

菹草对小球藻和卵囊藻的形态化感效应研究

常孟阳, 董 静, 李晨露, 高云霓, 李金灿, 王佳慧, 牛萌萌

(河南师范大学, 水产学院, 新乡 453007)

摘要: 研究生态修复过程中沉水植物对藻类的影响, 为水生态修复提供理论依据。选用常见沉水植物菹草 (*Potamogeton crispus*) 研磨液为培养液, 对常见绿藻普通小球藻 (*Chlorella vulgaris*) 和卵囊藻 (*Oocystis* sp.) 开展室内模拟试验培养, 通过绿藻生长和形态特征的变化, 了解新鲜菹草是否对普通小球藻和卵囊藻存在一定的化感效应。研究表明, 菹草对普通小球藻和卵囊藻的生长均未呈现显著抑制效应; 普通小球藻对菹草具有形态响应, 一次性添加的菹草研磨液在试验初期显著促进普通小球藻群体的形成, 随着时间的推移, 群体普通小球藻逐渐裂开转化为小群体或者是单细胞; 试验结果还表明, 菹草对卵囊藻形态无显著影响。

关键词: 菹草; 小球藻; 卵囊藻; 化感效应; 形态特征

中图分类号: Q145 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2020)02-0091-07

在水生生态系统中, 许多浮游藻类存在表型可塑性 (Phenotypic plasticity), 即一种基因型在不同的环境条件下呈现多种表型的现象。浮游藻类可能产生不同的表型来应对外界环境条件的变化, 改变自身形态形成群体或集聚是最常见的一种形式 (Šetlík et al, 1972; Trainor et al, 1998; Cao et al, 2010; Rios et al, 2016)。目前, 诱导浮游藻类形态变化的因素主要有非生物因素 (温度、光照、营养、温度、光照、重金属、除草剂、杀虫剂) 和生物因素 (草食性动物、细菌、鱼类) (Aaronson et al, 1973; Donk et al, 2011; Li et al, 2013; Bi et al, 2013; Zuo et al, 2014)。2005年 Mulderij 等 (2005) 报道出沉水植物水剑叶 (*Stratiotes aloides*) 诱导斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*) 的群体形成, 指出光合生物沉水植物也能诱导浮游藻类形态改变。

利用沉水植物进行生态修复已成为热门话题之一, 但目前利用沉水植物进行生态修复主要关注对浮游藻类生长 (生物量、光合活性) 的影响, 例如沉水植物眼子菜科 (Potamogetonaceae) 的马来眼子菜

(*Potamogeton malaianu*)、篦齿眼子菜 (*Potamogeton pectinatus*)、微齿眼子菜 (*Potamogeton maackianus*)、菹草 (*Potamogeton crispus*) (陈德辉等, 2004; 汤仲恩等, 2007; Wu et al, 2007; 崔晨等, 2014), 水鳖科 (Hydrocharitaceae) 的苦草 (*Vallisneria asiatica*) (陈卫民等, 2009), 小二仙草科 (Haloragidaceae) 的穗花狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*)、粉绿狐尾藻 (*Myriophyllum aquaticum*) (Nakai et al, 2000; 杨维东等, 2005), 金鱼藻科 (Ceratophyllaceae) 的金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*) (徐洁等, 2008) 对斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*)、微小色球藻 (*Chroococcus minutus*)、四尾栅藻 (*Scenedesmus quaclricauda*)、二形栅藻 (*Scenedesmus dimorphus*)、衣藻 (*Chlamydomonas sajae*)、蛋白核小球藻 (*Chlorella pyrenoidosa*)、蓝纤维藻 (*Dactylococcopsis* spp.) 等的生长具有显著抑制作用 (鲜啓鸣等, 2005; 任文君等, 2011; 纪海婷等, 2015)。而关于沉水植物对浮游藻类形态方面的影响报道还较少。目前报道的仅有 Mulderij 等 (2005) 通过室内研究发现水生植物水剑叶 (*Stratiotes aloides*) 滤液能诱导斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*) 形态转变, 由单细胞向多细胞群体转变, 并对斜生栅藻的生长产生了显著抑制。Dong 等 (2013) 通过室内研究发现金鱼藻能诱导斜生栅藻、小球藻群体形成。

为进一步探究其它沉水植物对浮游藻类有何形态影响, 本研究选择一种常见沉水植物菹草 (*P. crispus*) 开展相关试验, 绿藻普通小球藻 (*Chlorella*

收稿日期: 2018-03-30

基金项目: 国家青年基金项目 (31500380); 河南省科技攻关项目 (152102310314 & 172102210352); 河南师范大学博士启动基金项目 (qd14183); 河南省高校科技创新团队支持计划 (14IRTSTHN013)。

作者简介: 常孟阳, 1993年生, 硕士, 主要从事藻类环境生态学。E-mail: HSSTCMY@163.com

通信作者: 董静 1988年生, 博士, 讲师, 主要从事藻类环境生物学研究。E-mail: happydj111@163.com

vulgaris)和卵囊藻(*Oocystis* sp.)作为研究对象。以菹草研磨液为培养液对普通小球藻和卵囊藻进行培养,观察培养期间普通小球藻和卵囊藻的形态变化以及生长情况。研究沉水植物在进行水生态修复过程中绿藻如何响应,为水生态修复技术提供进一步的理论依据和参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

沉水植物菹草(*Potamogeton crispus*):采自河南师范大学水产养殖基地种植池(35°19'38.363"N, 113°54'09.482"E),采集一定量的健壮植株,用清水仔细清洗干净,去除植株上的附着物,例如泥沙、水绵、虫卵等杂质(庄源益等,1995)。然后在试验室内进行驯化培养,分装在两个培养箱,培养过程中分别加入一定量的小球藻藻液和卵囊藻藻液,为营造二者共存的生活环境进行驯化(李小路等,2008)。

表1 试验设计

Tab.1 Experiment design

对照组	处理组
用 0.22 μm 滤膜过滤 500 mL 无菌水	3 g 菹草加入无菌水研磨 用 0.22 μm 滤膜过滤后用无菌水定容至 500 mL
备注:添加营养与 BG11 培养基一致	备注:添加营养与 BG11 培养基一致

1.2.1 接种藻类 将准备好的对照组和处理组培养液分别接种小球藻与卵囊藻至光密度 OD(Optical density) 为 0.05,充分混合均匀,分别均分 250 mL 三角瓶中(每个三角瓶倒入 150 mL 左右的藻液)。对照组和处理组各设置 3 个重复,此过程均在无菌工作台完成。

把上述接种好的对照组和处理组藻液培养瓶置于恒温培养箱中培养,培养条件:25℃,光照强度 25 μmol · m⁻² · s⁻¹,光暗比 12 h : 12 h,连续培养 10 d。在培养过程中,每天对藻液进行 3 次(早中晚各一次)的充分摇匀。

1.2.2 指标监测 每天取样测定普通小球藻和卵囊藻的生长情况以及生长过程中形态的转变。取 3 mL 样品进行对照组和处理组 OD 的测定,普通小球藻和卵囊藻光密度值 OD 值采用分光光度计直接测定法(段刚等,2006),测定是在分光光度计波长为 680 nm 下进行(杨敏文,2002)。

取 2 mL 样品进行细胞计数。普通小球藻和卵囊藻细胞计数选用藻类计数框测定(型号是:CC-F,规格是:0.1 mL 计数框)(段刚等,2006)。具体操作过程:取 2 mL 藻液样品置于离心管中,加入少量鲁

普通小球藻(*Chlorella vulgaris*)、卵囊藻(*Oocystis* sp.):购自中科院水生生物研究所淡水藻种库(武汉,中国)。正式试验前,将普通小球藻、卵囊藻藻种置于 BG11 培养基中进行扩大培养,培养温度为 25℃,光照强度 25 μmol/(m²s),光暗比 12 h : 12 h,待普通小球藻和卵囊藻培养至对数生长期时进行试验。(注:在普通小球藻、卵囊藻培养过程中,需每天对培养瓶中的藻液摇匀 2~3 次,以防止普通小球藻、卵囊藻藻细胞沉降贴壁)。

1.2 试验设计

取室内驯化培养的菹草植株用无菌水反复清洗干净,用吸水纸吸干植株上的水分。用电子分析天平称取菹草植株 1.5 g。将称量的菹草放在研钵里研磨,加入无菌水,8 000 r/m 离心 10 min,取上清液,再加无菌水离心,反复操作 4 次,加入灭菌好的营养液,研磨液浓度用无菌水定容至 3 g/L。

哥氏液固定,充分混匀后置于黑暗处保存,待计数。藻液样品计数前进行摇匀,取 0.1 mL 藻液样品放于藻类计数框,显微镜下观察计数,每份样品重复 3 次,每次计数 50 个视野,计算各个形态下普通小球藻的细胞个数,其中 >3 细胞的计为群体形态。生长率计算方法为,以时间为横坐标,显微镜观察密度的自然对数(ln)为纵坐标,绘制回归曲线,得出生长率。

1.3 数据统计分析

数据整理和作图在 Excel 2010(Microsoft)软件中进行并采用 SPSS18.0 软件进行对照组和处理组生长率的单因素方差分析,其中 $p < 0.05$ 表示显著差异, $p < 0.01$ 表示极显著差异。

2 结果与分析

2.1 菹草研磨液对小球藻的影响

2.1.1 对小球藻形态的影响 在菹草研磨液培养普通小球藻的 10 d 中,从第 1 d 开始,群体形态普通小球藻所占比例不断增加,从第 4 d 开始群体形态所占比例逐渐降低(图 2),通过重复测量分析显示,随着时间的推移,群体形态所占比例无显著变化,而

且相对于对照组, 菹草研磨液处理显著促进普通小球藻群体形态形成(表 2, 图 1)。

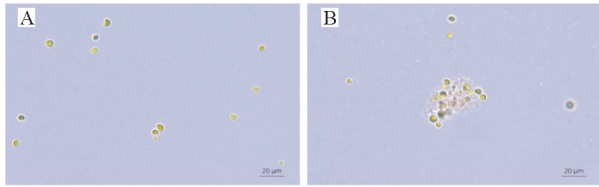


图 1 对照组(A)和菹草研磨液中(B)普通小球藻形态
Fig.1 Morphology of *C. vulgaris* in control group (A) and *P. crispus* extract treatment group (B)

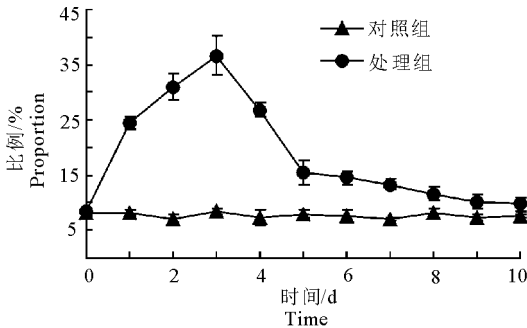


图 2 对照组和菹草研磨液中小球藻群体形态所占比例
Fig.2 Colony proportion of *C. vulgaris* in the control group and *P. crispus* extract treatment group

表 2 群体所占比例重复测量分析

Tab.2 Repeated ANOVA examination of *C. vulgaris* colony proportion

源	df	F	sig
时间效应	1.865	2.575	0.143
时间×组效应	1.865	2.540	0.145
组间效应	1.000	34.128	0.004

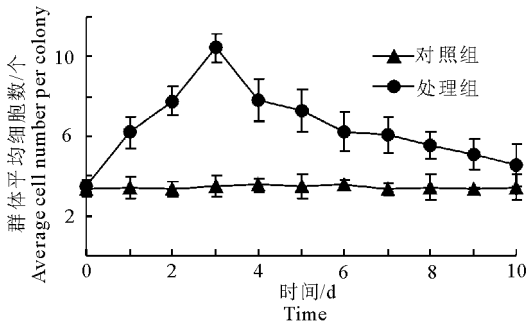


图 3 对照组和菹草研磨液中小球藻群体平均细胞数
Fig.3 Average cell number per colony of *C. vulgaris* in control group and *P. crispus* extract treatment group

群体平均细胞数从第 1 d 开始不断增加, 第 3 d 达到高峰, 随着培养时间的延长, 普通小球藻群体大小逐渐减小, 群体平均细胞数逐渐下降(图 3)。由重复测量分析可知, 随着时间效应的推移, 群体细胞平均数显著变化, 与对照组相比达到了显著差异(表 3)。

表 3 群体平均细胞数重复测量分析

Tab.3 Repeated ANOVA examination of average cell number per colony of *C. vulgaris*

源	df	F	sig
时间效应	1.030	8.778	0.040
时间×组效应	1.030	8.103	0.045
组间效应	1.000	114.693	0.000

2.1.2 对小球藻生长的影响 在菹草研磨液培养普通小球藻的 10 d 中, 随着培养天数的增加, 与空白对照组相比, 处理组对普通小球藻生长率无显著影响(图 4, $P > 0.05$)。

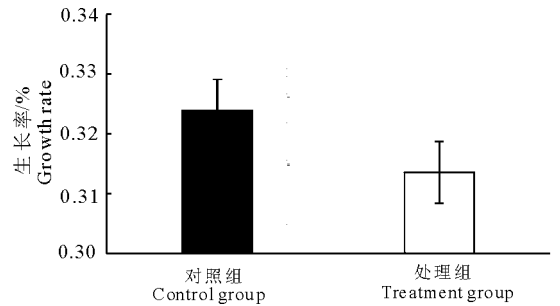


图 4 对照组和菹草处理组中小球藻生长率

Fig.4 Growth rate of *C. vulgaris* in control group and *P. crispus* extract treatment group

2.2 菹草研磨液对卵囊藻的影响

2.2.1 对卵囊藻形态的影响 在菹草研磨液培养卵囊藻的 10 d 中, 随着培养天数的增加, 对照组与处理组群体所占比例无显著差异(图 6, $P > 0.05$)。经重复测量分析可得, 处理组与时间效应达到了显著差异, 处理组与对照组无显著差异(表 4, 图 5)。

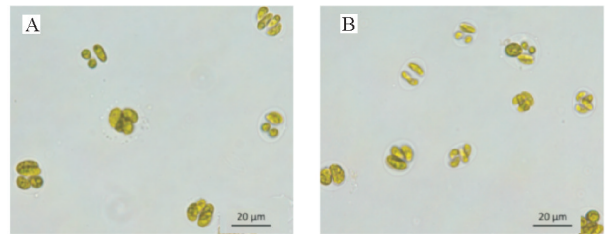


图 5 对照组(A)和菹草研磨液中(B)卵囊藻形态
Fig.5 Morphology of *Oocystis* sp. in control group (A) and *P. crispus* extract treatment group (B)

卵囊藻在 10 d 培养过程中, 处理组与空白对照组中群体平均细胞数无显著差异(图 7, $P > 0.05$)。然而时间效应显著, 空白对照组和处理组中群体平均细胞数逐渐增加(表 5)。

2.2.2 对卵囊藻生长的影响 在菹草研磨液培养卵囊藻的 10 d 中, 随着培养天数的增加, 与空白对照组相比, 菹草提取液处理对卵囊藻生长率无显著影响(图 8, $P > 0.05$)。

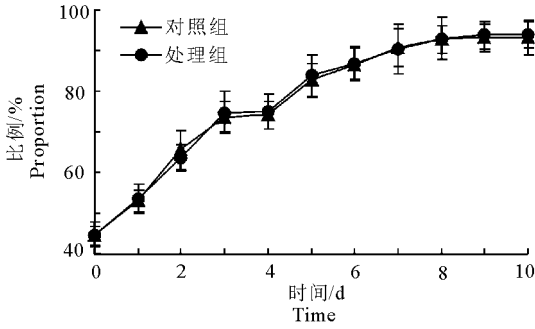


图6 对照组和菹草研磨液中卵囊藻群体形态所占比例

Fig.6 Colony proportion of *Oocystis* sp. in control group and *P. crispus* extract treatment group

表4 群体所占比例重复测量分析

Tab.4 Repeated ANOVA examination of colony proportion in *Oocystis* sp.

源	df	F	sig
时间效应	2.968	303.138	0.000
时间×组效应	2.968	0.220	0.879
组间效应	1.000	0.106	0.762

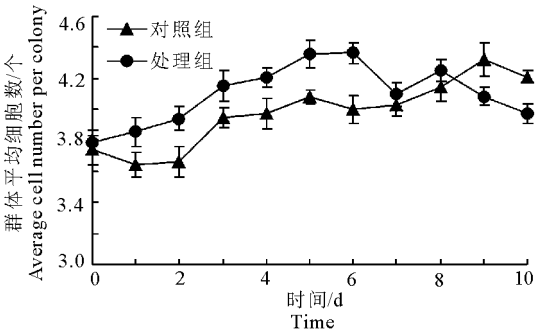


图7 对照组和菹草研磨液中卵囊藻群体平均细胞数

Fig.7 Average cell number per colony of *Oocystis* sp. in control group and *P. crispus* extract treatment group

表5 群体平均细胞数重复测量分析

Tab.5 Repeated ANOVA examination of average cell number per colony of *Oocystis* sp.

源	df	F	sig
时间效应	2.299	12.719	0.002
时间×组效应	2.299	5.702	0.022
组间效应	1.000	0.427	0.549

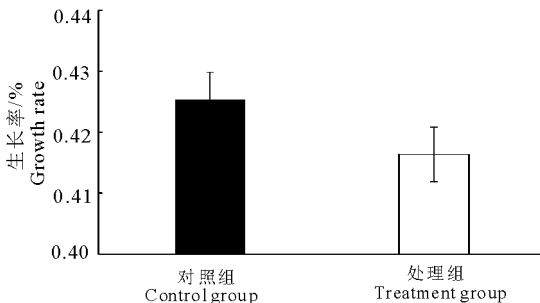


图8 对照组和菹草处理组中卵囊藻生长率

Fig.8 Growth rate of *Oocystis* sp. in control group and *P. crispus* extract treatment group

3 讨论

本研究探讨了沉水植物菹草 (*P. crispus*) 对绿藻普通小球藻 (*Chlorella vulgaris*) 和卵囊藻 (*Oocystis* sp.) 形态及其生长特征的影响。在此研究中, 将营养条件和光照影响排除在外, 在营养充足的条件下进行培养, 排除了营养限制对藻类生长的影响 (Mulderij et al, 2005)。

通过对普通小球藻生长过程中的细胞形态变化分析, 可得出普通小球藻在单独培养的情况下多以单细胞形式存在, 难以形成群体; 而普通小球藻在菹草研磨液培养下, 随着培养天数的增加, 普通小球藻逐渐形成数量更多、尺寸更大的群体, 第3 d达到高峰, 细胞群体所占比例达36.66%, 群体平均细胞数达到了10个左右, 如图1所示, 显微镜照片中可以观察到与对照组(A)相比, 处理组(B)中普通小球藻显著的群体形成。但到第4 d普通小球藻群体慢慢变少, 群体平均数渐渐减少, 第8 d群体细胞形态几近消失。说明菹草研磨液中可能存在能够改变藻类形态变化的化感物质, 有文献报道形态影响的消失被解释为化感产生和信号转导以及藻细胞的响应是在一个非常短的时间 (Leflaive et al, 2008)。由此可以说明化感物质是可以渗透到水里的, 本研究与通过排除光照和营养物质竞争, 使用水剑叶 (*Stratiotes aloides*) 滤液对斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*) 进行培养发现水剑叶滤液能诱导斜生栅藻群体形成的结论相似 (Mulderij et al, 2005)。本试验过程中发现相较于对照组, 菹草滤液对总体生长率无显著影响。Mello 等 (2012) 利用单独的柱孢藻 (*Cylindrospermopsis raciborskii*) 滤液以及柱孢藻和微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 混合滤液对微囊藻进行培养, 群落的形成在25% CYRF~75% MIRF混合培养中高达95%, 群落的大小达到了24个细胞以上, 同时滤液也抑制了生长, 但对生长抑制最显著的75% CYRF~25% MIRF, 群落形成并不是最显著的。说明抑制生长与诱导形态变化的化合物可能是不同的。

在对普通小球藻群体所占比例以及群体细胞平均数重复测量分析可知, 菹草研磨液对普通小球藻存在一定的形态影响; 随着时间的推移, 菹草研磨液对普通小球藻的群体平均细胞数都达到了显著差异, 处理组与空白对照组也达到了显著差异。Rios 等 (2016) 使用两株不同的微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) (CCIBt3194 和 CCIBt3454) 的细胞提取

物相互培养, 随着时间的推移, 群落大量形成, 群落尺寸不断增大。

藻类发生形态特征变化可被解释为群体的形成可使其沉降率增加, 以避免与其它光合生物对光照和营养物质以及空间的竞争, 形成一种保护措施, 在一定程度上是一种共同进化的表现 (Mello et al, 2012)。然而, 本研究发现菹草对卵囊藻在生长和形态方面均无显著差异, 如图 5 所示, 显微镜照片中对对照组 (A) 和处理组 (B) 相比无形态变化。这说明菹草研磨液化感物质可能具有物种选择性。不同的水生植物分泌出来的化感物质有所差异, 抑制的藻类也有所不同, 不同藻类对化感物质的敏感程度也存在差异 (Chang et al, 2012; 纪海婷等, 2013; Shao et al, 2013; Chen et al, 2014; Zhang et al, 2014)。因而, 也在另一方面指示在今后采用水生态修复过程中, 要注意物种差异性。

利用沉水植物抑制藻类的生长以及对藻类生长抑制的相关的化感物质已有很多报道 (全为民等, 2003), 但目前关于沉水植物对浮游藻形态特征变化的解释国内外报道很少, 关于诱导形态变化的物质尚未报道, 接下来我们会根据本试验的结果进行物质萃取试验, 并对诱导藻类形态改变的化感物质进行检测。关于诱导藻类形态改变的化感物质也是今后需进一步分析的一个重要部分。在利用浮游动物诱导藻类群体改变的报道中, 指出藻类形态的改变对生活史及群落水平都有一定的影响, 对研究水体生态修复有一定的帮助 (Donk et al, 2011)。关于诱导藻类形态特征变化活性物质亟待进一步分析, 从而为水生态修复提供理论依据。

参考文献

陈德辉, 刘永定, 宋立荣. 2004. 菹草眼子菜对栅藻和微囊藻的他感作用及其参数 [J]. 水生生物学报, 28(2): 163 - 168.

陈卫民, 张清敏, 戴树桂. 2009. 苦草与铜绿微囊藻的相互化感作用 [J]. 中国环境科学, 29(2): 147 - 151.

崔晨, 蔡建波, 华玉妹, 等. 2014. 菹草对微污水中重金属复合污染的净化效果 [J]. 华中农业大学学报, 2014, 33(2): 72 - 77.

段刚, 刘晓海, 高云涛, 等. 2006. 分光光度法测定滇池藻类生长的研究 [J]. 化学与生物工程, 23(4): 55 - 57.

纪海婷, 谢冬, 周恒杰, 等. 2013. 两类沉水植物浸提液对乡土种叶附植藻类生长与群落组成的影响 [J]. 生态学杂志, 32(9): 2298 - 2306.

纪海婷, 谢冬, 周恒杰, 等. 2015. 沉水植物浸提液组分对三

种常见附植藻类生长的影响 [J]. 生态学杂志, 34(2): 445 - 453.

李小路, 潘慧云, 徐洁, 等. 2008. 金鱼藻与铜绿微囊藻共生情况下的化感作用 [J]. 环境科学学报, 28(11): 2243 - 2249.

全为民, 沈新强, 严力蛟. 2003. 富营养化水体生物净化效应的研究进展 [J]. 应用生态学报, 14(11): 2057 - 2061.

任文君, 胡晓波, 刘霞, 等. 2011. 白洋淀菹草对富营养化水体总磷的净化 [J]. 应用生态学报, 22(4): 1053 - 1058.

汤仲恩, 种云霄, 吴启堂. 2007. 3 种沉水植物对 5 种富营养化藻类生长的化感效应 [J]. 华南农业大学学报, 28(4): 42 - 46.

徐洁, 李小路, 陈海东, 等. 2008. 金鱼藻中抑藻化感物质的研究 [J]. 环境污染与防治, 30(1): 28 - 32.

鲜啓鸣, 陈海东, 邹惠仙, 等. 2005. 淡水水生植物化感作用研究进展 [J]. 生态学杂志, 24(6): 664 - 669.

杨维东, 张信连, 刘洁生. 2005. 酚酸类化感物质对塔玛亚历山大藻生长的影响 [J]. 中国环境科学, 25(4): 417 - 419.

杨敏文. 2002. 快速测定植物叶片叶绿素含量方法的探讨 [J]. 光谱实验室, 19(4): 478 - 481.

庄源益, 赵凡, 戴树桂等. 1995. 高等水生植物对藻类生长的克制效应 [J]. 环境科学进展, 6(3): 44 - 49.

Aaronson S. 1973. Effect of incubation temperature on the macromolecular and lipid content of the phytoflagellate *Ochromonas danica* [J]. *Journal of Phycology*, 9(1): 111 - 113.

Bi X D, Zhang S L, Dai W, et al. 2013. Effects of lead (II) on the extracellular polysaccharide (EPS) production and colony formation of cultured *Microcystis aeruginosa* [J]. *Water Science and Technology*, 67(4): 803 - 809.

Cao H S, Yang Z. 2010. Variation in Colony Size of *Microcystis aeruginosa* in a Eutrophic Lake during Recruitment and Bloom Formation [J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 25(3): 331 - 335.

Chang X, Eigemann F, Hilt S. 2012. Do macrophytes support harmful cyanobacteria? Interactions with a green alga reverse the inhibiting effects of macrophyte allelochemicals on *Microcystis aeruginosa* [J]. *Harmful Algae*, 19: 76 - 84.

Chen J Q, Guo R X. 2014. Inhibition effect of green alga on cyanobacteria by the interspecies interactions [J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(3): 839 - 842.

Donk E V, Iannora A, Vos M. 2011. Induced defences in marine and freshwater phytoplankton: a review [J]. *Hydrobiologia*, 668: 3 - 19.

Dong J, Lu J J, Li G B, et al. 2013. Influences of a submerged

- macrophyte on colony formation and growth of a green alga[J]. *Aquatic Biology*,19(5): 265 - 274.
- Leflaive J, Lacroix G, Nicaise Y, et al. 2008. Colony induction and growth inhibition in *Desmodesmus quadricauda* (Chlorococcales) by allelochemicals released from the filamentous alga *Uronema confervicolum* (Ulotrichales) [J]. *Environmental Microbiology*,10(6): 1536 - 1546.
- Li M, Zhu W, Gao L, Lu L. 2013. Changes in extracellular polysaccharide content and morphology of *Microcystis aeruginosa* at different specific growth rates[J]. *Journal of Applied Phycology*,25(4): 1023 - 1030.
- Mulderij G, Mooij W M, Van Donk E. 2005. Allelopathic growth inhibition and colony formation of the green alga *Scenedesmus obliquus* by the aquatic macrophyte *Stratiotes aloides*[J]. *Aquatic Ecology*,39: 11 - 21.
- Mello M M E, Soares M C S, Roland F, et al. 2012. Growth inhibition and colony formation in the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* induced by the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*[J]. *Journal of Plankton Research*,34(1): 987 - 994.
- Nakai S, Hosomi M, Okada M, et al. 2000. Myriophyllum spicatum-released allelopathic polyphenols inhibiting growth of blue-green algae *Microcystis aeruginosa*[J]. *Water Res*,34(11): 3026 - 3032.
- Shao J H, Peng L, Luo S, et al. 2013. First report on the allelopathic effect of *Tychonema bourrellyi* (Cyanobacteria) against *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria)[J]. *Journal of Applied Phycology*,25(5): 1567 - 1573.
- Šetlík I, Berková E, Doucha J, et al. 1972. The coupling of synthetic and reproduction processes in *Scenedesmus quadricauda* [J]. *Archiv für Hydrobiologie-Algological Studies*,41(2): 172 - 213.
- Trainor F R. 1998. Biological aspects of *Scenedesmus* (Chlorophyceae)-phenotypic plasticity[M]. *Nova Hedwigia, Beiheft*,117: 1 - 367.
- Rios J F, Leal C R, Leite S A C, et al. 2016. Phenotypic plasticity and negative allelopathy in *Microcystis strains*[J]. *Ann Microbiol*, 66:1265 - 1276.
- Wu Z B, Deng P, Wu X H. 2007. Allelopathic effects of the submerged macrophyte *Potamogeton malaianus* on *Scenedesmus obliquus* [J]. *Hydrobiologia*, 592: 465 - 474.
- Zuo S P, Wan K, Ma S, et al. 2014. Combined allelopathic potential of aquatic plants species to control algae[J]. *Allelopathy Journal*,34(2): 315 - 324.
- Zhang X W, Fu J, Song S, et al. 2014. Interspecific competition between *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena flosaquae* from Taihu Lake, China[J]. *Zeitschrift für Naturforschung Section C-A Journal of Biosciences*, 69 (1 - 2): 53 - 60.

(责任编辑 张俊友 郑金秀)

Allelopathic Effect of the Macrophyte *Potamogeton Crispus* on Colony Formation of *Chlorella Vulgaris* and *Oocystis* sp.

CHANG Meng-yang, DONG Jing, LI Chen-lu, GAO Yun-ni,
LI Jin-can, WANG Jia-hui, NIU Meng-meng

(College of Fisheries, Henan Normal University, Xinxiang 453007, P.R.China)

Abstract: In aquatic ecosystems, many planktonic algae exhibit phenotypic plasticity in response to changes in the external environment, and morphological change during colony formation is an expression of phenotypic plasticity. Previous research has shown that submerged aquatic plants can induce morphological change in planktonic algae. This study explored the effect of submerged aquatic plants on algal morphology, and the response of green algae to submerged macrophytes. Two species of green algae, *Chlorella vulgaris* and *Oocystis* sp., were cultured in solutions containing an extract obtained from grinding the macrophyte *Potamogeton crispus*. A 10 day experiment was set with a control group and a group treated with *P. crispus* extract, and each trial was run in triplicate. During the test, the growth and changes in morphology of the two algae were measured each day. The *P. crispus* extract did not significantly inhibit the growth of *C. vulgaris* and *Oocystis* sp., but did induce colony formation of *C. vulgaris* during early stages of the experiment. Colony formation and average cell number per colony differed significantly from the control group. The number and scale of *C. vulgaris* colonies peaked on day 3, after which the colony gradually fragmented into smaller groups and single cells. However, *P. crispus* extract did not induce morphological changes in *Oocystis* sp.. These results contribute to the theoretical base for using submerged macrophytes in the restoration of aquatic ecosystems.

Keywords: *Potamogeton crispus*; *Chlorella vulgaris*; *Oocystis* sp.; allelopathy; algal morphology