

武汉东湖甲藻水华与环境因子的关系*

汤宏波^{1,2}, 胡圣^{1,3}, 胡征宇^{1**}, 况琪军¹, 刘国祥¹

(1:中国科学院水生生物研究所,淡水生态与生物技术国家重点实验室,武汉 430072)

(2:中国科学院武汉文献情报中心,武汉 430071)

(3:中国科学院研究生院,北京 100049)

摘要:由于水体富营养化等原因,在全球范围内,水华频繁爆发. 近来,发现武汉东湖出现了一种拟多甲藻(*Peridiniopsis* sp.)水华,该藻是广温性种,水华持续时间较长,最高细胞密度达 2541.44×10^4 cells/L. 研究了武汉东湖拟多甲藻水华种群动态及其与环境因子之间的关系. 相关分析表明,拟多甲藻密度和表层总磷、1.2 m 处的总氮以及表层硝酸盐浓度成显著正相关,但是总磷、溶解性磷酸盐、总氮、磷酸盐以及氨氮浓度在形成明显水华前大幅度升高,水华消亡时,处于低谷. 适合的光照条件,也是拟多甲藻水华形成的刺激因子之一. 另外,从一些采样点浮游植物组成及分布来看,风在一定程度上加重了水华表现的严重程度. 此外,还观察到了水华的消亡及其发生过程,水华消亡时,大量拟多甲藻下沉. 分析认为,水华的发生是多种环境因子综合作用的结果.

关键词:拟多甲藻;武汉东湖;水华;环境因子

Relationship between *Peridiniopsis* sp. and environmental factors in Lake Donghu, Wuhan

TANG Hongbo^{1,2}, HU Sheng^{1,3}, HU Zhengyu¹, KUANG Qijun¹ & LIU Guoxiang¹

(1:State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P. R. China)

(2:Wuhan Branch of the National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, P. R. China)

(3:Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China)

Abstract: Because a lot of nitrogen and phosphorus flow into lakes and rivers, water bloom frequently occurs in world scope. Recently a sort of *Peridiniopsis* sp. bloom was appeared in Lake Donghu, Wuhan. The *Peridiniopsis* sp. can adapt well to a large range of temperature. The algal bloom lasted a long time and the maximum density of *Peridiniopsis* sp. reached as high as 2.54×10^7 cells/L. In the paper, population dynamics of *Peridiniopsis* sp. and its relationship with environmental factors in Lake Donghu were studied. The correlation analysis indicated *Peridiniopsis* sp. be remarkable positive correlation with the concentrations of TP_{surface} , $TN_{1.2 \text{ meters}}$ and $NO_3\text{-}N_{\text{surface}}$. However, the concentrations of TP, TOP, TN, TON, $PO_4\text{-}P$ and $NH_4\text{-}N$ were raised just a day before blooming and fell to lowest after blooming. Suitable strength of illumination may be a triggering factor for blooming. In addition, it can be found from the composition and distribution of phytoplankton in some sampling stations that in certain degree wind can make *Peridiniopsis* sp. gather and cause bloom. The development, occurring and dying out of algal bloom was observed. When the algal bloom died out, a lot of *Peridiniopsis* sp. sunk down toward lower layer. By analyzing, authors consider many environmental factors lead to water bloom together.

Keywords: *Peridiniopsis* sp.; Lake Donghu (Wuhan); algal bloom; environmental factors

在复杂的自然水体中,浮游植物的生长受到来自水域各种生物和非生物因素的影响,许多研究者都在

* 中国科学院知识创新工程项目(KSCX2-SW-111)和国家自然科学基金面上项目(30470140)联合资助. 2007-01-08 收稿;2007-05-25 收修改稿. 汤宏波,男,1980年生,助理研究员;E-mail:tanghb@mail.whlib.ac.cn.

** 通讯作者;E-mail:huzy@ihb.ac.cn.

尽量寻找特殊的影响因子并对其进行不懈的探讨。

武汉东湖是长江中下游的一个中型浅水湖泊,近几十年来,由于湖区周围人口密度的增加,工农业生产、水产养殖以及旅游业的迅速发展,大量营养物质输入东湖,改变了营养比率,也改变了浮游植物的群落结构^[1]。20世纪70年代后期至80年代中期,曾发生严重的微囊藻水华,自1985年起,水华一度消失^[2]。近两年,在东湖的郭郑湖区域又发现水面漂浮藻类水华的现象,经鉴定为拟多甲藻(*Peridiniopsis* sp.)水华。2004年春季,该藻类在三峡库区童庄河也发生了水华,持续时间大约2个月。拟多甲藻是一种广温性种类,近年来在我国淡水水域形成水华的现象时有发生^[3]。

尽管过去对各种藻类的生理生态特性及温度、盐度和营养盐对其生长、繁殖的影响有过较多的研究报告,但至今对水华发生的原因、种间竞争以及水华藻类受控机理等方面的了解还非常有限。水华的形成涉及复杂的生态学和水动力学过程,受多种因素的影响,如水温、盐度、营养组成、生物间相互作用(包括摄食、种间竞争、细菌等)、天气等都会影响到赤潮的形成。

长久以来,甲藻水华和赤潮肆虐水生生态系统的现象遍布全球^[4-7],有关甲藻水华的研究,国内外均有较多报道,但主要集中在对海水中赤潮的研究。本文旨在通过对武汉东湖甲藻水华的调查及其与相关环境因子相关性的分析,为揭示甲藻水华的成因及消亡提供科学依据。

1 材料与方法

郭郑湖区是东湖的主体湖区,水华主要集中在该湖区,故在该区域设置了4个采样点(图1)。其中,DH1采样点水深大约2 m,于2005年4月初连续采样6 d,于表层,0.6 m,1.2 m以及1.8 m分层采样,另外在月末采样一次,采样时间均为中午12:00。其他3个采样点则根据水华情况各取一次样。样品分析项目包括多项理化因子、气象因子以及藻细胞密度和叶绿素a含量。理化因子包括水温,透明度,pH,溶解氧,总磷,总溶解磷,总氮,总溶解氮,磷酸盐,硝酸盐,氨氮以及高锰酸盐指数等,均按照《水和废水监测分析方法》^[8]进行测定。气象因子包括气温和光照强度。采样期间无雨。

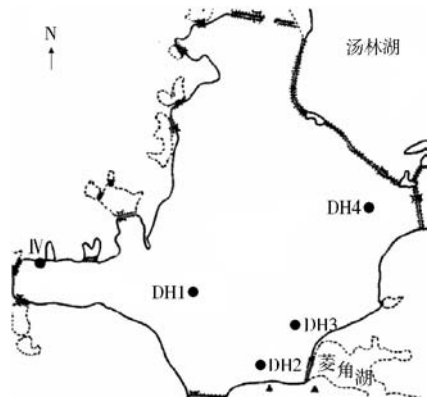


图1 武汉东湖采样点的设置

Fig. 1 Sampling stations in Lake Donghu, Wuhan

2 结果

2.1 水文及气象

DH1在采样期间的水温变化(图2a),4月1日,表层和1.2 m的水温分别为20℃和20.9℃,2日,表层的水温上升到22.2℃,5日和6日的水温又下降到19.3℃。pH值的变化幅度较大(图2b)。透明度在4月1日仅仅0.3 m,3号上升到1 m,随后的5日是一个闷热的阴天,光强仅274 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,气温却上升到25.8℃(图2d),透明度下降到0.4 m(图2c)。6日为晴好天气。13日采样时,风向由北向南。

2.2 拟多甲藻密度细胞密度、Chl. a 浓度以及相关的环境因子

4月1日,在DH1采样点,表面有严重的甲藻水华,表层,0.6 m,1.2 m以及1.8 m的拟多甲藻密度分别为 2.06×10^7 、 1.62×10^7 、 9.29×10^6 以及 7.22×10^6 cells/L,呈逐渐降低趋势;而2日则是底层密度高,分别为 1.52×10^6 、 3.31×10^6 、 5.14×10^6 以及 5.02×10^6 cells/L,3日和4日拟多甲藻密度都低于 7.0×10^5 cells/L。5日拟多甲藻密度开始全面回升,到6日,拟多甲藻密度达到一个峰值,表层出现明显的水华,表层的拟多甲藻密度达到 3.25×10^6 cells/L。到4月27日,拟多甲藻仅仅零星出现(图3a)。

4月7日,在DH4发现严重的水华,表层的拟多甲藻密度和叶绿素a含量分别为 2.54×10^7 cells/L和975.06 mg/m^3 ;13日DH3有明显的水华,而DH1,DH2和DH4未出现水华。DH3的表层拟多甲藻密度和叶绿素a分别为 1.19×10^7 cells/L和339.21 mg/m^3 ,和DH3临近的DH2的拟多甲藻密度和叶绿素a则仅仅为6.9

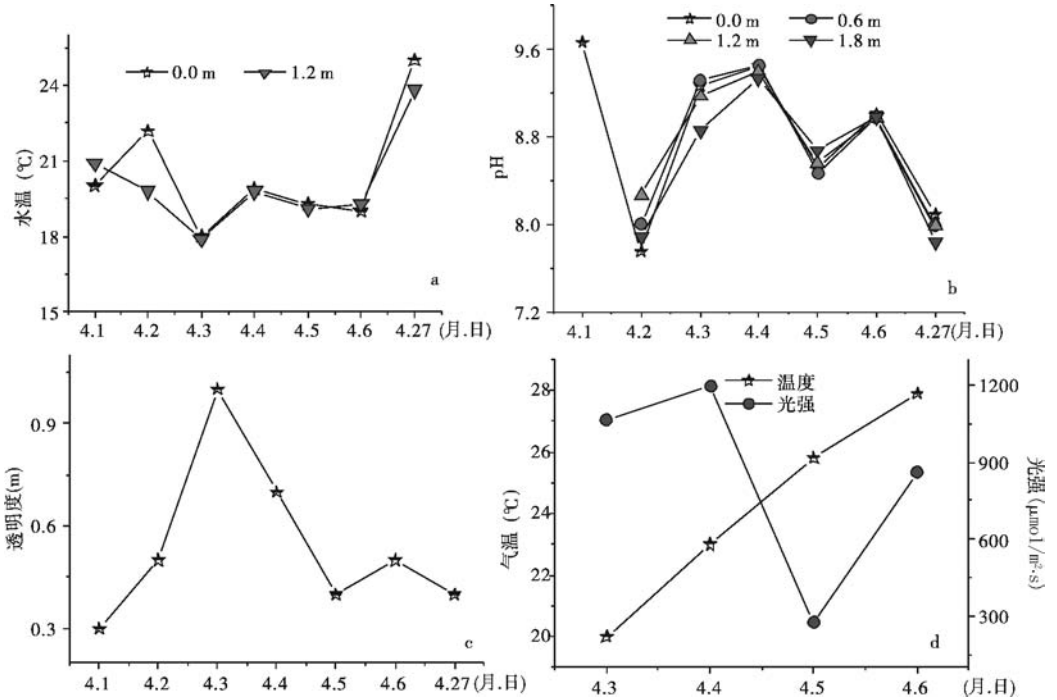


图2 DH1 水温, pH, 透明度, 气温和光强的变化

Fig. 2 Variation in water temperature, pH, transparency, air temperature and light intensity at DH1

$\times 10^5$ cells/L 和 47.12 mg/m^3 , 但是 DH2 和 DH3 的其它浮游植物密度却相差非常微小, 分别为 3.85×10^7 cells/L 和 3.64×10^7 cells/L (图 3b 和表 1), 这个差别可能是风使拟多甲藻在 DH3 堆积后, 占用了其他浮游植物的生存空间. 有明显水华的 DH3 的 TON, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ 以及 COD_{Mn} 的浓度均比 DH2 低 (表 1).

表 1 DH2, DH3 和 DH4 的主要环境因子

Tab. 1 Values of environmental factors at DH2, DH3 and DH4 stations

月. 日	地点	TP (mg/L)	TOP (mg/L)	TN (mg/L)	TON (mg/L)	$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/L)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	COD_{Mn} (mg/L)	Chl. a (mg/m^3)
4. 7	DH4	0.86	0.10	6.48	1.21	0.03	0.33	0.21	7.1	975.06
4. 13	DH2	0.12	0.06	0.99	0.90	0.04	0.20	1.01	5.8	47.12
4. 13	DH3	0.37	0.07	2.41	0.73	0.01	0.17	0.16	5.6	339.21

2.3 相关分析

表 2 列出了各因子间的相关系数, 在 5% 的概率水平下有显著意义的只有 $\text{TP}_{\text{表}}$ 、 $\text{TN}_{1.2\text{m}}$ 以及 $\text{NO}_3\text{-N}_{\text{表}}$, 它们的回归方程分别为:

$$\text{Peridiniopsis sp. 密度} = 0.063 + 5.499e^{-4} \times \text{TP}_{\text{表}} \quad r = 0.912 \quad n = 5, P = 0.0311$$

$$\text{Peridiniopsis sp. 密度} = 1.057 + 0.003 \times \text{TN}_{1.2\text{m}} \quad r = 0.915, \quad n = 5, P = 0.0294$$

$$\text{Peridiniopsis sp. 密度} = 143.154 + 0.305 \times \text{NO}_3\text{-N}_{\text{表}} \quad r = 0.916, \quad n = 5, P = 0.0289$$

表 2 *Peridiniopsis* sp. 和环境因子的相关系数Tab. 2 Correlation relationship between *Peridiniopsis* sp. and environmental factors

	TP	TOP	TN	TON	$\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	COD_{Mn}	O_2
表层	0.91	0.375	0.445	0.273	0.056	0.204	0.916	0.445	-0.050
1.2 m	0.84	0.369	0.915	0.008	0.368	0.025	0.833	-0.456	-0.610

另外,据测定,TP、TOP、TN、TON、PO₄-P 以及 NH₄-N 在水华的前一天,即 4 月 5 日,浓度大幅度增加,而拟多甲藻正是 4 月 5 日开始大量繁殖(图 3a),4 月 6 日,TN、TON、PO₄-P 以及 NH₄-N 浓度都大幅度下降。

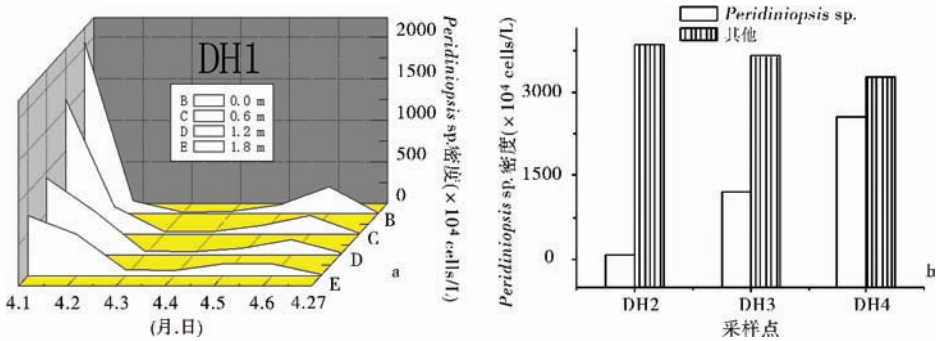


图 3 藻密度和叶绿素的时空变化
Fig. 3 Variation in algal density and Chl. a

3 讨论

据报道,就个体数量而言,在 1956 - 1957 年,武汉东湖的甲藻第一,硅藻第二,这两个门组成了整个藻类密度的 60% - 70%。20 世纪 60 年代后,蓝藻和绿藻密度增加,占到整个藻类的 50% 以上^[9]。然而到 70 年代后期至 80 年代中期,每年夏天湖水表面都漂浮着极为难看且难闻的蓝藻水华。1985 年起,蓝藻水华首次没有大面积爆发(以后的 2 - 3 年间仅在局部区域还有少量水华),至 2003 年,蓝藻水华再也没有出现过。1979 - 2000 年间,浮游植物总生物量及蓝藻生物量明显下降,而个体较小的鞭毛类的隐藻类(含少量甲藻)有明显的上升趋势。可见,周边人为活动改变了水域的营养比例,也影响了浮游植物优势种类的更替^[10],导致浮游植物群落结构发生改变;由于鞭毛藻不易被浮游动物摄食,加之有毒鞭毛藻类能分泌毒素抑制其他生物生长,因此鞭毛藻能占据优势,发生水华^[11]。拟多甲藻也是一种鞭毛藻且体形相对较大。

水华的发生除需要营养物质作为物质基础外,还与温度,光照强度,盐度等有关^[12]。据作者研究,该拟多甲藻是广温性浮游植物,可在 10 - 28℃ 大量繁殖,形成水华。据报道,由于甲藻一般具有鞭毛,能在水体中上下移动,选择最佳的生长条件^[13,14],在条件不适时,下沉到底部,形成孢囊^[15],当条件再次合适时,孢囊迅速萌发,进入水体,引发水华^[16]。在本研究中,观测到明显的拟多甲藻水华消亡及发生过程以及相关环境因子的变化。在 DH1 站,4 月 1 日发生了严重的拟多甲藻水华,表层拟多甲藻密度高达 2.06×10^7 cells/L,4 月 2 日,由于条件(水文及营养等)的不适,拟多甲藻下沉,表层的拟多甲藻密度下降到 1.52×10^6 cells/L,而 1.2 m 和 1.8 m 的拟多甲藻密度却仍然很高,分别为 5.14×10^6 cells/L 和 5.02×10^6 cells/L,到 4 月 3 日表层的拟多甲藻密度仅仅为 2.18×10^5 cells/L,而 1.2 m 和 1.8 m 则分别为 5.19×10^5 cells/L 和 7.03×10^5 cells/L,为此认为,4 月 2 日和 3 日为水华消亡期。4 月 5 日,表层,0.6 m、1.2 m 以及 1.8 m 的拟多甲藻分别回升至 1.11×10^6 、 1.11×10^6 、 8.37×10^6 以及 1.47×10^6 cells/L,则认为是拟多甲藻进入了下一轮水华的潜伏期。4 月 6 日,表层、0.6 m、1.2 m 以及 1.8 m 的拟多甲藻分别达到 3.25×10^6 、 2.24×10^6 、 1.84×10^6 以及 1.7×10^6 cells/L,则认为是水华发展期。

通过相关分析表明,拟多甲藻密度和 TP_表、TN_{1.2m} 以及 NO₃-N_表 浓度呈显著正相关性。但是水华的前一天,TP、TOP、TN、TON、PO₄-P 以及 NH₄-N 浓度大幅度升高,天气闷热,光照强度不高,也许这些都是拟多甲藻水华的刺激因子。另外,从 DH2、DH3 和 DH4 站浮游植物的组成及分布来看,风在一定程度上对拟多甲藻的聚集并形成水华起到了促进作用。

营养盐是浮游植物生长的物质基础,在水华形成与维持中具有一定的决定性作用,浮游植物的氮磷吸收比例基本上是遵循 Riedfield 比值 16:1,因此常用此比值来判断浮游植物受营养盐的相对限制情况^[17-19]。当氮磷比偏离 16 时,藻类的生长会受到相对低含量营养要素的限制^[20]。在武汉东湖这样的富营

养湖泊中,不存在营养限制问题,但是存在种间竞争,调查表明,此时硅藻生物量占据东湖浮游植物第二位,是拟多甲藻生存空间的有力竞争者. 就目前的研究报道来看,有硅藻水华后是甲藻水华的研究报道,也有先硅藻水华,然后才后硅藻水华的报道. 并且,还有学者认为从微观分子水平研究硅藻与甲藻的相互作用物质及其机理是进一步研究水华种间关系的必要途径^[21]. 正如 Anderson 指出的:相同的营养负荷在不同的环境条件下,或是在相同的环境条件而时间不同,对于水华的影响都是不同的^[22]. 因此,不能简单的认为水体富营养化就一定发生水华,只能说是多种环境因素综合作用导致了水华爆发.

4 参考文献

- [1] 况琪军,夏宜琤. 武汉东湖主要湖区的藻类与营养型评价. 湖泊科学,1995,7(4):345-347.
- [2] 谢平. 鲢、鳙与藻类水华控制. 北京:科学出版社,2003:54-63.
- [3] 汤宏波,刘国祥,胡征宇. 三峡高岚河甲藻水华的研究. 水生生物学报,2006,30(1):47-51.
- [4] Gisselson L, Carlsson P, Granéli E *et al.* *Dinophysis* blooms in the deep euphotic zone of the Baltic Sea: do they grow in the dark? *Harmful Algae*, 2002, (1): 401-418.
- [5] Fauchot J, Levasseur M, Roy S *et al.* Environmental factors controlling *Alexandrium tamarense* (dinophyceae) growth rate during a red tide event in the St. Lawrence Estuary (Canada). *J Phycol*, 2005, 41:263-272.
- [6] Olli K, Heiskanen A, Lohikari K. Vertical migration of autotrophic microorganisms during a vernal bloom at the coastal Baltic Seacoexistence through niche separation. *J Phycol*, 2002, 32: 985-988.
- [7] 顾海峰,蓝东兆,方琦等. 我国东南沿海亚历山大藻休眠孢囊的分布和萌发研究. 应用生态学报,2003,14(7):1147-1150.
- [8] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会编. 水和废水监测分析方法,第四版. 北京:中国环境科学出版社,2002:88-285,649-654.
- [9] 饶钦止,章宗涉. 武汉东湖浮游植物的演变(1956-1975年)和富营养化问题. 水生生物学集刊,1980,7:1-17.
- [10] 李道季,曹勇,张经. 长江口尖叶原甲藻赤潮消亡期叶绿素连续观测. 中国环境科学,2002,22(5):440-403.
- [11] Riegman R. Nutrient related selection mechanisms in marinen phytoplankton communities and the impact of eutrophication on the planktonic foodweb. *Wat Sci Technol*, 1995,32: 63-75.
- [12] 冯剑丰,王洪礼,孙景. 渤海赤潮预测的研究现状及展望. 气象水文海洋仪器,2004,1:11.
- [13] Harris G P. Temporal and spatial scales in phytoplankton ecology: Mechanisms, methods, models and mangement. *Can J Fish Aquat Sci*, 1980,37: 877-900.
- [17] Falkowski P G. Evolution of the nitrogen cycle and its influence on the biological sequestration of CO₂ in the ocean. *Nature*, 1997,387: 272-275.
- [18] Tyrrell T. The relative influences of nit rogen and phosphorus on oceanic primary production. *Nature*, 1999, 400: 525-531.
- [19] Lenton T M, Watson A J. Redfield revisited 1. Regulation of nitrate, phosphate, and oxygen in the ocean. *Glob Biogeochem Cycl*, 2000, 14:225-248.
- [20] Wynne D, Rhee G Y. Effects of light intensity and quality on the relative N and P requirement (the optimum N:P ratio) of marine phytoplankton algae. *J Plank Res*, 1986, 8:91-103.
- [21] 周成旭,马斌,汪飞雄等. 海洋原甲藻与三角褐指藻混合培养条件下的种群生长与氮磷营养盐变化. 海洋科学,2006,30(12):58-61.
- [22] Anderson D M, Glibert P M, Burkholder J M. Harmful algalblooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, 2002,25(4b): 704-726.