

# 太湖水域几种高等水生植物的克藻效应

唐萍, 吴国荣, 陆长梅, 顾龚平, 宰学明 (南京师范大学 生命科学学院, 江苏 南京 210097)

**摘要:** 研究了水花生、菱、金鱼藻和浮萍对同一水体中栅藻生长的抑制作用。结果表明, 受试植物均能在不同程度上减少水体中藻细胞数量, 促进藻细胞内叶绿素 a 的破坏与脂质过氧化产物丙二醛(MDA)含量的升高, 抑制超氧化物歧化酶(SOD)的活性。种过供试植物的水也表现出相似的抑藻效应。

**关键词:** 高等水生植物; 栅藻; 克生作用; 水葫芦; 水花生; 菱; 金鱼藻; 浮萍

**中图分类号:** X173; X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5906(2001)03-0042-03

**Allelopathic Effects of Several Higher Aquatic Plants in Taihu Lake on *Scenedesmus arcuatus* Lemm.** Tang Ping et al (Nanjing Normal University, NANJING 210097): *Rural Eco-Environment*, 2001, 17(3):42~44, 47

**Abstract:** With the effects of competition for light and nutrients and the microbial interference ruled out among plants, allelopathic effects of *Alternanthera philoxeroides*, *Trapa* spp., *Ceratophyllum demersum* and *Lemna minor* on *Scenedesmus arcuatus* Lemm were examined in comparison with that of *Eichhornia crassipes*. The results showed that the test plants reduced, in varied degree, the population of the algae by stimulating destruction of its chlorophyll-a and increasing of its MDA content and inhibiting of its SOD activity. The water in which the plants were cultured also showed similar allelopathic effect. But the allelopathic effect was not as effective as that of *Eichhornia crassipes*. It seems that the allelopathic effect of aquatic higher plants on the algae was somewhat a common phenomenon.

**Key words:** allelopathy; higher aquatic plant; *Scenedesmus arcuatus* Lemm

## 1 前言

为解决由日趋严重的水体富营养化而导致的水华爆发这一严重的生态问题, 人们进行了大量的探索研究, 利用植物类群之间的异株克生作用, 进行环境的生物治理正日益受到关注<sup>[1]</sup>。有报道利用水葫芦根系分泌化学物质, 一方面可以清除藻类, 使水变澄清; 一方面通过水葫芦快速生长的特点, 大量吸收营养物质, 可以改善水质, 美化环境<sup>[2]</sup>。作者在探索水葫芦克藻作用机理<sup>[3]</sup>的同时, 观察比较了太湖水域常见的几种水生植物在克藻和净化水质中起的作用, 为研究水生植物和藻类之间的生化相互作用 (allelopathy) 和更好地开展水环境的生物治理提供有价值的资料。

## 2 材料与方法

### 2.1 实验材料

栅藻 (*Scenedesmus arcuatus* L.) 由南京师范大学生命科学学院生物工程实验室提供。水花生 (又名抗旱莲子草, *Alternanthera philoxeroides*), 菱 (*Trapa* spp.), 浮萍 (*Lemna minor*), 金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*)

和水葫芦 (又名凤眼莲, *Eichhornia crassipes*) 采自武进市雪堰桥乡沿太湖水域。高等水生植物和藻种的培养均采用经修改的稀释 10 倍的 Hoagland 培养液<sup>[2]</sup>。

### 2.2 培养方法

2.2.1 受试植物克藻试验: 在圆柱形玻璃缸中培养栅藻, 至 OD<sub>650</sub> 值达 0.05 时, 各缸分别植入水生植物。植入前用蒸馏水冲洗干净并用吸水纸吸干, 水花生和水葫芦移栽量相同, 菱、金鱼藻、浮萍生物量较小, 鲜重为水花生的一半时就能覆盖同等面积的水面, 故它们的植入量及培养液量均为水花生的一半。植入的水生植物覆盖水面的一半, 试验过程中定时添加营养液, 玻璃缸上中部用一层黑纸加一层白纸包裹遮光, 以防克藻物质在强光下分解<sup>[2]</sup>。另设一对照组, 模拟遮光。培养温度 25 ± 2。

2.2.2 种植水克藻试验: 分别从已培养 6 d 水花生等试验植物的玻璃缸中取水过滤, 盛滤液 300 ml 于 500 ml 锥形瓶中, 接种栅藻使起始 OD<sub>650</sub> 值为 0.05。对照组

基金项目: 江苏省自然科学基金 (1998SWXOSZ000)

收稿日期: 2001-01-15

用蒸馏水配制培养液,营养水平和接种藻量与处理组相同。在  $25 \pm 2$ 、 $80 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光强下,照光 12 h/d,静态培养 7 d,分别测定藻生长量和叶绿素 a 含量。

### 2.3 测定方法

生长量的测定:参照文献[4]。

叶绿素 a 含量的测定:参照《水和废水标准检验法》中浮游藻类叶绿素测定法[5]。

藻细胞提取液制备:参照文献[3]。

丙二醛(MDA)含量的测定:参照 Heath 等的硫代巴比妥酸(TBA)比色法[6]。

超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定:参照文献[7]。

## 3 结果

### 3.1 受试植物的克藻效应

水花生和水葫芦生长都比较迅速。从图 1 可见,栽培水花生和水葫芦的处理组,开始 1~2 d 藻液的光密度值高于起始值,且明显较对照组高,显示在处理的初期水花生和水葫芦对水体中栅藻的生长具刺激作用。第 3 d 起 2 处理组藻体数量均呈现下降趋势,但水花生处理组是逐日降低,表现出明显的累积性;水葫芦处理组第 3~4 d 就表现出强烈的抑藻效应,以后则为小幅度的波动。第 7 d 2 处理组水体中藻数量接近,约为同期对照组的 1/3 左右。

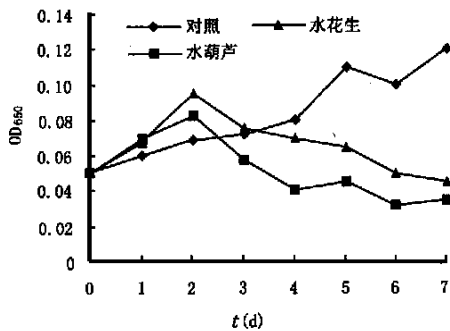


图 1 水葫芦和水花生的克藻效应

Fig 1 Allelopathic effects of *A. philoxeroides* and *E. crassipes* on *S. arcuatus*

观察处理组中水花生和水葫芦的根系,水花生的根系呈现黄绿色,用少量蒸馏水浸泡根系,取浸泡液在显微镜下观察,水花生根系浸泡液中尚有少量完整的藻细胞;水葫芦根系的颜色为灰白色,而其浸泡液中完整的藻细胞很少看到,与藻类培养液光密度的测定结

果是吻合的。

菱、金鱼藻和浮萍自身的生长没有水花生和水葫芦明显,但在实验过程中显现的对藻细胞的抑制作用与前两者相仿(见图 2),培养 7 d 时,对照组的  $\text{OD}_{650}$  值升至 0.12,而 3 个处理组藻液的光密度值都降至 0.04 左右;就抑藻的时间效应来看,菱和浮萍更象水花生,而金鱼藻和水葫芦相类似。

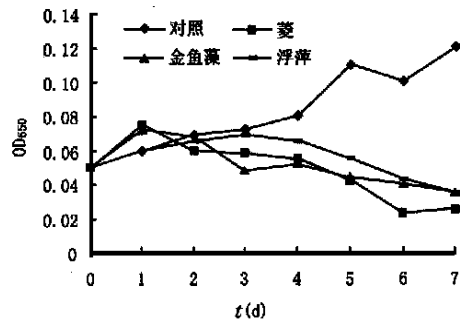


图 2 菱、金鱼藻和浮萍的克藻效应

Fig 2 Allelopathic effects of *T. spp.*, *C. demersum* and *L. minor* on *S. arcuatus*

### 3.2 受试植物对栅藻体内 MDA 积累与 SOD 活性的影响

MDA 是脂质过氧化的产物,是膜脂受到  $\text{O}_2^-$  等活性氧攻击的结果。而  $\text{O}_2^-$  等活性氧往往是植物体在遭受胁迫时大量诱导形成的,因而测定 MDA 的积累常常可反映机体胁迫损伤,特别是膜结构破坏的程度[8,9]。实验结果显示:处理第 7 d,所有实验组的栅藻体内 MDA 的积累量显著高于对照组,水花生组最少,是对照的 157.4%,水葫芦组最高,为对照的 191.2% (表 1)。表明实验中的藻细胞膜结构受到明显的损伤与受试植物对藻细胞生长的抑制作用是吻合的。

表 1 水生植物对栅藻体内 MDA 含量及 SOD 活性的影响(培养 7 d,鲜重计)

Table 1 Effects of aquatic plants on MDA content and SOD activity of *S. arcuatus*

植物	MDA 含量 (nmol/g)	SOD 活性 (U/g)
对照	89.1	1 119.2
水葫芦	170.4	500.8
水花生	140.2	910.6
菱	150.3	671.7
金鱼藻	165.8	561.8
浮萍	150.1	650.7

SOD是 $O_2^-$ 的清除酶,被认为是机体的关键保护酶之一,其活性对多种环境因子的胁迫敏感<sup>[3,9]</sup>。从表1可见,在栅藻培养液中移植受试植物的第7d,藻细胞内SOD活性已较对照有不同程度的下降,水葫芦组最显著,仅为对照组的44.7%,水花生组下降较少,为对照的81.4%。表明受试植物的移入明显抑制栅藻体内SOD酶活性,对藻细胞的生长形成明显的胁迫。

### 3.3 受试植物种植水的克藻效应

用水生植物的种植水进行克藻试验,目的在于确定它们相生相克作用的实质,在于其根部分泌化学物质通过水环境形成对藻细胞的胁迫。从表2可以看出,受试植物种植水均有不同程度的克藻效应。其中水葫芦种植水的克藻作用最显著,用其种植水静态培养栅藻7d后,栅藻体内叶绿素a的含量比对照减少了78.6%,藻液光密度值较对照降低了53.8%。其余几种水生植物的种植水的抑藻效应按金鱼藻、水花生、菱、浮萍的顺序递减,浮萍种植水培养栅藻7d后,栅藻叶绿素a含量降低了28.8%,藻液光密度值下降30.8%。对受试植物种植水初步分析的结果表明有微量的酚酸和长链脂肪酸等存在。有迹象表明克藻效应与这些物质的作用有关。实验结果也表明,种植水的克藻效应与有植物种植其中时的克藻作用有些差异,可能是不同植物分泌的克藻物质有所不同,或进入水环境后克藻物质稳定性不同的缘故。

表2 5种水生植物种植水的克藻效应

Table 2 Allelopathic effects of the culture water the five species of aquatic plant grew in on *S. arcuatus*

植物	OD <sub>650</sub>	叶绿素 a (mg/m <sup>3</sup> )
对照	0.130	1 408.2
水葫芦	0.060	301.6
水花生	0.083	901.3
菱	0.087	963.1
金鱼藻	0.073	709.8
浮萍	0.090	1 002.6

## 4 讨论

本实验设计排除了植物之间对光和营养的竞争和微生物的干扰。实验结果表明,供试植物及其种植水都有克藻效应。且这些植物均为常见的漂浮植物,说明水生高等植物的克藻效应有一定的普遍性。作者曾

报道过水葫芦根系分泌物使栅藻叶绿体、线粒体肿胀、解体,胞内可溶性蛋白及光合速率急剧下降等现象<sup>[3]</sup>。本实验也证实,水花生、菱、金鱼藻、浮萍及其种植水在促进藻细胞叶绿素降解,抑制SOD活性,促进脂质过氧化反应等方面与水葫芦对栅藻的影响基本相似。它们的克藻效应表现为水葫芦、金鱼藻为较快速的类型,而另3种植物则有一个明显的效应积累的过程;其种植水对藻体的抑制效应,前2者较后3者也更为明显。其原因可能在于其分泌物有所不同,分泌的速度有差异,影响藻类正常生长的阈值大小亦不同,它们在溶液中稳定性不一样<sup>[11]</sup>。目前已从水葫芦根系分泌物中分离到N-苯基-2-萘胺等化学物质<sup>[10]</sup>。本文报道的几种受试植物根部分泌物的分离、鉴定工作尚在进行中。

自由基生物学的研究证实,机体遭受逆境胁迫会促进 $O_2^-$ 等活性氧(AOS)的诱导形成,AOS对膜结构、核酸及其他生物大分子的攻击和破坏往往是细胞胁迫损伤的主要原因之一<sup>[8,9]</sup>。SOD歧化 $O_2^-$ 为 $H_2O_2$ 和 $O_2$ ,是细胞内活性氧代谢中的重要环节<sup>[11]</sup>。在植物体抗御和适应各种环境胁迫过程中,SOD应激性常常升高,使机体内活性氧的形成和清除尽快建立新的平衡。如若胁迫强度超过机体所能耐受的范围,胁迫就会伤害植物,表现为SOD活性明显降低。 $O_2^-$ 等活性氧攻击生物大分子造成细胞损伤<sup>[9,12]</sup>。几种受试植物对栅藻SOD活性不同程度的抑制和破坏,表明这几种植物的分泌物在水体中经短时间的积累对藻细胞的胁迫已经超过了藻体能抗御和适应的程度,随着分泌物在水体中浓度的不断增加,损伤愈趋严重。

水葫芦等水生植物对同一水域藻类的繁衍生长及其结构的抑制和破坏作用,是水环境保护、水质净化生物治理的生物学基础。但在实施的过程中,可能又会发生水葫芦等生长失控,导致水域生态系统的又一种破坏,还会造成水面堵塞、航道受阻等新的问题。如何予以有效的调节和控制,并对这些植物资源进行开发和利用,仍有待研究探索。菱本身就是经济作物;目前已有不少地区的农民收割水花生,晒干,作为牛羊过冬的饲料;也有企业利用其蛋白含量较高的特点,加工复合饲料,必然会带来更大的经济效益。这些将使利用水生植物治理水环境的工作开展得更加顺利,展现更远大的前景。

(下转第47页)

硫、铁等大量元素和各种微量元素。这类肥料矿化速度缓慢,进入土壤后,需经微生物逐渐分解成速效态养分后才能被蔬菜吸收利用,蔬菜就不会吸收过多的硝酸盐,同时硝酸盐又能有效地被同化而不会造成体内累积。3种有机肥料处理均能提高栽培蔬菜的出苗率,且有益于植株和根系的生长,都表现了良好的增产作用,产量与CK相比提高幅度达15.1%~37.3%。可以认为,增施有机肥料是一种既能有效降低温室蔬菜硝酸盐含量,提高温室蔬菜产品的品质,又能提高作物产量的栽培措施。在温室土壤盐分(EC)的积累方面,本试验中大三元生物有机肥的土壤盐分含量最低,而CK的土壤盐分又比大二元有机肥、N10肥处理的土壤盐分低,其原因有待于作进一步的试验分析<sup>[4~6]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 陈复光,苗疏新,吕云波. 苏联对蔬菜所含硝酸盐研究概况. 北方园艺,1990,(3):33~34
- [2] 任祖淦,邱孝煊,蔡元呈,等. 化学氮肥对蔬菜硝酸盐污染影响的研究. 中国环境科学,1997,17(4):326~329
- [3] 汪雅各. 上海农业环境污染研究. 北京:上海科学技术出版社,1991
- [4] 王景安,程炳嵩. 影响蔬菜中硝酸盐积累的因素. 河北农业技术师范学院学报,1989,3(3):86~87
- [5] 卢善玲,周根娣,汪雅各,等. 上海蔬菜硝酸盐残留状况及其控制途径. 上海农业学报,1990,6(4):59~66
- [6] 庄舜尧,孙秀廷. 氮肥对蔬菜硝酸盐积累的影响. 土壤学进展,1995,23(3):29~35

(上接第44页)

#### 参考文献:

- [1] Van Aller RT, Thompson AC. The Chemistry of Allelopathy [M]. Amer Chem Soc, Washington DC, 1985. 337
- [2] 孙文浩,俞子文,余叔文. 水葫芦对藻类的克制效应[J]. 植物生理学报, 1988,14(3):294~300
- [3] 唐萍,吴国荣,陆长梅,等. 凤眼莲根系分泌物对栅藻结构及代谢的影响[J]. 环境科学学报,2000,20(3):355~359
- [4] 沃沙克. 藻类的培养方法和生物量生产[A]. 生物生产力和光合作用测定技术[M]. 张大宏,等译. 北京:科学出版社,1985. 196~211
- [5] 美国公共卫生协会,美国自来水协会,水污染控制联合会. 浮游藻类叶绿素测定[A]. 水和废水标准检验法[M]. 宋元仁,等译. 第15版. 北京:中国建筑工业出版社,1985. 401~404
- [6] Heath RL, Parkerl. Photoperitiation in isolated chloroplasts kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation [J]. Arch Biochem Biophys, 1968, 25:189~198
- [7] Stewart RC, Bewley JD. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes [J]. Plant physiol, 65:245~248
- [8] Allen RD. Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants[J]. Plant physiol, 1995, 107:1049~1054
- [9] 罗立新,孙铁珩,靳月华. 镉胁迫对小麦叶片膜脂过氧化作用的影响[J]. 中国环境科学,1998,18(1):72~75
- [10] 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):9~96
- [11] 陈维杨,刘望夷. 从超氧化物歧化酶的分布和结构看分子进化[J]. 生物化学与生物物理进展,1996,23(5):408~413
- [12] 吴国荣,陆长梅,陶明煊,等. 百草枯和H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>预处理提高盐泽螺旋藻对铅的耐受性[J]. 湖泊科学,2000,12(3):240~246

作者简介:唐萍(1965~),女,连云港师范专科学校讲师,现为南京师范大学硕士生。