

温度和光照对铜绿微囊藻、大型溞和金鱼藻共同培养的影响

靳 萍¹, 郭 萌¹, 徐婷婷¹, 杨 程¹, 蔺庆伟¹, 靳同霞¹, 马剑敏^{1,2}

(1. 河南师范大学生命科学学院, 新乡 453007;

2. 河南省环境污染控制重点实验室, 黄淮水环境与污染防治省部共建教育部重点实验室, 新乡 453007)

摘要:为了解温度和光照对生物操纵和水生植物恢复的影响, 选择铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*)、大型溞 (*Daphnia magna*) 和金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*) 分别作为浮游植物、浮游动物和大型沉水植物的代表, 将其在 11 mg/L 氮浓度和不同磷浓度 (0.2、0.5、1.0、1.5 mg/L) 培养液中共同培养, 研究不同温度 (15、20、25、30℃) 和光照强度 (1 100、2 200、3 400、4 500 lx) 对藻-溞-草三者共同培养的影响。结果表明, 温度对生物操纵和水生植物恢复影响显著; 温度 15℃ 时, 磷浓度的改变对控藻效果影响不大, 但金鱼藻的增长率较其它温度时低; 温度在 20~25℃ 时, 大型溞的增长率较高, 生物操纵效果较好, 且 0.2 mg/L 的磷浓度对金鱼藻的生长最有利; 30℃ 时, 大型溞增长率最小, 在此温度下, 当磷浓度达到 1.5 mg/L 时, 铜绿微囊藻出现正增长, 此时不能有效控制铜绿微囊藻。光照强度在 1 100~2 200 lx 时, 所有磷浓度下金鱼藻和大型溞的增长率都高于铜绿微囊藻, 控藻效果明显; 光照强度 3 400~4 500 lx 时, 磷浓度对生物操纵和水生植物恢复的影响要高于光照因素, 且磷浓度在 0.2~0.5 mg/L 时控藻效果好, 更有利于水生植物恢复。

关键词:铜绿微囊藻; 大型溞; 金鱼藻; 温度; 光照; 共同培养

中图分类号:Q142 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2013)05-0065-06

富营养化已成为当今世界普遍面临的水环境问题, 而蓝藻水华的频繁发生是富营养化淡水水体的重要表现, 蓝藻水华的暴发对水生生态系统造成严重的影响, 因此国内外学者致力于水华的治理, 经过多年理论研究和实践达成共识, 发现长期有效控制水华的方法是生态修复; 而生态修复中有 2 种重要而有效的措施, 即利用生物操纵 (刘晶等, 2005) 和恢复大型水生植物来控制藻类 (Moss, 1991; 秦伯强等, 2006)。有研究表明, 水华的暴发一般与温度、光照及其它生物等诸多环境因素密切相关 (Paerl et al, 2001)。自然水体中, 气候条件的变化即光照和温度变化是影响水生植物生长繁殖的重要生态因子。温度影响植物细胞生理活性和细胞内酶促反应的速率, 从而间接影响水生植物的光合作用; 温度可以改变水生植物的种群结构和数量, 也会影响浮游动物的生长和繁殖, 并通过影响浮游植物来间接影响浮游动物; 而光是影响水生植物生长繁殖最重要的生态因子之一, 也是其生长的主要能量来源, 光照的强

弱决定其光合作用的速率。

马帅等 (2012) 研究发现, 小球藻、大型溞和金鱼藻三者共同培养时, 磷浓度为 0.1 mg/L 处理组金鱼藻的增长率显著高于其它处理组, 大型溞的数目随磷浓度的升高而增加; 马剑敏等 (2013) 研究发现, 随着营养水平的增加, 大型溞的增长率逐渐增高, 且磷浓度为 0.1 mg/L 时金鱼藻长势最好。前述研究是以小球藻为浮游植物代表, 侧重于研究氮、磷浓度对生物操纵和水生植物恢复的影响。富营养化水体中氮的含量远高于磷, 受氮浓度限制的水体很少; 因此本试验重点研究在氮充足、磷浓度变化时温度、光照对生物操纵和藻-草竞争效果的影响。铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 是蓝藻水华中占主要优势的藻类, 大型溞 (*Daphnia magna*) 是牧食浮游藻类的浮游动物, 金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*) 是我国水体中常见的大型沉水植物, 选择上述 3 种生物分别作为各类群的代表, 构建一个包含上述 3 种生物的微宇宙系统, 研究在不同的温度和光照条件下, 磷浓度对三者相互作用的影响机制, 为治理水华和恢复湖泊生态环境提供更多的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

铜绿微囊藻 (FACHB573) 购自中国科学院水生生物研究所, 保存于 BG-11 培养基中, 每天摇瓶 3

收稿日期: 2013-04-29

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (No. 2012ZX07101007-005); 河南省创新型科技人才队伍建设工程。

通讯作者: 马剑敏, 1964 年生, 男, 博士, 研究方向为水污染与生态修复。E-mail: mjm6495@sina.com

作者简介: 靳萍, 1969 年生, 女, 实验师, 主要从事环境生物学研究。E-mail: jinpj@henannu.edu.cn

次,培养条件为温度(25±1)℃,光暗比14: 10,光强2 000~3 000 lx。试验前将其在BG-11培养基中驯化3次后扩大培养,进入对数生长期后,便可作为试验接种藻种。

大型溞在实验室内进行纯化培养并进行试验前的驯化,温度(25±1)℃,光强2 000~3 000 lx,光暗比14: 10,选择出生8~24 h、活泼健康、大小尽量一致的幼溞进行试验。为保证溞的一致性,试验用溞为同一母体的后代。

金鱼藻采集于河南省新乡市牧野湖,取回实验室后用自来水清洗干净,培养于有BG-11培养基的玻璃缸中,放在实验室靠窗的台面上。试验时用蒸馏水清洗3遍,选取生长良好、长势一致、长15 cm的顶枝做试验材料。

1.2 培养液配制

试验以Saito等(2002)的BG-11培养基为基础,根据预试验配置成氮浓度为11 mg/L,磷浓度分别为0.2、0.5、1.0、1.5 mg/L的培养液,然后用1 mol/L NaOH调节培养液pH到7.5。所有培养液及培养所用器材均经高压灭菌。

1.3 试验方法

1.3.1 接种方法 将经过扩大培养的铜绿微囊藻细胞接种于无氮无磷的BG-11培养液中饥饿培养2 d,去除铜绿微囊藻细胞中蓄积的氮磷。无菌倒取经过饥饿培养的铜绿微囊藻藻液,4 000 r/min离心15 min,弃去上清液,再用无菌蒸馏水洗涤2次,去掉上清液,去除吸附性营养,然后将铜绿微囊藻细胞浓度稀释为所需的浓度。所有操作均在无菌环境中进行。

1.3.2 温度影响 在不同磷浓度培养液的烧杯(1 000 mL)中,加入等量的铜绿微囊藻藻液调节成相同的藻密度,然后加入相同重量的金鱼藻和5个形态相似的大型溞,置于培养箱内培养15 d,每个磷浓度设3个重复,每3 d添加适量培养液,温度设定为15、20、25、30℃共计4个梯度,光照强度2 200 lx,光暗比14: 10。测定铜绿微囊藻密度、大型溞数目和金鱼藻生物量,计算各项指标的变化率,以确定不同磷浓度下各指标的变化趋势。

1.3.3 光照影响 在不同磷浓度培养液的烧杯(1 000 mL)中,加入等量的铜绿微囊藻藻液调节成相同的藻密度,然后加入相同重量的金鱼藻和5个形态相似的大型溞,置于培养箱内培养15 d,每个磷浓度设3个重复,每3 d添加适量培养液,光照强度设定为1 100、2 200、3 400、4 500 lx共计4个梯度,

温度25℃,光暗比14: 10。测定铜绿微囊藻密度、大型溞数目和金鱼藻生物量,计算各项指标的变化率,以确定不同磷浓度下各指标的变化趋势。

1.4 指标测定

利用分光光度计上扫描铜绿微囊藻藻液在400~800 nm的吸光值,确定其最大吸收峰的波长为680 nm。以相同初始条件接种3瓶铜绿微囊藻,进行纯化培养14 d,每2 d用分光光度计测定藻液的吸光值(OD),并用血球计数板测定铜绿微囊藻密度,建立其细胞数与吸光值(OD)的标准曲线。获得铜绿微囊藻在680 nm波长下的吸光值与细胞密度的标准曲线公式: $y = 119.597x - 2.107$;其中 x 为吸光值(OD), y 为细胞密度($\times 10^6$ 个/mL),回归系数 $R^2 = 0.993$, $P < 0.05$;因此可以用OD值直接反应铜绿微囊藻的细胞密度。采用一次性培养方式进行试验,到试验结束时测定铜绿微囊藻的密度;大型溞的数目直接用肉眼计数;用吸水纸吸取多余水分后,电子天平称取金鱼藻的鲜重,测定其生物量。

采用以下公式分别计算铜绿微囊藻、大型溞和金鱼藻的增长率:

$$R_1 = \frac{OD_t - OD_0}{OD_0} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

$$R_2 = \frac{N_t - N_0}{N_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$R_3 = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式(1)中, OD_0 和 OD_t 分别为铜绿微囊藻细胞初始和 t 时间后的OD值;式(2)中, N_0 和 N_t 分别为大型溞初始和 t 时间后的数目;式(3)中, W_0 和 W_t 分别为金鱼藻初始和 t 时间后的生物量。

1.5 数据处理

用Spss19.0软件进行作图及对增长率进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 温度对藻-溞-草共同培养的影响

温度对铜绿微囊藻、大型溞和金鱼藻共同培养的影响非常显著。图1显示,相同磷浓度时,随着温度的升高,铜绿微囊藻和金鱼藻的增长率也逐渐增高,且各温度组之间差异显著($P < 0.05$)。同一温度下,随着磷浓度的增高,铜绿微囊藻的增长率增高,然而金鱼藻的增长率却逐渐减少,各磷浓度组之间差异显著($P < 0.05$)。铜绿微囊藻的增长率在15℃时最低,为-61.67%;在30℃时最大,且在

1.5 mg/L磷浓度时,达到 2.43%。30℃、0.2 mg/L 磷浓度时,金鱼藻的增长率最高,增长了 87.34%。而 15℃、1.5 mg/L 磷浓度时,金鱼藻的增长率最低,为 20.06%。

图 1-e 显示,相同磷浓度下,随着温度的升高,大型溞的增长率先增大后减小,各温度组之间差异显著($P < 0.05$)。25℃时大型溞的增长率最大,30℃时大型溞的增长率最小。相同温度下,随着磷浓度的增加,大型溞的增长率逐渐增大,且磷浓度为 1.5 mg/L时,大型溞的增长率最大,各磷浓度组之间差异显著($P < 0.05$)。在 25℃、1.5 mg/L磷浓度时,大型溞增长率达到最大,增长了 94.6 倍;而在 30℃、0.2 mg/L 磷浓度时,其出现 100%的负增长。

2.2 光照对藻-溞-草共同培养的影响

光照对三者共同培养的影响也很显著。图 2 表明,相同磷浓度时,随着光照的增强,铜绿微囊藻和金鱼藻的增长率有逐渐增加的趋势,各光强组之间差异显著($P < 0.05$)。相同光强时,随着磷浓度的增加,铜绿微囊藻的增长率也逐渐增大,金鱼藻的增长率逐渐减小,各磷浓度组之间差异显著($P < 0.05$)。光强 1 100 lx、磷浓度 0.2 mg/L时,铜绿微囊藻增长率最低,为 -59.33%;光强 4 500 lx、磷浓度 1.5 mg/L时,铜绿微囊藻的增长率达到最大,为 30.28%;光强 1 100 lx、磷浓度 1.5 mg/L时,

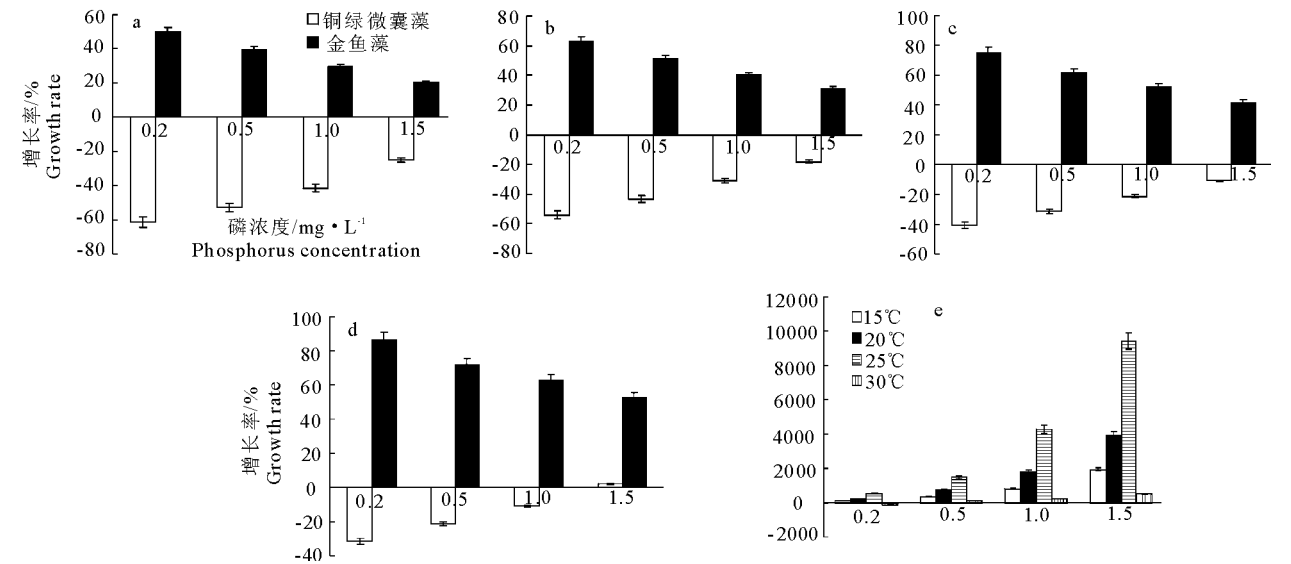
金鱼藻增长率最低,为 26.09%;而 4 500 lx 光强、0.2 mg/L磷浓度时,金鱼藻增长率达到最大,为 100.57%。

图 2-e 显示,相同磷浓度时,随着光照的增强,大型溞的增长率逐渐增大;相同光照强度时,随着磷浓度的增大,大型溞的增长率也逐渐增大,各处理组之间差异显著($P < 0.05$)。光强 1 100 lx 时,大型溞增长率最低,为 100%;光强 4 500 lx,磷浓度 1.5 mg/L时,大型溞的增长率达到最大,增加了 129.4 倍。

3 讨论

3.1 温度的影响

据报道,铜绿微囊藻是喜温生物,其最适温度在 30~35℃,高于其他藻类(华汝成,1980);在 30℃水温时获得最大的细胞密度,而低于 20℃时生长缓慢(张青田等,2011);本研究结果与其基本一致。金相灿等(2008)研究发现,水华微囊藻在温度低于 13℃时几乎不能生长,高于 16℃能缓慢生长,且随着温度升高,生长速率增大;李小龙等(2006)报道,铜绿微囊藻的适温范围宽,对高温具有良好的适应性,并且光合作用随温度的升高显著提高。在一定温度范围内,随着水温的升高,藻细胞内酶活性增强,光合作用增强,生长速率加快。

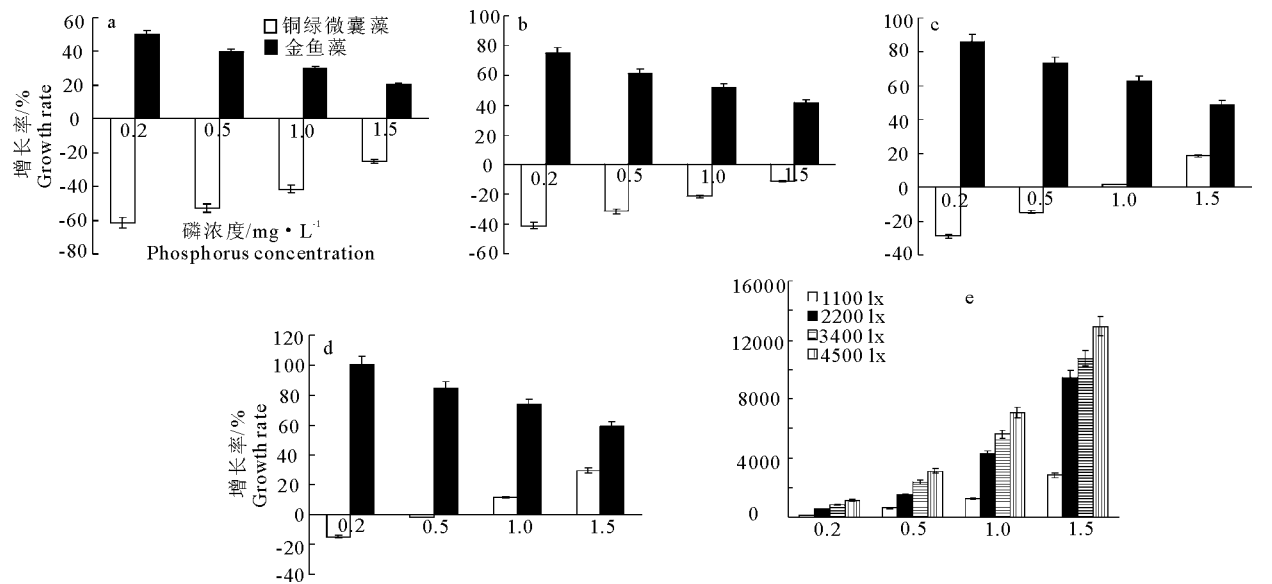


a. 15℃铜绿微囊藻和金鱼藻的增长率变化情况;b. 20℃铜绿微囊藻和金鱼藻的增长率变化情况;c. 25℃铜绿微囊藻和金鱼藻的增长率变化情况;d. 30℃铜绿微囊藻和金鱼藻的增长率变化情况;e. 大型溞的增长率变化情况。

图 1 不同温度下藻-溞-草共同培养时铜绿微囊藻、金鱼藻和大型溞的增长率变化情况

a. The change of *M. aeruginosa* and *C. demersum* growth rate under 15℃; b. The change of *M. aeruginosa* and *C. demersum* growth rate under 20℃; c. The change of *M. aeruginosa* and *C. demersum* growth rate under 25℃; d. The change of *M. aeruginosa* and *C. demersum* growth rate under 30℃; e. The change of *D. magna* growth rate.

Fig.1 The change of growth rate of *M. aeruginosa*, *D. magna* and *C. demersum* co-cultured under different temperature



a. 1 100 lx 时铜绿微囊藻和金鱼藻的增长率变化情况;b. 2 200 lx 时铜绿微囊藻和金鱼藻的增长率变化情况;c. 3 400 lx 时铜绿微囊藻和金鱼藻的增长率变化情况;d. 3400 lx 时铜绿微囊藻和金鱼藻的增长率变化情况;e. 大型溞的增长率变化情况。

图 2 不同光强下藻-溞-草共同培养时铜绿微囊藻、金鱼藻和大型溞的增长率变化情况

a. The change of *M. aeruginosa* and *C. demersum* growth rate under 1 100 lx; b. The change of *M. aeruginosa* and *C. demersum* growth rate under 2 200 lx; c. The change of *M. aeruginosa* and *C. demersum* growth rate under 3 400 lx; d. The change of *M. aeruginosa* and *C. demersum* growth rate under 4 500 lx; e. The change of *D. magna* growth rate.

Fig. 2 The change of growth rate of *M. aeruginosa*, *D. magna* and *C. demersum* co-cultured under different illumination

环境温度对枝角类生长发育的影响显著,温度升高可加快其成熟,从而缩短首次产幼溞的时间,且产间隔期缩短,但抱卵量减少,寿命缩短(Schwartz, 1984)。适宜温度范围内,能提高能够加快枝角类胚胎发育时间,加速其生长和缩短生殖周期。黄显清和王武(2000)研究发现,20~25℃是大型溞生长繁殖最适宜的温度范围,低于或高于此温度范围,个体生长慢,在28℃以上,大型溞几乎不繁殖,当温度超过30℃时生存受到威胁;孟琼等(2009)认为,在较大的培养体积下,25℃更适合大型溞种群的快速增长。本试验也证明三者共培养时,25℃时大型溞的种群数量最多。

金鱼藻则对温度的适应范围较宽,在25~35℃均有较好的适应性(Jian-min Ma et al, 2009)。从不同温度下三者的增长率可以看出,不同磷浓度下的金鱼藻增长率一直高于铜绿微囊藻,25℃时金鱼藻和大型溞的增长率均显著高于铜绿微囊藻,且大型溞在控藻效果上占据主要地位。磷浓度不大于0.2 mg/L时,大型溞的控藻效果最好;30℃时,铜绿微囊藻和金鱼藻具有较高的增长率,虽然大型溞的增长率低于其他的温度,可以看出此温度下大型水生植物的抑藻作用占主导地位。从整体上看,金鱼藻和大型溞均占绝对优势的磷浓度范围为0.2~0.5 mg/L。较低温度时磷浓度对控藻效果的影响

不是很大,但高温时对铜绿微囊藻的生长更有利。

3.2 光照强度的影响

铜绿微囊藻生存的光强范围较宽,对环境的光强有较好的适应和调节能力,即使在低光的环境下也能生存并保持一定生物量。铜绿微囊藻除含有叶绿素a以外,还含有藻蓝素和别藻蓝素,使得微囊藻可以利用别的藻类不能利用的绿、黄和橙色波段的光,在弱光下也能生长得较好;在强光时微囊藻增加了细胞内类胡萝卜素b的含量,增大了细胞对强光的耐受性。铜绿微囊藻能够高效利用弱光进行光合作用,并且对强光的伤害不敏感(金相灿等, 2008)。张青田等(2011)发现铜绿微囊藻对光照强度要求不高,较低光强即可快速增长,光强2 000~6 000 lx适宜铜绿微囊藻快速增殖,在4 000 lx时生长最快;而陈雪初等(2007)研究表明,在BG-11培养基中,光照强度4 300 lx最适宜铜绿微囊藻生长;当光照强度小于4 300 lx时,铜绿微囊藻生长趋势减缓;而林毅雄和韩梅(1998)在自制培养基以及灭菌滇池灰弯湖水中培养铜微囊藻,得到光强为4 000~5 000 lx时铜绿微囊藻生物量最大的试验结果。本试验结果表明,光照强度为4 500 lx时铜绿微囊藻达到较大增长率,与前人的报道基本一致。因为随着光照和磷浓度增强,细胞叶绿素含量升高,光合作用增强,这也与水华在每年夏秋季节太阳光照充足

时暴发的情况相吻合。在 1 100 lx 光照条件下,由于光照强度降低,影响到铜绿微囊藻细胞的光合作用强度,导致藻细胞分裂速率降低,藻细胞增长率比其它光照强度下要低。

金鱼藻对高光强的适应性较强,适应范围也较宽。陈刚等(2004)研究发现,在光照强度较弱时,金鱼藻的净光合为负值,且随着光照强度的增强而上升,到达 1 475 lx 时,其光合速率等于呼吸速率,此光照强度为金鱼藻在 25℃ 下的光补偿点。本研究的结论与其一致,随着光照强度的增强,金鱼藻光合作用增强,光合作用产物和能量增多。

枝角类对光照强度的变化较敏感,它们有所需的最低和最适光照强度。枝角类通过胸肢的拨动引进水流并滤取其中食粒,但在感应光照条件的变化中会调节胸肢的拨动速率,从而控制摄食强度,因而也存在着摄食的最适光照强度。Chisholm 等(1975)对夏季全是白昼和冬季全是黑夜的北极产 4 种枝角类(*Daphnia catarba*, *D. galeata*, *D. rosea*, *Holopedium gibbesum*)研究发现,其在夜间的摄食强度高于白天,表明生境的光照条件和枝角类对环境的适应对其摄食行为有影响。光照强度对水溞的趋光指数有显著影响,从而影响其摄食和生长。

综上所述,光照对藻-溞-草共同培养的试验结果表明,光强为 1 100 ~ 2 200 lx,控藻效果比较好;光强为 3 400 ~ 4 500 lx 时,控藻效果明显没有低光照强度时好。由此表明,大型水生植物的恢复还可以通过影响水体光照强度而提高控藻效果。鉴于上述结论只是在实验室内模拟自然水生态条件下研究的结果,与实际水体的复杂性还有很大差距,其结论的实际应用效果还有待进一步验证。

参考文献

陈刚,谢田,莫非. 2004. 光照、 NaHCO_3 和 pH 值对金鱼藻光合作用的影响[J]. 贵州环保科技,10(4):16-19.

陈雪初,孙扬才,曾晓文,等. 2007. 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,27(3):352-355.

华汝成. 1980. 单细胞藻类的培养与利用[M]. 北京:农业出版社:101.

黄显清,王武. 2000. 温度、盐度对大型溞生长和生殖的影响[J]. 上海水产大学学报,9(1):15-20.

金相灿,储昭升,杨波,等. 2008. 温度对水华微囊藻及孟氏浮游蓝丝藻生长、光合作用及浮力变化的影响[J]. 环境科学学报,28(1):50-55.

李小龙,耿亚红,李夜光,等. 2006. 从光合作用特性看铜绿微囊藻的竞争优势[J]. 武汉植物学研究,24(3):225-230.

林毅雄,韩梅. 1998. 滇池富营养化的铜绿微囊藻生长因素的研究[J]. 环境科学进展,6(4):82-87.

刘晶,秦玉洁,丘焱伦,等. 2005. 生物操纵理论与技术在富营养化湖泊治理中的应用[J]. 生态科学,24(2):188-192.

马剑敏,靳萍,王程丽,等. 2013. 模拟自然水体中藻-溞-草间的相互作用研究[J]. 环境科学学报,33(2):528-534.

马帅,王程丽,张亚捷,等. 2012. 氮磷浓度对藻-溞-草间相互作用的影响[J]. 水生生物学报,36(1):66-72.

孟琼,邓道贵,杜浩,等. 2009. 温度和培养体积对大型溞种群动态和两性生殖影响[J]. 水生生物学报,33(6):1160-1167.

秦伯强,杨柳燕,陈非洲,等. 2006. 湖泊富营养化发生机制与控制技术及其应用[J]. 科学通报,51(16):1857-1866.

张青田,王新华,林超,等. 2011. 温度和光照对铜绿微囊藻生长的影响[J]. 天津科技大学学报,26(2):24-27.

Saito K, Hiroshi Ishii, Nishida F. 2002. Purification of microcystins by DEAE and C_{18} cartridge chromatography[J]. Toxicon, 40(1):97-101.

Chisholm S W, Stross R G, Nobbs P A. 1975. Environmental and intrinsic control of filtering and feeding rates in arctic *Daphnia* [J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 32(2):219-226.

Jian-min Ma, Tong-xia Jin, Feng He, et al. 2009. Responses of *Elodea nuttallii* and *Ceratophyllum demersum* to high temperature [J]. Fresenius Environmental Bulletin, 18(9):1588-1596.

Moss B. 1991. Engineering and biological approaches to the restoration from the eutrophication of shallow lakes which aquatic plant communities are important components [J]. Hydrobiologia, 200/201:367-377.

Paerl H W, Fulton R S, Moisaner P H, et al. 2001. Harmful freshwater algal blooms, with an emphasis on cyanobacteria [J]. Scientific World Journal, (1):76-113.

Schwartz S S. 1984. Life history strategies in *Daphnia*: a review and predictions[J]. Oikos, 42:114-122.

(责任编辑 万月华)

Influences of Temperature and Illumination on Co-cultivation Among *Microcystis aeruginosa*, *Daphnia magna* and *Ceratophyllum demersum*

JIN Ping¹, GUO Meng¹, XU Ting-ting¹, YANG Cheng¹, LIN Qing-wei¹, JIN Tong-xia¹, MA Jian-min^{1,2}

(1. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, P. R. China;

2. Henan Key Laboratory for Environmental Pollution Control; Key Laboratory of Yellow River and Huai River Water Environment and Pollution Control, Ministry of Education, Xinxiang 453007, P. R. China)

Abstract: In order to study the influence of temperature and illumination on biomanipulation and aquatic macrophyte restoration, *Microcystis aeruginosa*, *Daphnia magna* and *Ceratophyllum demersum* were selected respectively as the representative of phytoplankton, zooplankton and submerged macrophyte. They were co-cultured in the nitrogen wit concentrate of 11 mg/L and in the nutrient solution of phosphorus with different concentrate of 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 mg/L. And it studied the influence of different temperature (15, 20, 25, 30°C) and different illumination intensity (1 100, 2 200, 3 400, 4 500 lx) on co-cultivation among *Microcystis aeruginosa*, *Daphnia magna* and *Ceratophyllum demersum*. The results showed that it had obvious effect of temperature on biomanipulation and aquatic macrophyte restoration. When the temperature was 15°C, the influence of the change of phosphorus concentration on controlling algae was little, but the growth rate of *C. demersum* was lower than in other temperature. When the temperature was 20 to 25°C, the growth rate of *D. magna* was higher with better effect of biomanipulation, and 0.2 mg/L phosphorus was most suitable for growth of *C. demersum*. When the temperature was 30°C, the growth rate of *D. magna* was lowest. Under this temperature, *M. aeruginosa* appeared positive growth with the phosphorus concentration of 1.5 mg/L, and it couldn't be controlled effectively. The growth rate of *D. magna* and *C. demersum* was higher than *M. aeruginosa* under all phosphorus concentration when the illumination intensity was between 1 100 lx and 2 200 lx, and the effect of controlling algae was obvious. When the illumination intensity was between 3 400 lx and 4 500 lx, the influence of phosphorus concentration on biomanipulation and aquatic macrophyte restoration was greater than illumination. Moreover it is more effective to control algae boom and reestablish aquatic macrophyte when the phosphorus concentration was 0.2–0.5 mg/L.

Key words: *Microcystis aeruginosa*; *Daphnia magna*; *Ceratophyllum demersum*; temperature; illumination; co-cultivation