

聂凯霞,熊丽黎,王瑾,等. 水体流动对鄱阳湖撮箕湖原水培养基中铜绿微囊藻生长的影响[J]. 江西师范大学学报(自然科学版),2022,46(1):107-110.

NIE Kaixia, XIONG Lili, WANG Jin, et al. The effects of water flow on the growth of *Microcystis aeruginosa* in raw water culture of Cuoji Lake, Poyang Lake [J]. Journal of Jiangxi Normal University(Natural Science), 2022, 46(1): 107-110.

文章编号:1000-5862(2022)01-0107-04

# 水体流动对鄱阳湖撮箕湖原水培养基中铜绿微囊藻生长的影响

聂凯霞<sup>1</sup>,熊丽黎<sup>2\*</sup>,王瑾<sup>3</sup>,沈友恒<sup>3</sup>,李林<sup>1</sup>

(1. 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室,江西 南昌 330022;  
2. 江西省水文监测中心,江西 南昌 330002;3. 鄱阳湖水文监测中心,江西 南昌 330020)

**摘要:**为量化研究水动力对鄱阳湖撮箕湖水体中蓝藻生长的影响,该文采用灭菌撮箕湖原水在光照培养箱中控温、控光的无菌条件下,使用自制有机玻璃环形槽进行水体流速控制试验. 研究表明:在撮箕湖原水培养基中微囊藻的生长随水流速度的增加呈先增加后降低的变化趋势,当水流速度为 $45\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 时最有利于微囊藻的生长,微囊藻最大比生长速率、最大藻密度也呈相似的变化规律. 在对照组中微囊藻最大比生长速率和最大藻密度分别为 $0.32\text{ d}^{-1}$ 和 $1.480\times 10^6\text{ cells}\cdot\text{mL}^{-1}$ ;在实验组中微囊藻最大比生长速率和最大藻密度最高分别为 $0.43\text{ d}^{-1}$ 和 $2.329\times 10^6\text{ cells}\cdot\text{mL}^{-1}$ . 水流对微囊藻生长促进作用较低,水体富营养化增加水流将进一步提高微囊藻生长,增加蓝藻水华风险.

**关键词:**鄱阳湖;铜绿微囊藻;水华;水流;比增长速率

**中图分类号:**X 524 **文献标志码:**A **DOI:**10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2022.01.15

## 0 引言

鄱阳湖位于江西省的北部、长江中下游南岸,是中国第一大淡水湖,是与长江自然相通的大型通江湖泊. 承纳赣江、抚河、信江、饶河、修水五河来水,经调蓄后由湖口北注长江,形成完整的鄱阳湖水系,湖泊受长江和五河双重制约,呈季节性涨落,具有“洪水一片、枯水一线”特征. 鄱阳湖属过水型湖泊,换水速度快,平均换水周期约为21 d,丰水期湖泊水面总体呈现水平状,此时水流速度一般为 $0.10\sim 0.80\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [1]. 随着流域内社会经济发展、水土流失加剧等,导致入湖营养物质(如氮、磷等)输入量较高,湖区水体富营养化和蓝藻水华的风险较高[2-3],常出现断面磷超标现象. 近年来,在鄱阳湖都昌、康山湖、撮箕湖、战备湖和一些蝶形湖等湖区出现了明显水华蓝藻聚集现象,并呈逐年加重的趋势. 探究在鄱阳湖区域内蓝藻水华形成原因对保护

水生态安全具有重要意义.

有研究表明:蓝藻水华一般与蓝藻种类、营养盐、温度、光照及其他生物等环境因素紧密相关[4]. 在浅水型湖泊中水流对藻类生长的影响比营养盐更大[5],可见湖泊水动力对蓝藻水华的形成起着重要的作用. 关于水流对蓝藻影响的研究主要通过室内控制模拟试验开展,陈伟明等[6]通过模拟试验表明在大型浅水湖泊中,水流对浮游生物的数量、分布起着重要作用;有研究发现:藻类生长随水体流速的增加先增加后降低,存在一个最佳水体流速[7-10];水环境因子(如营养盐浓度、氮磷比、光照和温度等)会改变水动力对蓝藻生长的影响[11-12]. 鲜见水动力作用对鄱阳湖蓝藻生长影响研究. 因此,本文在光照培养箱中控温、控光的无菌条件下,采用自制有机玻璃环形槽进行梯度流速试验(培养液选取灭菌鄱阳湖撮箕湖原水,蓝藻使用鄱阳湖纯化出的铜绿微囊藻),量化研究水动力作用对鄱阳湖蓝藻生长的影响,为防治鄱阳湖蓝藻水华提供基础数据支撑.

收稿日期:2021-10-28

基金项目:国家自然科学基金(51309126)和江西水利科技课题(201921YBKT06,202022YBKT02)资助项目.

通信作者:熊丽黎(1984—),女,江西石城人,博士研究生,主要从事水生态监测与保护研究. E-mail:254638576@qq.com

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

实验所用的铜绿微囊藻为江西省水利科学院从鄱阳湖分离纯化的藻种,使用BG11培养基在光照度为3 000 lx、25℃恒温条件下扩大培养7 d,藻密生长至对数生长期为止备用.实验所用培养基采自鄱阳湖东部湖湾最大的一个蝶形湖,位于都昌县境内,地处鄱阳湖东部湖湾水流较缓的尾间区撮箕湖,野外原水采自湖心,总氮、总磷和氨氮质量分数分别为 $1.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.62 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,用高压锅消毒灭菌后备用.

### 1.2 实验方法

实验装置为小型有机玻璃环形槽(见图1),以无极电动机带动叶片转动使水体产生流动,通过调节电动机转速控制槽内水体的流速,调节流速为 $0 \sim 65 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ .采用声学多普勒流速仪(ADCP)实测鄱阳湖撮箕湖丰水期和枯水期流速为 $0 \sim 50 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ,因此本文按水流速度梯度依次设定0、5、15、30、45、 $60 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 共6组实验,其中 $0 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 为静止对照组.原水体积为1.5 L,初始接种藻密度为 $2.000 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,温度为 $(25 \pm 0.3) \text{ }^\circ\text{C}$ ,光照度为 $(2500 \pm 50) \text{ lx}$ ,光暗比为14 h:10 h.实验前用紫外灯对实验装置杀菌2~4 h,实验过程设置3组平行样.

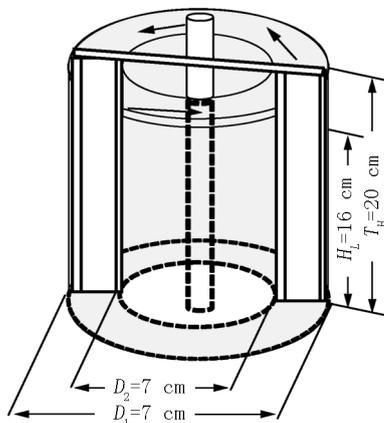


图1 实验装置

每天上午8:30取2 mL藻培养液至锥形瓶中,使用奥林巴斯(OlympusCX31)光学显微镜进行细胞计数,每次计数2次,相差小于15%,若超过15%则再计数1次,再取相近的细胞计数取平均值.实验在开始时做好水位标记,用无菌蒸馏水补充在实验过程中损失的水分.

### 1.3 分析方法

比增殖速率( $\mu$ )是在某一时间间隔内藻类生长的速率( $\text{d}^{-1}$ ).其计算公式<sup>[13]</sup>为

$$\mu = \ln(x_2/x_1)/(t_2 - t_1), \quad (1)$$

其中 $x_1$ 为在某一时间间隔开始时的藻细胞数量( $\text{cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ), $x_2$ 为在某一时间间隔终结时的藻细胞数量( $\text{cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ), $t_2 - t_1$ 为某一时间间隔(d).先按式(1)计算每组试验的比增殖速率,再选出每组试验的最大比增殖速率.

## 2 试验结果与分析

### 2.1 铜绿微囊藻的生长曲线

微囊藻在流动水体中连续培养13 d,将计数得到的微囊藻密度与对应的培养时间绘图得到微囊藻生长曲线(见图2).从图2可以看出:在鄱阳湖撮箕湖原水培养液中铜绿微囊藻均能生长,均出现适应期、对数生长期和稳定期的生长阶段,在静止对照组中微囊藻适应时间为5 d,在流动水体中微囊藻适应时间为3~4 d,在流动水体中微囊藻的适应时间缩短了1~2 d,这与李林等<sup>[14]</sup>使用改良BG11培养基开展水流对蓝藻生长影响得到的结果相似.在流动培养基中铜绿微囊藻密度均比在静止对照组中的更高,这说明水体流动能促进藻类的生长;当水体流速小于 $45 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,铜绿微囊藻的生长与水体流速呈同向变化;当水流速度大于 $45 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,微囊藻的生长与水体流速呈反向变化,即铜绿微囊藻的生长随水体流速的增加呈先促进后抑制的变化趋势,当水体流速为 $45 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 时微囊藻的生长最佳.

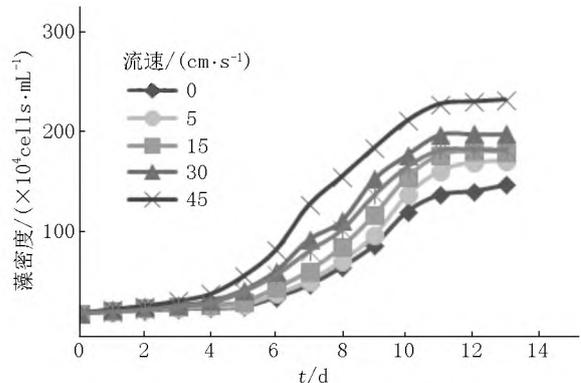


图2 铜绿微囊藻生长曲线

### 2.2 在不同流速下铜绿微囊藻的最大藻密度

将在不同流速培养下微囊藻最大藻密度与流速的关系作图,结果如图3所示.从图3可以看出:在静止对照组中的最大藻密度最低,其值为 $1.480 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ;在实验组中微囊藻最大藻密度随流速的增加呈先增加后降低的变化趋势,最大藻密度值的范围为 $1.720 \times 10^6 \sim 2.329 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,当流速为 $45 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 时微囊藻最大藻密度达到最大值 $2.329 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ .可见,水体流动较显著地提高水体藻密度.

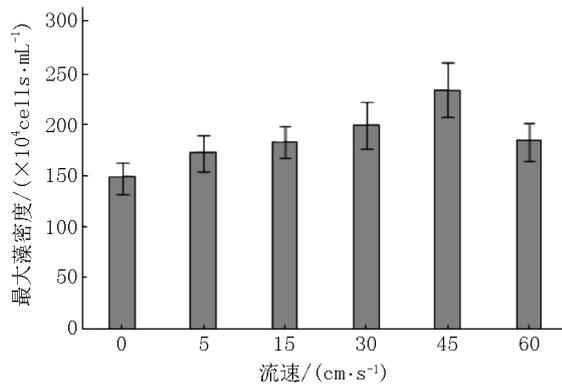


图 3 在不同流速下铜绿微囊藻最大藻密度

### 2.3 在不同流速下铜绿微囊藻最大比生长率

将在各水体流速下铜绿微囊藻的最大比增长速率与对应的水体流速作图,结果如图 4 所示.从图 4 可以看出:在静止对照组中铜绿微囊藻最大比增长速率为  $0.32 \text{ d}^{-1}$ ,在各个实验组中随流速的增加微囊藻最大比增长速率从  $0.34 \text{ d}^{-1}$  逐渐增加到  $0.43 \text{ d}^{-1}$ ,然后再降低到  $0.34 \text{ d}^{-1}$ ,即呈先增加后降低的变化规律,当流速为  $45 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  时达到最大值.水体流动明显促进在鄱阳湖撮箕湖原水中微囊藻细胞分裂繁殖,当流速为  $45 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  时微囊藻最大比增长速率提高了 34%,这有利于微囊藻细胞的生长繁殖.

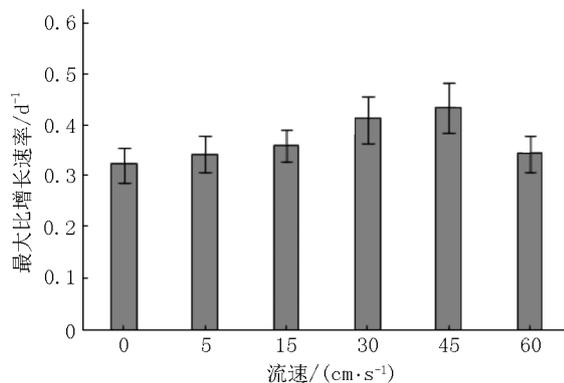


图 4 在不同流速下铜绿微囊藻最大比生长率

## 3 讨论与分析

本文使用鄱阳湖撮箕湖原水培养基进行原水室内控制实验,实验结果表明:水体流动缩短了微囊藻在生长周期中的适应时间,延长了微囊藻的指数生长时间.微囊藻在指数生长阶段的最大比增长速率随水体流速的升高呈先增加后降低的变化规律,最大藻密度也呈相似的变化.当水体流速为  $5 \sim 45 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  时微囊藻对数生长持续时间更长,比增长率也升高,在各实验组中微囊藻最大藻密度比在对照组中的增加 20% ~ 60%;当水体流速为  $45 \sim 60 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  时微囊藻的对数生长时间、比增长速率和最大生物量均较少.因此,水体流动能改变微囊藻的生长过程及生长速率,进而对微囊藻的生长密度产生影响.

该实验结果与文献[14-15]的研究结果相似.

水体流动对微囊藻生长产生的影响与多种因素有关.通常当水体流速所产生的剪切力较低时水体流动有利于藻细胞的分裂和营养盐的吸收,剪切力增加将对藻细胞产生机械破坏,影响藻的生长繁殖.有研究证明:除嫌流水藻类外,急流水藻类和中流水藻类都可以在流水中生长,适当的水体流动有利于藻的生长和繁殖;水动力的剪切力影响藻细胞的完整性并使细胞膜的耐受性降低,若流速增加则剪切力升高,从而对藻细胞产生机械破坏,进而水流与藻类的生长呈现“低促高抑”的关系<sup>[16]</sup>.廖平安等<sup>[17]</sup>和颜润润等<sup>[11]</sup>认为扰动对微囊藻生长也存在一个最佳流速.微囊藻的生长是分裂繁殖方式,适宜的水体流动产生剪切力可加速藻细胞的分裂,从而促进细胞的比生长速率;李林等<sup>[14]</sup>也得到类似结果.

有研究认为水流扰动有利于藻类的生长繁殖的原因主要是:水流扰动能减少光照波动,增加藻细胞与培养基中营养物质、代谢产物的交换速率,提高藻类吸收培养液中营养物质速率,增加光合作用效率<sup>[18]</sup>;水流扰动增加藻细胞表面营养物质流动<sup>[19]</sup>,降低藻类细胞边界层厚度,缩短营养物扩散的路程,水体流动提高藻细胞对营养盐的吸收效率<sup>[20]</sup>;同时水体流动改变藻细胞膜周围的微环境,促进细胞分泌物的转移.当水流速度超过一定值时,水流产生的剪切力对藻细胞产生机械剪切破坏,同时改变藻细胞生理,进而影响藻细胞的分裂速率<sup>[21]</sup>;微囊藻对水流的适应能力受培养基营养盐浓度和组分的影响<sup>[11-12]</sup>.培养基营养盐浓度在超富营下微囊藻密度在水流作用下比在静止条件下提高  $(10 \pm 3)$  倍<sup>[14]</sup>.目前,鄱阳湖撮箕湖营养盐水平可使微囊藻较难适应撮箕湖水体流速,对藻类水华起着较好的抑制作用,如营养盐增加水动力作用将可能促进微囊藻的生长,因此控制撮箕湖水质能防止蓝藻水华的产生.

## 4 结论

- 1) 在撮箕湖(鄱阳湖)原水培养基中,水流能缩短微囊藻适应时间、延长对数生长时间、提高微囊藻分裂速率、促进微囊藻的生长并增加微囊藻密度.当水体流速为  $45 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  时最利于微囊藻的生长;
- 2) 水体流动促进微囊藻对营养盐的吸收,适宜的水流产生剪切力利于细胞分裂繁殖,但过高的水流产生剪切力将破坏微囊藻细胞抑制藻类生长;
- 3) 在目前撮箕湖水体营养盐水平下,水体流动对微囊藻生长的促进较富营养化培养液低,若鄱阳湖水体富营养化增加则水体流动将可能大幅增加微囊藻的生长繁殖,暴发大面积蓝藻水华.

## 5 参考文献

- [1] 闵騫. 鄱阳湖水位变化规律的研究 [J]. 湖泊科学, 1995, 7(3): 281-288.
- [2] 王毛兰, 周文斌, 胡春华. 鄱阳湖区水体氮、磷污染状况分析 [J]. 湖泊科学, 2008, 20(3): 334-338.
- [3] 胡春华, 周文斌, 王毛兰, 等. 鄱阳湖氮磷营养盐变化特征及潜在性富营养化评价 [J]. 湖泊科学, 2010, 22(5): 723-728.
- [4] VERKHOZINA V A, KOZHOVA O M, KUSNER Y S. Hydrodynamics as a limiting factor in the Lake Baikal ecosystem [J]. Aquatic Ecosystem Health and Management, 2000, 3(2): 203-210.
- [5] 任健, 蒋名淑, 商兆堂, 等. 太湖蓝藻暴发的气象条件研究 [J]. 气象科学, 2008, 28(24): 221-226.
- [6] 陈伟明, 陈宇炜, 秦伯强, 等. 模拟水动力对湖泊生物群落演替的实验 [J]. 湖泊科学, 2000, 12(4): 343-353.
- [7] 曹巧丽, 黄钰玲, 陈明曦. 水动力条件下蓝藻水华生消的模拟实验研究与探讨 [J]. 人民珠江, 2008(4): 8-10, 13.
- [8] 王利利. 水动力条件下藻类生长相关影响因素研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2006: 98-112.
- [9] HONDZO M M, KAPUR A, LEMBI C A. The effect of small-scale fluid motion on the green alga *Scenedesmus quadricauda* [J]. Hydrobiologia, 1997, 364(2/3): 225-235.
- [10] THOMAS W H, GIBSON C H. Quantified small-scale turbulence inhibits a red tide dinoflagellate, *Gomyaulax polyedra* Stein [J]. Deep-Sea Research Part A: Oceanographic Research Papers, 1990, 37(10): 1583-1593.
- [11] 颜润润, 逢勇, 赵伟, 等. 环流型水域水动力对藻类生长的影响 [J]. 中国环境科学, 2008, 28(9): 813-817.
- [12] 张毅敏, 张永春, 张龙江, 等. 湖泊水动力对蓝藻生长的影响 [J]. 中国环境科学, 2007, 27(5): 707-711.
- [13] 金相灿, 李兆春, 郑朔方, 等. 铜绿微囊藻生长特性研究 [J]. 环境科学研究, 2004, 17(增刊): 52-54, 61.
- [14] 李林, 朱伟. 不同光照条件下水流对铜绿微囊藻生长的影响 [J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2012, 39(9): 86-91.
- [15] 王婷婷, 朱伟, 李林. 不同温度下水流对铜绿微囊藻生长的影响模拟 [J]. 湖泊科学, 2010, 22(4): 563-568.
- [16] 福迪 B. 藻类学 [M]. 罗迪安, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1980: 1-350.
- [17] 廖平安, 胡秀琳. 流速对藻类生长影响的试验研究 [J]. 北京水利, 2005(2): 12-14, 60.
- [18] GROBBELAAR J U. Turbulence in mass algal cultures and the role of light/dark fluctuations [J]. Journal of Applied Phycology, 1994, 6(3): 331-335.
- [19] KARP-BOSS L, BOSS E, JUMARS P A. Nutrient fluxes to planktonic osmotrophs in the presence of fluid motion [J]. Oceanography and Marine Biology: an Annual Review, 1996, 34(1): 71-107.
- [20] PEPERZAK L. The wax and wane of *Phaeocystis globosa* blooms [M]. Groningen: University of Groningen Press, 2002: 254-255.
- [21] HONDZO M, LYN D. Quantified small-scale turbulence inhibits the growth of a green alga [J]. Freshwater Biology, 1999, 41(1): 51-61.

## The Effects of Water Flow on the Growth of *Microcystis aeruginosa* in Raw Water Culture of Cuoji Lake, Poyang Lake

NIE Kaixia<sup>1</sup>, XIONG Lili<sup>2\*</sup>, WANG Jin<sup>3</sup>, SHEN Youheng<sup>3</sup>, LI Lin<sup>1</sup>

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330002, China; 2. Jiangxi Hydrology Monitoring Center, Nanchang Jiangxi 330002, China; 3. Jiangxi Poyang Lake Hydrology Monitoring Center, Nanchang Jiangxi 330020, China)

**Abstract:** In order to quantify the effect of hydrodynamic on the growth of cyanobacteria in the water body of Zuoji lake, the flow rate control test is carried out in a self-made plexiglass annular tank under the sterile condition of temperature and light control in a light incubator. The results show that the growth of *Microcystis aeruginosa* in the raw water of Zuoji Lake first increases and then decreases with the increase of flow velocity. The flow velocity is  $45 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ , which is the most suitable for the growth of *Microcystis aeruginosa*. The maximum specific growth rate and maximum algae density of *Microcystis aeruginosa* also show a similar change law. In the control group, the maximum specific growth rate and maximum algal density of algae are  $0.32 \text{ d}^{-1}$  and  $1.480 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ , respectively. The maximum specific growth rate and maximum algal density of *Microcystis aeruginosa* in the experimental group are the highest, which are  $0.43 \text{ d}^{-1}$  and  $2.329 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ , respectively. At present, the effect of water flow on the growth of *Microcystis aeruginosa* is low, and the increase of water eutrophication will further improve the growth of algae and increase the risk of water bloom.

**Key words:** Poyang Lake; *Microcystis aeruginosa*; water bloom; waterflow; specific growth rate

(责任编辑: 刘显亮)