

低光照度对源水中铜绿微囊藻增殖的抑制作用

陈雪初,孙扬才,曾晓文,李春杰,孔海南* (上海交通大学环境科学与工程学院,上海 200240)

摘要: 研究了不同光照度条件下铜绿微囊藻在源水中的增殖趋势.结果表明,以灭活源水为培养基,培养周期 13d,在 23℃时,当光照度 ≤ 500 lx,铜绿微囊藻生长受到明显的抑制,其比增值速率(μ)为负数,呈衰亡趋势;在 28℃时,当光照度 ≤ 200 lx,最大藻现存量较 4300 lx 时削减 70%以上.以未灭活源水为培养基,23℃时,发现铜绿微囊藻逐渐消亡,这与微型浮游动物的大量出现有关.

关键词: 光照度; 源水; 铜绿微囊藻; 抑制作用

中图分类号: X171.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2007)03-0352-04

The inhibition of low light intensity on the growth of *Microcystis aeruginosa* in raw water. CHEN Xue-chu, SUN Yang-cai, ZENG Xiao-wen, LI Chun-jie, KONG Hai-nan* (School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China). *China Environmental Science*, 2007,27(3): 352~355

Abstract: The growth trend of *Microcystis aeruginosa* in raw water was studied under various conditions of illumination. Using sterile raw water as culture medium at cultured period of 13d, 23℃, and when illumination ≤ 500 lx, the growth of *Microcystis aeruginosa* was inhibited obviously with the specific growth rate (μ) of negative number. At 28℃, if illuminatin ≤ 200 lx, the maximum algal existent amount was reduced above 70% compared with at 4300 lx. Using unsterile raw water as culture medium, at 23℃, the *Microcystis aeruginosa* disappeared gradually, this was related with occurrence of great amount of zooplankton.

Key words: illumination; raw water; *Microcystis aeruginosa*; inhibition

近年来,我国饮用水源地的富营养化问题日趋严峻,直接威胁到城市供水安全,虽然削减外源性营养盐是防治富营养化的根本办法,但对于已经处于富营养化状态的水源地而言,必须在蓝绿藻异常增殖时采取应急性工程措施,在短期内对其进行有效控制^[1-2].控藻方法可从直接影响蓝绿藻增殖的诸多环境因素中入手,相对于温度、营养盐、pH 值等,光照度是较为容易实施人为干预的因素.小岛贞男等^[3]提出可采用局部遮光法抑制水库或蓄水池的水华,根据这一思路,目前已有若干项示范性工程建成并证实了该方法的实用价值.国内的相关研究多关注于较高光照度对蓝绿藻水华的诱发作用,所采用的光照度一般高于 500 lx^[4-6],尚未有关于低光照度对蓝绿藻抑制作用的系统研究.本研究选取位于长江口边滩的宝钢水库的源水为研究对象,以铜绿微囊藻为代表藻种,考察不同光照度对该源水中蓝绿藻增殖的影响,为遮光法在国内的工程应用提供依据.

1 材料与方法

1.1 源水水质

宝钢水库位于上海市宝山区罗泾乡陈行镇岸段,源水一般只供给宝钢使用,但在咸潮期为上海市的备用饮用水源.源水在库内的停留时间长达 1 个月,根据 2006 年 5 月的采样结果,宝钢源水 TP 为 0.05mg/L, TN 为 1.62mg/L,浊度为 3.7NTU, pH 值为 7.14.2004 年该水库叶绿素 a 浓度最高曾超过 200 μ g/L^[7],说明该水库存在蓝绿藻爆发的潜在风险.

1.2 藻种与培养基

铜绿微囊藻购自中国科学院武汉水生生物研究所,试验前扩大培养 1 周,再饥饿培养 48h.取一

收稿日期: 2006-10-11

基金项目: 国家“973”项目(2002CB412409);上海市科委重大科技攻关项目(04DZ12030-2)

* 责任作者, 教授, hnkong@sjtu.edu.cn

定体积的藻种以3000r/min离心15min,弃掉上清液,用15mg/L碳酸氢钠溶液洗涤后3000r/min离心,重复3次.用无菌水稀释后用于接种.接种量为 $5\times10^4\sim1\times10^5$ 个/mL.

BG-11培养基的配制见文献[8];源水培养基采用宝钢水库源水,实验时不再添加任何物质.根据实验要求,对部分水样进行高温灭活处理,部分水样不灭活直接用于实验.

1.3 试验方法

在人工气候室内进行藻培养.所有玻璃仪器使用前均经高温灭菌处理.500mL 锥形瓶中加入100mL 培养基,在光照度 0~20000 lx 进行实验.不同光照度由 4 盏欧普 50W 卤素灯调控,采用 ZDS-10 自动量程光照度计测定.每组试验设置 3 个平行样(统计误差在 5%以内),光暗比 14h:10h,温度设置为 23,28℃,每天人工摇动 2~3 次,每天取样检测生物量(藻类密度).

1.4 细胞计数和比增长率(μ)及倍增周期的计算

采用平板计数法,在Olympus双筒显微镜下,进行细胞计数.以下式计算指数生长期内的 μ 平均值,作为藻类在某一光照度下 μ 的估计值.

$$\mu = \ln(x_n/x_{n-1})/(t_n-t_{n-1})$$

式中: x_n 为当天的细胞数值; x_{n-1} 为前一天的细胞数值; t_n 为对应于 x_n 的培养天数; t_{n-1} 为对应于 x_{n-1} 的培养天数.

2 结果与分析

2.1 光照度对铜绿微囊藻在BG-11培养基中生长的影响

由图 1 可知,23℃时,在 BG-11 培养基中,光照度 4300 lx 最适宜铜绿微囊藻生长,这与林毅雄等^[4]在自制培养基以及灭菌滇池灰弯湖水中培养铜绿微囊藻的试验结果相近(4000~5000 lx 之间 μ 最高).当光照度<4300 lx 时,随着光照度下降,铜绿微囊藻生长趋势减缓;当光照度≤470 lx 时,铜绿微囊藻生长受到明显的抑制;当光照度>4300 lx 时,铜绿微囊藻的生长趋势也减缓,当光照度高达 20000 lx 时,实验第 9d 藻细胞密度有所下降,出现了光抑制的迹象,但到第 11d 铜绿微囊藻恢复生

长,仍远较光照度为 4300 lx 时低.

由图 2 可见,随着光照度的上升, μ 值也先增加,当光照度为 4300 lx 时达到最高值 $0.4d^{-1}$,随后下降,至 20000 lx 时降为 $0.33d^{-1}$;当光照度为 470 lx 时, μ 值为 $0.17d^{-1}$,不到 4300 lx 时的 50%,下降显著;当光照度为 120 lx 以下时, μ 则为负值,这表明此时铜绿微囊藻已不能够在该光照度条件下增殖,反而有衰亡趋势.

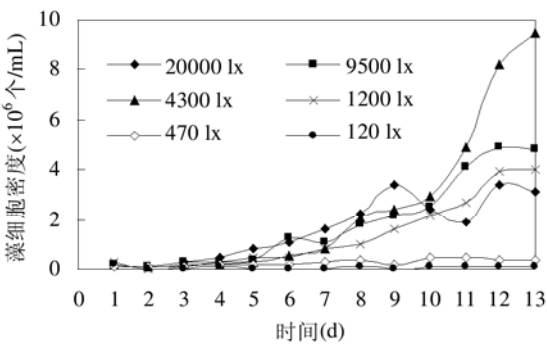


图 1 铜绿微囊藻在BG-11培养基中的生长
Fig.1 The growth of *Microcystis aeruginosa* in culture medium BG-11

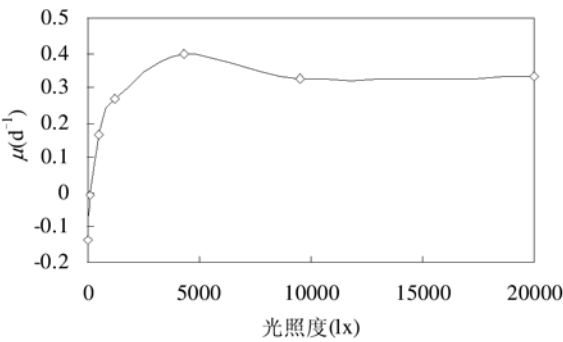


图 2 比增值速率与光强的关系
Fig.2 The relationship between specific growth rate and light intensity

2.2 光照度对铜绿微囊藻在灭活源水中生长的影响

对源水进行高温灭活处理后,避免了微型浮游动物摄食作用的影响,由图 3 可见,23℃时,与 BG-11 培养基中的实验结果类似,铜绿微囊藻在光照度为 4300 lx 时生长状况最佳;当光照度<4300 lx 时,随着光照度下降,铜绿微囊藻生长趋势减缓;而当光照度≤500 lx 时,铜绿微囊藻生长受到明显的抑制.

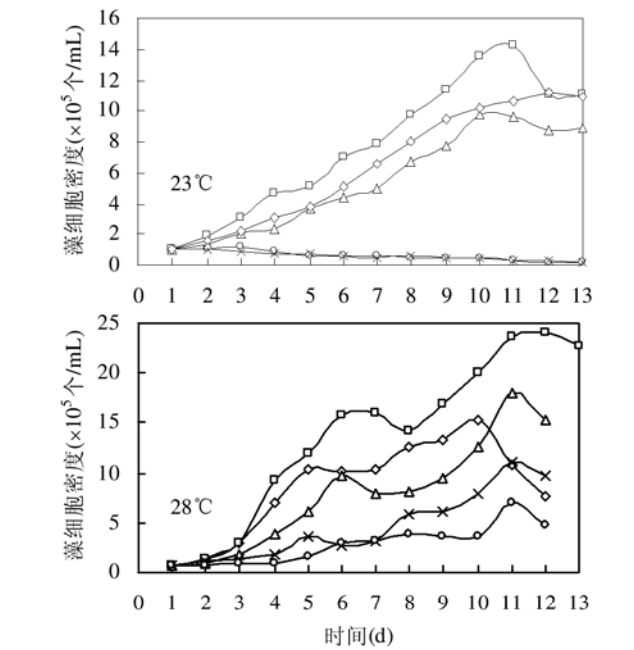


图3 铜绿微囊藻在灭活源水中的生长曲线
Fig.3 The growth of *Microcystis aeruginosa* in sterile raw water
—◇— 9000 lx —□— 4300 lx —△— 2000 lx —×— 500 lx
—○— 200 lx

表2 铜绿微囊藻在灭活源水中的 μ 值和最大藻类现存量

Table 2 The specific growth rate and maximum algal amount of *Microcystis aeruginosa* in sterile raw water

光照度(lx)	$\mu(\text{d}^{-1})$		最大藻类现存量(×10 ⁶ 个/mL)	
	23℃	28℃	23℃	28℃
9000	0.24	0.28	1.13	1.54
4300	0.26	0.32	1.43	2.36
2000	0.24	0.29	0.98	1.81
500	-0.13	0.25		1.11
200	-0.13	0.22		0.70

由表2可见,与BG-11培养基相比,源水培养基 μ 值及最大藻类现存量下降许多,这应当是宝钢源水的营养盐水平相对较低所造成.23℃时,当光照度 ≥ 2000 lx,其 μ 值为0.24~0.26d⁻¹,最大现存量为0.98×10⁶~1.43×10⁶ 个/mL,差别不明显;而当光照度 ≤ 500 lx时,其 μ 为负值,显示在此实验条件下铜绿微囊藻的增殖受到抑制,将逐渐消亡.28℃时铜绿微囊藻生长状况随光照度变化的趋势与23℃时基本相同,但是低光照度条件下没有出现负增长的情况(图3).虽然与23℃时相比,28℃

为铜绿微囊藻生长的适宜温度,各个光照度所对应的 μ 值和最大现存量都有所上升(表2),但是在光照度 ≤ 4300 lx时, μ 和最大藻现存量依然随光照度下降而逐渐减小,当光照度为500 lx时,最大藻类现存量约为4300 lx时的50%,当光照度为200 lx时,降幅达70%以上.

2.3 光照度对铜绿微囊藻在未灭活源水中生长的影响

未经灭活的源水中存在微型浮游动物和天然藻株,更为接近于实际状况,由图4可见,实验初始阶段,光照度为4000,9000 lx的水样中藻细胞密度略有上升,至2d后直线下降;光照度低于4000 lx的水样中藻细胞密度则一直下降.镜检结果表明,各个水样中变形虫、纤毛虫等微型浮游动物均大量增殖,在光照度为200 lx的水样中,4d后微型浮游动物的密度甚至超过1×10⁵ 个/mL.关于微型浮游动物对蓝绿藻的摄食作用的研究已较为深入,普遍认为野生微囊藻能够抵御微型浮游动物的摄食,其原因在于它们可形成个体大小达100 μm 以上的藻群体,但在实验室内微囊藻以单个藻的形式出现,个体直径 $< 5\mu\text{m}$,易为微型浮游动物所摄食^[9].本实验以未灭活的源水为培养基,保留了源水中的微型浮游动物,因此极有可能是由于摄食压力而导致了铜绿微囊藻的减少.

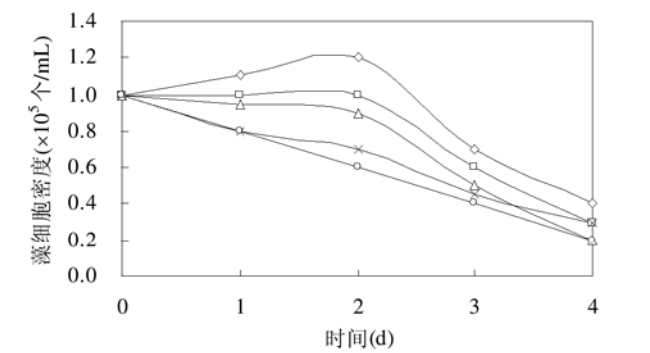


图4 铜绿微囊藻在未灭活源水中的生长情况
Fig.4 The growth of *Microcystis aeruginosa* in raw water
—◇— 9000 lx —□— 4000 lx —△— 2000 lx
—×— 500 lx —○— 200 lx

3 讨论

由于水中光照度随深度增加而呈指数下降

趋势,在许多富营养化程度较高的湖泊水库中光照度可成为藻类生长的限制因素,如20世纪90年代初在巢湖围隔实验中观测到在有风天气时湖水透明度降至10~16cm,1m深处光照度仅有70 lx,这导致整个水层的净生产量为负值,由此提出巢湖是光限制型水体的观点^[10]。Huisman等^[11]的实验结果表明,由于光限制现象的存在,导致某种藻类只能在特定“临界光强”的水层中生存,如在接种铜绿微囊藻和小球藻的水柱中,当入射光强为3000 lx时,前者将被后者逐渐取代。然而,天然湖库中铜绿微囊藻多以直径为100~500 μm 的群体状态出现,具有强大的浮力调控机制,能够在光竞争中胜出,最近野外现场研究和数学建模结果发现,在光限制条件下由于呼吸作用,铜绿微囊藻细胞内碳水化合物将不断消耗,这导致群体密度下降,浮力提升,可由水下10m的光强极低处垂直上升至水面表层,从而逃脱天然形成的“光限制区”^[12-14]。然而,若采取人工遮光控藻的办法,将水面光照度控制在“临界光强”以下,则无论微囊藻上浮或下沉,水中藻类生物量都将显著地被削减。根据本实验的结果,若将最适光照条件4300 lx时产生最大藻现存量视为该源水的最大藻增殖潜力^[10],则当培养温度为23℃时,消减光照度至500 lx以下,可将最大藻增殖潜力削减90%以上;当培养温度为28℃时,消减光照度至200 lx以下,最大藻增殖潜力削减量超过70%。

4 结论

4.1 在BG-11培养基中,光照度4300 lx时最适宜铜绿微囊藻生长,光照度为470 lx时, μ 值显著下降,不到4300 lx时的50%;光照度 ≤ 120 lx时, μ 则为负值,藻细胞密度呈衰亡趋势。

4.2 在灭活源水培养基中,在23℃时,当光照度 ≤ 500 lx时,其 μ 值为负数;在28℃时,当光照度为200~9000 lx时,未出现明显的低光强抑制现象。

4.3 以未灭活源水为培养基,23℃时铜绿微囊藻逐渐消亡,这与微型浮游动物的大量出现有关。

4.4 若将最适光照条件4300 lx时产生最大藻现存量视为该源水的最大藻增殖潜力,则当培养

温度为23℃时,消减光照度至500 lx以下,可将最大藻增殖潜力削减90%以上;当培养温度为28℃时,消减光照度至200 lx以下,最大藻增殖潜力削减量超过70%。

参考文献:

- [1] 濮培民,王国祥,李正魁,等.健康水生系统的退化及其修复-理论、技术及应用[J].湖泊科学,2001,13(3):193-203.
- [2] 秦伯强,杨柳燕,陈非洲,等.湖泊富营养化发生机制与控制技术及其应用[J].科学通报,2006,51(16):1857-1866.
- [3] 小岛贞男,饭田稻作,滑川明夫.局部遮光控制藻类(微囊藻属)的验证研究[J].用水与废水,2000,42(5):5-12.
- [4] 刘春光,金相灿,邱金泉,等.光照与磷的交互作用对两种淡水藻类生长的影响[J].中国环境科学,2005,25(1):32-36.
- [5] 陈德辉,章宗涉,刘永定,等.微囊藻栅藻资源竞争的动力学过程 I.光能和磷营养的半饱和参数及其生长率动态[J].环境科学学报,2000,20(3):349-354.
- [6] 林毅雄,韩梅.滇池富营养化的铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa* Kütz)生长因素的研究[J].环境污染治理技术与设备,1998,(3):82-87.
- [7] 黄晓琛.陈行水库有机污染物自净机理研究[D].上海:同济大学,2004.
- [8] 金相灿,屠清英.湖泊富营养化调查规范[M].2版.北京:中国环境科学出版社,1990.278-281,286-303.
- [9] 杨州.藻类对浮游动物牧食压力的响应[D].南京:中国科学院南京地理与湖泊研究所,2006.
- [10] 尹澄清,屠清瑛,顾丁锡.巢湖富营养化研究[M].北京:中国科学技术出版社,1990.
- [11] 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.
- [12] Walsby A E, Schanz F, Schmid M. The Burgundy-blood phenomenon: A model of buoyancy change explains autumnal waterblooms by *planktothrix rubescens* in Lake Zurich[J]. New Phytologist, 2006,169(1):109-122.
- [13] Wallace B B, Bailey M C, Hamilton D P. Simulation of vertical position of buoyancy regulating *Microcystis aeruginosa* in a shallow eutrophic lake[J]. Aquatic Sciences, 2000,62(4):320-333.
- [14] Visser P M, Passarge J, Mur L R. Modelling vertical migration of the *Microcystis cyanobacterium* [J]. Hydrobiologia, 1997, 349(1-3):99-109.

作者简介: 陈雪初(1980-),男,浙江温州人,上海交通大学博士研究生,研究方向为河、湖、库及水源地治理、修复与保护技术.发表论文10余篇。