

水污染对菹草及伊乐藻生长的影响

朱 伟,张兰芳,操家顺,万 蕾,梅新敏

(河海大学环境科学与工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:针对沉水植物在污染水体中的生存阈值问题,在满足光补偿点的条件下,研究不同劣 类水质中菹草 (*Potamogeton crispus*)、伊乐藻 (*Elodea nuttallii*) 的生长情况。结果表明: 如果能够保证水体光补偿点条件,在苏州市 3 种劣 类水质中,菹草、伊乐藻均能保证基本存活,且无论从表观上还是从体内的保护酶来看,伊乐藻对污染的适应能力均优于菹草。 在实验过程中,菹草及伊乐藻的叶绿素含量基本上呈下降趋势,说明在污染环境中植物生长状况不良。 菹草及伊乐藻在水质相对较好的苗家河水样中的生长情况优于水质相对较差的薛家河及竹辉河。

关键词:沉水植物;菹草;伊乐藻;污染水体;生物酶

中图分类号: X524 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-6933(2006)03-0036-04

Experimental research on growth of *Potamogeton crispus* and *Elodea nuttallii* under different polluted water

ZHU Wei, ZHANG Lan-fang, CAO Jia-shun, WAN Lei, MEI Xin-min

(College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The growth of *Potamogeton crispus* and *Elodea nuttallii* in three different water bodies with water quality inferior to class was carried out in the lab. Results show that: (1) both *Potamogeton crispus* and *Elodea nuttallii* can grow in the three different water bodies if the light compensation point can be satisfied, and the adaptability of the latter is better than the former, no matter from the apparent or the protective enzyme systems; (2) during the experiment, the chlorophyll of both shows a tendency of declining, which means that the macrophytes can not grow well in the polluted water; (3) both *Potamogeton crispus* and *Elodea nuttallii* grow much better in the water of Miaoja River than in the water of Xuejia River and Zhuhui River.

Key words: submersed macrophyte; *Potamogeton crispus*; *Elodea nuttallii*; polluted water; biological enzyme

近几年,国家在太湖、滇池和一些城市开展大规模的水环境质量改善与生态修复工作,生态修复技术得到了广泛的研究与应用。生态修复工作的成功与否在很大程度上取决于生境条件的调节。我国江河、湖泊水体污染严重,生境条件较为恶劣,即使采取很多工程措施,如引水释污,底泥清淤以及投放化学试剂等强化治理措施^[1-2],往往也难以满足生物生存的环境条件。为了解决这一问题,必须研究生物所能够承受的环境条件。

苏州老城区的水质恶化非常严重,均为劣 类水质。水体的生化需氧量、氨氮、总氮和总磷均高于地面水 类标准,其中氨氮、总氮和总磷的最大超标倍数分别达 14.5、6.54 和 4.55 倍,属重污染水体,部分河段时有黑臭现象发生。本实验选用苏州不同的劣 类水体来培养菹草及伊乐藻,探讨在满足沉水植物光补偿点的条件下水体污染程度对菹草及伊乐藻的生长所产生的影响,为在植物修复中沉水植物的选种上提供一定的科学依据。

基金项目:国家“十五”重大科技项目(2003AA601070,2003AA601100);江苏省社会发展计划资助项目(BS2003016)

作者简介:朱伟(1962—),男,甘肃平凉人,博士生导师,教授,主要从事污染水体的生态修复技术研究。E-mail:weizhu@jlonline.com

· 36 ·

1 材料与方法

1.1 实验植物材料

所选用的实验材料为沉水植物菹草 (*Potamogeton crispus*) 和伊乐藻 (*Elodea naltalii*) 2 种。

菹草 (*Potamogeton crispus*) 取自河海大学江宁校区种苗基地 (从东太湖引种)。伊乐藻 (*Elodea naltalii*) 取自东太湖。使用容量为 60L 蓝色塑料桶作为试验容器。2 种植物都是先移栽入盛有清水的有底泥的塑料桶里 (水深 45 cm), 后在室外自然光照条件下培养一个月, 使其充分去除表面吸附物。

1.2 实验水样

选择苗家河、薛家河和竹辉河 3 条河流的污染水。苗家河位于桂花新村小区内, 水质相对较好; 薛家河毗邻民居, 生活污水直接进入河道的情况仍然存在, 有机污染较严重; 竹辉河靠近市场及饭店, 也有生活污水直接排入, 水体浑浊。原水水质指标见表 1。试验时取不同河道水样各 100L, 并将各水样平均分为 2 份, 一份放入菹草, 另一份放入伊乐藻。每隔一天换掉 20% 的水样, 保证其水质指标的波动不超过 10% (通过实验确定)。

实验于 2004 年 11 月 30 日开始, 2004 年 12 月 24 日结束。在自然光照下进行, 水温 2~13.7。

表 1 原水水质指标

| 取样点 | 浊度/ NTU | pH 值 | (NH ₄ ⁺ -N)/ (mg L ⁻¹) | (TN)/ (mg L ⁻¹) | (TP)/ (mg L ⁻¹) | (COD _{Mn})/ (mg L ⁻¹) |
|-----|------------|---------|---|--------------------------------|--------------------------------|--|
| 苗家河 | 9.30 | 7.78 | 6.08 | 6.75 | 0.36 | 5.05 |
| 薛家河 | 19.00 | 7.63 | 7.17 | 8.09 | 0.46 | 7.30 |
| 竹辉河 | 38.00 | 7.63 | 6.73 | 8.35 | 0.40 | 7.15 |

1.3 测定方法

测量指标为植物生物量、相对生长速率 (R)、叶绿素、过氧化物酶活性 (POD)、过氧化氢酶活性 (CAT)、丙二醛 (MDA) 等。平均每 6d 测 1 次。

叶绿素采用快速测定法^[3], 即用丙酮-乙醇混合液提取, 分光光度法。植物生物量、植物相对生长速率、MDA 均采用常规方法测定^[4]。POD 活性和 CAT 活性的测定采用 Chance 和 Maehly 的方法^[5], 并加以改进。

2 实验结果及分析

2.1 菹草及伊乐藻的生物量变化

实验开始前每桶选择 3 根长度接近的植物称其生物量, 并做下标记。实验结束前再次称量其生物量 (生物量为滤水 1h 后植物的重量), 3 种劣类水体中菹草的初始生物量分别为 1.6793g、2.0653g 和 1.9853g; 伊乐藻的初始生物量分别为 0.8219g、0.6702g 和 0.5677g。不同水质中菹草及伊乐藻的

生物量增长率见表 2。

$$\text{增长率} = \frac{\text{增长量}}{\text{起始生物量}} \times 100\%$$

表 2 生物量的变化

| 取样点 | 菹草 | | | 伊乐藻 | | |
|-----|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | 起始生物量/g | 减少量/g | 单位减少率/% | 起始生物量/g | 减少量/g | 单位减少率/% |
| 苗家河 | 1.6793 | 0.1977 | 12 | 0.8219 | 0.6272 | 76 |
| 薛家河 | 2.0653 | 0.3325 | 16 | 0.6702 | 0.4911 | 73 |
| 竹辉河 | 1.9853 | 0.3897 | 20 | 0.5677 | 0.3088 | 54 |

从表 2 可看出, 3 种劣类水体中菹草的生物量都有所减少, 从植物生物量的减少率来分析, 培养于苗家河水样中的菹草减少率最小, 为 -12%, 而竹辉河水样中的菹草减少率则最大, 为 -20%。而伊乐藻的生物量在 3 种水样中都有明显的增长, 培养于苗家河水样中的伊乐藻增长率最多, 为 76%, 竹辉河则最少, 为 54%, 薛家河中伊乐藻的增长率为 73%。由此可看出, 在苗家河水样中, 菹草的减少量低于其他 2 种处理样, 而伊乐藻在苗家河水样中的增长量高于其他 2 种处理样。

为了进一步比较 2 种植物的生长效率, 分别计算它们的相对生长速率, 如图 1(a)、(b) 所示。植物相对生长速率

$$R = (\ln X_2 - \ln X_1) / T$$

式中: X_1 、 X_2 为前后两次测定的生物量; T 为测定时间间隔。

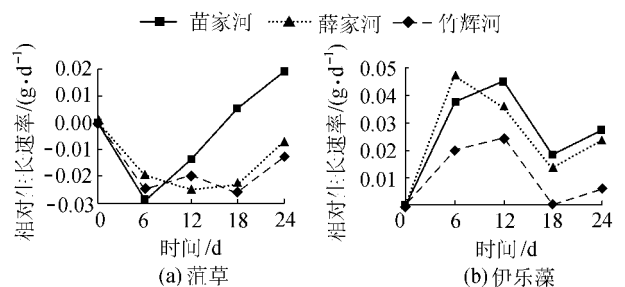


图 1 相对生长速率

从图 1(a) 可见, 薛家河及竹辉河水样中的菹草从试验开始到试验结束虽然有所增长, 但仍呈负增长, 而水质相对较好的苗家河水样中的菹草到后期则是正增长。图 1(b) 说明, 伊乐藻一直都呈正生长状态, 且苗家河处理样中的伊乐藻的相对生长速率基本上都高于其它 2 个处理样。到实验第 12 天, 苗家河及薛家河处理样中的伊乐藻仍保持一定的生长速率, 而水质较差的竹辉河处理样中的伊乐藻则相对生长速率降低。后期由于水温骤降, 3 种处理样中伊乐藻的相对生长速率都下降, 但苗家河水样中的伊乐藻相对生长速率仍最高。

2.2 菹草及伊乐藻叶绿素含量的变化

叶片是植物进行光合作用的主要器官, 而叶绿

体是光合作用重要细胞器^[6]。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。测定叶绿素时,均采集植株顶端部分的叶子进行实验。

从图 2(a) 可看出,菹草叶绿素含量基本上都呈下降趋势。与初始数据对比,培养于竹辉河中的菹草叶绿素含量最大下降率达 37.81%,而苗家河及薛家河中菹草的叶绿素则先上升后下降,最大下降率分别达 23.30% 和 28.26%。培养于苗家河水样中的伊乐藻叶绿素含量先下降后上升,上升率达 36.70%,而培养于薛家河及竹辉河水样中的伊乐藻则基本上呈下降趋势,最大下降率分别达 22.83% 和 35.98%。

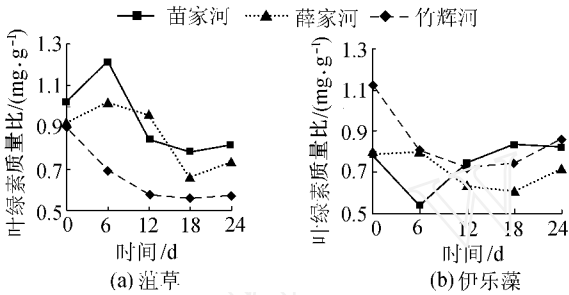


图 2 叶绿素变化曲线

2.3 菹草及伊乐藻生化指标的变化

为了探讨处于不同水质条件下菹草及伊乐藻的分子生态敏感度,测定了菹草及伊乐藻的过氧化物酶活性、过氧化氢酶活性和丙二醛含量。测定时,均采集植株顶端部分。

在环境污染、逆境伤害导致的机体老化、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产生的自由基,以减轻环境污染带来的危害^[7]。过氧化物酶、过氧化氢酶是保护系统的主要酶。过氧化物酶广泛存在于植物体内,是活性较高的一种酶,它与呼吸作用、光合作用及生长素的氧化等都有关系,过氧化物酶可作为植物组织老化的一种生理指标^[4]。过氧化氢酶活性普遍存在于植物的所有组织中,其活性与植物的代谢强度及抗寒、抗病能力有一定的关系^[4]。过氧化物酶活性和过氧化氢酶活性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分子生态毒理学指标^[8]。植物器官衰老时,或在逆境条件下,往往发生膜脂过氧化作用,丙二醛是其产物之一,通常利用它作为脂质过氧化指标,表示细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境条件反应的强弱^[4]。

从图 3(a) 可看出,无论处于何种水样中,菹草的过氧化物酶活性变化不大,且苗家河处理样中的菹草的过氧化物酶活性大部分时候高于其他 2 种处

理样。而 3 种水样中伊乐藻过氧化物酶活性均先上升后下降,特别是苗家河水样中的伊乐藻过氧化物酶活性起伏变化较大。从图 3(b) 还可以看出,水质较好的苗家河水样中的伊乐藻过氧化物酶活性大部分时候高于水质较差的薛家河和竹辉河水样。

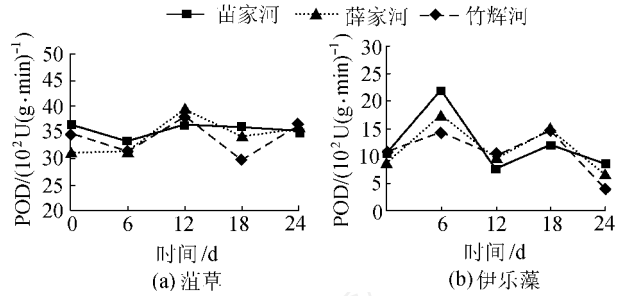


图 3 POD 活性变化曲线

从图 4(a) 可见,无论处于何种水样中,菹草的过氧化氢酶活性在下降后均有所增加。竹辉河中的菹草过氧化氢酶活性下降最为显著,最大下降率达 67.55%,而苗家河水样及薛家河水样中的菹草则是轻微的下降(分别为 10.71% 和 17.96%),但这两者上升的幅度较大,最大上升率达 150.94% 和 103.88%。而伊乐藻的过氧化氢酶活性在 3 种水样中变化较相近(图 4(b)),也呈现先下降后上升的规律,最大下降率分别为 32.01%、38.11% 和 49.54%,随后都有较明显的上升。从图 4(b) 还可看出,苗家河处理样中的伊乐藻的过氧化氢酶活性始终最高。

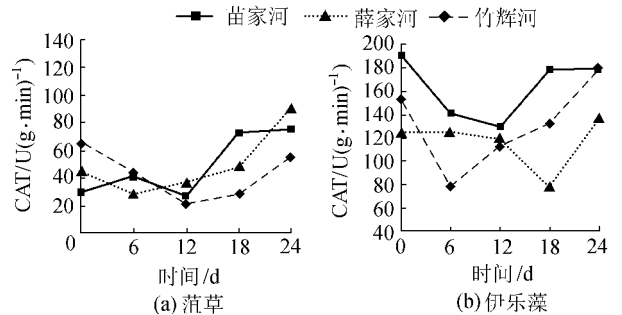


图 4 CAT 活性变化曲线

从图 5(a) 可见,水质较差的竹辉河水样中菹草的丙二醛含量呈上升趋势,而苗家河及薛家河水样

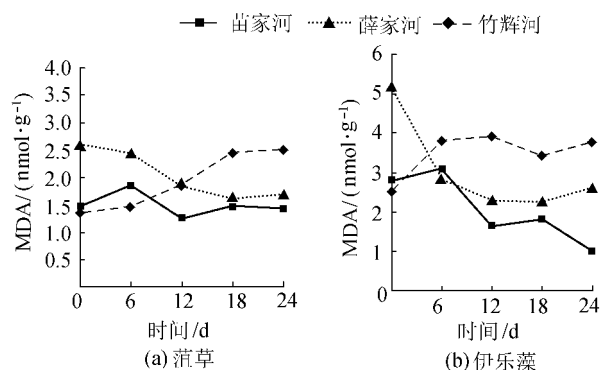


图 5 MDA 变化曲线

中菹草的丙二醛含量则有所下降,下降值分别为 0.0522 nmol/g、0.9146 nmol/g。伊乐藻也呈现相同的规律(图 5(b)),苗家河及薛家河处理样中的伊乐藻的丙二醛含量下降值分别为 1.795 0 nmol/g、2.574 2 nmol/g。培养于竹辉河中菹草的丙二醛含量从 1.349 3 nmol/g 上升到 2.497 13 nmol/g,上升值为 1.15 nmol/g。而同样处理的伊乐藻丙二醛含量从 2.5113 nmol/g 上升到 3.765 1 nmol/g,上升值为 1.25 nmol/g。

3 讨论

在苗家河、薛家河、竹辉河 3 种重污染的劣类水质中,如果满足沉水植物光补偿条件,菹草及伊乐藻均能成活,但不论从表观还是从体内的酶保护系统来看,伊乐藻的抗污能力均优于菹草。从生物量的变化及相对生长速率来看,无论处于何种水样中,菹草的生物量都在减少,而伊乐藻的生物量却有所增长。伊乐藻的相对生长速率也远远高于菹草的。从叶绿素含量的变化来看,伊乐藻低于菹草下降的幅度,且水质对伊乐藻的保护性酶活性及丙二醛含量的影响较之菹草表现的更为敏感。3 种水样对菹草的过氧化物酶活性的影响均不大,而伊乐藻的过氧化物酶活性则变化较大。不论是菹草还是伊乐藻,过氧化氢酶活性均呈现出先下降后上升的变化规律。这可能是由于菹草及伊乐藻在实验初期未适应水质,因而导致酶活性下降,而随着时间的推移,植物体内的酶活性逐渐被激活。这与水生植物的 CAT 对铅和锌的反应相同^[9],即过氧化氢酶在不利环境因子下,能通过调节自身的酶机制,增强过氧化氢酶活性,对不利影响作出保护性反应,因此,过氧化氢酶活性被普遍认为是生物体内的一种生态型保护酶^[7,9]。较之菹草,伊乐藻丙二醛含量的降低幅度较大,说明伊乐藻对污染水体的抵抗能力更强,能及时抵抗或修复不利条件对它的影响。

培养于水质较好的苗家河水样中的菹草及伊乐藻的生长均优于其他 2 种水样。而培养于水质较差的竹辉河水样中的菹草及伊乐藻,表观上植物的生长均滞后于其他 2 种水样。从 3 种水样来看,竹辉河处理样中的菹草生物量的减少率最大,而伊乐藻的增长率则最低。竹辉河处理样中菹草及伊乐藻的相对生长速率也是 3 种水样中最低的。2 种植物的叶绿素含量下降幅度竹辉河处理样中也是最大的,而伊乐藻在水质较好、水体较清澈的苗家河水样中叶绿素含量反而有一定程度的增加,这说明水质对植物的生长、叶绿素的合成和光合作用都有较大的影响。从体内酶活性来看,竹辉河处理样中的菹草及伊乐藻的酶活性下降幅度都大于其他 2 种处理

样。从丙二醛的含量来看,培养于苗家河及薛家河水样中菹草及伊乐藻的丙二醛含量都有所下降,这说明水质对植物生长造成一定的影响,但植物都有不同程度的抵抗及修复作用。而竹辉河中的菹草及伊乐藻的丙二醛含量均呈上升趋势,这说明竹辉河水质对这 2 种植物造成了一定程度的伤害。

3 种劣类水体中 2 种植物的叶绿素含量都有所降低,这可能与水质较脏、浊度较大、溶解氧较低有关,从而影响到光照条件及植物的生长。对植物来说,由于水质受到污染,致使其生长受到一定的影响,植物体内的酶活性降低,从而使得叶绿体发育变缓,叶绿素合成速率变低,表现为叶子发黄发黑。从上述实验证明:在苏州这 3 种污染水体中,当解决光补偿点的问题后,基本上可以维持伊乐藻及菹草的短暂生存条件。但是,由于水体污染严重,致使老叶腐烂速度加快,植物的光合作用、呼吸作用等都受到了极大的伤害,生长状况不良,尚不能形成优势群落,更谈不上对水质的改善。由此可见,水质的好坏对植物的生长具有重大的影响。因此,在利用水生植物修复水体时应首先考虑水生植物在所修复的水体中是否能够正常生长,一定要将水环境修复至完全适合于沉水植物生长的适宜条件,使得沉水植物的迅速生长形成优势群落,即呈现大幅度的正增长,同时将多余的植物体移出水体,才能真正起到对水质的净化和美化水体环境的功能^[10]。

参考文献:

- [1] 程南宁,朱伟,张俊.重污染水体中沉水植物的繁殖及移栽技术探讨[J].水资源保护,2004,20(6):8-11.
- [2] 何成达,张键.江苏水质型缺水地区水生态环境恢复研究[J].水资源保护,2001,17(4):24-30.
- [3] 杨敏文.快速测定植物叶片叶绿素含量方法的探讨[J].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[M].北京:高等教育出版社,2000:105,164-165,260.
- [5] CHANCE B,MAEHL Y A. Assay of catalase and peroxidase [C]//COLOWICK S P,KAHLAN N O. Methods in Enzymology. New York:Academic Press,1995:764-775.
- [6] 陈润政,黄上志,宋松泉,等.植物生理学[M].广州:中山大学出版社,1998:33.
- [7] 王焕校.污染生态学[M].北京:高等教育出版社,2000:87.
- [8] 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[J].农业环境保护,2001,20(5):341-344.
- [9] 李宏文.3种水生植物的生态敏感度研究[J].南京林业大学学报,2002,24(增刊):74-77.
- [10] 庞清江.东平湖生态环境综合治理及资源可持续开发利用对策研究[J].水资源保护,2001,17(2):38-41.

(收稿日期:2005-04-04 编辑:舒建)