

生态浮床对河口水质的净化效果研究

李英杰^{1,2}, 年跃刚², 胡社荣¹, 叶 春², 李俊杰¹

(1 中国矿业大学 资源与地球科学系, 北京 100083; 2 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘 要: 通过分析浮床建成前后、浮床撤除前后以及浮床边和开阔水道之间水质的差异, 考察了浮床对河口水质的净化效果, 并对净化机理进行了分析。结果表明, 生态浮床具有很强的净化能力, 经过浮床段后 TN 、 TP 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度均得到明显降低; 浮床边的水质较好, 浮床对 TP 、 TN 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的净去除率分别为 10.4%、8.1%、18.1%; 由于氮循环过程的复杂性, 经过浮床段后 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度反而显著升高; 工程段水质的改善是湖水稀释、河流自净和浮床净化等综合作用的结果; 撤除浮床后, 对水体的净化效果大大降低, 对 TP 、 TN 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率仅分别为 18.2%、9.2%、27.8%。

关键词: 生态浮床; 河口; 净化效果

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602(2008)11 - 0060 - 05

Purification Effect of Ecological Floating Bed on Water Quality of an Estuary

LI Ying-Jie^{1,2}, NIAN Yue-gang², HU She-rong¹, YE Chun², LI Jun-jie¹

(1 Department of Resources and Geoscience, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2 Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: By analyzing water quality difference before and after construction of floating bed, before and after removal of floating bed as well as between the bedside and open waterway, the purification effect of ecological floating bed on an estuary was investigated, and its purification mechanism was analyzed. The results are as follows: the ecological floating bed can remove pollutants effectively, the net removal rates of TP , TN and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ are 10.4%, 8.1% and 18.1% respectively; Because of the complexity of nitrogen recycle, the removal rates of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and $\text{NO}_2^- - \text{N}$ are negative; Water quality improvement of the project can be contributed to the comprehensive effects of lake water dilution, estuary self-purification and ecological floating bed; After removal of the ecological floating bed, the purification effect on the estuary gets worse, and the removal rates of TP , TN and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ are only 18.2%, 9.2% and 27.8% respectively.

Key words: ecological floating bed; estuary; purification effect

近年来, 全球水体富营养化日益严重^[1], 尤其是城市及其周边水域普遍呈现富营养化状态^[2]。

有研究表明水生植物能够显著改善水质, 但富营养化水体的透明度低, 使得大型水生植物因不能维持

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2002AA601013, 2005AA6010100502, 2006AA06Z343)

正常的光合作用而普遍消失^[3]。因此,在恢复水生植物前先改善生境条件已得到广大湖泊学家的共识。生态浮床是一项兼顾水环境治理与生态修复的实用技术^[4,5],目前我国已有许多应用生态浮床的工程实例^[5~7],且均取得了很好的应用效果。有关浮床净化水质效果及其机理的研究已有一些报道^[8~12],但多集中在小试及池塘等封闭水体方面,有关生态浮床对河口水质净化效果的研究还较少。笔者考察了生态浮床对河口水质的改善效果,以期生态浮床在河口水质净化中的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与工程介绍

试验地点位于太湖五里湖西南部一条入湖河流的河口处,该河发源于充山脚下,长约 300 m,与许多汇集生活污水和径流的暗沟连通。根据湖滨生态与景观建设示范工程项目的要求,在此河的入湖口采用生态浮床技术净化河道入湖水质。浮床段河宽约 8.5 m,河岸为直立石砌岸。工程分两段,前段为水芹浮床(2005 年春建成),后段为美人蕉浮床(2004 年夏建成),本研究在河道规整的水芹浮床段开展。浮床整体宽为 1.5 m,长约 80 m,由长为 1.5 m、宽为 1 m 的浮床单元通过绳和竹片连接而成。浮床单元采用聚苯乙烯发泡板为浮体,以中泡海绵为固定植物的基质。2005 年 6 月 9 日采样时水芹高约 0.6 m,生长茂盛,浮床周围分布 50%~80% 盖度不等的紫背浮萍;6 月 16 日水芹已开始枯黄,浮床被撤除。现场具体情况见图 1。

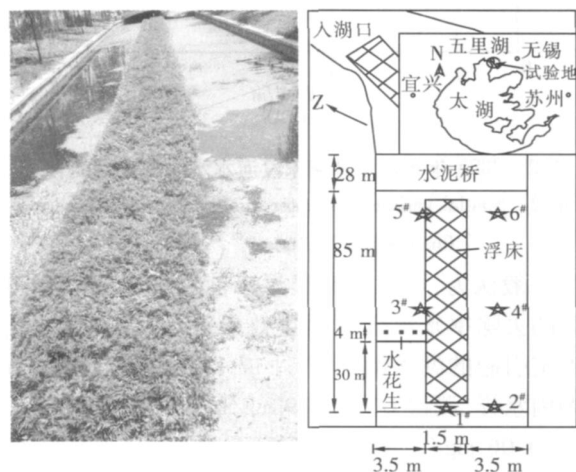


图 1 工程现场状况和采样点位置

Fig 1 Field situation of project and sample locations

1.2 采样点设计

考虑到入湖河口段水质的时空变化较大,加之生态系统有一个发展的过程,因而水质沿河道的梯度变化和浮床建成前后水质的对比并不能很好地反映浮床对水体的净化作用,故布置了两条采样路线,共 6 个采样点,即紧靠浮床的 1[#]、3[#]、5[#] 采样点和处于开阔水道中间的 2[#]、4[#]、6[#] 采样点,通过对比分析浮床建成前后、浮床撤除前后以及浮床边和开阔水道之间水质的差异,综合研究浮床对河口水质的改善效果。

分别于 2004 年 2 月 12 日、2005 年 6 月 9 日、6 月 16 日和 7 月 18 日(浮床撤除后)取河道内水样,取样深度为 0.4 m,每个点取水样 500 mL,密封冷藏保存于实验室冰箱中并于两日内测定。

1.3 测试项目及方法

检测的水质指标包括 pH 值、COD_{Mn}、电导率、DO、氧化还原电位(ORP)、透明度(SD)、氨氮、硝态氮、亚硝态氮、总氮和总磷。其中,氮、磷采用化学分析仪测定,COD_{Mn}采用酸性高锰酸钾法测定,pH 值利用酸度计测定,氧化还原电位采用 ORP 仪测定,电导率采用 DDS-11A 电导率仪测定,DO 采用台式溶氧仪测定,SD 采用直径约 20 cm 的塞氏盘测定。

2 结果与讨论

2.1 浮床建成前后的水质对比

浮床工程实施前河口处的水质状况见表 1。

表 1 浮床建成前河口处的水质

Tab 1 Water quality of estuary before building floating bed $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	COD _{Mn}	TP	NH ₄ ⁺ - N	TN
数 值	6.54	0.28	4.16	9.33

按照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),COD_{Mn}为Ⅲ类,TN和 NH₄⁺ - N为劣Ⅴ类,TP为Ⅳ类,表明河口处的水质极差。2005 年 6 月 9 日对河口 6 个采样点的水质进行统计分析,结果如表 2 所示。

对比表 1 和表 2 可知,工程运行后 TN 和 NH₄⁺ - N 浓度显著降低,但 TP 浓度变化不大。由于河道内水质随季节变化较大,因而 TP 浓度变化不大并不能说明浮床对磷无去除作用。入湖河口处水体的透明度近几年多处于 40~50 cm 之间,在浮床植物生长过程中,可观察到水体的透明度有了很大提高。

表 2 2005 年 6 月 9 日对 6 个采样点的水质统计结果

Tab 2 Statistical result of monitoring data from 6 sample sites on June 9th, 2005

项目	DO / (mg · L ⁻¹)	pH	ORP / mV	电导率 / (mS · m ⁻¹)	COD _{Mn} / (mg · L ⁻¹)	TP / (mg · L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ - N / (mg · L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ - N / (mg · L ⁻¹)	TN / (mg · L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ - N / (mg · L ⁻¹)	SD / cm
平均值	4.75	7.47	346.12	67.80	6.04	0.43	0.64	0.69	3.73	0.99	86.7
标准差	0.46	0.05	6.01	0.30	0.47	0.12	0.23	0.15	0.76	0.37	5.2

2.2 浮床边和开阔水道的水质对比

经统计,浮床运行期间 DO、pH、ORP、电导率、COD_{Mn}和 SD 的空间差异较小,而 N、P 指标的空间差异较大(见表 2),在一定程度上反映了浮床对水质的净化作用。监测结果表明(见图 2),经过 80 m 的浮床处理后,浮床边和开阔水道的 TN 分别降低了 1.78、1.4 mg/L,TP 分别降低了 0.28、0.22 mg/L, NH₄⁺ - N 分别降低了 0.89、0.63 mg/L, NO₃⁻ - N 分别升高了 0.487、0.464 mg/L, NO₂⁻ - N 分别升高了 0.313、0.336 mg/L,开阔水道的 COD_{Mn}降低了 0.19 mg/L,浮床边反而升高了 0.25 mg/L。

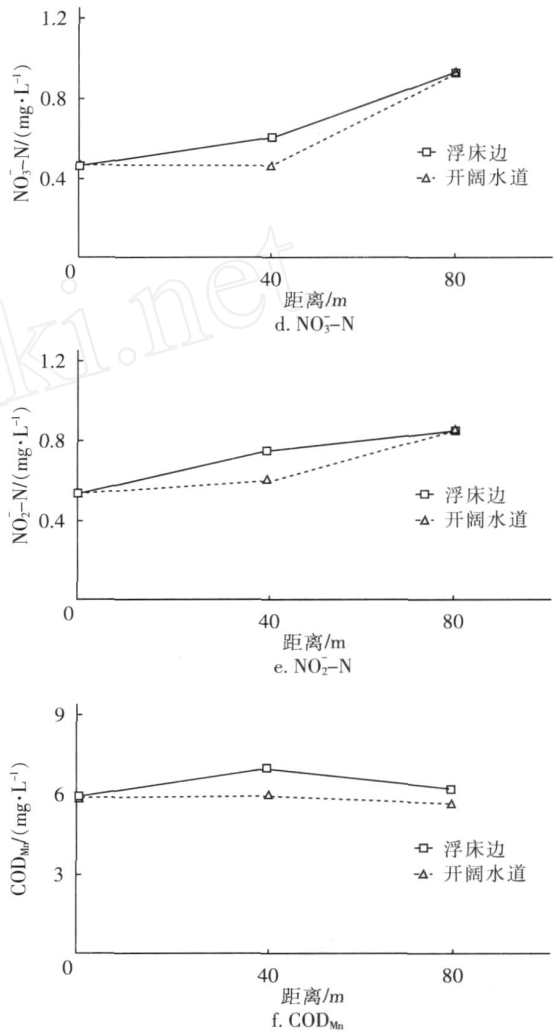
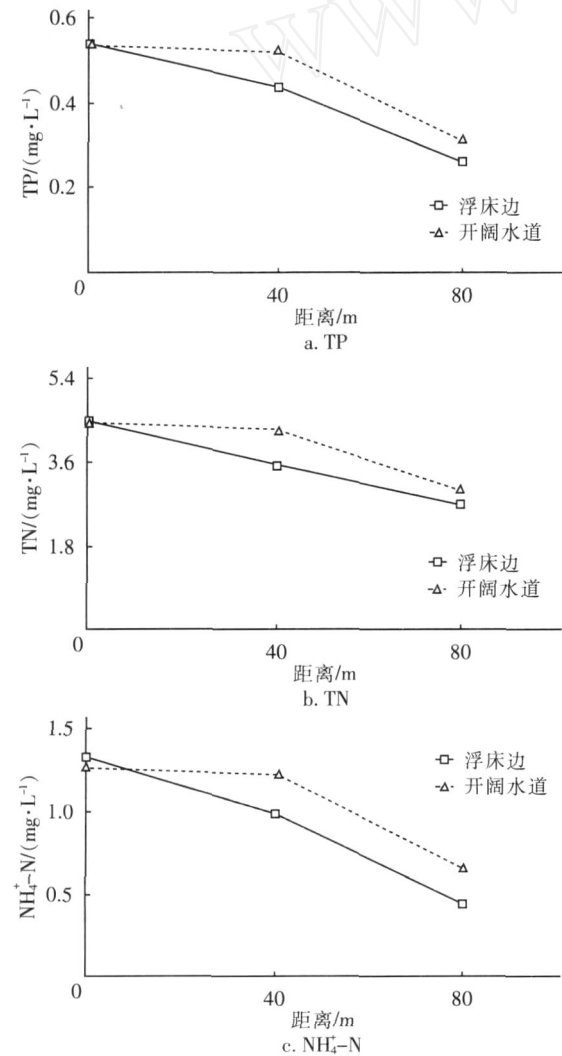


图 2 2005 年 6 月 9 日浮床段河水水质的空间变化

Fig 2 Spatial variation of water quality at project area of floating bed on June 9th, 2005

一般认为,可根据流经浮床前后的污染物浓度计算的去除率来评价其净化效果,但考虑到河水流向不定引起的湖水倒灌(7月 17 日取距河口约 20 m 的湖内水样,测得 DO 为 9.9 mg/L、TN 为 2.40 mg/L、TP 为 0.06 mg/L,明显优于河道内水质)及河流的自净作用^[10],水质的改善还包括湖水稀释和河道自净的贡献。该贡献可通过测定开阔水体的水质(采

样点 2[#]和 6[#])经计算得到,根据 6月 9日的数据,其对去除 TP、TN 和 NH₄⁺ - N 的贡献分别为 41. 5%、31. 5%、48. 8%。而按照浮床边水质(采样点 1[#]和 5[#])计算,则对 TP、TN、NH₄⁺ - N 的去除率分别为 51. 9%、39. 6%和 66. 9%。因此,浮床对 TP、TN、NH₄⁺ - N 的净去除率分别为 10. 4%、8. 1%、18. 1%。

2.3 浮床撤除前后的水质对比

由于水芹进入生长后期,6月 16日将水芹浮床撤除。浮床撤除前(6月 16日)和撤除后(7月 18日)均对 1[#]、5[#]采样点进行了采样分析,测定结果见表 3。

表 3 浮床撤除前后的净化效果对比

Tab 3 Comparison of purification effect before and after removal of floating bed mg · L⁻¹

项 目		TP	NO ₃ ⁻ - N	NO ₂ ⁻ - N	TN	NH ₄ ⁺ - N
6月 9日	1 [#]	0. 54	0. 46	0. 533	4. 49	1. 33
	5 [#]	0. 26	0. 94	0. 846	2. 71	0. 44
6月 16日	1 [#]	0. 37	0. 55	0. 46	4. 32	1. 14
	5 [#]	0. 25	0. 71	0. 56	3. 87	0. 99
7月 18日	1 [#]	0. 11	2. 14	0. 19	3. 37	0. 36
	5 [#]	0. 09	2. 00	0. 18	3. 06	0. 26

与 6月 9日相比,7月 18日的去除率显著降低,这说明当植物处于生长茂盛期时,浮床对河口水质具有显著的改善作用。与 6月 16日相比,7月 18日对 TP和 TN 的去除率仍较低,但对其他指标的去除效果反而较好,原因是 6月 16日水芹已进入生长后期,生理生态功能相应降低;同时这期间有多场降雨,导致污染物浓度降低。另外,7月 18日的水质净化效果还远不如 6月 9日开阔水道的净化效果。这说明:浮床不但改善了浮床边的水质,而且改善了整条河道的水质;在降雨等因素作用下河道内水质发生了变化,这增加了评价浮床净化效果的难度。

2.4 浮床改善水质的机理

入湖河口水质的改善是湖水稀释、河流自净和浮床净化等综合作用的结果。浮床改善水质的机理如下:植物在生长过程中对水中 N、P等营养元素的吸收利用;植物根系对悬浮物的吸附和过滤作用能富集水中的营养物质,对以颗粒态存在的磷有很好的净化效果,同时植物根系释出大量能降解有机物的物质,可加速对有机物的分解^[5];浮床植

物具有发达的根系,为硝化菌、反硝化菌等微生物的附着生长提供了巨大的表面,有利于微生物的大量繁殖、生长,提高对污染物的降解能力。

经过浮床处理后 NO₃⁻ - N 和 NO₂⁻ - N 浓度反而显著升高,这与氮存在形式的多样性和复杂的去除机理有关。河水中的许多细小悬浮颗粒(如粘土矿物)带有负电荷,铵离子很容易被其吸附,微生物通过硝化作用可将氨氮转化为硝态氮,使颗粒物恢复对铵离子的吸附功能,但颗粒物对带负电荷的 NO₃⁻ - N 和 NO₂⁻ - N 的吸附截留能力很低^[13]。而且水生植物喜欢利用氨氮,水生植物区的氨氮浓度一般较低^[14, 15]。有关氮的去除机理,从反应过程来说,学术界较为一致的认识是氨化作用和硝化反硝化作用,这三个过程一般可同时发生在人工湿地系统中,一个独立的生态系统内部可自然形成几个溶解氧条件不同的微环境,而不需要严格区分和控制好氧及厌氧 2个过程^[16]。

3 结论

在实施生态浮床工程之前,河口段的水质极差;而在生态浮床植物的生长茂盛期,浮床对河口水体有很强的净化能力,经过浮床段后,TN、TP 和 NH₄⁺ - N 浓度均得到明显降低。与浮床边相比,开阔水道的净化效果较差,说明水生植物在去除污染物方面起重要作用。

参考文献:

[1] 古滨河. 美国 Apopka 湖的富营养化及其生态恢复 [J]. 湖泊科学, 2005, 17(1): 1 - 8

[2] 李修岭,李伟,李夜光,等. 几种植物去除高度富营养化湖水中氮磷及抑藻效果的初步研究 [J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(1): 53 - 57.

[3] 吴永红,方涛,丘昌强,等. 藻 - 菌生物膜法改善富营养化水体水质的效果 [J]. 环境科学, 2005, 26(1): 84 - 89.

[4] 吴伟明,宋祥甫,金千瑜,等. 鱼塘水面无土栽培美人蕉研究 [J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(3): 206 - 210.

[5] 陈荷生,宋祥甫,邹国燕. 利用生态浮床技术治理污染水体 [J]. 中国水利, 2005, (5), 50 - 53

[6] 屠清瑛,章永泰,杨贤智. 北京什刹海生态修复试验工程 [J]. 湖泊科学, 2004, 16(1): 61 - 67.

(下转第 67 页)

- [2] 赵志领,赵洪宾,何文杰,等. 城市给水管网的水质变化规律研究 [J]. 中国给水排水, 2006, 22 (19): 44 - 46
- [3] 许仕荣,方伟,徐洪福. 城市供水系统的水质化学稳定性变化规律研究 [J]. 中国给水排水, 2007, 23 (11): 5 - 7.
- [4] 焦文海,刘志强,孙井梅,等. 供水管网的单向冲洗研究 [J]. 中国给水排水, 2007, 23 (7): 58 - 61.
- [5] 王洋,牛璋彬,张晓健,等. 某市给水管网铁细菌生长特征调查 [J]. 中国给水排水, 2007, 23 (1): 34 - 37.
- [6] 牛璋彬,王洋,张晓健. 给水管网中金属化学稳定性分析 [J]. 中国给水排水, 2005, 21 (5): 18 - 21.
- [7] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 (第 4 版) [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002
- [8] 王占生,刘文君. 微污染源饮用水处理 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1999.
- [9] 秦庆东,马军,查人光,等. PPC 替代高锰酸钾和臭氧处理微污染原水研究 [J]. 中国给水排水, 2007, 23 (7): 32 - 35.
- [10] 谢昌武,王毅力,刘囡,等. 强化混凝技术去除腐殖酸的研究进展 [J]. 中国给水排水, 2004, 20 (7): 37 - 39.
- [11] 龚云峰. 强化混凝在给水处理工程中的应用 [J]. 中国给水排水, 2000, 16 (12): 29 - 31.
- [12] 马军,何文杰,马玉新,等. 饮用水安全保障技术与国际研讨会论文集 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2005.
- [13] 沈晓丹,罗岳平. 借强化混凝控制消毒副产物 [J]. 城市公用事业, 2000, 14 (5): 22 - 24.
- [14] 姜登岭,张晓健. 饮用水中的磷及其在常规处理工艺中的去除 [J]. 环境科学学报, 2004, 24 (5): 796 - 801.
- [15] Carter J T, Rice E W, Buchberger S G, *et al* Relationships between levels of heterotrophic bacteria and water quality parameters in a drinking water distribution system [J]. Water Res, 2000, 34 (5): 1495 - 1502.
- [16] Sathasivan A, Ohgaki S. Application of new bacterial regrowth potential method for water distribution system—a clear evidence of phosphorus limitation [J]. Water Res, 1999, 33 (1): 137 - 144.

电话: (021) 54931662

E - mail: dancoo@163. com

通讯地址: 201100 上海市莲花南路 1108 弄 52 号 802 室

收稿日期: 2007 - 12 - 20

(上接第 63 页)

- [7] 井艳文,胡秀林,许志兰,等. 利用生物浮床技术进行水体修复研究与示范 [J]. 北京水利, 2003, (6): 20 - 22.
- [8] 马立珊,骆永明,吴龙华,等. 浮床香根草对富营养化水体氮磷去除动态及效率的初步研究 [J]. 土壤, 2000, 31 (2): 99 - 101.
- [9] 李芳柏,吴启堂. 无土栽培美人蕉等植物处理生活废水的研究 [J]. 应用生态学报, 1997, 8 (1): 88 - 92.
- [10] 宋祥甫,邹国燕,吴伟明,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 [J]. 环境科学学报, 1998, 18 (5): 489 - 493.
- [11] 邴旭文,陈家长. 浮床无土栽培植物控制池塘富营养化水质 [J]. 湛江海洋大学学报, 2001, 21 (3): 29 - 33.
- [12] 司友斌,包军杰,曹德菊,等. 香根草对富营养化水体净化效果研究 [J]. 应用生态学报, 2003, 14 (2): 277 - 279.
- [13] 张建,黄霞,魏杰. 地下渗滤污水处理系统的氮磷去除机理 [J]. 中国环境科学, 2002, 22 (5): 438 - 441.
- [14] Schneider S, Melzer A. Sediment and water nutrient characteristics in patches of submerged macrophytes in running waters [J]. Hydrobiologia, 2004, 527: 195 - 207.
- [15] 宋海亮,吕锡武,李先宁,等. 水生植物滤床预处理微污染源水 [J]. 中国给水排水, 2004, 20 (11): 6 - 9.
- [16] 张虎成,俞穆清,田卫,等. 人工湿地生态系统中氮的净化机理及其影响因素研究进展 [J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18 (4): 163 - 168.

电话: 13572584936

E - mail: greatyj@126. com

收稿日期: 2007 - 12 - 20