

## 污染水体中悬浮物对菹草(*Potamogeton crispus*)生长的影响\*

张兰芳, 朱 伟, 操家顺, 梅新敏, 张 俊

(河海大学环境科学与工程学院水环境生态研究所, 南京 210098)

**摘要:**以菹草(*Potamogeton crispus*)为对象,通过对植物鲜重、叶绿素含量、净产氧量、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性的观测,研究了悬浮物附着对沉水植物生理生化作用的影响.结果表明,在苏州苗家河重污染水体中,高负荷的悬浮物对菹草的生长产生重大影响.实验25 d,有悬浮物附着的菹草的生物量仅为对照样的63.93%,叶绿素含量及叶绿素a/b值仅为对照样的66.24%和63.88%;植物体内的过氧化物酶活性及过氧化氢酶活性也呈现下降趋势,分别为对照样的61.25%和40.30%.悬浮物是重建沉水植物的重要限制因素之一.

**关键词:**污染水体;沉水植物;悬浮物;生理生化特性

### Effect of suspended matter in the polluted water on the growth of *Potamogeton crispus*

ZHANG Lanfang, ZHU Wei, CAO Jiashun, MEI Xinming & ZHANG Jun

(Institute of Water Environment and Ecology, College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, P. R. China)

**Abstract:** In order to analyze the effect of the attachment of suspended matter on the physiological and biochemical characteristics of macrophyte, several indices were tested: fresh weight(FW), chlorophyll content, net primary production, peroxides(POD) activity and catalase(CAT) activity. Results showed that high loading suspended matter in Miaojia River in Suzhou had significant effect on the growth of *Potamogeton crispus*. After the experiment was finished, its biomass, chlorophyll content, and ratio of chlorophyll a/b of *Potamogeton crispus* being attached with suspended matter were only 63.93%, 66.24% and 63.88% of the reference one respectively. Activities of POD and CAT of *Potamogeton crispus* decreased, which were 61.25% and 40.30% of the reference one. Suspended matter was one of the important factors controlling the reconstruction of submerged macrophyte.

**Keywords:** Polluted water; submerged macrophyte; suspended matter; physiological and biochemical characteristics

在湖泊、河流的生态修复工程中,沉水植物的恢复是水体从藻型水体向草型水体转变的关键.为了在透明度低、水深等等不利条件下进行沉水植物的恢复,透明度提高、水位控制、基底调整等一系列的技术受到了关注和探索.但是,在强化措施下恢复的沉水植物的长期稳定性问题仍然未能很好地解决.在污染环境尚未得到有效改善的条件下,沉水植物的生育必然受到环境因子的胁迫,群落的形成因此受到抑制并可能向退化的方向发展.在污染水体中,通过工程措施满足光补偿条件之后,植物的生育会受到透明度以外的各种因子的抑制,其中悬浮物的作用不容忽视.

国家“863”重大科技专项《苏州市水环境质量改善及综合示范》课题在使用综合措施对水环境质量进行改善的同时,开展了移栽沉水植物的水体修复工作.在沉水植物的生长过程中发现大量的悬浮物质粘附、包裹在植物叶、茎表面,对植物的生长发育产生了不良的效应.本论文从污染水体对沉水植物的胁迫效应出发,着重研究了悬浮物对耐寒型沉水植物菹草(*Potamogeton crispus* L.)生长发育的影响,旨在探索沉水

\* 国家“十五”重大科技专项“863”课题“苏州城市水环境质量改善技术研究及综合示范(2003AA601070)”、镇江市水环境质量改善与生态修复技术研究及示范(2003AA601011)联合赞助. 2005-04-19收稿;2005-08-18收修稿. 张兰芳,女,1980年生,硕士研究生;E-mail:stzlf\_1980@163.com.

植物退化机制,丰富水生生态学的基础理论,为恢复沉水植被提供资料和参考依据。

## 1 试验条件、材料、方法

### 1.1 试验水体背景条件

苏州城市河道纵横交织成网,各条河流均属太湖水系,境内湖泊、河道众多,河湖串通,是典型的江南水网地区。试验河道——苗家河,位于苏州古城区东南角,属于南园水系,水深在 2 m 左右,流量为  $0.096 \text{ m}^3/\text{s}$ ,流速为  $0.0044 \text{ m/s}$ 。苗家河周围分布有居民小区,由于生活污水的排入、面源污染以及周围河道污染水体的流入,河道水质严重恶化。实验期间苗家河平均水质指标见表 1。水体悬浮物的多寡以水质的浊度表示(图 1)。实验于 2005 年 3 月 3 日开始,2005 年 3 月 28 日结束。实验期间河道水体的实测水温变化见图 2。

表 1 苗家河水体水质指标

Tab. 1 The qualities of the water of Miaojia river

水质指标	水样 SD( cm )	pH	$\text{NH}_3 - \text{N}$ ( mg/L )	TN( mg/L )	TP( mg/L )	$\text{COD}_{\text{Mn}}$ ( mg/L )
苗家河	67	7.8	7.24	8.24	0.53	11.28

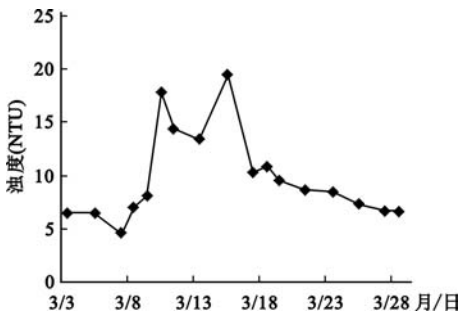


图 1 苗家河水体浊度变化曲线

Fig. 1 The change of the turbidity of the Miaojia river

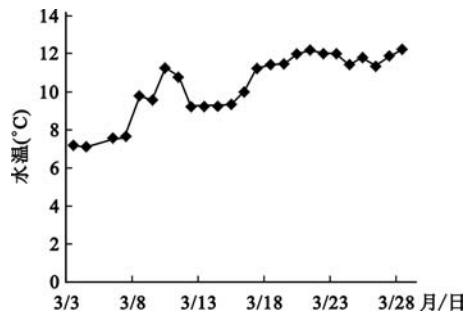


图 2 水温变化曲线图

Fig. 2 The change of the water temperature

### 1.2 试验材料

本次实验采用的沉水植物为菹草。菹草 (*Potamogeton crispus*) 为眼子菜科植物,别名虾藻、扎草,多年生沉水草本,较为耐寒,冬季仍能正常生长<sup>[1]</sup>。菹草种苗取自河海大学江宁校区种苗基地(从东太湖引种一年形成)。取回后,先移栽入盛有清水的有底泥的塑料桶里(水深 45 cm),在室外环境条件下培养了一个月恢复其正常生长状态,实验前又先放置于清水中培养一周,使其充分去除表面吸附物。

### 1.3 实验方法

将生长情况一致的每 10 g 菹草捆成束,并固定在底部覆有棕毛的塑料框上,然后悬吊在水面 0.5 m 下。初期每 5 d 取样一次分析菹草上的悬浮物附着量及植物的各项生理及生化指标(所测指标均为 3 次平行样的平均值)。后期每 10 d 取一次样。实验为期 25 d。

实验在现场设置同一点的经过充分过滤及沉淀后的水样作为对照样。

采样时,仿由文辉方法<sup>[2]</sup>,将整株菹草取出,采样时力求避免搅动水体以减少植株上附着悬浮物的损失,风干 10 min 后,称量带有悬浮物的菹草重量,后用带水的软毛刷仔细的刷洗植株表面,并将洗下的悬浮物定容到 1L 水中,同样风干 10 min 后,再次称量菹草的鲜重,用相减法算出菹草上附着悬浮物的重量。

### 1.4 分析方法

测量指标为悬浮物附着量、植物鲜重、叶绿素含量、过氧化物酶活性(POD)、过氧化氢酶活性(CAT)、净

产氧量等.

叶绿素采用快速测定法<sup>[3]</sup>. 植物鲜重采用常规方法测定<sup>[4]</sup>. 过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性的测定采用Chance和Maehly的方法<sup>[5]</sup>,并加以改进. 净产氧量采用黑白瓶法<sup>[6]</sup>.

实验数据采用SPSS11.5软件包进行相关性及差异显著性分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 附着于菹草上的悬浮物的变化

悬浮物在菹草上的附着量随着时间的推移而有所变化(表2). 含有悬浮物的水样水质也在发生变化(表3),特别是COD<sub>Mn</sub>.

表2 附着于菹草上的悬浮物重量的变化

Tab.2 The change of the suspended matter on *Potamogeton crispus*

月/日	3/3	3/8	3/13	3/18	3/28
TN(mg/L)	0	4.48 ± 0.51	6.89 ± 0.66	6.12 ± 0.69	5.03 ± 0.42
TP(mg/L)	0	1.99 ± 0.15	1.83 ± 0.63	1.32 ± 0.12	1.78 ± 0.51
COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	0	8.31 ± 0.98	10.56 ± 1.05	20.48 ± 1.62	22.48 ± 1.12

实验第5 d时,10 g菹草上附着的悬浮物量就可达到3.48 g,到第10 d,附着在10 g菹草上的悬浮物达到4.69 g,随后,菹草上附着的悬浮物量趋于稳定. 含有悬浮物的水的TN和TP变化较小,基本上是在一个范围波动,而COD<sub>Mn</sub>则随着悬浮物附着量的增加而增大( $r=0.852$ ). 实验第5 d时,含悬浮物的水样COD<sub>Mn</sub>就可达到8.31 mg/L,到实验结束时,达到22.48 mg/L,已达重度污染程度. 水中悬浮物在沉水植物的茎叶表面上形成附着层,这不仅直接影响光线透过,还能导致微生物和附着藻类的大量繁殖,引起沉水植物生长停滞甚至死亡<sup>[7]</sup>.

表3 含悬浮物水样水质的变化

Tab.3 The change of the water quality of the suspended matter

月/日	3/3	3/8	3/13	3/18	3/28
10g菹草上悬浮物附着量(g)	0	3.48 ± 0.31	4.69 ± 0.38	4.67 ± 0.51	4.74 ± 0.53

### 2.2 悬浮物对菹草鲜重的影响

实验前所取菹草鲜重均为10 g,每次采样时,再次称量菹草的鲜重. 鲜重为滤水10 min后的重量. 从图3可见,对照样的鲜重呈明显的上升趋势,到实验结束时,对照样的鲜重增加了84.76%,而试验样的鲜重则变化较小,仅增加了18.12%,为同时期对照样的63.93%. 两处理组鲜重具有极显著性差异( $P < 0.01$ ).

### 2.3 悬浮物对菹草叶绿素含量、叶绿素a/b值的影响

叶片是植物进行光合作用的主要器官,而叶绿体是光合作用的重要细胞器<sup>[8]</sup>. 植物叶片叶绿素含量与光合速率、营养状况等密切相关,通常测定叶绿素含量以表征植物生长状况. Woolhouse<sup>[9]</sup>认为,叶绿素a/b值可作为叶片衰老的重要指标. 测定时均采集植株顶端第1至第4节位叶片.

从图4可见,实验第5 d,试验样的叶绿素含量略高于对照样,但到第10 d,虽然对照样的叶绿素含量也下降,但试验样的叶绿素含量下降得更显著,为对照样的86.81%,且随着悬浮物在菹草表面覆盖时间的延

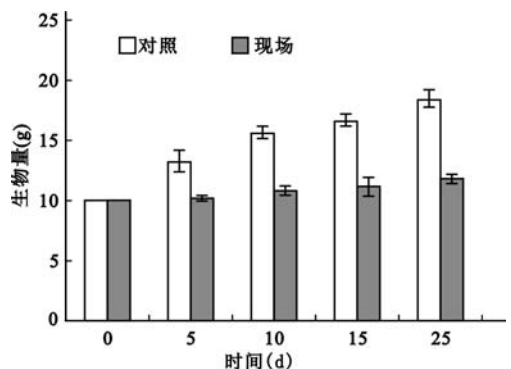


图3 悬浮物对菹草鲜重的影响

Fig.3 Effect of the suspended matter on the freshweight of *Potamogeton crispus*

长, 试验样的叶绿素含量呈明显的下降趋势, 从  $1.13 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{FW})$  下降到  $0.53 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{FW})$ . 到实验结束时, 试验样的叶绿素含量仅为对照样的 66.24%. 两者有显著差异 ( $P < 0.05$ ).

随着悬浮物在菹草表面附着量的增加, 试验样的叶绿素 a/b 值呈现显著的下降趋势(图 5), 从 3.14 下降为 1.97, 而对照样的叶绿素 a/b 值则有所上升. 虽然试验样的叶绿素 a/b 值在第 5 d 时与对照样的不相上下, 但随后其值降低为对照样的 74.18%, 甚至在实验第 15 d 时降为对照的 63.24%. 到实验结束时, 试验样的叶绿素 a/b 值仅为对照样的 63.88%. 两处理组差异性极显著 ( $P < 0.01$ ).

在整个试验中, 无论是对照样, 还是试验样, 菹草体内的叶绿素含量都有所下降. 这可能是由于水体的污染程度较高(劣 V 类水体), 与菹草的原生长环境(清水)差别较大而导致的. 但试验样的叶绿素含量和叶绿素 a/b 值分别仅为对照样的 66.24% 和 63.88%, 说明了悬浮物的附着对菹草叶绿素的合成有一定的影响, 从而进一步降低了植物的光合作用水平, 并且加速了菹草叶片衰老的速度.

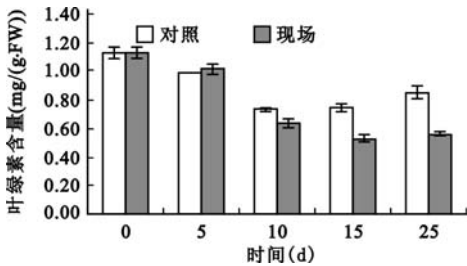


图 4 悬浮物对菹草叶绿素含量的影响

Fig. 4 Effect of the suspended matter on the chlorophyll content of *Potamogeton crispus*

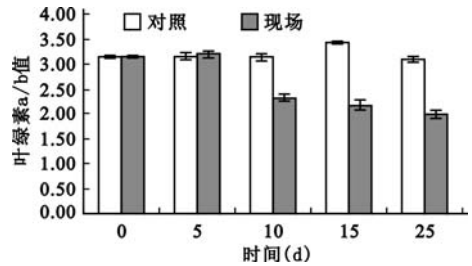


图 5 悬浮物对菹草叶绿素 a/b 值的影响

Fig. 5 Effect of the suspended matter on the chlorophyll a/b of *Potamogeton crispus*

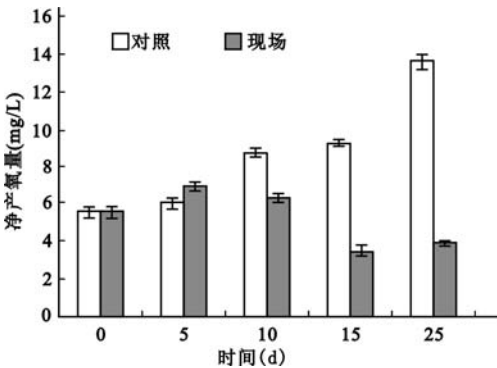


图 6 悬浮物对菹草净产氧量的影响

Fig. 6 Effect of the suspended matter on the net primary production of *Potamogeton crispus*

#### 2.4 悬浮物对菹草净产氧量的影响

无论是对照样还是试验样, 测定时均称取 1 g 进行净产氧量分析.

由图 6 可得, 实验第 5 d, 由于试验样附着的悬浮物还较少, 同样的 1 g 物质, 试验样与对照样的菹草生物量差别不大, 并且由于悬浮物中带有大量的着生藻类, 因此试验样的净产氧量反而高于对照样, 但与以上其它指标的变化规律相似, 随着悬浮物在菹草表面的积累, 虽然仍为 1 g 物质, 但试验样中悬浮物所占的比重越来越大, 且由于菹草的各种生理代谢受到影响, 生物量增长缓慢, 光合作用强度也随着减弱, 尽管悬浮物中仍有大量的着生藻类, 但菹草生物量的减少及病态生长使得试验样的净产氧量逐渐的低于对照样, 到实验结束时, 仅为对照样净产氧量的 28.68%. 两者具有极显著差异 ( $P < 0.01$ ).

#### 2.5 悬浮物对菹草抗氧化酶系统的影响

在环境污染的逆境伤害中导致的植株伤害、死亡和有关的酶反应中, 都可能涉及到自由基对植物膜系统的伤害. 但是植物体自身有一种保护系统来清除过量产生的自由基, 以减轻环境污染物带来的危害<sup>[10]</sup>. 过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)是保护系统的主要酶, 可在短时间内较灵敏地指示植物受伤程度, 因此是一种比较理想的生态毒理学指标<sup>[11]</sup>.

由图 7 可得, 试验样过氧化物酶活性在实验第 5 d 下降为对照样的 78.41%, 且在实验过程中呈下降趋势, 由实验开始时的  $68.62 \Delta\text{A}470/(\text{g} \cdot \text{min})$  下降到  $43.24 \Delta\text{A}470/(\text{g} \cdot \text{min})$ . 而对照样的过氧化物酶活性

则有所上升. 实验结束时, 试验样过氧化物酶活性仅为对照样的 61.25%, 说明悬浮物在菹草表面的附着对其过氧化物酶活性有极显著的影响 ( $P < 0.01$ ).

过氧化氢酶活性的变化规律与过氧化物酶活性的变化规律相似(图 8), 处理期间, 试验样的过氧化氢酶活性也呈现下降趋势, 由原来的  $83.20 \text{ U}/(\text{g} \cdot \text{min})$  下降为  $47.36 \text{ U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ , 而对照样的过氧化氢酶活性则呈上升趋势, 由原来的  $83.20 \text{ U}/(\text{g} \cdot \text{min})$  上升为  $117.00 \text{ U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ . 两处理组的具有极显著差异 ( $P < 0.01$ ).

由于实验河道污染过大, 在重污染水质及悬浮物附着的双重胁迫下, 试验菹草的抗氧化酶系统受到损伤, 活性降低, 使得自由基在植物体内大量积累, 从而伤害植物生物膜及生物大分子, 导致植物体一系列生理代谢发生改变, 植物生长受到抑制.

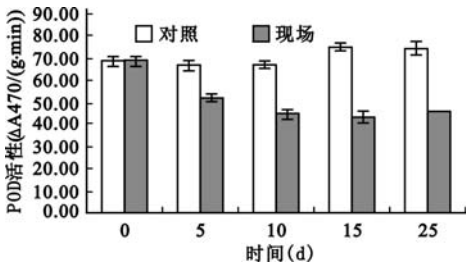


图 7 悬浮物对菹草过氧化物酶活性的影响

Fig. 7 Effect of the suspended matter on the POD activity of *Potamogeton crispus*

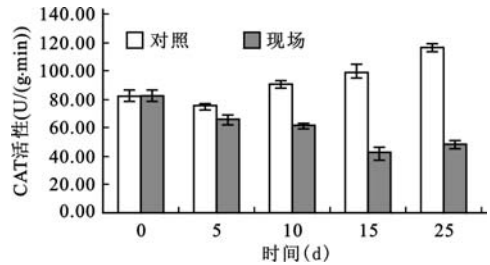


图 8 悬浮物对菹草过氧化氢酶活性的影响

Fig. 8 Effect of the suspended matter on the CAT activity of *Potamogeton crispus*

### 3 小结

(1) 悬浮物在沉水植物表面的附着规律. 重污染水体中存在由无机粘土矿物颗粒和由藻类残骸、有机碎屑、浮游动物尸体等颗粒物组成的悬浮物, 新鲜沉水植物移栽入这种水体之后, 悬浮颗粒在很短时间就会在植物的叶面、茎干上附着.

(2) 悬浮物的附着对沉水植物生长的影响. 悬浮物覆盖在水生植物叶片表面, 阻碍其光合作用和生长<sup>[12]</sup>. 悬浮物在植物表面的附着, 一方面削弱了到达植物表面的光强, 影响到植物的光合作用, 另一方面抑制了植物的生理代谢作用, 影响沉水植物的正常健康生长, 造成一种胁迫条件下植物的病态生长. 按照这样的生长速度, 菹草很难健康完成繁殖、发展、形成群落的生存循环过程.

(3) 污染水体的生态修复与环境因子的关系. 悬浮物对沉水植物的生长具有重大影响, 可以认为是污染水体中重建沉水植物的重要限制性因素之一. 在污染水体中, 具有许多类似的威胁植物生长的因子(如低透明度、高营养盐、浮游藻类等), 因此在污染水体中进行生态修复时, 不是直接在污染水体中强行恢复植物系统, 而是首先应该立足于污染环境的改善, 只有在去除胁迫因子的前提下, 才能成功地恢复植物系统并维持系统的稳定性.

### 4 参考文献

- [1] 潘文斌, 黎道丰, 唐涛等. 水生植物叶片的分形特征研究. 水生生物学报, 2004, 28(1): 23-28.
- [2] 由文辉. 淀山湖着生藻类群落结构与数量特征. 环境科学, 1999, 20: 59-62.
- [3] 杨敏文. 快速测定植物叶片叶绿素含量方法的探讨. 光谱实验室, 2002, 19(4): 478-481.
- [4] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000: 105.
- [5] Chance B, Maehly A. Assay of catalase and peroxidase. In: Colowick S P, Kaplan N O eds. Methods in Enzymology. New York: Academic Press, 1955: 764-775.

- [ 6 ] 刘健康. 高级水生生物学. 北京:科学出版社,1999:132.
- [ 7 ] 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术. 北京:化学工业出版社,2001:130.
- [ 8 ] 陈润政,黄上志,宋松泉等. 植物生理学. 广州:中山大学出版社,1998:33.
- [ 9 ] Woolhouse H W. Longevity and senescence in plant. *Sci Prog Oxford*,1974,61:23.
- [ 10 ] 王焕校. 污染生态学. 北京:高等教育出版社,2000:87.
- [ 11 ] 刘红玉,周朴华,杨仁斌等. 阴离子型表面活性剂(LAS)对水生植物生理生化特性的影响. 农业环境保护,2001,20(5):341-344.
- [ 12 ] 黄玉瑶. 内陆水域污染生态学——原理与应用. 北京:科学出版社,2001:41.