

荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用研究

李磊, 侯文华*

(中国环境科学研究院湖泊生态环境创新基地, 北京 100012)

摘要: 在实验室条件下, 通过测定培养液中铜绿微囊藻的藻细胞浓度和叶绿素 a 含量, 研究了具有较高观赏价值的水生植物荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻生长的抑制效应。结果表明, 不同浓度的荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用不尽相同, 表现为明显的低促高抑现象; 而连续滴加荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻的生长也有较明显的抑制作用, 使藻细胞基本失去了进行正常光合作用的能力, 其中睡莲种植水的抑制效果比荷花的更明显; 另外, 扩大实验中通过测定铜绿微囊藻的 SOD 活性、MDA 积累量表明, 藻细胞在共培养过程中受到了胁迫和伤害。灭菌方法对种植水的抑藻试验也有影响, 不能采用高温灭菌来代替微膜过滤, 说明荷花和睡莲分泌物中含有热不稳定性的物质。

关键词: 荷花; 睡莲; 铜绿微囊藻; 生长; 抑制效应

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)10-2180-07

Inhibitory Effects of Liquor Cultured with *Nelumbo nucifera* and *Nymphaea tetragona* on the Growth of *Microcystis aeruginosa*

LI Lei, HOU Wen-hua

(Research Center of Lake Environment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The inhibitory effects of liquor cultured with *Nelumbo nucifera* and *Nymphaea tetragona* on the growth of *Microcystis aeruginosa* have been investigated by measuring the cell number and the chlorophyll a content of *Microcystis aeruginosa* of culture in the laboratory. The results showed that the inhibitory effects on the growth of *Microcystis aeruginosa* with different concentration of the liquor cultured with *Nelumbo nucifera* and *Nymphaea tetragona* were dissimilar, and an evident phenomenon appeared that low concentrations could promote the growth of *Microcystis aeruginosa*. However, the inhibitory effects on the growth of *Microcystis aeruginosa* with continuous liquor cultured with *Nelumbo nucifera* and *Nymphaea tetragona* were obvious, which made the algal cell almost lose the capability of photosynthesis, and the inhibitory effects of liquor cultured with *Nymphaea tetragona* were better than those of *Nelumbo nucifera*. The scale-up experiment demonstrated that the algal cell received menace and damage by measuring the activities of peroxidase (SOD) and the accumulated contents of malondialdehyde (MDA) of *Microcystis aeruginosa* in the co-culture. Sterilization methods influenced the algal growth inhibition experiment so that high temperature couldn't replace micropore filter, which explained that the matter excreted by *Nelumbo nucifera* and *Nymphaea tetragona* may contain thermally-instable matter.

Key words: *Nelumbo nucifera*; *Nymphaea tetragona*; *Microcystis aeruginosa*; growth; inhibitory effect

我国富营养化湖泊大部分属于磷限制型^[1], 而利用高等植物对氮、磷等无机营养的吸收能力来防治水体富营养化^[2~4]是当前环保领域的一个重要课题。20 世纪 90 年代, 随着水域污染的日益加剧和藻类的大量暴发, 水生植物的化感作用研究异常活跃^[5,6], 人们试图通过对水生植物代谢产物的研究揭示水生植物的抑藻效应^[7~9], 寻找生态治理的方法来修复水体的功能。戴树桂等^[10]从香蒲提取物中分离鉴定了克藻化合物, 并对比研究了不同的藻类抑制效果, Wium-Andersen 等^[11]研究认为不稳定的含硫化合物是主要的抑制藻类生长的活性物质, 后来的研究发现金鱼藻在高磷浓度下对稳定和维持清水状态具有重要作用^[12]。

以往的研究主要侧重于植物的净化效果, 较少顾及到景观的功能。研究较多的水生植物是香蒲

(*Typhaminima*)、凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)、浮萍(*Lemna*)、金鱼藻(*Leratophyllum demersum*)、满江红(*Asolla imbricata*)等; 但对一些园林中具有较高观赏价值的水生植物的研究较少, 如荷花(*Nelumbo nucifera*)、睡莲(*Nymphaea tetragona*)、水葱(*Scirpus tabernaemontani*)等。其中荷花和睡莲是园林造景中运用极为广泛的 2 类水生植物之一。荷花为多年生挺水植物, 原产我国, 现广布全球, 适应性强, 喜热不耐寒, 多生长于湖泊、沼泽。睡莲为多年生水生草本, 叶浮于水面, 喜温暖、湿润、阳光充足的环境^[13]。迄今为止, 国内外对荷花、睡莲对藻生长的影响研究较

收稿日期: 2006-11-02; 修订日期: 2006-12-04

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412300); 国际合作项目(2005DFA90960)

作者简介: 李磊(1982~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向城市湖泊生态控藻技术, E-mail: lilei20089@163.com

* 通讯联系人, E-mail: houwenhua@sina.com

少,本研究以水华发生常见的铜绿微囊藻为对象,考察了荷花、睡莲对铜绿微囊藻生长的影响,旨在为观赏水生植物荷花、睡莲的进一步的开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 铜绿微囊藻

铜绿微囊藻来自中国科学院武汉水生生物研究所,保存在 pH 为 8.0 的 M-11 培养基中^[7],培养条件为温度 28℃,光暗比 12 h:12 h,照度为 2 200 lx,每 5 d 转接 1 次,重复 2 次,所得微囊藻浓度经镜检计数超过 10^6 个/mL 时,便作为实验用。

1.1.2 荷花种植水

荷花种植水取自种植在温室的荷花玻璃缸内,此缸内种植有 3 株荷花,每株各 1 盆。在生长旺盛期,将玻璃缸和荷花植物体清洗干净,然后用薄膜将盆内土层覆盖住,加水后 20 d 内不再加水,20 d 后自缸内取种植水水样,经 $0.45\ \mu\text{m}$ 滤膜过滤后的种植水,冷藏待用。试验前须再用 $0.45\ \mu\text{m}$ 滤膜减压抽滤以消除其它微生物的影响。

1.1.3 睡莲种植水

睡莲种植水同样取自种植在温室的睡莲玻璃缸内,缸内种植有 3 株睡莲,每株各 1 盆。同上,从缸内取睡莲种植水,将过滤后的种植水冷藏待用。试验前再用 $0.45\ \mu\text{m}$ 滤膜减压抽滤以消除其他微生物的影响。

1.2 分析方法

1.2.1 培养方法

(1)铜绿微囊藻的培养 将上述铜绿微囊藻藻种用 M-11 培养基于日本 SANYAO 公司生产的 MLR-350 型人工恒温光照培养箱中进行扩大培养,培养温度为 28℃,光暗比 12 h:12 h,照度为 2 200 lx, pH 值为 8.0,每日定时摇动。

(2)荷花和睡莲种植水的抑藻试验 实验在上述光照培养箱中进行,采用 500 mL 锥形瓶,用经过 $0.45\ \mu\text{m}$ 滤膜过滤的荷花和睡莲种植水配制 250 mL M-11 培养基,对照仍采用去离子水配制,加入铜绿微囊藻藻种,使起始的 D_{650} 值为 0.057,藻细胞浓度为 12×10^5 个/mL。在培养过程中锥形瓶用 $0.45\ \mu\text{m}$ 的滤膜封口,每天定时摇动 3 次,每隔 24 h 测定藻细胞数,每组均设 3 个平行样。在设置不同浓度进行比较实验时,100% 浓度是完全由种植水配制的培养基。

(3)连续滴加荷花和睡莲种植水的克藻试验 实验方法同上,培养 1 d 后,实验组每天添加种植水 10 mL,连续添加 7 d,对照组添加去离子水,每日测定藻细胞数,每组均设 3 个平行样。

(4)连续滴加植物种植水的扩大试验 扩大实验在 2 L 的大烧杯中进行,内置 1 L 荷花和睡莲的种植水与藻的培养液,初始藻细胞浓度同上,培养 1 d 后,每天添加种植水 50 mL,对照组添加去离子水,培养当天进行相关生理生化指标的测定,以后隔天测定 1 次,至第 8 d 测定完毕。藻细胞数每天测定 1 次,每组均设 3 个平行样。

1.2.2 测定方法

(1)藻细胞数测定 藻细胞数采用 XB-K-25 型血球计数板,在 Olympus 显微镜下以显微镜视野法进行计数。自接种之日起每天定时采样并计数。

(2)叶绿素 a 的测定 叶绿素 a 含量的测定用比色法测定^[14]。色素的浓度根据如下公式计算:

$$c_a = 13.95D_{665} - 6.88D_{649}$$

式中, D_{665} 、 D_{649} 分别为在 665、649 nm 波长下的吸光度, c_a 为叶绿素 a 的浓度, mg/L。

(3)酶液的制备 取 50 mL 藻液加至灭菌的离心管中,4 000 r/min 离心 15 min 收集藻细胞,加入 5 mL 预冷的 0.05 mol/L pH 7.2 的磷酸缓冲液,冰浴下超声波破碎(JY92-II 型超声波细胞粉碎机,超声 5 s,间隔 5 s,工作次数为 24 次,功率 600 W,重复 3 次),4℃ 下 12 000 r/min 离心 15 min,收集上清液即为酶液, -20℃ 保存备用^[15]。

(4)可溶性蛋白含量的测定 采用考马斯亮蓝蛋白染色法,蛋白标准和试剂均购自南京建成生物工程研究所,测定方法按照试剂盒的说明书进行。

(5)丙二醛(MDA)含量的测定 采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[16],上清液 1.5 mL 于带塞试管中(可做 2 个重复),加入 0.5% (质量分数) TBA 溶液 2.5 mL,混合后于沸水浴上反应 20 min,冷却后离心,上清液分别于 532、600 和 450 nm 波长下测定 D 。计算公式为:

$$c(\text{MDA}) = 6.45(D_{532} - D_{600}) - 0.56D_{450}$$

式中, $c(\text{MDA})$ 为丙二醛浓度, $\mu\text{mol/L}$, 然后以材料鲜重($\mu\text{mol/g}$)表示丙二醛含量。

(6)超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定 采用黄嘌呤氧化法,药品购自南京建成生物研究所,测定方法按照试剂盒的说明书进行。用每 mg 可溶性蛋白的酶活表示,单位为 U/mg。

2 结果与分析

2.1 不同浓度的荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻生长的影响

实验结果表明,不同浓度的荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻生长的抑制效果都不尽相同.

图 1(a)所示为不同浓度下的荷花种植水抽滤液对铜绿微囊藻生长的影响趋势.很明显,100%种植水对铜绿微囊藻的生长有一定的抑制作用,此处理组的微囊藻藻细胞浓度的增长速度明显没有对照组快;前 6 d 藻细胞浓度有缓慢增长并随之有下降趋势,之后又急速上升,说明荷花种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用是由种植水中所含的植物分泌物

的浓度决定的,培养一段时间之后植物分泌物浓度降低,抑制作用变弱,所以微囊藻又开始快速生长.但是 80%和 40%种植水的处理组对微囊藻的生长几乎没有抑制作用,而且藻细胞浓度的增长速度在前 6 d 比对照组还要快,同其他植物一样表现出明显的低促高抑的现象^[17].

图 1(b)的睡莲种植水的 100%浓度处理组也表现了明显的抑制作用,前 3 d 藻细胞浓度缓慢增长,与对照组相似,但之后呈明显下降趋势,第 5 d 后又开始增长,与荷花种植水 100%浓度处理组的实验结果相一致.睡莲种植水 80%、40%浓度处理组在前 5 d 也表现出了明显的低促高抑的现象,第 5 d 之后藻细胞增长速度则没有对照组快.

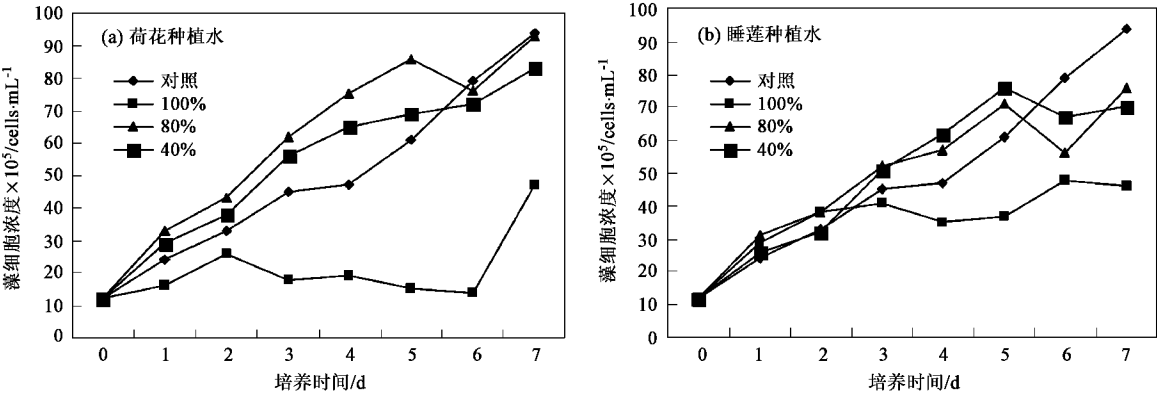


图 1 不同浓度的荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻生长的影响

Fig.1 Effects of different concentration of the liquor cultured with *Nelumbo nucifera* and *Nymphaea tetragona* on the growth of *Microcystis aeruginosa*

2.2 连续滴加荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻生长的影响

图 2 是连续滴加荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻藻细胞浓度和叶绿素 a 含量的影响趋势.由图 2 可见,连续滴加种植水后,与对照组相比,荷花和睡

莲对铜绿微囊藻的抑制效应相当明显,藻细胞浓度明显没有对照组增长速度快,荷花种植水处理组基本上处于缓慢增长状态,第 4 d 后开始有缓慢下降趋势,而睡莲种植水处理组则基本上没有明显增长,藻细胞几乎停止生长.说明睡莲种植水在同样条件

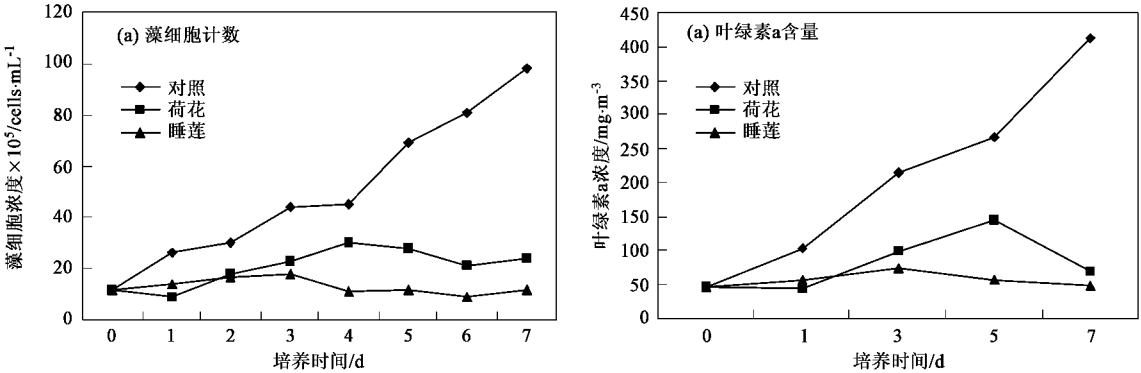


图 2 连续滴加荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻生长的影响

Fig.2 Effects of continuous liquor cultured with *Nelumbo nucifera* and *Nymphaea tetragona* on the growth of *Microcystis aeruginosa*

下比荷花的抑藻作用更好。

藻类和浮游植物依靠光合作用生长,而叶绿素 a 是所有藻类的主要光合色素,通过测定藻类和浮游植物叶绿素含量可掌握水体的初级生产力情况,在监测中可将叶绿素 a 含量作为其光合作用潜力的一种指标.实验中测得的微囊藻叶绿素 a 含量可从藻细胞的生理角度检验其受荷花和睡莲种植水影响的程度.如图 2(b),连续滴加睡莲种植水的处理组微囊藻叶绿素 a 含量几乎没变,说明睡莲所分泌的物质对铜绿微囊藻有抑制作用,藻细胞已基本上失去了进行正常光合作用的能力.而荷花种植水处理组中微囊藻叶绿素 a 含量先是有个上升阶段,第 5 d 后又有所下降,说明荷花所分泌的物质对微囊藻也有抑制效应,但效果不如睡莲.

2.3 连续滴加荷花和睡莲种植水的扩大实验

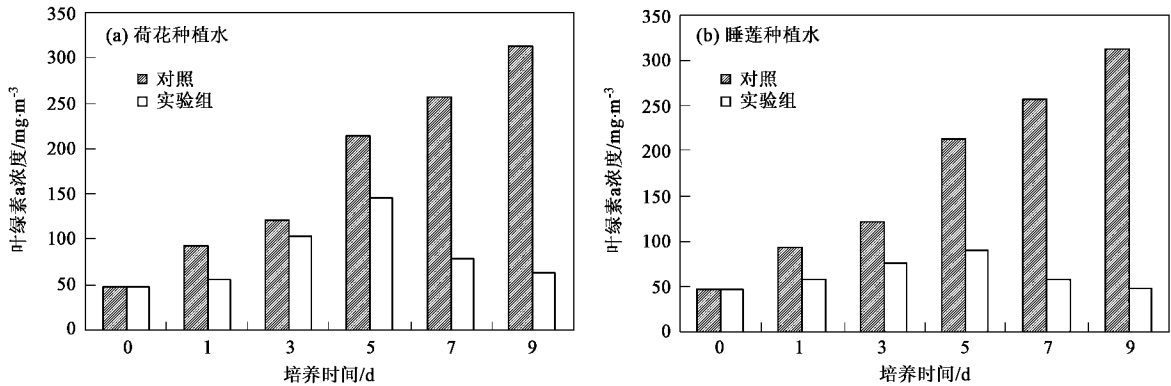


图 3 扩大实验中荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻叶绿素 a 含量的影响

Fig.3 Effects of liquor cultured with *Nelumbo nucifera* and *Nymphaea tetragona* on the content of chlorophyll a of *Microcystis aeruginosa* in the scale-up experiment

微囊藻生长的关键。

2.4 荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻的生理影响

图 4 为荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻 SOD 活性的影响趋势,由图 4 可见,对照组的 SOD 活性在实验过程中几乎没有变化,说明对照组的藻类生长状况良好,没有受到外界条件的胁迫;而实验组中藻类的 SOD 活性则呈现出先升后降的趋势,从实验开始表现出了上升的趋势,第 7 d 时达到了最大值,细胞内原有的 $O_2^{\cdot -}$ 产生和清除的动态平衡状态被打破, $O_2^{\cdot -}$ 积累增加.超氧化物歧化酶(SOD)是生物体内清除超氧化物阴离子自由基($O_2^{\cdot -}$)的重要金属酶类.它和过氧化氢酶、过氧化物酶一起构成了生物体内重要的酶促反应防御体系,从而维护生物体内细胞正常的生理代谢和生化反应.作为细胞抗衡胁迫的主要保护酶,SOD 活性在处理前期增大可能是

为了更好地说明荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻的作用效果,进行了扩大实验.

图 3 显示了扩大实验中荷花和睡莲种植水对微囊藻叶绿素 a 含量的影响趋势,由图 3 可见,对照组中的叶绿素 a 含量增长趋势明显,由 47.3 mg/m^3 增加到第 9 d 的 312.7 mg/m^3 ;而实验组中的叶绿素 a 含量呈现出先升后降趋势,在实验的第 5 d 达到了最高值,此后随着藻细胞受到种植水中物质的破坏,叶绿素 a 含量很快就下降到了 63.9 mg/m^3 和 48.2 mg/m^3 (分别为荷花和睡莲实验组),说明藻细胞的光合作用能力已经达到了很低的界限.扩大实验进一步证实,连续滴加种植水对铜绿微囊藻的生长有很好的抑制效果,这进一步说明了抑藻效果的强弱取决于水生植物所分泌的物质的浓度,因此荷花和睡莲能否成为优势群体,进而分泌大量的物质是抑制

微囊藻在水体中受到了种植水中物质胁迫时的应激反应,而第 9 d SOD 活性开始下降,可能是 SOD 活性不能与 $O_2^{\cdot -}$ 在更高的水平上建立新的平衡,表明此时藻细胞已经受到了实质性伤害.

植物器官衰老或在逆境下遭受伤害,往往发生膜脂过氧化作用,丙二醛(MDA)是膜脂氧化的最终分解产物,从膜上产生的位置释放出后与蛋白质、核酸起反应修饰其特征,使纤维素分子间的桥键松弛或抑制蛋白质的合成.MDA 的积累可能对膜和细胞造成一定的伤害.微囊藻在生长过程中受到植物种植水物质的抑制破坏,细胞内的丙二醛含量会直接体现出来,实验测定的 MDA 含量变化如图 5.

由图 5 可见,对照组与实验组的藻细胞 MDA 的含量变化差别较大,对照组中 MDA 的相对含量几乎没有大的波动;而实验组 MDA 的含量变化趋势与

SOD 活性变化趋势相似,先升后降,升高是由于藻细胞脂膜过氧化程度加深,使细胞膜受到伤害,到实验

的第 7 d 开始 MDA 的含量显著下降可能此时藻细胞膜结构受到严重损伤,藻细胞已经开始破裂.

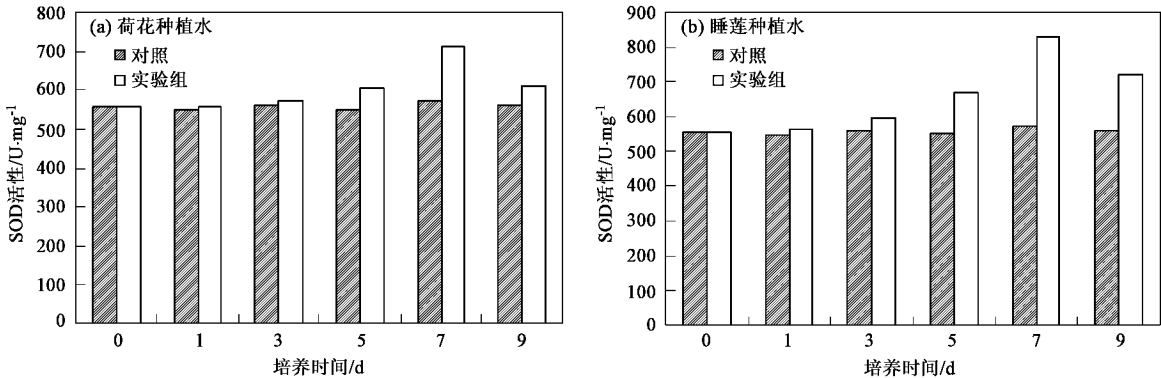


图 4 荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻 SOD 活性的影响

Fig.4 Effects of liquor cultured with *Nelumbo nucifera* and *Nymphaea tetragona* on the SOD of *Microcystis aeruginosa*

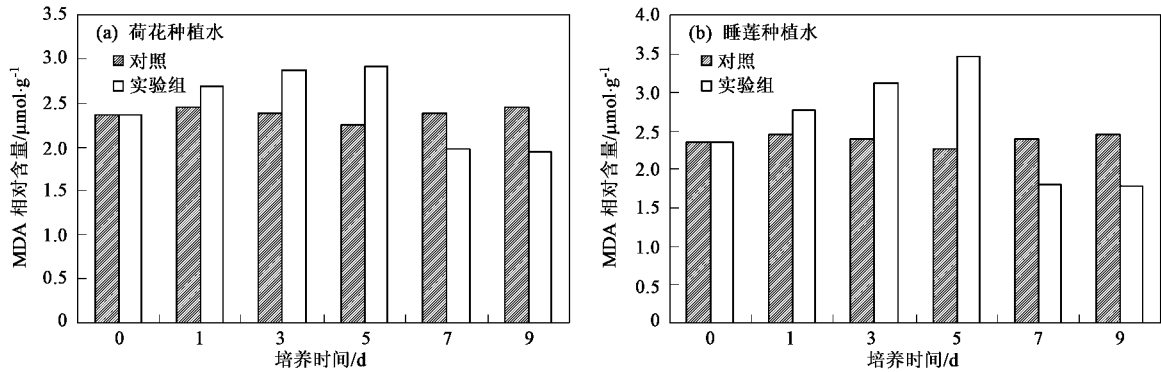


图 5 荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻 MDA 含量的影响

Fig.5 Effects of liquor cultured with *Nelumbo nucifera* and *Nymphaea tetragona* on the MDA of *Microcystis aeruginosa*

2.5 灭菌方法对抑藻实验的影响

图 6 分别是采用传统的高温灭菌和 0.45 μm 微滤膜过滤处理荷花和睡莲种植水的抑藻实验结果. 采用种植水对藻细胞生长的抑制实验,微生物的影响是很大的,有时甚至会得出相反的结果,在进行植物种植水抑藻实验时必须先排除微生物的干扰,通常可用小于 0.65 μm 的滤膜过滤或采用高温高压灭菌的方法.经镜检和细菌培养表明,通过 0.45 μm 滤膜过滤和高温灭菌后的种植水中都没有发现微生物和菌落.采用微滤膜过滤需要在减压的条件下完成且速度较慢,而采用高压灭菌锅灭菌的方法较简单快捷,但由于植物分泌物质大多是热不稳定性物质,高温加热容易导致其分解.如图 6,比较高温灭菌和微膜过滤,结果显示高温灭菌后的种植水处理组藻生长速度更快,明显超过对照组;而 0.45 μm 滤膜过滤后的种植水处理组藻细胞生长速度不如对照组,

说明荷花和睡莲种植水在高温处理后,克藻能力明显降低,且对藻的生长还有促进作用,表明荷花和睡莲的分泌物中含有热不稳定性物质,因此在用种植水进行生物测试时不能采用高温灭菌来代替微膜过滤.

3 讨论

通过一系列实验表明,荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻存在一定的抑制作用,且采用连续滴加种植水方法能显著提高克藻能力,说明荷花和睡莲种植水的克藻作用是源于植物连续分泌的物质,当种植水中植物分泌物质浓度很低时,其对铜绿微囊藻的生长反而有促进作用.这与 Satoshi 等^[18]的研究结果相一致:抑制作用的强弱与植物分泌物的浓度是密切相关的. SOD 活性、MDA 积累量等在实验过程中发生的变化,则从铜绿微囊藻生理生化的角度印

证了藻细胞在共培养过程中受到了胁迫和伤害.且实验结果表明,连续滴加睡莲种植水对铜绿微囊藻

的抑制作用比荷花种植水的效果要明显,说明睡莲分泌的物质对微囊藻的抑制作用更好.

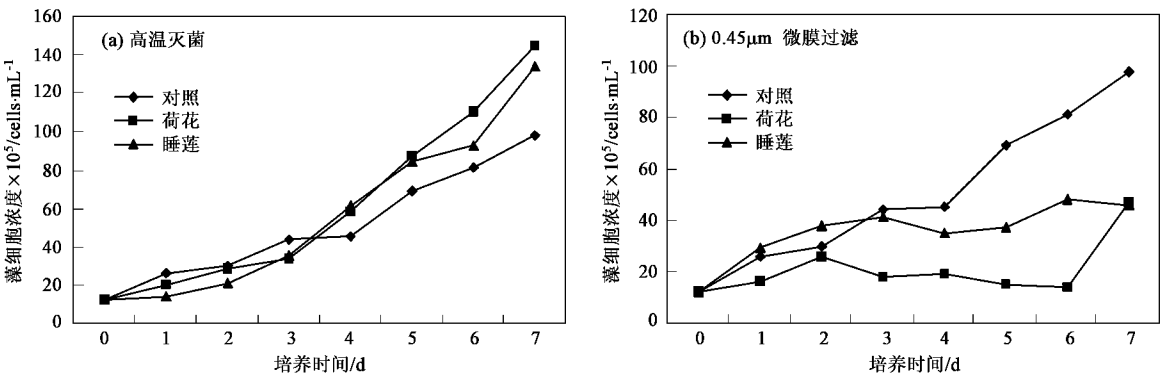


图 6 种植水抑藻实验

Fig.6 Algal growth inhibition of culture solution after high temperature or after micropore filter membrane

植物分泌的物质中有很多物质容易被微生物所利用,只有当它们达到一定的浓度时才会抑制微生物的生长,且不同物质对藻类生长的影响差异很大^[19,20].而不同植物所分泌的克藻物质也是不同的,因此利用各种植物的协同作用合理搭配水生植物种类,充分发挥它们之间的协同增效作用,联合它们的观赏价值,合理搭配浮叶、挺水、沉水和漂浮 4 种植物的植物,可创造出好的环境效果.且多种植物的合理组合搭配不仅满足了物种多样性^[21,22],更容易保持湖泊生态系统的长期稳定性.故在采取水生高等植物进行水体修复时,充分利用各种植物的习性和特征,如荷花、睡莲等具有很高观赏价值的水生植物,在不同水域合理搭配使用,将能产生更好的修复效果,也是一种经济有效的方法.

4 结论

(1)荷花和睡莲种植水对铜绿微囊藻存在一定的抑制作用,且采用连续滴加种植水方法能明显提高抑制藻生长的能力;当种植水中植物分泌物质浓度低时,对铜绿微囊藻的生长反而有促进作用,并通过对 SOD 活性、MDA 积累量等生理生化指标的测定,初步验证了上述结果.

(2)不同植物所分泌的物质对铜绿微囊藻的生长抑制影响差异很大,睡莲分泌的物质对微囊藻的抑制作用比荷花好.因此可以利用植物的协同作用合理搭配水生植物种类,发挥它们之间的协同抑藻作用,同时利用植物的搭配营造好的景观.

参考文献:

[1] 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2001.112 ~ 146.

[2] 娄敏,廖柏寒,刘红玉,等. 3 种水生漂浮植物处理富营养化水体的研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(3): 194 ~ 195.

[3] Nyakang'o J B, van Bruggen J J A. Combination of a well functioning constructed wetland with a pleasing landscape design in Nairobi, Kenya[J]. Wat Sci Tech, 1999, 40(3): 249 ~ 256.

[4] 金送笛,李永函,倪彩虹,等. 菹草对水中氮、磷的吸收及若干影响因素[J]. 生态学报,1994,14(2): 168 ~ 173.

[5] Nakai S, Inoue Y, Hosomi M, et al. Growth inhibition of blue-green algae by allelopathic effects of macrophytes[J]. Wat Sci Tech, 1999, 39(8): 47 ~ 53.

[6] Nakai S, Inoue Y, Hosomi M, et al. Myrophyllum spicatum-released allelopathic polyphenols inhibiting growth of blue-green algae microcystis aeruginosa[J]. Wat Res, 2000, 34(11): 3026 ~ 3032.

[7] 孙文浩,余叔文,杨善元,等. 凤眼莲根系分泌物中的克藻化合物[J]. 植物生理学报,1993,19(1): 92 ~ 96.

[8] 袁峻峰,章宗涉. 金鱼藻对藻类的生化干预作用[J]. 生态学报,1992,13(1): 45 ~ 50.

[9] 河池全,叶居新. 石菖蒲克藻效应的研究[J]. 生态学报,1999,19(5): 754 ~ 758.

[10] 戴树桂,赵凡,金朝辉,等. 香蒲提取物的抑藻作用及其分离鉴定[J]. 环境化学,1997,16(3): 268 ~ 271.

[11] Wiium-Andersen S, Anthoni U, Houen G. Elemental sulfur, a possible allelopathic compounds from Ceratophyllum demersum[J]. Phytochemistry, 1983, 22: 2613.

[12] Mjelde M, Faafeng B A. Ceratophyllum demersum hampers phytoplankton development in some small Norwegian lakes over a wide range of phosphorus concentrations and geographical latitude [J]. Freshwater Biol, 1997, 37(2): 355 ~ 365.

[13] 周厚高. 水体植物景观[M]. 贵阳:贵州科技出版社,2006.12 ~ 18,98 ~ 103.

[14] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2002.72 ~ 75.

[15] 美国公共卫生协会,美国自来水协会,水污染控制联合会编,宋元仁等译. 水和废水标准检验法[M]. (第 15 版). 北京:中国建筑工业出版社,1985.401 ~ 404.

[16]

陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. (第二版). 广州:华南理工大学出版社,2002. 124.

[17]

孔垂华,胡飞. 植物化感(相生相克)作用及其应用[M]. 北京:中国农业出版社,2001.45.

[18]

Satoshi N, Yutaka I, Masaaki H, *et al.* Growth inhibition of blue-green algae by allelopathic effects of macrophytes[J]. Wat Sci Tech, 1999, **39**(8):47 ~ 53.

[19]

Satoshi N, Yutaka I, Masaaki H. Algal growth inhibition effects and inducement modes by plant-producing phenols[J]. Wat Sci Tech, 2001, **35**(7): 1855 ~ 1859.

[20]

Yasushi K, Yasunori K, Kyoji S. Acute toxicity of fatty acid to the freshwater green alga *selenastrum capricornutum* [J]. Environ Toxicol, 2003, **18**: 289 ~ 294.

[21]

Pokorny J, Kvet J, Ondok J P. Functioning of the plant component in densely stocked fish ponds [J]. Bull Ecol, 1990, **21**(3): 44 ~ 48.

[22]

Scheffer M, Van den Berg M, Brucelaar A, *et al.* Vegetated area with clear water in turbid shallow lakes [J]. Aqua Bot, 1991, **49**: 193 ~ 196.

关于反对个别作者一稿两投行为的联合声明

为保证所发表论文的首创性和学术严谨性,《环境科学》、《中国环境科学》、《环境科学学报》编辑部和《Journal of Environmental Sciences》编辑部特发表如下联合声明.

我们明确反对个别作者的一稿两投或变相一稿两投行为.自 2006 年 5 月 1 日起,我们各刊在接受作者投稿时,要求论文全体作者就所投稿件作出以下承诺(附在投稿上):

1) 来稿所报道的研究成果均系全体作者的原创性研究成果,文中报道的研究成果(含图、表中数据的全部或部分)未曾发表亦未曾投其它科技期刊.

2) 在接到所投期刊编辑部关于稿件处理结果之前,所投稿件的全部或部分内容不再投其它科技期刊.

我们将认真对待作者所作的上述承诺,并建立信息共享机制,对违背上述承诺的作者(包括在文中署名的全体作者)采取联合行动.

净化学术环境、促进学术繁荣是学术期刊作者和编者的共同责任.我们诚恳地希望广大作者能够了解我们的上述立场和做法,并积极宣传和配合.

《环境科学》编辑部

《中国环境科学》编辑部

《环境科学学报》编辑部

《Journal of Environmental Sciences》编辑部