



温度和光照对铜绿微囊藻生长的影响

张青田^{1,2}, 王新华², 林超³, 胡桂坤¹

(1. 天津市海洋资源与化学重点实验室, 天津科技大学海洋科学与工程学院, 天津 300457;
2. 南开大学生命科学学院, 天津 300071; 3. 海河流域水资源保护局, 天津 300170)

摘要: 铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)是常见的水华蓝藻,对湖泊和水库的环境造成恶劣影响. 在室内研究了温度和光照度对铜绿微囊藻生长的影响,以期为水华的监测和分析提供数据支持. 研究表明:铜绿微囊藻喜好高温,在水温30~35℃时生长最佳,在水温30℃时获得最大细胞密度;而水温低于20℃时生长缓慢. 铜绿微囊藻对光照度要求不高,较低光照度即可快速增长,光照度2000~6000 lx适宜铜绿微囊藻快速增殖,在4000 lx时生长最快.

关键词: 温度; 光照; 铜绿微囊藻; 生长

中图分类号: X171.5 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2011)02-0024-04

Effects of Temperature and Illumination on the Cell Proliferation of *Microcystis aeruginosa*

ZHANG Qing-tian^{1,2}, WANG Xin-hua², LIN Chao³, HU Gui-kun¹

(1. Tianjin Key Laboratory of Marine Resources and Chemistry, College of Marine Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;
2. College of Life Science, Nankai University, Tianjin 300071, China;
3. Water Resources Protection Bureau of Haihe River Basin, Tianjin 300170, China)

Abstract: The *Microcystis aeruginosa* is one of the harmful Cyanobacteria species causing abominable environmental conditions of lakes and reservoirs. Effects of water temperature and illumination on the cell proliferation of this microalgal species were done in the laboratory in order to help the monitoring and analysis of water blooms. The results showed: the microalga preferred higher water temperature and the optimal temperature for *M. aeruginosa* to grow was 30–35 °C, and the highest cell density was obtained in 30 °C condition. On the other hand, this microalga grew very slowly when the water temperature was less than 20 °C. This microalga did not request higher illumination, and grew best in 4 000 lx condition. The optimal illumination for its proliferation is about 2 000–6 000 lx.

Keywords: temperature; illumination; *Microcystis aeruginosa*; proliferation

近10年来,水华不仅在我国南方的水库、湖泊经常爆发^[1],北方水域也时有发生,给生产和经济带来损失.引起湖泊、水库水华的优势藻种经常包括微囊藻,其中以铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)造成的灾害尤甚,成为中国乃至世界的研究热点之一^[2-3].通常认为长期的微藻演替依赖高营养盐浓度,而水华季节演替则主要依赖温度、光照等物理条件^[4-5].

温度是影响生物生长发育的重要因子,对水生微藻也不例外.目前,人们已经把温度作为监测和预报

水华的一个关键因素.在低温时,铜绿微囊藻利用营养盐的能力下降,氮、磷都不再是限制因子^[6].有研究者在实验室中也开展了温度对一些水华藻类生长、生理影响的研究^[7-8],以及不同温度下微藻生长和竞争的研究^[9].但是,实验所得的适宜温度范围差异较大,从24~35℃不等,相差11℃之多^[7,10-11].这些差异不利于对蓝藻水华的准确分析.光照度也是影响微囊藻生长繁殖的生态因子之一.由于光在水中以指数形式衰减,所以在许多湖泊水库中,光可以成为影

收稿日期: 2010-09-14; 修回日期: 2010-12-01

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费资助项目(200801135)

作者简介: 张青田(1974—),男,天津人,副教授;通信作者: 王新华,教授,博士生导师, xhwang@nankai.edu.cn.

响藻类生长的因素,影响着水华的发生. 在一定 pH、温度和营养条件下,光照度影响着光合作用产物的多少,从而影响藻类的生长繁殖和密度. 目前国内已经开展了光照对微囊藻生长的生理学和应用研究,包括利用遮光措施来控制水华^[12-14],以及对水体中藻类生长和演替的影响^[15].

本文旨在分析铜绿微囊藻增殖和水温及光照度的关系,为蓝藻水华预警和治理提供参考数据.

1 材料与方 法

1.1 藻种来源及培养

铜绿微囊藻 (*M.aeruginosa* FACHB-905) 购自中国科学院水生生物研究所淡水藻种库,用 BG-11 培养基培养;藻种于光照培养箱中保存,定期接种. 培养条件为:温度 25 °C, pH 7.5 ~ 8.5, 光暗周期比为 14 h : 10 h (光 : 暗), 光照度 2 500 ~ 3 000 lx. 每天早、晚各摇瓶一次. 保种和实验用设备及环境采用常规方法灭菌或消毒^[16].

1.2 实验设计与分析方法

温度实验和光照度实验分别进行,温度实验设计了5个水平,光照度实验设计了6个水平(表 1). 每个梯度水平设 3 个重复.

表 1 实验温度和光照度的实验水平

Tab.1 Factor levels arranged for the experiments

设计水平	光照度/lx	温度/°C
1	0	15
2	200	20
3	1 000	25
4	2 000	30
5	4 000	35
6	6 000	-

采用一次性培养方式进行实验. 在 250 mL 锥形瓶中装藻液 100 mL, 培养液参考 BG-11 配方,其中硝酸氮浓度为 2.0 mmol/L, 磷酸氢二钾浓度为 0.10 mmol/L. 每天早晚各摇瓶一次. 所用光照培养箱的控温误差为 ± 0.5 °C. 使用培养箱内的白炽灯作为光源,光照度用照度计测定.

实验开始后,隔天测定铜绿微囊藻数量,到指数生长期末期时结束实验. 采用以下公式计算微藻生长速率^[16]:

$$K = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t} \quad (1)$$

式中: N_0 和 N_t 为初始微藻细胞密度和经过时间 t 后

的微藻细胞密度; t 为指数生长时间; K 为相对生长常数,表示生长速率. 用 DPS (data processing system) 软件对生长速率进行方差分析^[17].

2 结 果

2.1 温度实验

2.1.1 温度对铜绿微囊藻生长的影响

铜绿微囊藻在温度实验中的生长情况如图 1 所示. 总体上,温度高促进铜绿微囊藻生长,温度低则明显抑制了该藻的生长. 高温时,铜绿微囊藻进入指数生长期较快;温度达到 35 °C 时则抑制了铜绿微囊藻的生长,但是其生长仍然优于较低温度组 (15 ~ 25 °C).

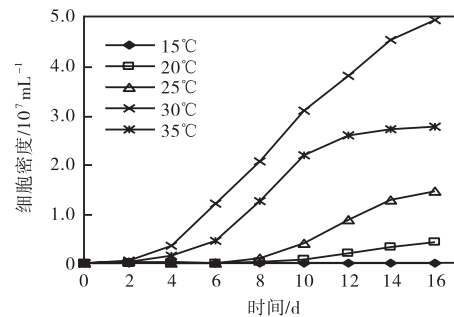


图 1 不同温度下铜绿微囊藻的生长曲线

Fig.1 Growth curves of *M. aeruginosa* in different temperatures

2.1.2 生长速率分析

根据式(1)计算铜绿微囊藻生长速率,结果如图 2 所示. 生长速率的方差分析表明,不同温度对铜绿微囊藻生长的影响极显著 ($P < 0.01$). 选用 LSD (least significant difference) 法进行多重比较,结果见表 2.

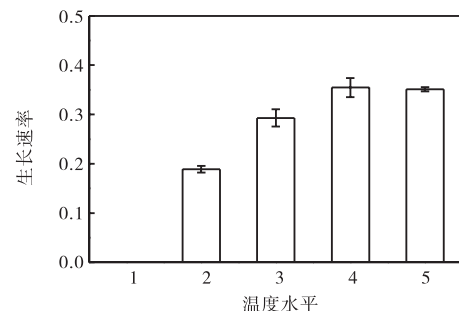


图 2 不同温度水平的生长速率比较

Fig.2 Comparison of growth velocities with different temperature

多重比较的结果表明:所设置温度梯度间作用差异大,可分为 4 个组别;30 °C 和 35 °C 作用同为一组,

其间差异不显著. 因此, 可以认为水温 30 ~ 35 °C 是 铜绿微囊藻生长的最适宜阈值.

表 2 温度实验的多重比较

Tab.2 Multiple comparisons in the temperature experiment

水平	4	5	3	2	1	分组*
4	0.354 3	0.849 1	0.004 9	0.000 1	0.000 1	a A
5	0.351 0	0.003 3	0.006 8	0.000 1	0.000 1	a A
3	0.293 0	0.061 3	0.058 0	0.000 1	0.000 1	b B
2	0.188 7	0.165 7	0.162 3	0.104 3	0.000 1	c C
1	0.000 0	0.354 3	0.351 0	0.293 0	0.188 7	d D

注: *分组结果中小写字母和大写字母依次为 0.05 水平和 0.01 水平显著性. 数据列的下三角数字为均值差, 上三角数字为显著水平.

2.2 光照度实验

2.2.1 光照度对铜绿微囊藻生长的影响

实验期间铜绿微囊藻的生长情况如图 3 所示. 不同光照度对微藻的生长快慢影响不同. 光照度大于 1 000 lx 时, 铜绿微囊藻能够很好地生长; 其中光照度为 4 000 lx 时生长最好, 进入指数生长期也快, 是铜绿微囊藻最适宜的光照度. 光照度小于 1 000 lx 时微藻生长很差. 光照度为 0 lx 时, 铜绿微囊藻几乎不生长, 但是也并未完全消亡.

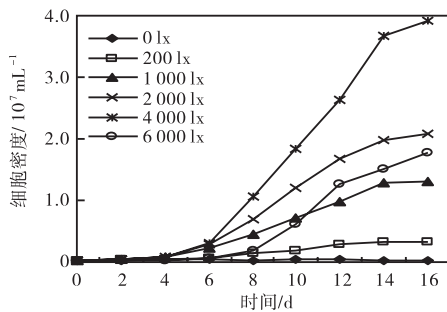


图 3 不同光照度下铜绿微囊藻的生长曲线

Fig.3 Growth curves of *M. aeruginosa* in illumination experiment

2.2.2 生长速率分析

根据式(1)计算微藻生长速率, 结果如图 4 所示. 生长速率的方差分析表明, 不同温度对铜绿微囊藻生长的影响极显著 ($P < 0.01$). 同样进行 LSD 法多重比较分析, 不同浓度水平间的差异和分组情况见表 3.

多重比较的结果和生长曲线的趋势一致. 分组结果在 P 为 0.05 和 0.01 水平时稍有差别, 在 $P = 0.01$ 显著性水平上, 与最适宜光照度 (4 000 lx) 临近的两个光照度水平也有接近的增殖速率.

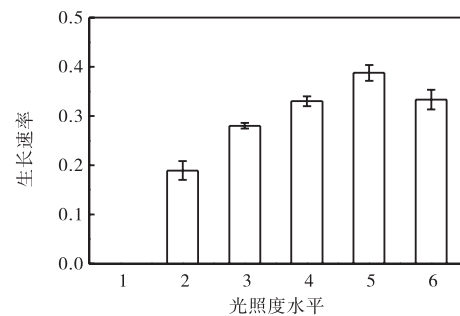


图 4 不同光照度的生长速率比较

Fig.4 Comparison of growth velocities with different illumination

表 3 光照度实验的多重比较

Tab.3 Multiple comparisons in the illumination experiment

水平	5	6	4	3	2	1	分组*
5	0.387 7	0.017 0	0.012 4	0.000 1	0.000 1	0.000 1	a A
6	0.333 3	0.054 3	0.867 9	0.019 2	0.000 1	0.000 1	b AB
4	0.330 0	0.057 7	0.003 3	0.026 3	0.000 1	0.000 1	b AB
3	0.280 3	0.107 3	0.053 0	0.049 7	0.000 6	0.000 1	c B
2	0.189 3	0.198 3	0.144 0	0.140 7	0.091 0	0.000 1	d C
1	0.000 0	0.387 7	0.333 3	0.330 0	0.280 3	0.189 3	e D

注: *分组结果中小写字母和大写字母依次为 0.05 水平和 0.01 水平显著性. 数据列的下三角数字为均值差, 上三角数字为显著水平.

综合来看, 在光照度 2 000 ~ 6 000 lx 时要密切关注铜绿微囊藻增殖, 此时容易出现水华.

3 讨论

本研究的适宜增殖水温和湖泊现场水华易发生

季节的水温基本一致. 刘玉生等^[10]认为, 35 °C 时铜绿微囊藻生长达到最大增殖后, 马上开始沉淀, 绿色消退, 溶液呈乳白色. 其适宜生长的温度范围和本研究的结果一致, 但是本研究中并未出现微囊藻沉淀、溶液呈乳白色的现象. 具体原因有待深入研究. 本研究结果高于刘静玲等^[7]的结果, 温度差异可能和实验方

法(流水、静水和野外等)及选择的温度范围有关. 水温 25 °C 时,本研究铜绿微囊藻的生长情况明显好于 20 °C 时的情况;只是延迟期较长,造成其最终生物量和生殖速率要低于更高温度组的数据.

适宜增殖的光照度结果与陈明曦^[11]、陈雪初等^[13]的结论一致,表明铜绿微囊藻对光照的需求不高. 光照度小于 1 000 lx 时,明显抑制铜绿微囊藻的生长,但是即使无光也没能使藻细胞在短期内“完全死亡”. 因此,在利用遮光等方法治理水华时存在风险. 加之很多生物存在超补偿的特性^[18],遮光后必须连续地密切关注铜绿微囊藻的生长,以免水华爆发.

有研究者报道^[19-20],温度和光照对铜绿微囊藻生长的影响受其他要素的作用. 在设定光照条件一定时,最利于藻类生长的温度条件为 25 °C;而最佳藻毒素释放条件为 28 °C. 而当温度条件一定时,光照条件为 6 000 lx 时最利于藻类细胞的生长,3 000 lx 的光照条件最适合铜绿微囊藻的藻毒素释放^[20]. 这可能是造成现有结论不一致的原因之一,因此在所积累经验的基础上开展多因素室内实验、现场联合监测是很有必要的.

4 结 论

铜绿微囊藻喜好高温,在 30 ~ 35 °C 时生长最佳,在水温 30 °C 条件时细胞密度最大;而温度低于 20 °C 时生长明显受抑制. 该微藻对光照度要求不高,较低光照即可快速增长,光照度 2 000 ~ 6 000 lx 适宜铜绿微囊藻快速增殖. 研究发现,一周时间的遮光也不能使微藻完全死亡,因而利用遮光控制水华时应慎重.

参考文献:

- [1] 孔繁翔,马荣华,高俊峰,等. 太湖蓝藻水华的预防、预测和预警的理论与实践[J]. 湖泊科学,2009,21(3): 314-328.
- [2] Karadžić V, Subakov-Simić G, Krizmanić J, et al. Phytoplankton and eutrophication development in the water supply reservoirs Garaši and Bukulja (Serbia) [J]. Desalination, 2010, 255 (1/2/3) :91-96.
- [3] El Ghazali I, Saqrane S, Carvalho A P, et al. Effects of the microcystin profile of a cyanobacterial bloom on growth and toxin accumulation in common carp *Cyprinus carpio* larvae[J]. Journal of Fish Biology, 2010, 76 (6) :1415-1430.
- [4] Soares M C S, Rocha M I A, Marinho M M, et al. Changes in species composition during annual cyanobacterial dominance in a tropical reservoir: physical factors, nutrients and grazing effects[J]. Aquatic Microbial Ecology, 2009, 57 (2) :137-149.
- [5] 丁飞飞,黄鹤忠,陈金凤,等. 不同磷源及其配比对铜绿微囊藻生长和摄磷效应的影响[J]. 水生态学杂志, 2010, 3 (3) :32-36.
- [6] 袁丽娜,宋炜,肖琳,等. 多环境因素全面正交作用对铜绿微囊藻生长的效应研究[J]. 南京大学学报:自然科学, 2008, 44 (4) :408-414.
- [7] 刘静玲,盛连喜,侯瑞珍. 不同温度下铜绿微囊藻生长特性的初步研究[J]. 农业与技术, 1994 (2) :21-24.
- [8] 赵颖,张永春. 流动水体下的温度对铜绿微囊藻生长的影响[J]. 污染防治技术, 2008, 21 (2) :39-41.
- [9] 郑忠明,白培峰,陆开宏,等. 铜绿微囊藻和四尾栅藻在不同温度下的生长特性及竞争参数计算[J]. 水生生物学报, 2008, 32 (5) :720-727.
- [10] 刘玉生,韩梅,梁占彬,等. 光照、温度和营养盐对滇池微囊藻生长的影响[J]. 环境科学研究, 1995, 8 (6) :7-11.
- [11] 陈明曦. 蓝藻水华消机机制室内模拟试验研究[D]. 宜昌:三峡大学, 2007:1-91.
- [12] 沈英嘉,陈德辉. 不同光照周期对铜绿微囊藻和绿色微囊藻生长的影响[J]. 湖泊科学, 2004, 16 (3) :285-288.
- [13] 陈雪初,孙扬才,曾晓文,等. 低光照度对源水中铜绿微囊藻增殖的抑制作用[J]. 中国环境科学, 2007, 27 (3) :352-355.
- [14] 张丽霞,朱涛,张雅婷,等. 不同光强对铜绿微囊藻生长及叶绿素荧光动力学的影响[J]. 信阳师范学院学报:自然科学版, 2009, 22 (1) :63-65.
- [15] Huisman J, Jonker R R, Zonneveld C, et al. Competition for light between phytoplankton species: Experimental tests of mechanistic theory[J]. Ecology, 1999, 80 (1) :211-222.
- [16] 陈明耀. 饵料生物培养[M]. 北京:中国农业出版社, 1995:25-78.
- [17] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统:实验设计、统计分析及模型优化[M]. 北京:科学出版社, 2006:82-132.
- [18] 秦红杰,李敦海. 铜绿微囊藻高温胁迫后的超补偿生长[J]. 环境科学, 2010, 31 (7) :1504-1509.
- [19] 王崇,王海瑞,徐晓菡,等. 光照与磷对铜绿微囊藻生长的交互作用[J]. 环境科学与技术, 2010, 33 (4) :35-39.
- [20] 吴溶,崔莉凤,卢珊,等. 温度光照对铜绿微囊藻生长及藻毒素释放的影响[J]. 环境科学与技术, 2010, 33 (6E) :33-36.