

固定化微生物技术处理微污染水源水的实验研究

何延青¹, 刘俊良², 王春杰³

(1. 河北建筑工程学院城建系, 河北 张家口 075024; 2. 河北农业大学城建学院, 河北 保定 071001;
3. 张家口市教育学院生化系, 河北 张家口 075000)

摘 要:研究固定化微生物技术处理微污染水的运行效果, 分析载体、微生物、原水高锰酸盐指数等影响因素对固定化微生物技术的净水效能的影响。试验结果表明:工程菌人工固定化形成的生物活性炭对微污染水中有机物去除率较高, 并且稳定, 高锰酸盐指数去除率平均 40%; 出水高锰酸盐指数小于 2.5 mg/L, 浊度小于 1.0 NTU, 细菌总数小于 100 (cfu/mL), 总大肠菌群未检出。

关键词:微生物; 固定化技术; 微污染

中图分类号:R123.5 **文献标识码:**A

Experimental Study on Treatment of Slightly Polluted Source Water Using Immobilized Microorganism Technology

HE YAN-qing¹, LIU Jun-liang², WANG Chun-jie³

(1. Hebei Institute of Architecture and Civil Engineering, Zhangjiakou 075024;

2. Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;

3. Biological and chemical Department, Zhangjiakou Educational Institute, Zhangjiakou 075000, China)

Abstract: The effects of immobilized microorganism technique on the treatment of slightly polluted water are studied, and the influences of the carrier, microorganism, and the index of permanganate of raw water on the purification effects of the immobilized microorganism technique are analyzed. The results of the experiment show that the bio-activated carbon of engineering-bacteria artificial immobilization have the characteristic of high and stable removal rate for the organism in the slightly polluted water. The removal rate for the index of permanganate is 40%, and the index of permanganate is less than 2.5 mg/L, the turbidity is less than 1.0 NTU, the amount of bacteria is less than 100 (cfu/mL), and the total coliform flock is not found in the final effluent.

Key words: microorganism; immobilization technology; slightly polluted

0 引言

水资源缺乏和水域污染已成为我国经济发展的制约因素之一, 我国 7 大水系和内陆河流 110 个重点河段, III、IV、V 类水质占 68%, 我国现有河流近 1/2 河长受到污染, 1/10 河长受到严重污染, 全国城市 90% 水域受到污染, 大河干流占 13%, 支流 55% 被污染^[1]。而我国在现有条件下, 近期不可能把所有水厂水源都改为较好水源, 同时, 也无法将排入河流的污水全部处理达到自来水水源水质标准, 因此, 潜心研究微污染水源水处理技术、提高自来水水质成为当务之急^[2,3]。

臭氧-活性炭作为微污染水源水的深度处理工艺已被普

遍接受^[4,5], 但由于活性炭使用寿命较短, 致使采用此技术后水处理运行成本较高, 因而限制了该技术的全面推广和应用^[6,7]。为了延长活性炭的使用寿命, 降低运行成本, 采用生物工程技术, 筛选、驯化出能够去除微污染有机物的工程菌, 并通过固定化手段, 分别形成生物活性颗粒, 在实验室进行了研究。

1 实验方法

1.1 工程菌的筛选、培养与驯化

从自来水管网末端采集水样, 通过控制培养基的营养成分分离筛选出高效分解微量有机物的微生物。

将筛选的菌株依次在全营养到贫营养的培养基中培养驯化, 强化菌株适宜贫营养环境和降解微量有机物的能力。

1.2 工程菌的固定化

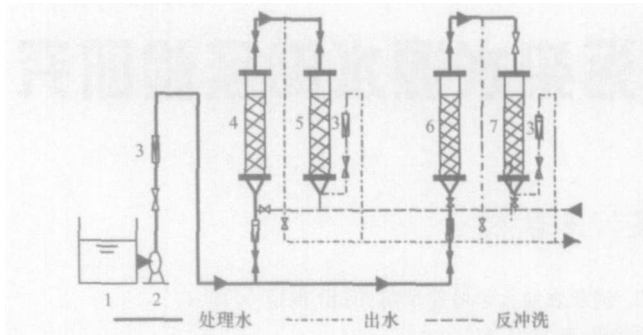
采用物理吸附法, 将培养、驯化的工程菌固定在适当的载体上^[8~10]。工程菌固定化装置见图 1, 装好载体柱后采用间歇式循环物理吸附法进行工程菌的固定化, 即将培养、驯化好的

收稿日期: 2007-01-05

基金项目: 2002 年河北省普通高等学校博士科研资助基金计划 (B2002205)。

作者简介: 何延青 (1967-), 女, 副教授。

工程菌菌液循环通过载体柱 2 h, 停止静置 4 h, 重复这一过程 5 次, 即可投入实验运行。



1-配水箱;2-水泵;3-流量计;4-载体柱;5-砂滤柱;6-载体柱;7-砂滤柱

图1 实验装置及工艺流程图

1.3 固定化微生物颗粒处理微污染水源水

1.3.1 实验用水

为了模拟微污染水源水条件, 本实验采用一定量的生活污水经高温消毒、高倍稀释后的配水进行实验。配水的高锰酸盐指数在 2~5 mg/L, 有个别超过 5 mg/L 的情况。

1.3.2 实验装置

如图 1 所示, 实验设备用完全相同的 4 根有机玻璃(直径 150 mm, 高 1.6 m, 填料高 100 cm) 并列作为 2 组。每组分别是 1 个处理单元, 由微生物载体柱和砂滤柱构成, 2 组并联运行。

实验工艺流程为: 原水—配水箱(高倍稀释)—生物柱—砂滤柱—出水。

实验运行条件: 温度为室温; pH 为中性; 生物处理柱 HRT 为 20 min; 滤速为 10 m/h。

1.3.3 测定项目

主要通过高锰酸盐指数来测定水中有机物的去除率, 比较不同处理方法的运行效果。因此, 以高锰酸盐指数为主, 测定以下项目^[11]: ①高锰酸盐指数; ②浊度—分光光度法(722 型分光光度计); ③细菌总数—平板菌落计数法。

2 实验结果与讨论

2.1 筛选的工程菌

通过分离和纯化, 从自来水中共分离出 15 株菌。在取样分离的同时, 对水样进行了细菌总数和大肠菌群数的测定, 同时, 还对水中的粪型链球菌、粪大肠菌等细菌的一些指标进行了测定, 证明水中不存在这些细菌, 从而保证了所分离的菌株不存在病原微生物和分离筛选的菌株的安全性。

2.2 处理微污染水的净化效能分析

2.2.1 载体对固定化微生物颗粒净水效能的影响

作为微生物载体应有利于微生物的固定化和生长繁殖, 保持较多的生物量; 有利于微生物代谢过程中所需氧气和营养物质以及代谢产生的废物的传质过程。综合各类载体理化特性, 既考虑颗粒的比表面积, 又考虑其总孔容积, 同时还要考虑微孔、过渡孔和大孔各自所占比率等等^[4]。本研究选择页岩陶粒和活性炭作为微生物固定化的载体。

如图 1 所示, 将固定化微生物活性炭柱 4 和固定化微生物陶粒柱 6 反冲洗, 冲掉颗粒表面附着的微生物细胞。在柱 5 和

柱 7 装入沙子。模拟水经泵同时分别流经生物活性炭柱、砂滤柱和生物陶粒柱、砂滤柱, 测定进出水的高锰酸盐指数, 分析比较其运行效果。

从 2004 年 11 月到 2004 年 12 月对固定化生物活性炭(记作 A 柱)与陶粒(记作 B 柱)进行了试验, 高锰酸盐指数及其去除率的变化规律见图 2 和图 3。

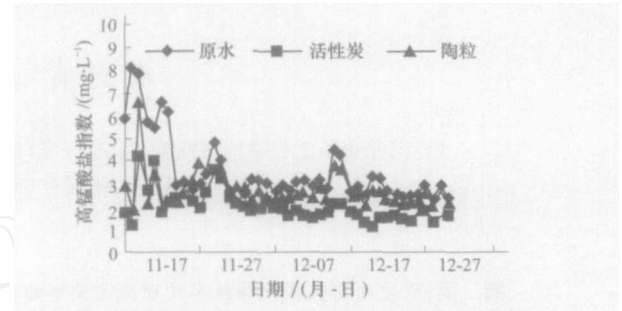


图2 高锰酸盐指数变化规律

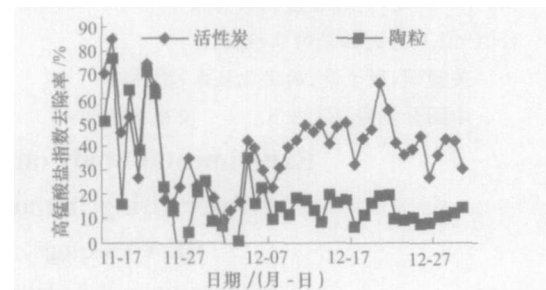


图3 高锰酸盐指数去除率变化规律

从图 2 看出, A 柱出水的高锰酸指数始终低于 B 柱。从图 3 高锰酸盐指数去除率的变化规律也明显看到活性炭处理单元的高锰酸盐指数去除率比陶粒处理单元高, 平均为 42%, 陶粒处理单元的高锰酸盐指数去除率平均 18.8%。固定化生物活性炭的净水效能要比陶粒好。

2.2.2 微生物对固定化微生物颗粒净水效能的影响

从 2005 年 3 月到 2005 年 5 月对工程菌人工固定化生物活性炭与自然形成的生物活性炭进行了试验, 如图 1 中柱 4 装活性炭, 用循环固定化的方法固定化工程菌, 反冲洗后投入运行(记作 A 柱)。柱 6 装活性炭不进行工程菌固定化直接投入运行(记作 B 柱)。高锰酸盐指数及其去除率的变化规律去除率见图 4、图 5。

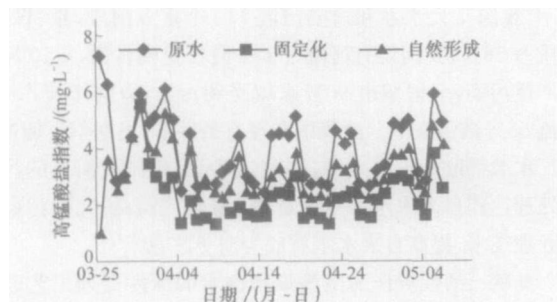


图4 高锰酸盐指数变化规律

如图 4, A 柱出水的高锰酸指数低于 B 柱。如图 5, 运行第 1 天, B 柱高锰酸盐指数的去除率很高, 达 85.7%, 但随后去除率迅速下降, 到第 4 天时, 去除率降到最低近似为零。之后, 随

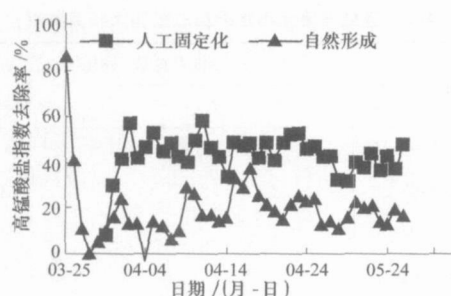


图5 高锰酸盐指数去除率变化规律

着运行,去除率逐渐有所回升,但去除率不稳,只是到了运行后期才基本趋于稳定。而A柱虽在开始时,高锰酸盐指数的去除率比较低,但运行几天后,去除率一直很稳定,基本保持在40%左右。从总的运行效果来看,利用筛选、驯化的工程菌形成的生物活性炭的净水性能明显优于自然形成的生物活性炭。

2.2.3 进水的高锰酸盐指数对生物活性炭净化效能的影响

为了研究进水不同的高锰酸盐指数情况下生物活性炭的净化效能,利用上文中的实验装置反冲洗后,从2005年5月10日开始,严格控制配水以保证原水的高锰酸盐指数基本稳定。先在原水高锰酸盐指数2.5 mg/L左右运行一段时间,待运行稳定后增加原水高锰酸盐指数到3.5 mg/L左右运行。如图6~图9是在这一运行期间的数据分析。

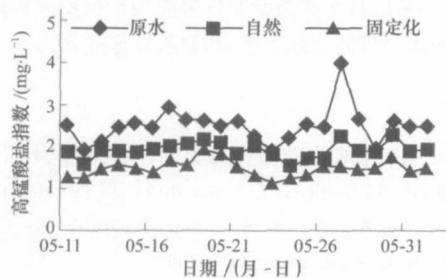


图6 高锰酸盐指数变化规律

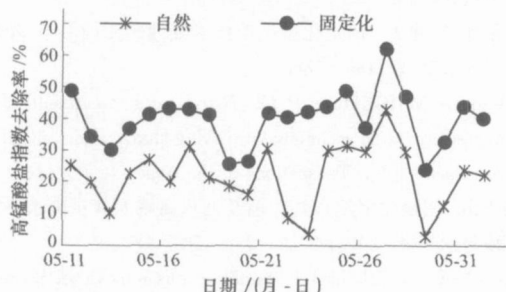


图7 高锰酸盐指数去除率(%)变化规律

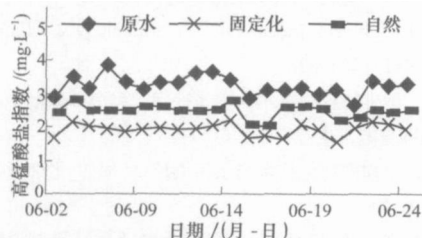


图8 高锰酸盐指数变化规律

(1)原水高锰酸盐指数2.5 mg/L左右的运行效果。从图6和图7可以看出,进水的高锰酸盐指数在2.5 mg/L左右时,

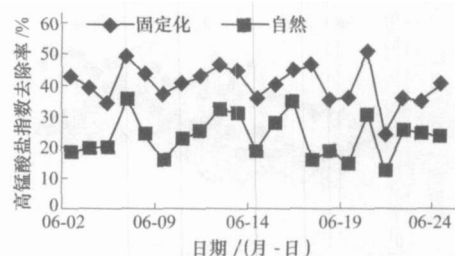


图9 高锰酸盐指数去除率(%)变化规律

人工固定化生物活性炭柱(A柱)、自然形成的生物活性炭柱(B柱)出水的高锰酸盐指数基本稳定,但A柱出水的高锰酸盐指数明显低于B柱,A柱出水的高锰酸盐指数基本保持在1.5 mg/L左右。A柱高锰酸盐指数去除率较高,平均在40%左右,B柱高锰酸盐指数去除率平均在20%左右。

(2)原水高锰酸盐指数3.5 mg/L左右的运行效果。从图8和图9可以看出,进水的高锰酸盐指数3.5 mg/L左右时,人工固定化生物活性炭柱(A柱)、自然形成的生物活性炭柱(B柱)出水的高锰酸盐指数也基本稳定,同样A柱出水的高锰酸盐指数明显低于B柱,A柱出水的高锰酸盐指数基本保持在2.0 mg/L左右。A柱高锰酸盐指数去除率较高,平均在43%左右,B柱高锰酸盐指数去除率平均在22%左右。高锰酸盐指数作为营养物质对工程菌的净化效率影响较大,从高锰酸盐指数的去除率来看,进水高锰酸盐指数浓度较高时,其去除率也较高,这与有关的研究结果是相一致的^[6]。

2.2.4 旧的活性炭固定化的实验研究

一直以来限制活性炭在水处理领域广泛使用的重要因素是活性炭的价格比较昂贵,再生困难。所以想用用过的旧炭作固定化微生物的载体,如果固定化后运行效果好,就可以重复使用旧炭,取得环境和经济的双重效益。为了对比分析旧炭的运行效果,把上面装置中的炭取出,将高锰酸盐指数去除率不高的自然形成的生物活性炭自然干燥后再装入柱内(仍记作B),另一柱装入没用过的新的活性炭,用循环的方式进行工程菌的人工固定化后投入运行(记作A)。

从图10和图11中可以看出,干燥后再人工固定化的生物活性炭的运行效果明显好于原来自然形成的生物活性炭,高锰酸盐指数的去除率平均提高到28.5%。这是由于旧炭经干燥后,破坏了炭表面已经形成的生物膜,重新空出吸附位供工程菌吸附,出现了较高的去除率,因此说明旧炭经干燥后再固定化可以形成生物炭。但其对高锰酸盐指数的去除效果还是没有新炭工程菌人工固定化的好,新炭固定化后高锰酸盐去除率稳定,平均为41.2%。这是因为旧炭经使用,其表面孔隙已被水中的有机物占据,所以短时期内工程菌同时要降解已吸附在炭上的有机物,使旧炭得到生物再生。另外,旧炭在运行时其表面已有野生菌生长,其分泌物使炭表面形成的生物膜也影响了其吸附能力,同时影响了工程菌在活性炭上的固定化。但运行后期经人工固定化的生物活性炭的高锰酸盐指数的去除率有明显的增加,是因为工程菌是经过驯化的特殊菌群,对进水条件比野生菌适应力更强,因而通过营养物质和生存空间的竞争逐渐形成取代原野生杂菌成为优势种,这时会表现出更强的去除率。

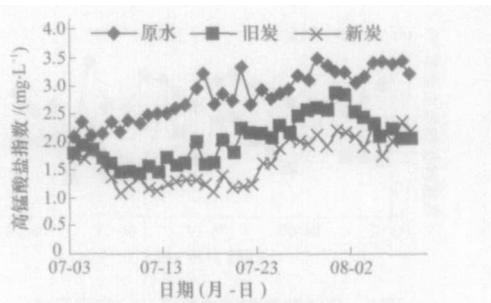


图 10 高锰酸盐指数变化规律

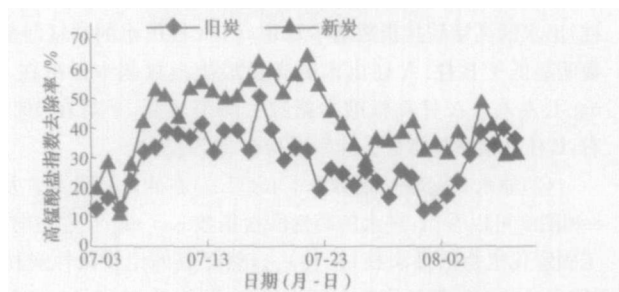


图 11 高锰酸盐指数去除率(%)变化规律

2.3 浊度的测定结果

造成水中浊度的原因很复杂,如泥砂、悬浮物及胶体有机物等均有可能产生浊度。从固定化后的 2005 年 3 月 30 日~6 月 22 日内各处理单元出水浊度平均值,见表 1。

表 1 各处理单元出水浊度 NTU

原 水	自 然		固定化	
	炭柱	砂滤	炭柱	砂滤
1.40	1.19	0.86	0.73	0.29

从表 1 中看出,原水经生物活性炭和砂滤后,出水浊度平均为 0.29NTU 和 0.86NTU,且最高不超过 1.0NTU,这低于国家 2001 年 10 月实施的饮用水标准中提出的新标准(1.0 NTU),表明生物活性炭的稳定运行期不会影响出水浊度。

2.4 细菌总数及大肠菌群数的测定结果

我国生活饮用水的卫生学指标(2001 年 10 月实施)规定,细菌总数不超过 100cfu/mL,大肠菌群数不得检出。在 2005 年 3 月到 7 月运行期间对 A、B 柱作了细菌总数(平板菌落计数法)和大肠菌群数(多管发酵法)的测定,以考察出水是否符合卫生学指标,结果见表 2。

固定化的 A 柱仅在运行的第 1 天测定的细菌总数超标,以后的出水均与 B 柱一样符合标准,这是因为循环固定化过程中工程菌数量较大,虽经反冲洗,运行后仍残留相对较多的工程菌,以致使出水中细菌总数较高,但随着不断的运行,游离菌被洗掉,使出水细菌总数大大减少。

第 1 天运行的超标水不会对饮用水水质产生影响,因为工程菌已经过鉴定为无害菌。大肠菌群数均未检出。

3 结 语

(1)通过培养和驯化,强化分离出的工程菌在贫营养条件下的生长繁殖能力和对微量有机物的分解能力,使其能够有效地去除水中的微污染有机物。

(2)采用物理吸附法,以活性炭为载体将工程菌固定化形

表 2 各处理单元出水细菌总数和大肠菌群数

时 间	细菌总数/(cfu · mL ⁻¹)	
	A 柱	B 柱
2005-03-25	131	0
2005-03-28	24	19
2005-04-06	9	5
2005-04-15	-	-
2005-04-26	4	2
2005-05-06	1	3
2005-05-13	1	1
2005-06-06	-	6
2005-06-15	1	0

注:未检出大肠菌群数。

成人工固定化生物活性炭,用以处理水中微污染有机物的去除率比自然形成的生物活性炭要高,而且一直很稳定,基本保持在 40%左右。原水经生物活性炭和砂滤后,出水高锰酸盐指数小于 2.5 mg/L,浊度小于 1.0 NTU,细菌总数小于 100 cfu/mL,总大肠菌群未检出,符合国家饮用水水质标准。因此,固定化生物活性炭技术可以作为一种高效、稳定、安全的微污染水源水处理技术或饮用水深度净化技术。

(3)近年来已将本实验研究成果应用于饮用水深度处理及微污染水源水处理的实际工程,均取得良好效果。 □

参考文献:

- [1] 万本太. 中国水资源的问题与对策[J]. 环境保护, 1997, (7).
- [2] B Doppelt, M Scurlock, C F rissell, et al. Entering the Watershed. A New Approach to Save Americas River Ecosystems[R]. Island Press. Washington. D. C., 1993.
- [3] 王占生, 刘文君. 微污染水源饮用水处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [4] 齐水冰, 罗建中. 固定化微生物技术处理废水[J]. 上海环境科学, 2002, 3(21): 185 - 188.
- [5] Vanotti M B, Hunt P G. Nitrification treatment of swine wastewater with acclimated nitrifying sludge immobilized in polymer pellets[J]. Transactions of the Asae, 2003, 43(2).
- [6] 杨秀山. 固定化甲烷八叠球菌及处理高浓度有机废水研究[J]. 环境科学学报, 2003, 23(2): 282 - 284.
- [7] Nagadomi H, Takahasi T. Simultaneous removal of chemical oxygen demand nitrate in aerobic treatment of sewage wastewater using an immobilized photosynthetic bacterium of porous ceramic plates[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2004, 16(1): 57 - 62.
- [8] 张蔚文. 微生物育种技术在废水处理工程菌株研制中的应用[J]. 城市环境与城市生态, 1993, 6(1): 23 - 29.
- [9] 王建龙. 生物固定化技术与水污染控制[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 10 - 11.
- [10] 马 放, 王宝贞, 孙建平. 固定化生物活性炭除微污染有机物的实验研究[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1998, 31(5): 52 - 57.
- [11] 喻 林. 水质监测分析方法标准实务手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 377 - 380.