

卵砾石生态河床对河流水质净化和生态修复的效果

侯俊^{1,2}, 王超^{1,2}, 王沛芳^{1,2}, 钱进^{1,2}

(1. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要:为研究卵砾石生态河床在河流原位水质净化和生态修复中的效果,选择位于宜兴市大浦镇的林庄港作为试验河道进行原位观测,对比分析了卵砾石生态河床河段和自然河床河段中的生源要素变化规律和水生生物生长状况。试验结果表明:卵砾石生态河床河段对污染物质的截留效果明显好于自然河床河段,对氨氮和总磷的截留率可分别达到37%和25%,卵砾石生态河床的构建可显著提高河道的自净能力;卵砾石生态河床河段水生植被的生长密度和覆盖率均达到良好的水平,大型底栖无脊椎动物在敏感物种数、分类单元数和生物数量密度等方面均优于自然河段的;卵砾石生态河床为水生植物、底栖动物和附着生物等水生生物提供了适宜的栖息环境,对河流生态系统的健康起到了较好的改善作用。

关键词:水质净化;生态修复;截留率;生物膜;卵砾石河床

中图分类号:X171.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2012)06-0046-04

Effects of ecological gavel bed on water quality purification and ecological restoration in streams//HOU Jun^{1,2}, WANG Chao^{1,2}, WANG Peifang^{1,2}, QIAN Jin^{1,2}(1. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To study the effects of ecological gavel bed on water quality purification and ecological restoration in streams, the in-situ water quality and aquatic organisms in Linzhuanggang River of Dapu Town of Yixing City are monitored. The variation rules of biogenesis elements and the growth situations of aquatic organisms between the ecological gavel bed reach and the natural bed reach are compared. The test results show that the retention ability to pollutants by the ecological gavel bed reach is better than that by the natural reach, with the most retention rate of 30% and 25% to NH₃-N and TP respectively, and the ecological gavel bed can improve self-purification ability of streams significantly. The density and coverage of aquatic plants in the ecological gravel bed reach are in favorable condition. The sensitive species, taxa, biomass and density of macroinvertebrates in the ecological gravel bed reach are superior to those in the natural reaches. The ecological gavel bed provides suitable habitat environment for aquatic organisms such as aquatic plants, zoobenthos and fouling organisms, and it may improve the health of stream ecosystem.

Key words: water quality purification; ecological restoration; retention rate; biofilm; gavel bed

天然材料(如卵石、砾石及天然河床等)或人工合成接触材料(如塑料和纤维等)具有较大比表面积,生物容易在其表面聚集生长而形成生物膜,可以吸附降解水体污染物质,因此可以将这些材料布置在河床中,创造适宜生物膜生长的介质来强化水体的自净能力^[1-2]。例如,在河床底部铺设卵砾石,可使水与生物膜的接触面积增大数十倍甚至上百倍,水中污染物在卵砾石间流动过程中与其表面附着的生物膜接触并

被吸附,进而作为生源营养物质被生物膜吸收、分解和转化,从而使水质得到改善^[3]。

卵砾石接触氧化技术是国内外常用的河流水体水质净化技术,如日本坂川古崎净化场、日本野川净化场和韩国良才川净化场等,都是采用该技术对河流进行水质净化和生态修复的典型工程^[4],然而国内外大多将卵砾石接触氧化技术运用于河流的异位水质净化中,较少研究卵砾石河床的构建对河流生

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)(2010CB429006);国家自然科学基金(51109058);江苏省自然科学基金重点项目(BK2010076);水利部公益性行业科研专项(201101020);江苏省333高层次人才培养工程(BRA2010121)

作者简介:侯俊(1979—),男,湖北荆门人,助理研究员,博士,主要从事水资源保护与生态修复研究。E-mail:hhuhjyhj@126.com

态系统的修复效果^[5]。本研究选择宜兴市大浦镇的林庄港作为试验河道,构建卵砾石生态河床并对其原位水质净化和生态修复的效果和机理进行分析,为河流水质改善与生态修复提供经验借鉴。

1 研究区域与研究方法

1.1 地理位置与河道概况

试验河道林庄港位于太湖西岸宜兴市东部的平原圩区,区域内水网密布,共有大小河道 40 多条,属太湖水系。林庄港东起林庄港闸,西至溪西河口,长 1 818 m,宽 4 ~ 10 m,深 0.7 ~ 1.5 m,流速 0 ~ 20 cm/s。林庄港水体氨氮、总磷浓度超过 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅳ类水标准值,溶解氧浓度和透明度很低,自净能力很弱。和其他入湖河道一样,其水质的好坏直接影响到太湖的水质状况^[6]。

在林庄港选取卵砾石生态河床河段和自然河床河段各 200 m 作为试验河段进行对比研究。卵砾石生态河床以卵砾石铺垫河床底部,宽 6 m,厚约 0.5 m;选用土著物种金鱼藻进行修复,修复河长 335 m,种植密度 15 株/m²,种植面积 3 800 m²。自然河床为淤泥河床底质,无水生植物,宽 8 m。试验河段内无排污口、入河支流口及引水口。

1.2 样品采集与分析化验

a. 水质指标监测。水质采样取试验河段的上游、中游和下游 3 个断面,每个断面设一个采样点,位于河中心水面下 0.5 m 处。卵砾石生态河床建设后的 6—12 月,每月连续进行 3 天监测,每天采样时间为 8:00,12:00 和 16:00,分析水样中的高锰酸盐、氨氮和总磷等指标,以截留率表示试验河段对水体的净化效果(截留率为上下游污染物质浓度之差与上游污染物质浓度的比值)。

b. 大型底栖无脊椎动物检测。卵砾石生态河床河段和自然河床河段各设一个采样断面,于卵砾石生态河床建设后次年的 8 月和 11 月采集两次大型底栖无脊椎动物的样品。采用人工基质采样器(为直径 18 cm、高 20 cm 的圆柱形铁笼,笼底铺一层 40 目尼龙筛绢,装 7 ~ 9 cm 砾石),在河道中放置 14d 后取出,泥样经孔径为 40 目分样筛筛去污泥浊水,剩余物带回实验室完成样本清检、固定、鉴定、计数及换算等工作。

c. 微生物菌类检测。以水体、河床底质、护岸材料以及水生植物等附着介质为采样对象,于卵砾石生态河床建设后次年的 6—10 月,采取各河段的不同附着介质,装入经过灭菌处理的玻璃瓶中,并加入适量该采样点水样,带回实验室立即对附着的细菌总数、亚硝酸菌、硝酸菌和反硝化菌采用最大可能

数法(MPN 法)进行分析。

2 试验结果与分析

2.1 试验河段内生源要素变化规律

2.1.1 氨氮的变化规律

如图 1 所示,在自然河床河段,氨氮的截留率一般为 0 ~ 8% (9 月截留率为负值,主要是因为农民在该河段的下游断面附近清洗过装氮肥的塑料袋),其截留主要是氨氮由水体向底泥扩散,底泥中的微生物通过硝化作用将其转化为硝氮^[7]。卵砾石生态河床河段对氨氮表现出较高的截留效果,除 6 月外,其他时期达到 13% ~ 37%,可见卵砾石表面生物膜和金鱼藻的存在很大程度上增加了对氨氮的截留,同时,金鱼藻的光合作用创造了利于硝化作用的好氧环境,冬季金鱼藻腐烂时河段仍保持较高的氨氮截留率,说明此时微生物仍在活动,也说明卵砾石表面生物膜吸附和硝化作用是去除氨氮的主要原因。

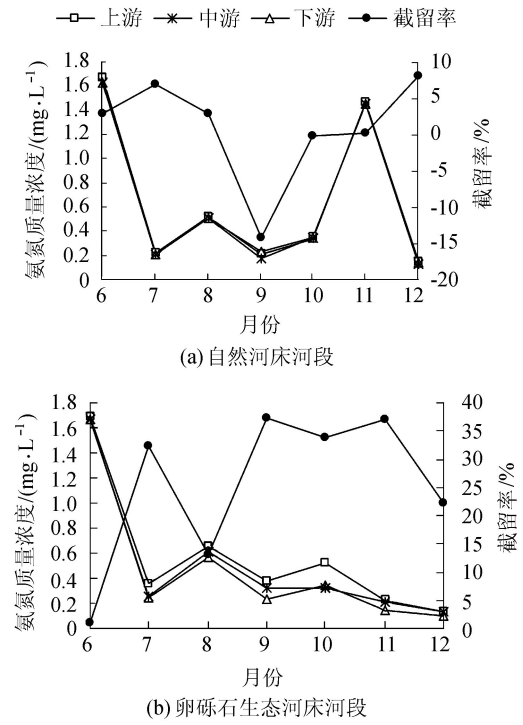


图 1 试验河段氨氮变化规律

2.1.2 总磷的变化规律

如图 2 所示,自然河床河段大部分时期总磷的截留率为 0 ~ 6%,说明自然河道对磷有一定的自净能力,主要是靠不溶性磷的沉淀和底泥对磷的吸附完成的^[8]。卵砾石生态河床河段在 6—8 月对总磷保持了较高的截留效果,截留率为 10% ~ 25%。卵砾石表面的生物膜对水体中的磷具有重要的截留作用,而且这段时期金鱼藻生长旺盛,一方面大量吸收水体中其生长所需的可溶性磷酸盐,另一方面在水中形成了一道屏障,大量拦截吸附水中不溶性磷并

促使其沉积下来。11—12 月对磷的截留率为负值,是因为藻类和大型水生植物的衰亡腐烂会释放出部分磷,导致总磷浓度沿程升高。

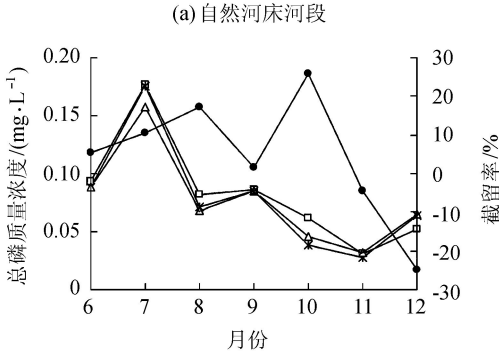
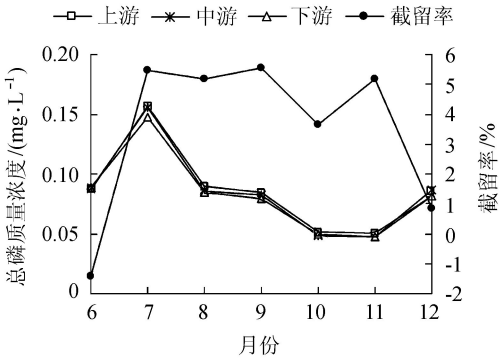


图2 试验河段总磷变化规律

2.2 河道内水生生物生长状况

2.2.1 大型水生植物

林庄港水域中沉水植物有水盾草、苦草、菹草、轮叶黑藻、金鱼藻、眼子菜和狐尾藻等;浮水植物有槐叶萍、浮萍和水花生等;挺水植物有芦苇、茭草和水芹菜等。卵砾石生态河床河段的大型水生植物主要种类为金鱼藻,其覆盖率达到 65% 以上,而自然河床河段无水生植物生长。金鱼藻一般春季开始生长,夏末生长最旺,冬季衰亡以营养繁殖体形式散布水底。卵砾石生态河床河段沿岸还分布少量的水花生和茭草,其生长规律大致与金鱼藻相似。

2.2.2 大型底栖无脊椎动物

各河段的大型底栖无脊椎动物分布和统计情况如表 1 和表 2 所示,卵砾石生态河床河段的大型底栖无脊椎动物敏感物种数、分类单元数和生物数量密度均大于自然河床河段的^[9]。

由于研究河段为同一条河流的连续河段,在影响底栖动物生长的多个因素中,流速和水深沿河道变化较小,水体质量也比较接近,因此各河段底栖动物差异性分析中可以忽略这些因素,认为底栖动物生长状况的差异主要是由于不同的底栖环境(由河床底质和水生植被所构成)所引起的^[11]。卵砾石生态河床河段底质为卵砾石和金鱼藻,而自然河床河

段则是淤泥。在由卵砾石和金鱼藻构成的底栖环境中,大型底栖无脊椎动物的种类丰富,这是因为卵砾石底质稳定,而且其表面有利于附着型底栖生物的生长,如仙女虫、蛭类、涡虫和螺类等;河底沉水植物金鱼藻为小型螺类提供了繁殖和生长的场所,也是水生昆虫、幼虫和仙女虫类的喜好聚集地区。淤泥底栖环境中大型底栖无脊椎动物的数量密度和种类均较小,这说明创造多样性的底栖环境对大型底栖无脊椎动物生长分布有重要影响。

表 1 试验河段大型底栖无脊椎动物分布情况

种 类	耐污 值 ^[10]	大型底栖无脊椎动物/个			
		8 月		11 月	
		卵砾石 生态河床 河段	自然河 床河段	卵砾石 生态河床 河段	自然河 床河段
环节动物		6	4	5	6
霍甫水丝蚓	9.4	0	2	1	2
苏氏尾腮蚓	8.5	1	1	1	3
巨毛水丝蚓	5.7	2	1	2	1
仙女虫	3.0	1	0	0	0
扁 蛭	8.0	1	0	1	0
涡 虫	1.0	1	0	0	0
软体动物		8	4	8	3
中国圆田螺	7.0	1	0	0	0
中华圆田螺	7.0	1	1	1	0
铜锈环棱螺	7.0	0	1	0	2
梨形环棱螺	4.3	1	0	0	0
长角涵螺	5.5	2	1	2	0
方格短沟螺	4.5	1	0	0	0
纹 沼 螺	5.0	1	0	2	1
中华沼螺	5.0	0	0	1	0
萝卜螺	8.0	0	0	0	0
光滑狭口螺	4.0	0	1	1	0
大脐圆扁螺		1	0	1	0
水生昆虫		4	1	2	2
摇蚊属	9.1	0	0	0	1
明摇蚊属	9.1	0	0	1	1
羽摇蚊属	9.1	1	1	0	0
蜻 科	8.5	1	0	0	0
蜓 科	2.3	1	0	0	0
虻 科	7.0	1	0	1	0
甲壳动物		2	0	0	0
虾		1	0	0	0
螃蟹		1	0	0	0

表 2 试验河段大型底栖无脊椎动物统计

河 段	分类单元数				生物数量密度/(个·笼 ⁻¹)			
	环节 动物	软体 动物	水生 昆虫	甲壳 动物	环节 动物	软体 动物	水生 昆虫	甲壳 动物
卵砾石生态 河床河段	6	9	5	2	5.5	8.0	3.0	1.0
自然河床 河段	3	5	3	0	5.0	3.5	1.5	0.0

2.2.3 附着微生物

试验河道内的 pH 值为 7.1 ~ 7.8,适合绝大部分氮循环细菌的生长;溶解氧为 2.20 ~ 4.86 mg/L,

提供了好氧的环境供细菌生长;取样期间水温基本为 20~35℃,也基本保证了细菌的正常生长^[12]。试验河段介质表面附着细菌情况见表 3。水体中由于缺少营养物质,氮循环细菌的数量较少;而河床底泥中富含营养物质,故细菌数量明显较高;卵砾石、护岸材料和水生植物表面均存在一定厚度的生物膜,附着生长了一定数量的细菌。可以看出,河道中的介质(包括自然的和人工的)为微生物的繁殖生长提供了良好的附着环境,介质上附着的有机物质成为微生物的重要营养来源,微生物逐渐在介质表面聚集生长以致形成生物膜,河水中的有机和无机杂质进而被生物膜吸附,通过微生物的生理作用得以去除。

表 3 试验河段介质表面附着细菌统计 万个/cm ²				
介质种类	总菌数	亚硝酸菌	硝酸菌	反硝化菌
卵砾石	890	7.700	1.800	0.1100
生态混凝土	21	0.120	0.020	0.0130
木 桩	17	0.012	0.020	0.0012
石 笼	10	0.630	0.020	0.0074
芦 苇	98	2.400	0.300	0.0960
菱 草	85	0.930	0.090	0.0700
水花生	17	1.000	0.092	0.0960
槐叶萍	98	0.870	0.030	0.0770
菹 草	110	1.200	0.180	0.1000
金鱼藻	390	2.600	0.300	0.2500

从表 3 可以发现,各附着介质表面细菌数量从多到少依次为卵砾石、沉水植物、挺水植物、浮水植物、生态混凝土、木桩和石笼。卵砾石覆盖于河床底部,比表面积很大,大量有机碎屑沉积于其表面,因而具有较大的细菌数量;水生植物特别是沉水植物金鱼藻具有巨大的比表面积,容易吸附大量有机物质^[13],而且通过光合作用能提供细菌生长所需的好氧环境,所以也非常适宜细菌生长。

3 结 论

- a. 砂砾石生态河床河段对污染物质的截留效果明显好于自然河床河段的,对氨氮和总磷的截留率可分别达到 37% 和 25%,表明卵砾石生态河床的构建可显著提高河道的自净能力。
- b. 卵砾石生态河床河段中的水生植物呈现出多样化的群落特征,水生植被生长密度和覆盖率均达到良好的水平。
- c. 卵砾石生态河床河段中的大型底栖无脊椎动物在敏感物种数、分类单元数和生物数量密度等方面均优于自然河床河段的,其卵砾石与沉水植物相结合的河床为底栖动物生长创造了适宜的生境条件。
- d. 各种附着介质表面的细菌数量从多到少依次为卵砾石、沉水植物、挺水植物、浮水植物、生态混

凝土、木桩和石笼,表明卵砾石生态河床河段为附着生物提供了良好的附着介质,上述规律也为生态工程的材料选择提供了一定的参考依据。

参考文献:

[1] 王超,王沛芳. 城市水生态系统建设与管理[M]. 北京: 科学出版社,2004.

[2] 朱党生,张建永,李扬,等. 水生态保护与修复规划关键技术[J]. 水资源保护,2011,27(5):59-64.

[3] 田伟君,王超,李勇,等. 城市污染水体强化净化技术研究进展[J]. 河海大学学报:自然科学版,2004,32(2):36-139.

[4] 长内武逸. 砾间接触氧化法直接净化河流水质研究[J]. 用水与废水,1990,32(8):16-25.

[5] 唐萍,翟红娟,邹家祥. 三峡库区水环境保护与生态修复初步研究[J]. 水资源保护,2011,27(5):43-46.

[6] 侯俊. 生态型河道构建原理及应用技术研究[D]. 南京:河海大学,2005.

[7] MITSCH W J, JORGENSEN S E. Ecological engineering and ecosystem restoration[M]. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc. ,2004:22-24.

[8] MITSCH T. Nitrogen and phosphorus retention in wetland-ecological approaches to solving excess nutrient problems[J]. Ecological Engineering,2000,14(1):1-7.

[9] HOU Jun, WNAG Chao, WANG Peifang, et al. Application of biological index in assessment of the impacts of ecological engineering on river ecosystem health[C]//The Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering. New York: Curran Associates, Inc. , 2011: 3908-3911.

[10] 王备新. 大型底栖无脊椎动物水质生物评价研究[D]. 南京:南京农业大学,2000.

[11] 段学花,王兆印,田世民. 河床底质对大型底栖动物多样性影响的野外试验[J]. 清华大学学报:自然科学版,2007,47(9):1553-1556.

[12] 周群英. 环境工程微生物学[M]. 北京:高等教育出版社,2000.

[13] 陈润,陈中祥,莫李娟. 不同基质和植物人工湿地净化效果试验[J]. 水资源保护,2010,26(5):59-64.

(收稿日期:2012-05-03 编辑:周红梅)

