

两种沉水植物浸提液对斜生栅藻的化感效应

杨 琳¹, 吴 伟^{1,2}, 胡庚东^{1,2}, 瞿建宏^{1,2}, 陈家长^{1,2}, 李成君³

(1.南京农业大学渔业学院, 江苏 无锡 214081; 2.中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 内陆渔业生态环境与资源重点开放实验室, 江苏 无锡 214081; 3.江苏省洪泽县水产局, 江苏 洪泽 223100)

摘 要:采用玻璃水族箱及恒温光照培养箱, 分别研究了两种沉水植物伊乐藻(*Elodea canadensis*)和篦齿眼子菜(*Potamogeton pectinatus* L.)的浸提液对斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)的化感效应。结果显示, 这两种沉水植物的浸提液均对斜生栅藻的生长具有化感效应, 且都表现为“低促高抑”的现象。伊乐藻和篦齿眼子菜 20%浸提液试验组对斜生栅藻有明显的促生长效应, 试验第 7 d 时, 其藻细胞浓度分别为同期对照组的 237%和 180%。伊乐藻和篦齿眼子菜 50%~90%浸提液试验组对斜生栅藻的生长有不同程度地抑制, 且抑制作用随着浸提液浓度的增加而逐渐增强。试验第 7 d 时, 伊乐藻和篦齿眼子菜 90%浸提液试验组藻细胞浓度分别为同期对照组的 38%和 32%。从对藻类生长的抑制效果上看, 伊乐藻浸提液对斜生栅藻的 EC_{50} (6 d)为 70%, 篦齿眼子菜浸提液对斜生栅藻的 EC_{50} (6 d)为 55%, 表明了眼子菜浸提液对斜生栅藻的抑制效果较伊乐藻浸提液好。

关键词:伊乐藻; 篦齿眼子菜; 斜生栅藻; 化感效应

中图分类号:X173 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)04-1530-06

Allelopathic Effect of Water Extracts from Two Submerged Macrophytes on Growth of *Scenedesmus obliquus*

YANG Lin¹, WU Wei^{1,2}, HU Geng-dong^{1,2}, QU Jian-hong^{1,2}, CHEN Jia-zhang^{1,2}, LI Cheng-jun³

(1.Fishery College of Nanjing Agriculture University, Wuxi 214081, China; 2.Freshwater Fisheries Research Center, Key Open Laboratory of Inland Fishery Eco-environment and Resource, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China; 3.Hongze Fishery Bureau, Hongze 223100, China)

Abstract: *Elodea canadensis* and *Potamogeton pectinatus* L. are submerged plants used for phytoremediation on eutrophic lakes, and *Scenedesmus obliquus* is one of the pollution indicator species in fresh water. This paper studied the allelopathic effect of water extracts from two submerged macrophytes *Elodea canadensis* and *Potamogeton pectinatus* L. on growth of *Scenedesmus obliquus*. The plants were immersed respectively in distilled water to collect allelochemicals. The results indicated that the water extracts from the two submerged macrophytes had allelopathy on *Scenedesmus obliquus* and performed by ‘low concentration promoted, high inhibited’. During 7 days of the experiment, the growth of *Scenedesmus obliquus* was stimulated in the treatment groups with 20% of the water extracts from *Elodea canadensis* and *Potamogeton pectinatus* L., while, the experimental groups with 50%~90% of the water extracts had different inhibition on *Scenedesmus obliquus*, and the allelopathic inhibitory effects increased with the increasing concentrations of the water extracts. The cell concentrations of *Elodea canadensis* and *Potamogeton pectinatus* L. in experimental group with 90% of the water extracts were 38% and 32% of those in the control, respectively. These two submerged macrophytes might be a potential candidate for algae control. The EC_{50} (6 d) of *Elodea Canadensis* and *Potamogeton pectinatus* L. on *Scenedesmus obliquus* were 70% and 55%, respectively. From the allelopathic inhibition of algae, the water extracts from *Potamogeton pectinatus* L. had more inhibitory effects on *Scenedesmus obliquus* than *Elodea canadensis*.

Keywords: *Scenedesmus obliquus*; *Elodea canadensis*; *Potamogeton pectinatus* L.; allelopathy

随着水体富营养化程度的日益加重, 藻类呈爆发性生长, 已影响到整个水体生态系统的平衡^[1], 因此如何控制水体中有害藻类的过度繁殖一直是人们关注

的焦点。目前较常用的杀灭水体中藻类的方法是化学方法, 如使用高锰酸钾、硫酸铜等化学药剂。虽然化学方法能迅速除去水体中的藻类, 但同时也会杀灭非靶标生物, 且大量的金属离子进入水体可能造成环境的二次污染^[2], 故必须寻找一种安全有效的方法来控制藻类的恶性繁殖。近年来, 利用植物化感作用抑制藻类的生长逐渐成为相关学者研究的重点。

收稿日期: 2007-12-27

基金项目: 江苏省三项工程项目(PJ2006-50)

作者简介: 杨 琳(1982—), 硕士。

通讯作者: 陈家长 E-mail: chenjz@ffrc.cn

植物化感作用(Allelopathy)是由 H Molisch 于 1937 年首先提出的。上世纪 70 年代, E L Rice 进一步完善和丰富了植物化感作用的概念, 将其定义为: 植物通过释放化学物质到环境中对其他植物产生的有害或有益的作用。这些具有化感作用的化学物质被称作化感物质(Allelochemical)。1969 年 Fitzgerald 发现水生植物的代谢产物可能会抑制藻类的生长^[3]。随着化感作用的深入研究, 水生植物通过化感作用抑制藻类的生长繁殖引起了人们的广泛兴趣, 人们希望通过对水生植物化感作用的研究为湖泊富营养化的生态治理寻求一条新的途径。

伊乐藻(*Elodea Canadensis*)属于单子叶植物纲、泽泻目、水鳖科的伊乐藻属; 篦齿眼子菜(*Potamogeton Pectinatus* L.)属于单子叶植物纲、泽泻目、眼子菜科的眼子菜属, 这两种植物均是淡水水体中常见的一年生草本沉水植物, 对水体富营养化耐受性较强, 常被用来修复受损水体, 净化池塘养殖水环境^[4]。斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)属于绿藻纲、绿球藻目、栅藻科、栅藻属, 是常见的淡水藻类, 也是淡水水体污染指示种之一, 在水生生态系统中占有重要的地位。本文以斜生栅藻为受试生物, 分别研究了伊乐藻和篦齿眼子菜的浸提液对斜生栅藻生长的影响, 初步探讨了伊乐藻和篦齿眼子菜用于控制藻类恶性繁殖的可能性, 以为水体富营养化的预防和治理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验仪器

Sanyo MIR-153 型恒温光照培养箱; 721 分光光度计; Nikon 80i 显微镜; 浮游植物计数框; 100 L 玻璃水族箱等。

1.2 试验材料

试验用沉水植物为伊乐藻和篦齿眼子菜, 取自无锡西五里湖生态修复区, 所取植株为鲜活带根系的植物体。

试验用斜生栅藻藻种由中国水产科学研究院淡水渔业研究中心提供。试验前用 BBM 培养基^[5]对斜生栅藻藻种进行预培养。培养条件为: 温度(31±1)℃, 光照强度 4 000 lx, 连续充气。

1.3 方法

1.3.1 沉水植物浸提液的获取

将采集到的伊乐藻和篦齿眼子菜摘除老叶, 选取根茎和新鲜叶片, 用蒸馏水冲洗干净, 吸水纸吸干水分, 称重, 于室温下将水草分别放入水族箱, 加入适当

蒸馏水, 使水草密度约为 20 g·L⁻¹, 在温度(31±1)℃、光照强度 4 000 lx 条件下浸泡。每天定时搅拌翻动水草, 10 d 后过滤浸提液, 收集滤液, 放入 4℃冰箱内冷藏备用。

1.3.2 沉水植物浸提液对藻类生长的影响

试验在 1 L 的三角瓶中进行, 试验液体积 500 mL, 其中培养液体积 450 mL。试验分 2 组, 组 1 为伊乐藻浸提液, 组 2 为篦齿眼子菜浸提液。两个试验组各设 1 个空白对照和 4 个浸提液含量梯度, 浸提液分别占试验液体积的 20%、50%、70% 和 90%。以上各培养液中均按试验液终体积 500 mL 添加一定量的 BBM 培养基营养元素, 用蒸馏水补足培养液体积为 450 mL, 使得各组培养基浓度相一致。接种斜生栅藻藻液 50 mL(接种藻细胞浓度为 6×10⁶ 个·mL⁻¹)。将上述藻液置于温度(31±1)℃, 光照 4 000 lx 的恒温培养箱中连续充气培养一周。每天定时取一定量藻液, 用 721 分光光度计在 650 nm 处测定藻液光密度值(OD₆₅₀), 通过建立藻细胞浓度与光密度值之间的线性关系模型, 了解每天藻类数量的变化情况, 比较沉水植物浸提液对藻类生长的影响。试验设置 3 个平行。

1.3.3 数据处理方法

根据藻液细胞浓度计算斜生栅藻的比生长速率和半效应浓度 EC₅₀。

比生长速率 $\mu = \ln(n/n_0)/(t-t_0)$ 。式中: μ 为比生长速率; n 为某一时间(t)的细胞浓度, 个·mL⁻¹; n_0 为试验起始时(t_0)细胞的浓度, 个·mL⁻¹。

半效应浓度 EC₅₀ 参照文献[6]的方法计算。

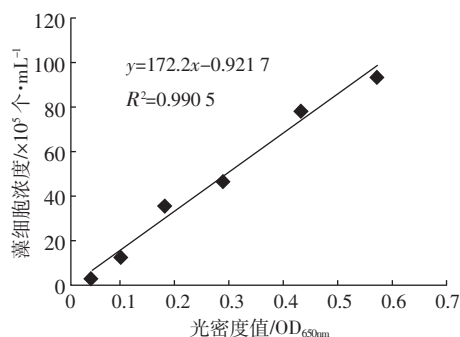
数据分析时取 3 个平行样的平均值进行计算, 采用多重比较对数据进行分析处理。P<0.05 为差异显著, P<0.01 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 藻细胞浓度与藻液光密度值的相关性

在试验开始前, 对纯培养的斜生栅藻藻液进行藻细胞浓度和光密度值(OD₆₅₀)的测定, 建立藻细胞浓度和光密度值之间的回归曲线(如图 1)。得到藻细胞浓度(y , 10⁵ 个·mL⁻¹)和光密度值(x , OD₆₅₀)的一元线性回归方程 $y=172.2x-0.9217(R^2=0.9905)$ 。

经检验, 该回归方程相关系数达极显著水平(P<0.01), 表明藻细胞浓度与光密度值之间呈现显著地线性相关, 因此在本试验中可以用测定藻类光密度值的方法得到藻类的细胞浓度。

图1 藻细胞浓度和光密度值(OD₆₅₀)的相关性Figure 1 The relationship of algae chroma and optical density(OD₆₅₀)

2.2 伊乐藻浸提液对斜生栅藻生长的影响

伊乐藻浸提液对斜生栅藻生长的影响试验结果见图2(a,b)。

由图2(a)可见,在7 d 试验中,对照组和伊乐藻20%浸提液试验组藻细胞浓度总体呈增长趋势。对照组藻细胞浓度在试验第6 d 达到顶峰,为 3.47×10^6 个·mL⁻¹,第7天略有下降;20%浸提液试验组藻细胞浓度在试验第7 d 达到高峰,为 7.56×10^6 个·mL⁻¹,比试验初始时增加了13倍,是同期对照组藻细胞浓度的240%,对斜生栅藻表现出了极显著的促生长效应。50%~90%浸提液试验组在试验时间内藻细胞浓度呈缓慢增长趋势,但增长率明显低于对照组。其中,50%和70%试验组藻细胞浓度大致相同,第7 d 时藻细胞浓度比初始时分别增加了2.3和2.8倍,是同期对照组藻细胞浓度的57%和67%;90%试验组第7 d 时藻细胞浓度为 1.21×10^6 个·mL⁻¹,比试验初始时增加了1.2倍,是同期对照组藻细胞浓度的38%,表明90%

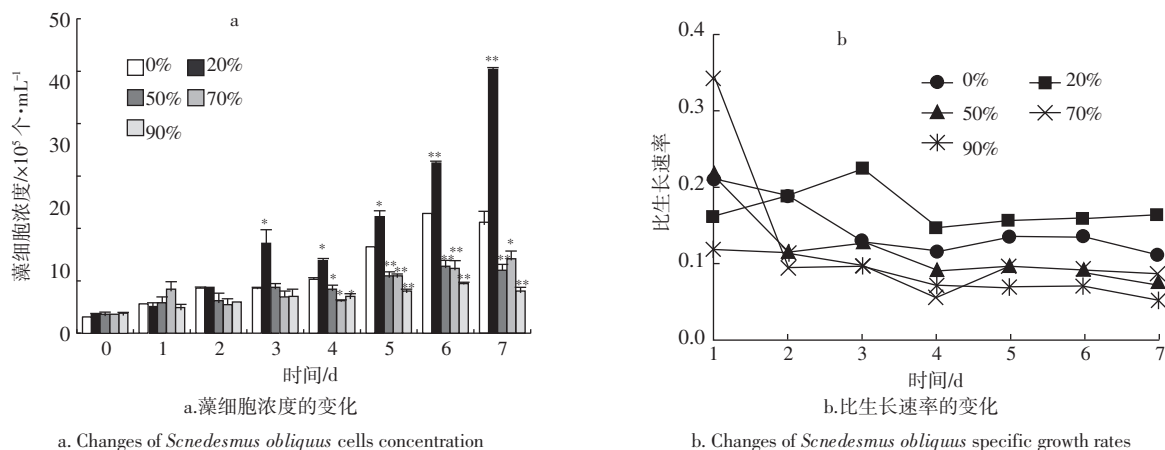
浸提液试验组极显著地抑制斜生栅藻的生长。

上述结果在图2(b)中也得到了较好的反映。试验初期,各个浸提液试验组藻液的比生长速率变化幅度较大。从试验第3 d 开始,各个试验组平均比生长速率:20%试验组>对照组>50%试验组>70%试验组>90%试验组。伊乐藻20%浸提液试验组对斜生栅藻具有一定的促生长效应;而50%~90%浸提液试验组不同程度地抑制了斜生栅藻的生长,其中90%试验组对斜生栅藻的生长表现出极显著的抑制作用。通过计算得到伊乐藻浸提液对斜生栅藻的EC₅₀(6 d)为70%。

2.3 篦齿眼子菜浸提液对斜生栅藻生长的影响

篦齿眼子菜浸提液对斜生栅藻生长的影响试验结果见图3(a,b)。

由图3(a)可见,试验初期,各个试验组藻细胞浓度略有下降。试验第2 d 到第7 d,对照组和篦齿眼子菜20%浸提液藻细胞浓度呈增长趋势,对照组藻细胞浓度在试验第7 d 时达到高峰,为 2.06×10^6 个·mL⁻¹。20%浸提液试验组第7 d 时的藻细胞浓度为 3.61×10^6 个·mL⁻¹,比试验初始时增加了5.5倍,是同期对照组藻细胞浓度的180%,对斜生栅藻表现出明显的促生长效应。50%~90%浸提液试验组在试验时间内藻细胞浓度呈缓慢增长趋势,藻细胞浓度的增长率明显低于对照组。其中,50%和70%试验组在试验第7 d 时的藻细胞浓度比试验初始时分别增加了0.5和0.6倍,是同期对照组的40%和42%,极显著地抑制了斜生栅藻的生长;90%试验组在试验第3 d 藻细胞浓度即达到顶峰,之后呈负增长现象。试验第7 d 时,90%试验组藻细胞浓度为 6.53×10^5 个·mL⁻¹,比试验初始

a. Changes of *Scenedesmus obliquus* cells concentrationb. Changes of *Scenedesmus obliquus* specific growth rates

* 和 ** 分别表示与对照组相比差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$),下同。

* & ** mean significant difference ($P<0.05$) and very significant difference ($P<0.01$) compared with the control group, the same as below.

图2 伊乐藻浸提液对斜生栅藻生长的影响

Figure 2 The influence of two extracts from *Elodea canadensis* on the growth of *Scenedesmus obliquus*

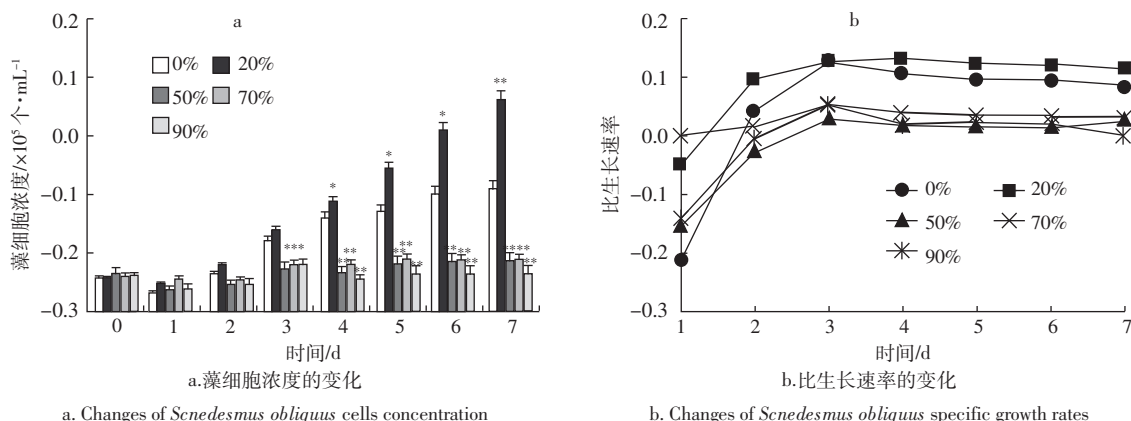


图 3 篦齿眼子菜浸提液对斜生栅藻生长的影响

Figure 3 The influence of two extracts from *Potamogeton Pectinatus* L. on the growth of *Scenedesmus obliquus*

时增加 0.2 倍,是同期对照组的 32%,表明 90%浸提液试验组对斜生栅藻的生长具有极显著的抑制作用。

图 3(b)反映了在篦齿眼子菜浸提液作用下斜生栅藻比生长速率的变化趋势。从试验第 2 d 开始,各组平均比生长速率:20%浸提液试验组>对照组>50%试验组 $\approx$ 70%试验组 $\approx$ 90%试验组。表明篦齿眼子菜 20%浸提液试验组对斜生栅藻有促生长效应,50%~90%浸提液试验组对斜生栅藻的生长具有一定的抑制作用。试验第 6 d 篦齿眼子菜浸提液对斜生栅藻的 EC_{50} (6 d)为 56%,低于伊乐藻浸提液对斜生栅藻的 EC_{50} (6 d)70%,表明篦齿眼子菜浸提液对斜生栅藻生长的抑制效果比伊乐藻浸提液强烈。

3 讨论

水生植物同藻类之间的化感效应可以用于控制水体中的藻类数量,这一观点已得到众多学者的认同^[7-10]。但是对于水生植物自身分泌的化感物质如何进入自然界这一问题,学术界仍存有争议。目前普遍认为水生植物化感物质在自然状态下主要是通过植物根部分泌和植物残株或凋落物分解这两个途径进入自然界^[11]。在研究方法上,有学者通过有机溶剂浸提水生植物来确定植物是否有化感作用以及分离鉴定化感物质^[12-14]。在获取水生植物化感物质的过程中,用有机溶剂浸提植物这一方法是否可行仍有待商榷。在自然状态下,除了水不可能有其他溶剂将水生植物中的化感物质浸提出来,如果用有机溶剂浸提,则对受试植物产生效应的可能并非真正意义上从自然状态下进入水体的化感物质,而是在有机溶剂作用下,植物产生的代谢物质。本文在探讨伊乐藻和篦齿眼子菜的浸提液对斜生栅藻的化感效应时,用蒸馏水做溶

剂,浸泡鲜活带根的植株以获取化感物质。一方面,活体植物直接向水体分泌化感物质;另一方面,植株凋落分解后向水体释放化感物质。由于水生植物分泌的化感物质通常须由水作为媒介影响其他生物,因此本试验用水浸提沉水植物中的化感物质更接近客观情况,避免用有机溶剂浸提化感物质时忽略其在自然状态下进入水体的方式。

通过试验,发现沉水植物伊乐藻和篦齿眼子菜的浸提液对斜生栅藻均具有化感效应,且随着浸提液含量的不同,沉水植物对斜生栅藻的生长所表现出的化感效应也是不同的。从试验结果来看,当伊乐藻和篦齿眼子菜浸提液含量较低为 20%时可以促进斜生栅藻生长;当浸提液含量达到一定阈值,为 50%~90%时,斜生栅藻的生长受到一定程度的抑制,表现为“低促高抑”的现象。这说明沉水植物对藻类的化感作用是植物的代谢产物通过溶解进入水体而产生的,并且不同含量的沉水植物浸提液会对藻类生长产生不同的作用效果。造成这种现象的原因可能同植物浸提液中的化感物质自身降解和浸提液对藻类生长的影响有关。有学者指出化感物质可能改变了藻细胞抗氧化体系酶活性^[15,16],低浓度的化感物质使藻细胞酶活性升高,对藻类生长起到促进作用;而高浓度的化感物质降低酶活性,从而抑制藻类生长。由于沉水植物整株生活在水下,通过茎、叶可以直接向水中释放化感物质,影响水体中藻类的生长。本试验研究伊乐藻和篦齿眼子菜的水浸提液对斜生栅藻生长的化感效应,发现较高含量的浸提液对斜生栅藻的生长表现出了明显的抑制作用,表明伊乐藻和篦齿眼子菜具有抑藻效应,可以用来控制水体中藻类的恶性繁殖。

在本试验中用添加浸提液的培养液培养斜生栅

藻,观察斜生栅藻的生长情况,发现斜生栅藻藻体色度呈现不同的变化。随着培养时间的延长,对照组和沉水植物 20%浸提液试验组藻体颜色逐渐加深,而 50%、70%和 90%浸提液试验组藻体颜色逐渐变淡变黄,其中 90%浸提液试验组藻体颜色变化最明显。这一现象在相似文献^[17-19]中也曾被报道过。唐萍等学者在凤眼莲对栅藻生长影响的试验中,亦出现藻体黄化的现象,通过进一步研究发现凤眼莲根系分泌物能够影响栅藻的超微结构和生长代谢,叶绿体、线粒体等细胞器进行性损伤,进而影响栅藻细胞的光合作用和呼吸作用。王立新等学者用黑藻养殖水培养铜绿微囊藻,在试验第 3 d 即出现藻体黄化现象,研究结果显示,黑藻分泌物能显著降低铜绿微囊藻的光合速率和呼吸速率,使细胞膜通透性显著增大,对铜绿微囊藻的超微结构产生进行性损伤。本试验中藻体变黄的现象可能提示植物浸提液在抑制藻类生长的同时,影响藻类细胞正常的生长代谢,起到了加速藻细胞衰亡的作用,但是这一推断是否正确还需要进一步从藻细胞超微结构、光合作用、细胞酶活性水平等方面进行研究,以取得有力的论证。研究沉水植物对藻类的化感效应对于开发安全高效的抑藻剂或杀藻剂具有直接的现实意义,目前正在从细胞、分子水平上对沉水植物与藻类之间的化感效应做进一步研究,为深入了解化感效应的作用机制提供理论依据。

4 结论

(1)伊乐藻和篦齿眼子菜的浸提液均对斜生栅藻具有化感效应,且均呈现出“低促高抑”的现象。

(2)从两种沉水植物浸提液的抑藻效果来看,篦齿眼子菜浸提液对斜生栅藻的抑制效果较伊乐藻浸提液好。

参考文献:

- [1] 赵生才. 我国湖泊富营养化的发生机制与控制对策 [J]. 地球科学进展, 2004, 19(1): 138-140.
- [2] ZHAO Sheng-cai. The mechanism and control measures of eutrophication in our country [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2004, 19 (1): 138-140.
- [3] 王扬才, 陆开宏. 蓝藻水华的危害及治理动态[J]. 水产学杂志, 2004, 17(1): 90-93.
- [4] WANG Yang-cai, LU Kai-hong. Harm and control about Cyanobacterial bloom[J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2004, 17(1): 90-93.
- [5] 鲜啟鸣, 陈海东, 邹惠仙, 等. 淡水水生植物化感作用研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 664-669.
- [6] XIAN Qi-ming, CHEN Hai-dong, ZOU Hui-xian, et al. Research advances in allelopathy of aquatic macrophytes [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(6): 664-669.
- [7] Hofstra D E, Clayton J, Green J D, et al. Competitive performance of *Hydrilla verticillata* in New Zealand [J]. *Aquatic Botany*, 1999, 63 (3): 305-324.
- [8] 华汝成. 单细胞藻类的培养与利用 [M]. 北京: 农业出版社, 1986. 279-280.
- [9] HUA Ru-cheng. The culture and using of unicellular algae[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1986. 279-280.
- [10] 王志强, 朱琳. 常用抗菌药对藻类的急性毒性效应研究[J]. 中兽医医药杂志, 2006, 25(6): 17-20.
- [11] WANG Zhi-qiang, ZHU Lin. The acute toxicity tests of antibiotic on algae[J]. *Journal of traditional Chinese veterinary medicine*, 2006, 25(6): 17-20.
- [12] 鲜啟鸣, 陈海东, 邹惠仙, 等. 四种沉水植物的克藻效应 [J]. 湖泊科学, 2005, 17(1): 75-80.
- [13] XIAN Qi-ming, CHEN Hai-dong, ZOU Hui-xian, et al. Allelopathic effects of four submerged macrophytes on *microcystis aeruginosa* [J]. *Journal of Lake Science*, 2005, 17(1): 75-80.
- [14] Mulderij G, Van Donk E, Roelofs J G M. Differential sensitivity of green algae to allelopathic substances from chara: recent developments in fundamental and applied plankton research [J]. *Hydrobiologia*, 2003, 491: 261-271.
- [15] Della G M, Fiorentino A, Isidori M. Antialgal furano-diterpenes from *Potamogeton natans* L.[J]. *Phytochemistry*, 2001, 58: 299-304.
- [16] 河池全, 叶居新. 石菖蒲(*Acorus tatarinowii*)克藻效应的研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 754-758.
- [17] HE Chi-quan, YE Ju-xin. Inhibitory effects of *Acorus tatarinowii* on algae growth[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 754-758.
- [18] 孔垂华. 植物化感作用研究中应注意的问题 [J]. 应用生态学报, 1998, 9(3): 332-336.
- [19] KONG Chui-hua. Problems needed attention on plant allelopathy research[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(3): 332-336.
- [20] 鲜啟鸣, 陈海东, 邹惠仙, 等. 沉水植物中挥发性物质对铜绿微囊藻的化感作用[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3549-3554.
- [21] XIAN Qi-ming, CHEN Hai-dong, ZOU Hui xian, et al. Allelopathic activity of volatile substance from submerged macrophytes on *Microcystin Aeruginosa*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006(11): 3 549-3 554.
- [22] 舒阳, 刘振乾, 李丽君. 凤眼莲浸出液对东海原甲藻生长的抑制作用[J]. 生态科学, 2006, 25(2): 124-127.
- [23] SHU Yang, LIU Zhen-qian, LI Li-jun. Inhibitory effect of extracts from *Eichhornia Crassipes* on the growth of *Prorocentrum Donghaiense*[J]. *Ecologic Science*, 2006, 25(2): 124-127.
- [24] Gross E M, Meyer H, Schilling G. Release and ecological impact of algicidal hydrolysable polyphenols in *Myriophyllum spicatum* [J]. *Phytochemistry*, 1996, 41(1): 133-138.
- [25] 李锋民, 胡洪营, 门玉洁, 等. 化感物质对小球藻抗氧化体系酶活性的影响[J]. 环境科学, 2006, 27(10): 2091-2094.
- [26] LI Feng-min, HU Hong-ying, MEN Yu-jie, et al. Effects of EMA on activities of algal antioxidant enzymes [J]. *Environmental Science*, 2006, 27(10): 2091-2094.

- [16] 沈 宏, 周培疆. 环境有机污染物对藻类生长作用的研究进展[J]. 水生生物学报, 2002, 26(5): 529–535.
SHEN Hong, ZHOU Pei-jiang. Advance in the studies on effect of environmental organic pollutants on the algae growth [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(5): 529–535.
- [17] Nakai S, Inoue Y, Hosomi M, et al. *Myriophyllum spicatum* released allelopathic polyphenoles inhibiting growth of blue-green algae *Chlorella pyrenoidosa*[J]. *Water Research*, 2000, 34(11): 3026–3032.
- [18] 刘洁生, 陈芝兰, 杨维东, 等. 凤眼莲根系丙酮提取物抑制赤潮藻类生长的机制研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(5): 815–820.
LIU Jie-sheng, CHEN Zhi-lan, YANG Wei-dong, et al. Inhibitory mechanism of acetone extract from *Eichhornia crassipes* root on *Alexandrium tamarense* [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(5): 815–820.
- [19] 王立新, 张 玲, 张余霞, 等. 黑藻(*Hydrilla verticillata*)养殖水对铜绿微囊藻(*Microcystic aeruginosa*)的抑制效应及其机制[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2006, 32(6): 672–678.
WANG Li-xin, ZHANG Lin, ZHANG Yu-xia, et al. The inhibitory effect of *Hydrilla verticillata* culture water on *Microcystic aeruginosa* and its mechanism [J]. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2006, 32(6): 672–678.