

环境因子对福建省山仔水库水华微囊藻生长的影响

苏玉萍^{1,2}, 郑达贤², 陈娜蓉¹, 王家乐¹, 林婉珍¹

(1. 福建师范大学化学与材料学院环境科学系, 福建 福州 350007; 2. 福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350007)

摘要: 研究光照、温度和磷酸盐对福建省山仔水库水华微囊藻 [*Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn.] SZ200307 生长的影响。结果表明: 随着光照强度的增加, 水华微囊藻 SZ200307 的生长加快, 但过强的光照强度反而抑制其生长, 最适光照强度为 4 000 ~ 4 500 lx; 20℃ ~ 30℃, 水华微囊藻 SZ200307 有较高的比增殖率, 30℃ 最适合其生长; 当磷的浓度较低而其他条件不变时, 添加外源性磷, 水华微囊藻 SZ200307 增长迅速; 当磷浓度高于 0.258 mg · L⁻¹, 磷元素不再是其增长的限制性因子, 温度、光照等其他环境因子将限制其增殖。

关键词: 环境因子; 水华微囊藻; 富营养化; 水库

中图分类号: X171.5; Q949.22⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2005)03-0042-05

The influence of the environmental factors on the growth of *Microcystis flos-aquae* in Shanzi Reservoir of Fujian Province SU Yu-ping^{1,2}, ZHENG Da-xian², CHEN Na-rong¹, WANG Jia-le¹, LIN Wan-zhen¹ (1. Environmental Science Department of Chemistry and Material College, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. College of Geography Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2005, 14(3): 42-46

Abstract: The influences of light intensity, temperature and phosphate on the growth of *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn. SZ200307 in the culture medium and in the water of Shanzi Reservoir in Fujian Province were studied. The results indicated that with the increasing of light intensity, *M. flos-aquae* SZ200307 began growing faster. When the light intensity was high enough, the growing was inhibited. *M. flos-aquae* had high ratio of multiplication between 20℃ and 30℃. The results showed that light intensity 4 000 - 4 500 lx and temperature 30℃ were the optimum condition for the growth of *M. flos-aquae* SZ200307. Increasing the external phosphorus had a great effect on the growth of *M. flos-aquae* SZ200307 if the concentration of phosphorus was low. It is not phosphorus but light intensity or temperature etc. may become the dominant factors on the growth of *M. flos-aquae* when the concentration of phosphorus is higher than 0.258 mg · L⁻¹.

Key words: environmental factor; *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn.; eutrophication; reservoir

水体富营养化是当前国际水环境科学的一个主要问题, 在工业废水污染得到一定控制的今天, 生活污水、畜禽养殖及化肥、农药等污染通过大气沉降、地表径流及地下涌入不断进入地表水体, 导致许多水体发生不同程度的富营养化, 中国的太湖、巢湖、洞庭湖、滇池等都出现过严重的富营养化现象, 引起水华爆发。水华爆发时会降低水体的透明度, 当大量藻体死亡形成的有机体分解时会使水中溶解氧迅速降低, 破坏水生生物链, 导致水生生态系统平衡失调; 而藻毒素则引起人和动物肝脏损伤, 发生富营养化的饮用水水源直接威胁着人们的饮水安全。水体富营养化的问题引起了普遍关注, 国内外许多专家学者在水体富营养化的形成原因、动态规律、控制方

法以及藻毒素毒理学等方面进行了大量的实验研究^[1-10]。

近几年福建省内陆的许多水库相继出现了富营养化问题, 爆发水华的藻类主要是蓝藻门 (Cyanophyta), 特别是微囊藻属 (*Microcystis* Kütz.) 和鱼腥藻属 (*Anabaena* Bory) 的藻类。水华微囊藻 [*Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn.] SZ200307 是福建省某水库发生水华时的优势藻种, 而且能产生藻毒素^[11], 但目前对爆发水华的机理还不清楚,

收稿日期: 2004-12-27

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目 (D0310015) 和福建省教育厅 A 类 (JA03029) 资助项目

作者简介: 苏玉萍 (1972-), 女, 福建福州人, 在职博士研究生, 讲师, 主要从事水环境生态方面研究。

因而,有必要对优势藻种的生长影响因子(包括光照、温度及其捕食者等)进行研究。本文在分离出水华微囊藻 SZ200307 纯藻种的基础上,从光照、温度、磷酸盐角度分析水华微囊藻 SZ200307 生长特征,以期为福建省内陆富营养化水域的防治提供参考。

1 材料和方法

1.1 实验材料

1.1.1 实验藻种 水华微囊藻 SZ200307 分离自福建省山仔水库,实验前进行扩大和驯化培养2周。接种前将水华微囊藻 SZ200307 转接到新的培养液中培养4 d,达到同步生长时,作为实验藻种液。

1.1.2 培养液 AGP 人工培养液^[12];湖水培养液:水库水通过0.45 μm 滤膜后,高压灭菌20 min,4℃保存备用。实验时于一定量湖水加入不同量的磷酸盐与硝酸盐。

1.1.3 仪器 250D 恒温光照培养箱、PM-2 型光度计、HY-2 调速多用振荡器、723 分光光度计、KQ3200 超声波清洗器、奥克巴斯摄像显微镜

1.2 实验方法

1.2.1 光照强度的影响实验 100 mL 三角烧瓶中加入30 mL AGP 培养液,无菌条件下接入1 mL 对数生长期的藻种液。接种初始光密度0.005,于1 000~1 500、2 000~3 500、4 000~4 500 和5 000~5 500 lx 光照强度下在恒温光照培养箱中培养,温度(25±1)℃。每天用分光光度计测定培养液在663 nm 处的吸光率,每组设3瓶平行样,取平均值,连续测定2周,直到增长率低于5%时终止培养。培养条

件为:每天光照12 h,振荡2~3次/d,转速为150 r·min⁻¹,每次10 min。

1.2.2 温度的影响实验 AGP 培养液中加入不同量的磷酸盐与硝酸盐,配成2组氮磷比例的培养液,接入藻种,设置培养温度为15℃、20℃、25℃、30℃和35℃,于光照强度2 500 lx 下培养,测其在663 nm 处的吸光率。

1.2.3 磷酸盐的影响实验 用湖水培养液配制不同氮磷比例的培养液,接入藻种,于2 500 lx、(25±1)℃条件下进行培养,测其在663 nm 处的吸光率。

1.2.4 藻类比增殖速率的计算 藻的比增殖速率按下列公式计算^[12]: $U = \ln(x_2/x_1)/(t_2 - t_1)$ 。式中:U 为藻的比增殖速率; x_2 为对数期终结时的藻类现存量; x_1 为对数期开始时的藻类现存量; $t_2 - t_1$ 为对数期间隔的天数。

2 结果和分析

2.1 水华微囊藻 SZ200307 的形态特征

水华爆发时采集到的水华微囊藻 SZ200307 群体形态见图1。单个细胞3~7 μm,群体大部分团聚呈球形,直径100~200 μm,少部分呈椭圆形或不规则形,整个群体呈黑绿色。

2.2 不同光照强度对水华微囊藻 SZ200307 生长的影响

不同光照强度对水华微囊藻 SZ200307 生长的影响见图2和图3。水华微囊藻 SZ200307 的生长分别经历了适应期→对数期→静止期3个阶段:接种后前3天为适应期,藻体数目增殖慢;第4或第5天进入对数增长期,其数目增殖很快;12或13天后



a: 球形 Globular; b: 椭圆形 Ellipsoid; c: 不规则形 Irregular

图1 水华微囊藻 SZ200307 的群体形态(×400)
Fig. 1 The colony morphological characteristics of *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn. SZ200307 (×400)

进入衰减静止期。随着光照强度的增加,水华微囊藻 SZ200307 的增长加快,在 4 000 ~ 4 500 lx 光照条件下,水华微囊藻 SZ200307 比增殖速率和现存量均最大。从图3对数期的比增殖速率可以看出,在 5 000 ~ 5 500 lx 光照条件下其增殖减缓,过强的光照条件反而抑制了其生长。

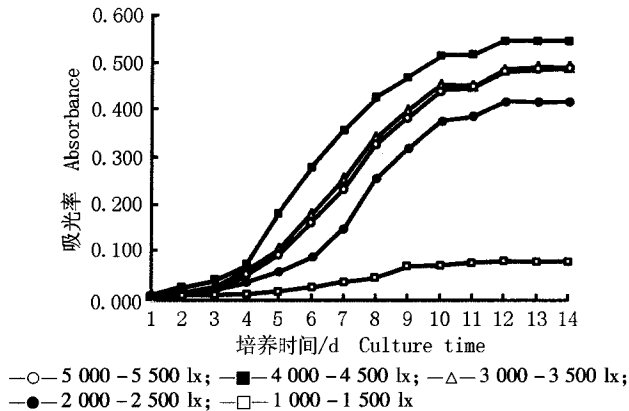
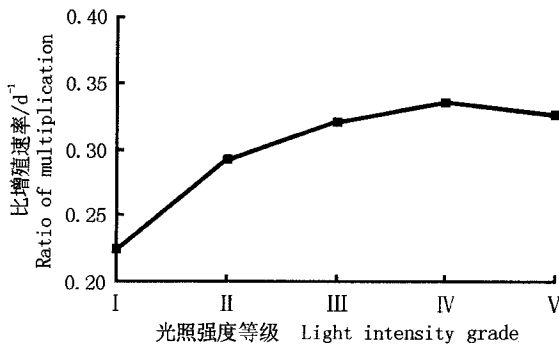


图2 不同光照强度下水华微囊藻 SZ200307 的生长曲线
Fig. 2 Growth curve of *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn. SZ200307 under different light intensity



I: 1 000 - 1 500 lx; II: 2 000 - 2 500 lx; III: 3 000 - 3 500 lx; IV: 4 000 - 4 500 lx; V: 5 000 - 5 500 lx

图3 水华微囊藻 SZ200307 比增殖速率与光照强度的关系
Fig. 3 The relationship between the ratio of multiplication of *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn. SZ200307 and light intensity

2.2 不同温度对水华微囊藻 SZ200307 生长的影响

在 2 500 lx 光照强度下,不同温度对水华微囊藻 SZ200307 生长的影响见图 4 和图 5。水华微囊藻 SZ200307 在 15℃ 条件下生长较慢,培养第 7 天开始有较明显的增殖,第 15 天藻细胞现存量仍较低,无明显的生长静止期,表明低温不利于水华微囊藻 SZ200307 的生长;在 20℃ ~ 30℃ 条件下,水华微囊藻 SZ200307 有较高的比增殖速率,第 3 天或第 4 天进入对数增长期,其中 30℃ 条件下比增殖速率最大;

温度继续增高比增殖速率急剧下降,藻细胞死亡数大于细胞的增殖数,表明过高的温度抑制了水华微囊藻 SZ200307 的生长。

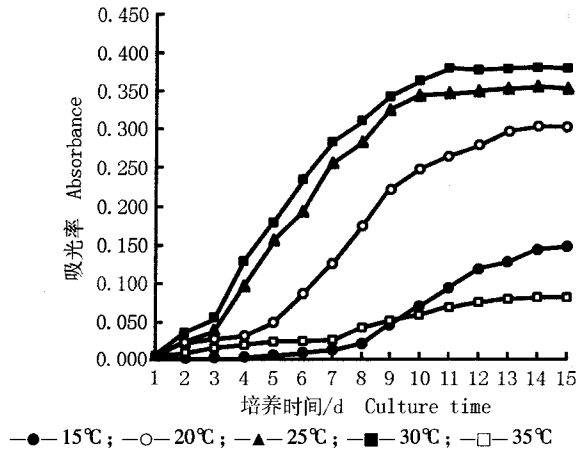


图4 不同温度条件下水华微囊藻 SZ200307 的生长曲线
Fig. 4 Growth curve of *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn. SZ200307 under different temperatures

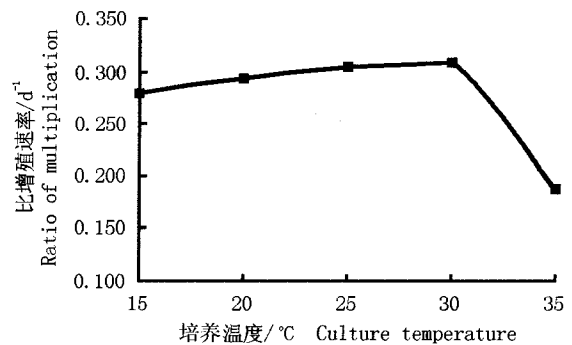


图5 水华微囊藻 SZ200307 比增殖速率与温度的关系
Fig. 5 The relationship between the ratio of multiplication of *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn. SZ200307 and culture temperature

2.3 不同磷浓度对水华微囊藻 SZ200307 生长的影响

磷浓度和 N/P 比值对水华微囊藻 SZ200307 生长的影响见表 1 和图 6。磷浓度较低时(小于 0.01 mg · L⁻¹),水华微囊藻 SZ200307 几乎不增长,停留在停滞期;磷浓度大于 0.02 mg · L⁻¹,水华微囊藻开始明显增殖;随着磷浓度的增加,水华微囊藻 SZ200307 增长显著,水中磷浓度越高,水华微囊藻 SZ200307 生长的停滞期越短,生长速率越快;当磷浓度达到 0.258 mg · L⁻¹、N/P 比值为 16.3 时,水华微囊藻 SZ200307 的生长达到饱和;磷浓度继续增加, N/P 比值减小,水华微囊藻 SZ200307 增殖速率不再

增加。表明磷浓度较低时,添加外源磷对水华微囊藻 SZ200307 的生长速率影响很大;当磷浓度提高到一定程度后,加入外源性磷对水华微囊藻 SZ200307 的增长影响不大,其他因子成为其生长的限制性因子。

表1 不同磷浓度下水华微囊藻 SZ200307 生长的最大吸光率和最大比增殖率

Table 1 The maximal absorbance and the ratio of multiplication of *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn. SZ200307 under different concentrations of phosphorus

N 浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Conc. of N	P 浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Conc. of P	N/P	最大吸光率 OD_{\max} Maximal absorbance	最大比增殖率/ d^{-1} Maximal ratio of multiplication
4.200	0.358	11.7	0.395	0.251
4.200	0.258	16.3	0.392	0.250
4.200	0.179	23.5	0.314	0.229
4.200	0.159	26.4	0.306	0.224
0.351	0.028	11.7	0.052	0.165
0.351	0.018	15.7	0.034	0.122
0.351	0.010	35.1	0.016	0.047

2.4 水华微囊藻生长情况与环境条件分析

2003年1—12月从山仔水库各采样点共鉴定出浮游植物58种,隶属于6门36属,其中绿藻门(Chlorophyta)26种、硅藻门(Bacillariophyta)16种、蓝藻门(Cyanophyta)6种、甲藻门(Pyrophyta)4种、

隐藻门(Cryptophyta)和裸藻门(Euglenophyta)3种,浮游植物生物量的变动范围在 $10^6 \sim 10^7$ 个 $\cdot \text{L}^{-1}$ 之间。2003年4月24日N/P比值为67.67,爆发了100%蓝藻门固氮鱼腥藻水华,浓度达到960.1万个 $\cdot \text{L}^{-1}$;5—11月发生水华的优势种主要是水华微囊藻。表2和图7为该水库2003年不同月份总氮、总磷的变化情况和水华微囊藻 SZ200307 占浮游植物数量的百分比。从表2中可以看出,2003年丰水期、平水期和枯水期总磷的浓度均大于 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。有研究表明,对于浮游植物而言,N/P比值大于10表明磷缺乏^[13],2003年山仔水库N/P比值绝大部分在15以上,说明该水库总体氮元素相对充足,外源性磷的增加使水华微囊藻 SZ200307 增殖明显。2003年5—11月,光照、水温适宜,加上充足的磷酸盐,极易引起水华微囊藻爆发。6月和8月水华微囊藻生物量有所下降,可能由于这2个月属于暴雨季节,水温明显下降,不利于水华微囊藻的生长。冬季,水体中磷酸盐浓度虽然仍很充足,但由于温度的降低和光照的减少,水华微囊藻不再是优势浮游植物,硅藻大量繁殖,此时温度和光照等因子成为水华微囊藻增殖的主要限制性因子。

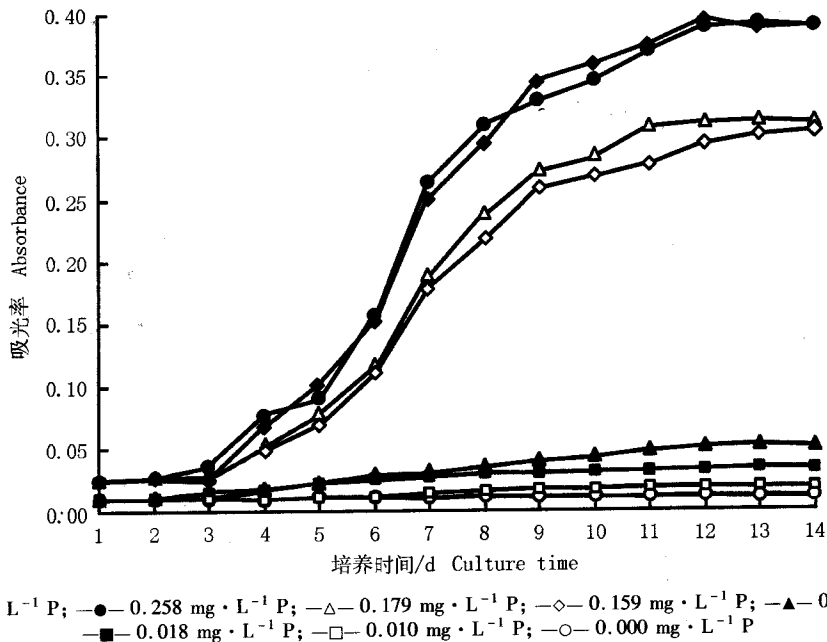
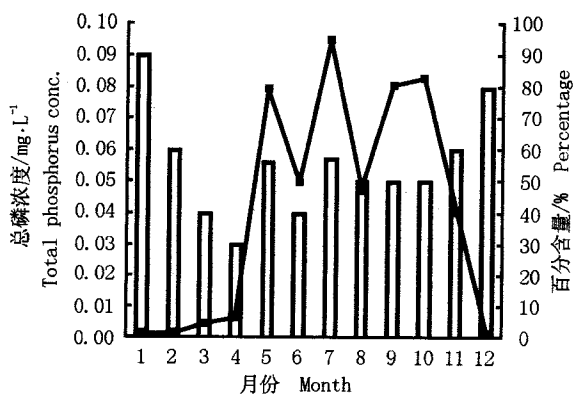


图6 不同磷浓度下水华微囊藻 SZ200307 的生长曲线
Fig. 6 Growth curve of *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn. SZ200307 under different concentrations of phosphorus

表2 福建省山仔水库2003年不同月份氮磷浓度
Table 2 The concentrations of nitrogen and phosphorus in different months of 2003 at Shanzi Reservoir of Fujian Province

月份 Month	总氮浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Conc. T-N	总磷浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Conc. T-P	N/P
1	1.43	0.09	14.30
2	0.94	0.06	15.60
3	0.60	0.04	15.00
4	2.03	0.03	67.67
5	1.22	0.06	21.79
6	0.79	0.04	19.75
7	0.89	0.06	15.61
8	1.25	0.05	25.00
9	1.40	0.05	28.00
10	1.28	0.05	25.60
11	0.98	0.06	16.33
12	1.50	0.08	16.70



□ 总磷浓度 Total phosphorus conc. ; —■— 百分比 Percentage

图7 2003年山仔水库不同月份总磷浓度与水华微囊藻 SZ200307 百分含量
Fig. 7 The concentration of total phosphorus and the percentage of *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn. SZ200307 of the phytoplankton in different months of 2003 at Shanzi Reservoir

3 结 论

水华微囊藻在 4 000 ~ 4 500 lx 光照条件下,比增殖率和现存量均最大,说明 4 000 ~ 4 500 lx 光照强度最适合水华微囊藻 SZ200307 生长,而以水华微囊藻 SZ200307 为优势种的“水华”主要发生在每年的 5—11 月,此期间日照量充沛且日照时间长,为水华微囊藻 SZ200307 的生长提供了充足的光照。

水华微囊藻 SZ200307 的增殖速率随水温的上升而增大,在 20℃ ~ 30℃ 范围内有较高的比增殖速率,其中 30℃ 比增殖速率最大,但过低和过高的温度

都抑制了水华微囊藻 SZ200307 的生长,30℃ 最适合其生长。山仔水库位于亚热带季风气候区,夏季平均水温在 20℃ ~ 30℃ 之间,很适合水华微囊藻 SZ200307 的生长。

在实验室控制的温度和光照条件下,当磷浓度大于 0.02 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时水华微囊藻开始明显增殖;当磷的浓度较低时,添加外源性磷对水华微囊藻 SZ200307 的增殖影响很大;当磷浓度高于 0.258 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,加入外源性磷对水华微囊藻 SZ200307 的增殖影响不明显,磷不再是其生长的限制性因子,而温度和光照等成为水华微囊藻增殖的限制性因子。

参考文献:

- [1] 许秋瑾,秦伯强,陈伟民,等. 太湖藻类生长模型研究[J]. 湖泊科学, 2001, 13(2): 149-157.
- [2] 王国刚. 巢湖富营养化防治对策[J]. 巢湖师专学报, 2001, 3(3): 15-17.
- [3] 杨汉,黄艳芳,李利强,等. 洞庭湖富营养化的研究[J]. 甘肃环境研究与监测, 1999, 12(3): 120-122.
- [4] 宁平,徐晓军,朱易,等. 混凝法在滇池蓝藻暴发期净水除藻的可行性研究[J]. 上海环境科学, 2002, 21(3): 160-162.
- [5] 刘文炜,陈宗永,陈弘,等. 南湖富营养化主要控制因子分析[J]. 广西大学学报, 1999, 24(1): 80-84.
- [6] Kimio H, Kazuya Y, Norihiko Y, et al. Progress of eutrophication and change of chironomid fauna in Lake Yamanakako, Japan[J]. The Japanese Society of Limnology, 2004 (5): 47-53.
- [7] 刘用凯. 山仔水库水质富营养化防治对策[J]. 福建环境, 2001, 18(1): 14-16.
- [8] 陈婉卿. 泉州山美水库水质分布特征与富营养化趋势[J]. 厦门大学学报, 2003, 42(5): 639-643.
- [9] 秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探[J]. 湖泊科学, 2002, 14(3): 193-202.
- [10] 全国主要湖泊、水库富营养化调查研究课题组. 湖泊富营养化调查规范(第二版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [11] 王志红,陈华. 福建水华微囊藻的急性毒性及肝脏损伤作用[J]. 海峡药学, 2002, 14(1): 16-17.
- [12] 南京大学环境生物学教研室. 环境生物学实验技术与方法[M]. 南京: 南京大学出版社, 1989.
- [13] 联合国环境规划署国际环境技术中心. 湖泊与水库富营养化防治的理论与实践[M]. 刘建康译. 北京: 科学出版社, 2003. 4-10.

(责任编辑: 张垂胜)