

耐寒高羊茅对苏州重污染河道水体净化功能的研究¹

杨婷婷 操家顺 周勇 周凌

(河海大学环境科学与工程学院 江苏 南京 210098)

摘要: 采用速生长, 且耐寒的浮床高羊茅(*Festuca arudinaces*)草坪来净化重污染河道水体, 研究了不同浮床覆盖率的高羊茅草坪对冬季重污染河道水体的净化能力, 以期确定其最佳覆盖密度。结果表明, 高羊茅对富营养化水体中的氮、磷、COD 等均具有较好的去除效果, 并能有效提高水体透明度, 且在本试验条件下与草坪的覆盖率有密切的关系。综合考虑可以得出冬季高羊茅草坪覆盖率在40%左右时即能够较好的净化水质。这为冬季重污染河道水体水质改善的示范工程提供了可靠的科学依据。

关键词: 浮床 高羊茅 重污染河道

1. 引言

根据监测, 苏州城市河道为劣V类水体, 其TN达7~12mg/L, TP0.5~1.0 mg/L, 尤其是苏州古城区河道更为严重。而如何实施对城市河道水体严重富营养化的有效控制与整治, 以保障社会经济的可持续发展和人们的身心健康, 已成为苏州人民关注的热点问题。

植物浮床技术近年来已成为治理富营养化水体的热门技术之一^[1-7], 主要是利用植物根系的吸收和吸附作用来净化污染水体^[8-11]。针对苏州南园水系污染负荷重, 悬浮物中的有机物含量高, 水体交换频繁、水位变化大等特点, 在南园河示范区进行了不同覆盖面积浮床的静态试验, 旨在探索冬季浮床高羊茅草坪在不同的覆盖率条件下对水质的净化效果。

2. 材料与方法

2.1 材料

试验前将高羊茅(*Festuca arudinaces*)草皮在河水中预先培养30天。试验时的平均株高为30cm、根长7cm。试验水源为苏州市南园河重污染水体, 其中TN

¹ 本课题得到国家“十五”重大科技专项“863”计划资助项目(2003AA601070)资助。

作者简介: 杨婷婷(1981-), 女, 硕士研究生, 主要从事水环境生态修复工作。Email: ytingting1881@163.com

可达 10mg/L 以上, TP 0.5mg/L 以上, 有机污染指数大于 8.04, 水体透明度 45cm 左右, 黑臭现象严重, 属劣 V 类水体。

2.2 装置

以规格为 $\Phi 100\text{mm}$ 的 UPVC 管作为构架, 用透水率为 1‰ 的防水布在苏州南园河示范区河道现场围隔 6 个规格为: 长 \times 宽 \times 高=4m \times 2m \times 1m 的试验装置, 其中设有空白对照区。试验水体设置的浮床高羊茅覆盖率分别为 10%、20%、30%、40%和 50%, 相对应的试验编号为 1#、2#、3#、4#和 5#。具体装置见图 1 (单位: mm)。

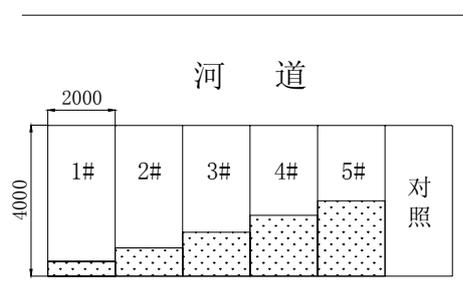


图 1 试验装置平面图

2.3 方法

用水泵向每个围隔各注入现场河水 8m³。将预培养的高羊茅草皮铺种在空心毛竹架上, 并在其下垫厚度为 5cm 的聚苯乙烯泡沫板以增加浮力, 移入试验围隔中。每 5 天测定一次各围隔内水体的水质指标, 以及气温、水温等, 试验时间从 2005 年 11 月 18 日开始, 到 12 月 8 日止, 为期 25 天。

测定的项目有: 气温、水温、TN、TP、COD、叶绿素、透明度等, 以及植物的生长状况。其中 TN 的测定采用过硫酸钾氧化, 紫外分光光度法; TP 采用钼锑抗分光光度法; COD 采用重铬酸钾氧化法^[12]; 透明度采用塞氏黑白牌法测定。

3. 结果与分析

3.1 不同覆盖率的浮床高羊茅草坪对水体 TN 的去除效果

从图 2 可以看出, 浮床高羊茅草坪能有效去除重污水中的氮, 使水中总氮含量下降, 且具有先快后慢的净化趋势。对 TN 的去除率在 5 天内已经有了显著下降, 覆盖率为 10%~50% 的围隔区水体总氮浓度分别减少了 1.97、1.61、2.31、2.50 和 2.53mg/L。在试验结束时, 其去除率基本达到稳定, 分别为 45.1%、44.4%、

58.8%、62.0%和 65.2%。而采取自然净化的对照处理，水体中总氮浓度在试验期间内下降程度很小。本试验在河道现场进行，如果能排除天气等干扰因素影响的话，去除效果则会更加理想。

3.2 不同覆盖率的浮床高羊茅草坪对水体 TP 的去除效果

高羊茅对磷的去除效果较明显，试验结束时各个浮床围隔内的总磷都降低到较低水平，其中覆盖率为 30%和 40%时的去除率分别为 78.9%和 85.4%；覆盖率为 50%时去除效果最佳，达 90.2%。可见覆盖率在 30%以上时，已经将磷降低到较低水平。同总氮净化趋势相同，基本都是先快后慢（图 3）。虽然对照区的总磷也随着时间推移缓慢降低，但在整个过程中始终高于其他各个处理。植物为满足生长过程中营养元素的需求而吸收污水中的氮磷等元素，试验证明浮床高羊茅草坪可以很好的去除重污染河道水体中的磷。

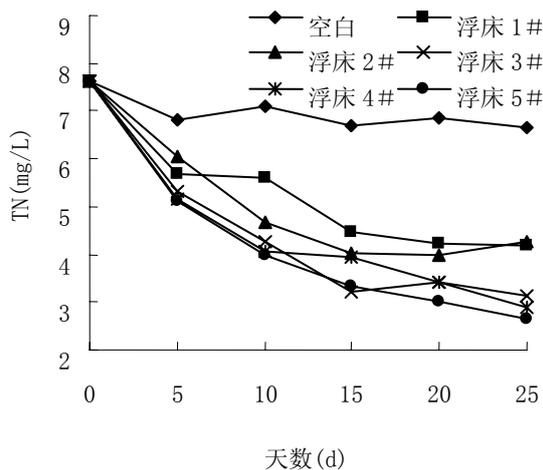


图 2 浮床试验区 TN 变化情况

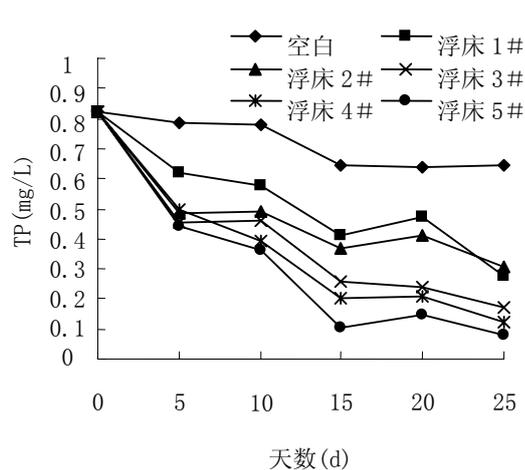


图 3 浮床试验区 TP 变化情况

3.3 不同覆盖率的浮床高羊茅草坪对水体 COD 的去除效果

由图 4 可知，不同覆盖率的浮床高羊茅草坪对污水中 COD 也有一定的去除效果。在试验结束时 COD 的去除效率已趋于稳定，分别为：35.9%、41.1%、60.5%、66.4%和 68.5%。可见，在覆盖率为 30%以上时，COD 的去除效果增加并不明显，而当覆盖率在 30%左右时的去除效果已经较好。对照组中的 COD 增高则是由于缺少浮床植物对藻类的抑制作用使藻类繁殖，导致水体中的有机物上升。

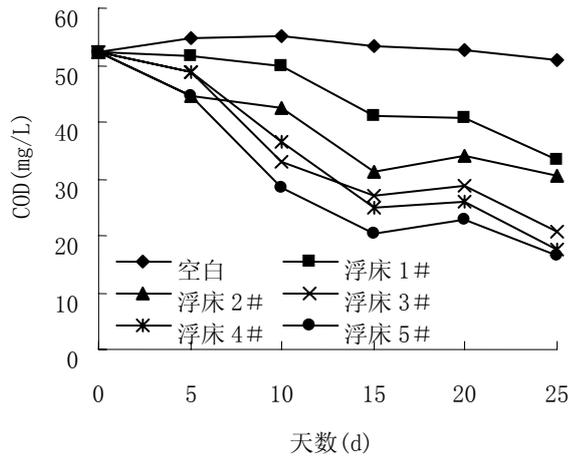


图 4 浮床试验区 COD 变化情况

3.4 不同覆盖率的浮床高羊茅草坪对其他水质指标的影响

高羊茅草坪能够有效的提高重污染水体的透明度（表 1），且试验开始 5 天后透明度就明显地提高，见效快，在试验结束时浮床草坪覆盖率为 40%和 50%的围隔区水体已澄清见底（因试验装置所限，100cm 时已见底）。一方面是由于植物根系对悬浮物的吸附作用；另一方面则是由于水面的浮床草坪降低了风速，减少了沉淀物质再次悬浮的机率，从而较快的提高水体透明度。

叶绿素 a 在试验第 5 天时就有了明显的下降（图 4），覆盖率为 10%~50%的围隔区水体叶绿素 a 含量分别下降了原来的 42.7%、60.6%、72.6%、83.8%和 81.3%，而对照区水体仅下降了原来的 32.3%。之后有所回升最后又下降，主要是试验后期受水温的突然变化等因素的影响所导致。从整体效果来看，浮床草坪覆盖率在 30%时即能较好的起到抑制叶绿素的作用。

表 1 不同覆盖率的浮床高羊茅草坪对透明度的作用效果

覆盖率	10%	20%	30%	40%	50%	对照
起始值 (cm)	45	45	45	45	45	45
最终值 (cm)	62	70	85	见底 (>100)	见底 (>100)	54

表 2 不同覆盖率的浮床高羊茅草坪对叶绿素 a 的抑制作用

试验区	试验天数 (d)					
	0	5	10	15	20	25
对照	19.36	13.10	15.70	17.60	20.41	16.48
浮床 1#	19.36	11.11	12.41	11.83	15.79	12.69
浮床 2#	19.36	7.62	11.60	10.40	15.16	11.51

浮床 3#	19.36	8.31	11.82	10.51	13.52	12.25
浮床 4#	19.36	3.14	7.34	10.00	12.64	10.56
浮床 5#	19.36	3.62	5.34	9.00	11.01	9.26

3.5 高羊茅草坪在重污染水体中的生长状况

高羊茅草坪的初始平均株高为 30cm，根长 7cm。在重污染水体中生长 25 天之后，株高生长为 50cm，根长 15cm 并长有新根，鲜重也显著提高（见表 3）。本研究开始时已处于低温的冬季，而高羊茅的株高、根长、鲜重等都有较大程度增加，可见其在重污染水体中不仅能够正常生长，而且比同时种植在陆上的还要好。

表 3 起始——最终试验生物量变化表

覆盖率	10%	20%	30%	40%	50%
起始鲜重 (kg)	4.59	9.17	13.76	18.35	22.93
最终鲜重 (kg)	12.76	24.75	34.40	47.74	59.20

4. 结语

由此可见，在试验所设计的覆盖密度范围内，随着覆盖率的增加水质改善的效果也越来越明显。根据试验中 TN 的去除情况，水上种植高羊茅草坪 15 天，覆盖率 30%左右即可；根据 TP 的去除情况，种植高羊茅草坪的覆盖率 50%最佳；根据 COD 指标，覆盖率 40%左右为好；根据叶绿素 a 指标，覆盖率 30%左右即可。由以上综合指标（达到景观用水指标），并考虑与原有水面景观相协调，可以得到在冬季种植高羊茅草坪覆盖率 40%左右时即可。

因此浮床技术适合在苏州污染严重的河道中应用，即使在寒冷的季节（气温已接近零度）高羊茅草坪也能够冬季重污染水体中正常生长且生长旺盛，并达到去除水中营养盐净化水质的目的，其覆盖面积在 30%~40%左右时，覆盖面积不至于过高、不影响到水上景观的需求的同时，还可有效的去除水体中的氮、磷等污染物质，逐渐改善水面观感性状，使水体异味也有所控制，尤其对改善水体透明度有显著作用。需要说明的是，由于围隔仍具有一定的透水性，且试验是在河道现场进行，会受到天气条件及围隔外生活污水不断排入河内等干扰因素的影响。如果排除这些影响，效果会更加理想。

在冬季，大多数高等植物生长及其缓慢，其中一些甚至发生死亡现象，那些植物残体很容易引起二次污染，因而探讨浮床植物的冬季净化能力对进一步开发利用浮床植物具有重要的现实意义。利用耐寒的浮床高羊茅草坪来净化南园河这

样污染负荷高、黑臭现象严重、水生态景观遭受到严重破坏的重污染河道水质，不仅效果佳，而且可以在冬季营造良好的水上景观，为苏州城市水环境质量改善与水生态修复技术研究与示范工程提供了科学依据。

参考文献：

- [1] 戴全裕、蔡述伟、张秀英等. 多花黑麦草对黄金废水净化与富集的研究. 环境科学学报,1998,18(5):553-556
- [2] 李欲如、操家顺、徐峰等. 水蓼菜对苏州重污染水体净化功能的研究. 环境污染与防治, 2006,28(1):69-71
- [3] 李欲如、操家顺. 冬季低温条件下浮床植物对富营养化水体的净化效果. 环境污染与防治,2005,27(7):505-507
- [4] 宋祥甫、邹国燕等. 浮床水稻对富营养化水体中氮、磷的去除效果及规律研究. 环境科学学报,1998,18(5):489-494
- [5] 朱斌、陈飞星等. 利用水生植物净化富营养化水体的研究进展. 上海环境科学,2002,21(9):564-567,576
- [6] 童昌华、杨肖娥、濮培民等. 富营养化水体的水生植物净化试验研究. 应用生态学报,2004,15(8):1447-1450
- [7] Selma C. Ayaz, Lütfi Akca. Treatment of wastewater by natural systems. Environment International, 26(2001):189-195
- [8] 戴全裕、蒋兴昌、汪耀斌等. 太湖入湖河道污染物控制生态工程模拟研究. 应用生态学报,1995,6(2):201-205
- [9] V. Lazarova, J. Manem. An innovative process for waste water treatment: the circulating floating bed reactor. Wat. Sci. Tech, Vol.34, No.9, pp.89-99,1996
- [10] 王剑虹, 麻密. 植物修复的生物学机制. 植物学通报, 2000, 17(6): 504-512
- [11] 种云霄, 胡洪营, 钱易等. 大型水生植物在水污染治理中的应用研究进展. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(2):36-40
- [12] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第四版). 中国环境科学出版社. 1998,45-251

STUDY ON THE PURIFICATION EFFECT OF FESTUCA ARUDINCES WHICH CAN ENDURE COLDNESS IN SERIOUSLY POLLUTED RIVER IN SUZHOU

Yang Tingting, Cao Jiashun, Zhou Yong, Zhou Ling

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

Abstract: It was studied to purify polluted river by floating bed of festuca arudinaces which grow fast and can endure coldness. The purification of seriously polluted river in winter by festuca arudinaces of different floating-bed coverage rates was researched to find the best coverage rates. The results showed that festuca arudinaces had a high ability to remove nitrogen, phosphorus and COD in eutrophicated water, and the water clarity was raised effectively, and the ability was related to the coverage rates. Considering all the factors, it can purify the water well when the floating-bed coverage rate was set up at about 40%. The credible scientific gist is offered to the engineering of improving the water quality of seriously polluted river in winter in this study.

Keywords: floating bed; Festuca arudinaces; seriously polluted river