。

甲藻赤潮并不完全依赖水体中的营养盐浓度。沉积物与水界面上的地球化学过程对甲藻赤潮兴衰起了重要的作用。由于不同种属甲藻生存能力的差异,营养盐输入通量的大小和途径会影响甲藻赤潮优势种的形成。

参 考 文 献

- 1 林昱,陈孝嗣,庄栋法等. 围隔生态系内富营养引起赤潮的初步研究. 海洋与湖沼, 1992, 23(3), 312—316
- 2 林昱,陈孝嗣,庄栋法等. 海洋围隔生态系中赤潮发生前后浮游植物群落结构的初步分析. 生态学报, 1992, 12(3), 213—218
- 3 杜琦. 厦门西海域赤潮的研究. 暨南大学学报(赤潮研究专刊), 1989, 57—67
- 4 庄万金,曾昭文. 厦门西海域营养盐的地球化学. I. 无机氮. 海洋通报, 1991, 10(5), 14—20
- 5 张水浸,许昆灿等. 厦门西港区一次赤潮的观测. 海洋学报, 1988, 10(5), 602—608
- 6 林昱,唐森铭等. 可溶性锰对两种赤潮生物增殖作用的影响. 海洋学报, 1993, 15(4), 91—97
- 7 Davis C O. The importance understanding phytoplankton life strategies in the design of enclosure experiments. Marine Mesocosms, Springer-Verlag, 1982, 323—332
- 8 Takahashi M. Phytoplankton species responses to nutrient changes in experimental enclosure and coastal water. Marine Mesocosms Springer-Verlag, 1982, 332—340
- 9 Taylor F J. The biology of dinoflagellates. Botanical Monographys, 1987, 17, 462—481
- 10 本城凡夫. 赤潮研究现状及问题, Ocean Age (in Japanes) 1979, 1, 73—80
- 11 郑重,李少菁,许振祖. 海洋浮游生物学, 北京: 海洋出版社, 1984, 70—97
- 12 Takahashi M and Fukazawa N. A mechanism of 'red tide' formation J J. Effect of selective nutrient stimulation on the growth of different phytoplankton species in natural water. Mar. Biol. 1982(70), 267—273
- 13 Valieial I. Marine ecological processes. Springer-Verlag, 1984, 364—440

EFFECT OF INORGANIC NITROGEN ON PHYTOPLANKTON SUCCESSION IN MARINE MESOCOSMS

Lin Yu Tang Senming Chen Xiaolin Zhuang Dongfa

(Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen, 361005)

The results of a marine enclosed ecosystems experiment in Xiamen in fall and winter of 1992 were reported. The results showed again that an enclosed water column could induce a dinoflagellate red tide through a continual nutrient enrichment. Intermittent inorganic nitrogen supply did not affect the order of phytoplankton succession, but affect the duration of dinoflagellate red tide and its dominated species. The results also showed that the succession was important in forming a dinoflagellate red tide. Different species of dinoflagellates has different subsistence capability conducted by their behavior and autotrophic capability influencing the dominated species to be formed. The forming of dinoflagellate red tide was not necessary relative to the nutrient concentration in water column.

Key words: succession, dinoflagellate red tide, inorganic nitrogen.