

脉冲式营养盐输入对中肋骨条藻生长的影响

刘亚林^{1,2}, 韩笑天², 白洁¹, 郑立³, 刘洁生⁴, 杨维东⁴, 邹景忠²

(1. 中国海洋大学 海洋生态与环境教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 2. 中国科学院 海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071; 3. 国家海洋局 第一海洋研究所 海洋生态中心, 山东 青岛 266061; 4. 暨南大学 生物工程学系, 广东 广州 510632)

摘要:脉冲输入营养盐是陆源输入营养盐的一种方式。用室内模拟脉冲营养盐输入的方法,研究了脉冲营养盐输入对于典型赤潮藻中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)生长的影响。结果发现脉冲输入营养盐对于中肋骨条藻生长有明显的影响,营养盐脉冲输入的频率和中肋骨条藻生长波动的频率相同。每天输入一次营养盐中肋骨条藻出现藻密度峰值的时间要比每5天输入一次营养盐和每10天输入一次营养盐的中肋骨条藻要滞后,而且藻密度峰值也比后两种情况低。对于3种营养盐的吸收速率而言,每10天输入一次营养盐的中肋骨条藻的吸收速率最大,其次是每天输入一次营养盐的中肋骨条藻,最小的是每5天输入一次营养盐的中肋骨条藻;3种营养盐脉冲输入模式下,每5天输入一次营养盐的中肋骨条藻对于N盐和Si盐的营养需求最少。

关键词:营养盐;脉冲输入;中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*);营养盐吸收速率

中图分类号:Q178.53

文献标识码:A

文章编号:1000-3096(2008)02-0051-05

在沿海地区,工农业比较发达,陆源输入成为最主要营养盐的排放源,河流在营养物质从陆地转移到海洋的过程中发挥了主要作用,对沿海区域的生物地球化学循环过程产生了重要的影响。陆源输入营养盐的径流量、空间组成和时间特性是研究陆源输入营养盐对浮游植物影响的3个重要的因素。河流的径流量对海洋微藻数量分布和群落结构的影响等相关研究已经进行了很多^[1-3],国内外学者普遍认为径流量的增加会导致营养盐输入通量的增加,引起河口等附近海域富营养化水平的加剧,从而影响河口水域浮游藻类的群落结构。刘东艳^[4]、胡晗华^[5]、李铁^[6]在营养盐组成中的氮磷比对中肋骨条藻、新月菱形藻的生长特性、吸收特性、光合特性、部分生化组成的影响研究中进行了卓有成效的工作;但是作为营养盐时空变化因素中重要的时间因素,国内外对营养盐输入的时间特性对于浮游植物生长的影响研究还比较少。

营养盐的陆源输入受到营养盐的大气湿沉降^[7],以及沿岸流域氮磷污染源的点源排放^[8]等因素的影响,营养盐的陆源输入具有很强的时间特性,陆源输入可以是连续输入也可以是脉冲输入。Odum^[9]指出环境因子的时间差异是影响生物多样性的重要因素,Yamamoto^[10]、Ornolfsdottir^[3]研究了广岛湾和格拉维森湾内,脉冲输入对于赤潮藻生长的影响,徐永健^[11]研究了菊花江蓐对于脉冲加富营养盐的响应,但是对于营养盐输入频率对赤潮微藻生长的影响研究还没有展开。作者在实验室模拟

营养盐脉冲输入,研究了脉冲式营养盐输入对于典型赤潮微藻中肋骨条藻生长的影响。

1 材料和方法

1.1 藻株与培养

中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)由中国科学院海洋研究所藻种库提供,室内培养温度为 20 ± 1 ,照度为3500 lx,光周期为12L:12D。最初的接种密度是10000个/L,实验用海水为过滤、消毒的自然海水,分别添加 NaNO_3 、 NaH_2PO_4 和 Na_2SiO_3 溶液至设定值,微量元素和维生素参照f/2配方(Guillard and Ryther, 1962),pH值为8.2,盐度为30。营养盐的初始浓度为 NaNO_3 10 $\mu\text{mol/L}$, NaH_2PO_4 0.625 $\mu\text{mol/L}$, Na_2SiO_3 10 $\mu\text{mol/L}$ 。

在脉冲输入模式下,每天加入营养盐的量因输

收稿日期:2006-12-18;修回日期:2007-06-26

基金项目:国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室开放研究基金资助项目(LMEB200701);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-208-01);青岛市海洋与渔业局项目(HB2007002);山东省2006年度博士后科研项目(200602012);国家海洋局青年基金项目(2006105);国家重点基础研究发展计划项目(2006CB400602,2001CB409710)

作者简介:刘亚林(1982-),山东曲阜人,硕士研究生,研究方向:海洋环境生态学与赤潮科学,E-mail:lanpear@163.com;韩笑天,通讯作者,主要从事海洋微藻研究,电话:0532-82898597,E-mail:xthan@ms.qdio.ac.cn

入频率而不同,但是在一个周期内,营养盐的供给总量是一样的。每天加一次营养盐的量是每5天加一次营养盐量的1/5,是每10天加一次营养盐量的1/10,在每10天的一个周期内,3种脉冲输入模式下的营养盐供给总量是相等的。3种营养盐脉冲输入模式下营养盐的供给量见表1。

表1 3种营养盐脉冲输入模式下营养盐的供给量
Tab.1 The amount of nutrients supply under three nutrients pulsed supply modes

营养盐输入模式	营养盐浓度(μmol/L)		
	NaNO ₃	NaH ₂ PO ₄	Na ₂ SiO ₃
每天加一次	10	0.625	10
每5天加一次	50	3.125	50
每10天加一次	100	6.250	100

1.2 测定方法与计算方法

每日定时取20 mL藻液样品,其中2 mL用鲁戈氏液固定,在光学显微镜下计数微藻细胞密度,中肋骨条藻用计数框计数100 L藻液的细胞数,平行计数3~5次取平均值,按下面的公式计算微藻对数生长期内的生长率: $\mu = (\ln C_1 - \ln C_0) / (T_1 - T_0)$, C_0 和 C_1 为细胞在 T_0 和 T_1 时刻的细胞数量。剩余的18 mL藻液用0.45 μm微孔滤膜过滤,测定NO₃-N, PO₄-P, SiO₃-Si的浓度。

吸收速率 $v = - ds / dt \cdot N$, s 为营养盐浓度, t 为时间, N 为藻细胞密度。

2 结果与讨论

2.1 营养盐输入模式对中肋骨条藻生长的影响

从图1可以看出,3组实验均在第10天进入对数生长期,每10天输入一次营养盐的中肋骨条藻在实验进行到第14天首先达到藻密度峰值,为 2.87×10^8 个/L;每5天输入一次营养盐的中肋骨条藻在第15天达到藻密度峰值,为 2.48×10^8 个/L;实验进行到第20天,每1天输入一次营养盐的中肋骨条藻才达到藻密度峰值,为 2.26×10^8 个/L。3种输入模式下中肋骨条藻的生长曲线和 Yamamoto^[4]的研究报道类似。在实验过程中,每天输入一次营养盐的中肋骨条藻出现藻密度峰值的时间要比每5天输入一次营养盐和每10天输入一次营养盐的滞后,而且藻密度的峰值也比后两种情况低。中肋骨条藻在每10天输入一次营养盐的模式下,能达到3组实验的最大藻密度峰值。从图1可以看出,营养盐的输入在短频、浓度大且间隔时间长时,可以导致中肋骨条藻

波动的振幅大,而每天输入一次营养盐下的中肋骨条藻在进入平台生长期以后,藻密度波动不大,更接近一种平衡状态。因此营养盐输入频率的变化也可以作为一种环境影响因子从而而引起赤潮生物的扰动。

在3种营养盐脉冲输入模式下,中肋骨条藻的生长受到营养盐输入频率的影响。在指数生长期以后的平台期内:每天加一次营养盐的中肋骨条藻生长比较平稳;每5天加一次营养盐和每10天加一次营养盐的中肋骨条藻在平台期内藻密度有比较明显的周期性波动,且波动的周期和营养盐输入的周期大致相等。从生态角度上看,陆源输入营养盐的时间变化和组成变化一样,能影响赤潮藻的生长,从调控角度上入手,在控制营养盐的入海通量上要考虑陆源营养盐输入的时间特性。

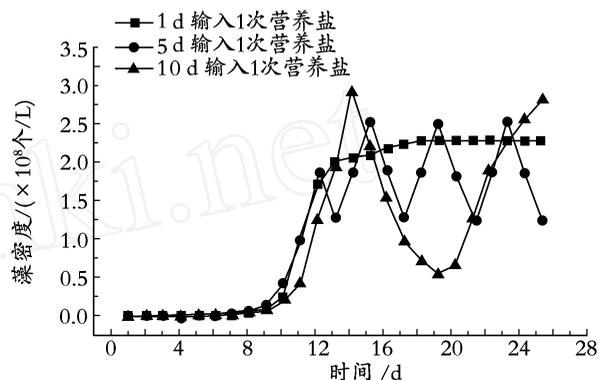


图1 中肋骨条藻在3种营养盐脉冲输入方式下的生长曲线
Fig.1 Growth patterns of *S. costatum* under three pulsed nutrients supply modes

2.2 营养盐浓度的变化对中肋骨条藻吸收速率的影响

从图2至图4可以看出,营养盐比较充足的时候,吸收速率比较快,随着营养盐浓度的下降,吸收速率也随着下降。中肋骨条藻在3种营养盐输入模式下对营养盐的吸收各有不同的特点,中肋骨条藻作为行生长策略的赤潮藻,具有不断增大的最大生长率,表现为短期高速增长,最大限度地利用环境条件所提供的营养物质;李瑞香^[12]在围隔实验中和霍文毅^[13]同期观察监测中肋骨条藻赤潮的研究中都证实了中肋骨条藻这种营养盐吸收特性。

本实验除了证明营养盐的这种吸收特性外,着重探讨营养盐脉冲输入的频率对于中肋骨条藻吸收营养盐的影响。从图2可以看出,对于N的吸收,在实验第2天,每天输入一次营养盐的中肋骨条藻,其吸收速率到达最高值为0.53 pmol/(个·h);每5天输入一次营养盐下的中肋骨条藻的吸收速率到达最

高值为 0.37 pmol/(个·h);在实验进行到第 4 天,每 10 天输入一次营养盐下的中肋骨条藻的吸收速率为 0.42 pmol/(个·h)。随着营养盐浓度的降低,3 种营养盐脉冲输入模式下的中肋骨条藻对氮的吸收速率也逐渐下降。随着后期营养盐周期性的脉冲输入,会周期性地提高营养盐的浓度(图 5),中肋骨条藻对于 N 的吸收速率也会随着营养盐浓度的提高

而略有升高。
中肋骨条藻对 P 和 Si 的吸收也具有类似的特性,从图 3 和图 4 可以看出,中肋骨条藻在实验第 1 天就达到了吸收速率的最高值,随着实验的进行,对 P 和 Si 的吸收速率总体上呈下降趋势,但也会随着营养盐浓度的周期性提高(图 6,图 7),中肋骨条藻对 P 和 Si 的吸收速率而升高。

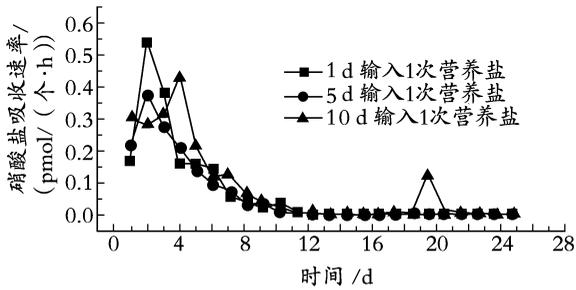


图 2 中肋骨条藻在 3 种营养盐输入模式下对硝酸盐的吸收速率

Fig. 2 The uptake rate on NO₃-N under three pulsed nutrients supply modes

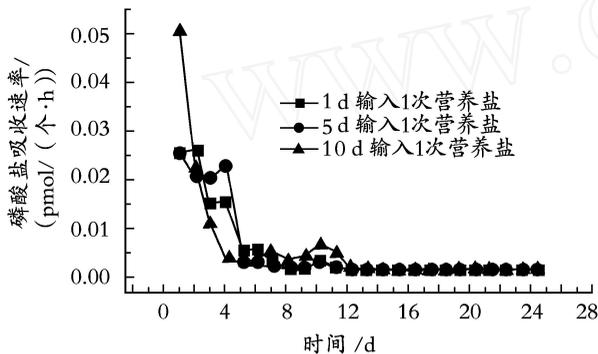


图 3 中肋骨条藻在 3 种营养盐输入模式下对磷酸盐的吸收速率

Fig. 3 The upake rate on PO₄-P under three pulsed nutrients supply modes

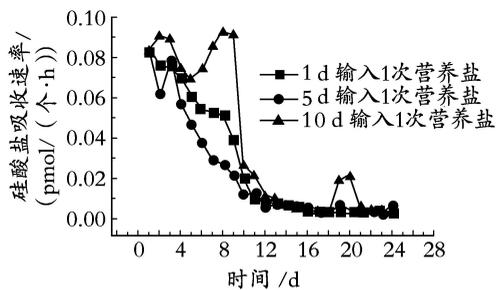


图 4 中肋骨条藻在 3 种营养盐输入模式下对硅酸盐的吸收速率

Fig. 4 The uptake rate on SiO₃-Si under three pulsed nutrients supply modes

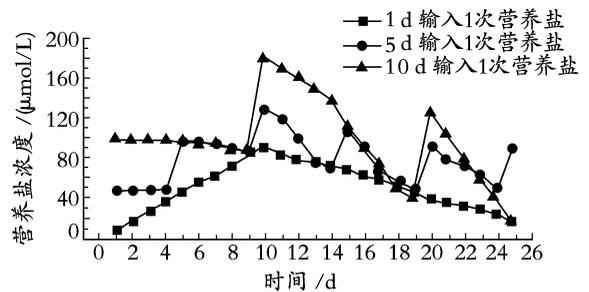


图 5 3 种营养盐输入模式下硝酸盐的浓度变化

Fig. 5 The change of concentration of NO₃-N under three pulsed nutrients supply modes

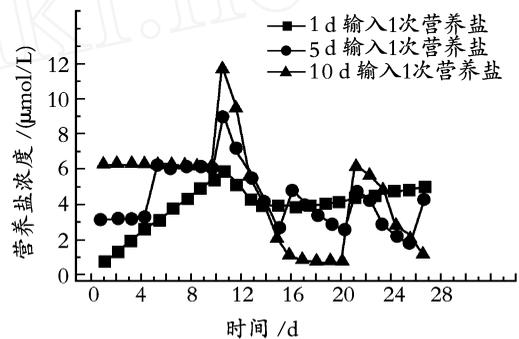


图 6 3 种营养盐输入模式下磷酸盐的浓度变化

Fig. 6 The change of concentration of PO₄-P under three pulsed nutrients supply modes

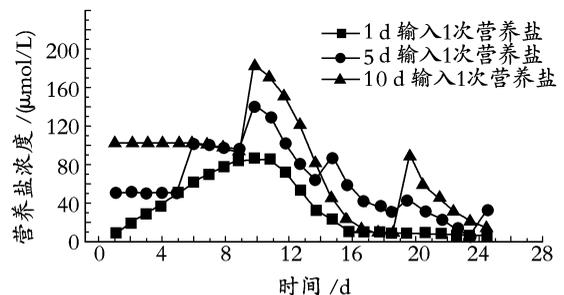


图 7 3 种营养盐输入模式下硅酸盐的浓度变化

Fig. 7 The change of concentration of SiO₃-Si under three pulsed nutrients supply modes

结合营养盐的藻密度变化曲线和营养盐变化曲线,根据吸收速率 $v = - ds/dt \cdot N$ 公式,可以算出在指数生长期和平台期这一时间段内中肋骨条藻对营养盐的平均吸收速率。

实验供给的营养盐中氮、磷、硅的比例是按照 Redfield 比值 16:1:16 的 N:P:Si 来配置的,从表 2 中可以看出:3 种模式下 N 与 P 的比值(14~17:1)基本符合中肋骨条藻生长的要求,但是对于硅的需求却低于 Redfield 比值,3 种输入方式下 Si 与 P 比值为 4.8~7.4 1。

表 2 3 种营养盐脉冲输入模式下中肋骨条藻的吸收速率

Tab.2 The average uptake rate on nutrients under three pulsed nutrients supply modes

营养盐输入模式	吸收速率(pmol/(个·h))					
	NaNO ₃	NaH ₂ PO ₄	Na ₂ SiO ₃	N	P	Si
每天加一次营养盐	0.1297	0.007536	0.04615	17.2	1	6.1
每 5 天加一次营养盐	0.1104	0.007559	0.03620	14.6	1	4.8
每 10 天加一次营养盐	0.1437	0.008438	0.06238	17.0	1	7.4

3 结语

营养盐的脉冲输入对于典型的赤潮藻中肋骨条藻生长有明显的影 响,每天输入一次营养盐的中肋骨条藻出现藻密度峰值的时间要比每 5 天输入一次营养盐和每 10 天输入一次营养盐的中肋骨条藻要滞后,而且藻密度峰值也比后两种情况低。每天加一次营养盐的中肋骨条藻生长比较平稳;每 5 天加一次营养盐和每 10 天加一次营养盐的中肋骨条藻在平台期内藻密度有比较明显的周期性波动,且波动的周期和营养盐输入的周期大致相等。

中肋骨条藻在 3 种脉冲输入营养盐的模式下,对于营养盐的吸收要求有所不同。3 种模式下 N:P 的值为 14~17 1 基本符合中肋骨条藻生长的要求,但是对于 Si 的需求却低于 Redfield 比值,3 种输入方式下 Si:P 的值为 4.8~7.4 1。对于 3 种营养盐的吸收速率而言,每 10 天输入一次营养盐的中肋骨条藻的吸收速率都是最大的,其次是每天输入一次营养盐的,最小的是每 5 天输入一次营养盐的中肋骨条藻。

研究营养盐的脉冲输入对于中肋骨条藻生长的影响,对于研究脉冲营养盐输入对赤潮藻生长的影响,以及对于赤潮微藻群落结构的影响,有重要的指导意义。对于研究陆源输入营养盐和赤潮形成的关系,河流-河谷富营养化模型的相关参数设定也具有很强的现实意义。

从表 2 可以看出:对于 3 种营养盐的吸收速率而言,每 10 天输入一次营养盐的中肋骨条藻的吸收速率都是最大的,其次是每天输入一次营养盐的中肋骨条藻,再次的是每 5 天输入一次营养盐的中肋骨条藻;而且 3 种营养盐脉冲输入方式下,每 5 天输入一次营养盐的模式中,中肋骨条藻对于 N 盐和 Si 盐的营养需求都是最少的,从生态角度上理解,中等频率的营养盐输入,使中肋骨条藻吸收营养盐的速率下降,对 N 盐和 Si 盐的吸收尤其明显。

参考文献:

- [1] 顾新根. 南水北调工程对浮游植物的影响[J]. 海洋渔业,1993,1:8-12.
- [2] 吴玉霖,张永山. 长江口海域浮游植物分布及其与径流的关系[J]. 海洋与湖沼,2004,35(3):246-251.
- [3] Ornlöfsdóttir E B. Nutrient pulsing as a regulator of phytoplankton abundance and community composition in Galveston Bay, Texas[J]. J Exp Mar Biol Ecol,2004,303:197-220.
- [4] 刘东艳,孙军,陈宗涛,等. 不同氮磷比对中肋骨条藻生长特性的影响[J]. 海洋湖沼通报,2002,2:39-43.
- [5] 胡晗华,石岩峻,丛威,等. 不同氮磷水平下中肋骨条藻对营养盐的吸收及光合特性[J]. 应用与环境生物学报,2004,10(6):735-739.
- [6] 李铁,史致丽,李俊,等. 营养盐对中肋骨条藻和新月菱形藻部分生化组成和性质的影响[J]. 海洋与湖沼,2000,31(3):239-245.
- [7] 徐开钦,林诚二,牧秀明,等. 长江干流主要营养盐含量的变化特征——1998~1999 年中日合作调查结果分析[J]. 地理学报,2004,59(1):118-124.
- [8] 王佳宁,晏维金,贾晓栋,等. 长江流域点源氮磷营养盐的排放、模型及预测[J]. 环境科学学报,2006,26(4):658-666.
- [9] Odum W E, Odum E P, Odum H T. Nature's pulsing paradigm[J]. Estuaries, 1995,18:547-555.
- [10] Yamamoto T, Hatta G. Pulsed nutrient supply as a

- factor inducing phytoplankton diversity[J]. **Ecological Modelling**, 2004, 171:247-270.
- [11] 徐永建,钱鲁闽,焦念志,等. 不同放养密度菊花江蕨系统对脉冲加富营养盐的响应[J]. 台湾海峡, 2005, 24(2):150-156.
- [12] 李瑞香,朱明远,王宗灵,等. 东海两种赤潮生物种间竞争的围隔实验[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7):1 049-1 054.
- [13] 霍文毅,俞志明,邹景忠,等. 胶州湾中肋骨条藻赤潮和环境因子之间的关系[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(3):311-318.

Effect of pulsed nutrient supply on the growth of a HAB diatom *Skeletonema costatum*

LIU Ya-lin^{1,2}, HAN Xiao-tian², BAI Jie¹, ZHENG Li³, LIU Jie-sheng⁴, YANG Weidong⁴, ZOU Jing-zhong²

(1. Laboratory of Marine Environmental Science and Ecology, Ocean University of China, Qingdao 266101, China; 2. Key Laboratory of Marine Ecology & Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Center of Marine Ecology, The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China; 4. College of Life Science and Technology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Received: Dec. 18, 2006

Key words: nutrient; pulsed supply; *Skeletonema costatum*; the uptake rate

Abstract: This study was to elucidate whether phytoplankton growth could be influenced by an environmental fluctuation such as a pulsed nutrient supply. A HAB diatom *Skeletonema costatum* was introduced to the model. It was shown that characteristic responses to different intervals of nutrient supply. *S. costatum* showed large fluctuations in cell density in response to pulses of nutrients, and the frequency of fluctuation in cell density equals the frequency of nutrient pulsed supply. The maximum of cell density of *S. costatum* under 1 day's nutrient pulsed is lower than cell density under 5 days' nutrient pulsed or 10 days' nutrient pulsed. And the time that gets to the max cell density under 1 days' nutrient pulsed is later than the time under 5 days' nutrient pulsed or 10 days' nutrient pulsed. Furthermore, the average uptake rate of nutrients under 10 days' nutrient pulsed is the largest among 3 different nutrient pulsed supply modes, and the average uptake rate of nutrients under 5 days' nutrient pulsed is the least among these, especially on the nitrate and silicate.

(本文编辑:张培新)