

# 锰细菌的选育及其固定化除锰

张凤君, 王斯佳, 钟爽, 吴连峰, 朱 彧

吉林大学环境与资源学院, 长春 130061

**摘要** 从成熟滤柱中成功筛选出3种具有去除 $Mn^{2+}$ 效果较强的革兰氏阳性细菌,并对其生理生化特性进行详细研究。3种菌体适宜生长的pH值和温度范围很广,在富营养和贫营养条件下都可以良好生长,并对 $Mn^{2+}$ 去除效果很好,去除率均在86%以上,去除率增高阶段对应菌体的对数生长期阶段。采用聚乙烯醇和海藻酸钠混合包埋的方法将菌体包埋,制成的固定化颗粒机械强度高,传质性能好;固定化颗粒与廉价河砂混合填埋的柱子对贫营养模拟水中的 $Mn^{2+}$ 去除效果很好,3种菌体最大去除率均大于85.6%。

**关键词** 锰氧化细菌;筛选;生物学特性;除锰;固定化

中图分类号 X523

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.09.003

## Breeding of Manganese-oxidizing Bacteria and Application of Manganese Removal by Immobilization Technology

ZHANG Fengjun, WANG Sijia, ZHONG Shuang, WU Lianfeng, ZHU Yu

College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130061, China

**Abstract** Manganese is one of most important elements for the people health, but drinking water with excess manganese will cause chronic poisoning for the people. Thus there is a need for developing effective manganese removal method in the water treatment. Due to the high efficiency and low cost, biological manganese removal technology has been investigated and applied to many cases. The manganese removal is achieved in here by oxidizing  $Mn^{2+}$  bacteria. Three high manganese oxidizing bacteria which were gram-positive were screened from the mature filtration column and their physiological and biochemical characteristics were investigated. All three bacteria can grow well in wide range of pH and temperature. The removal efficiency of  $Mn^{2+}$  by these bacteria could reach at more than 86% in both eutrophic and oligotrophic conditions. The removal efficiency of  $Mn^{2+}$  is increased with time in the logarithmic stage. The cells are embedded with the mixed PVA and Alginate. The results show the high mechanical strength and good mass transfer performance. The maximum removal rates of  $Mn^{2+}$  by the three bacteria are all above 85.6% when the columns are filled with the mixed immobilized balls and the low-cost river sand.

**Keywords** manganese-oxidizing bacteria; screening; biological characteristics; manganese removal; immobilized

### 0 引言

锰元素是主要的生理元素,在自然界分布广泛,属于高等动物不可缺少的10种微量元素之一。但是,长期饮用锰超标的水会使人体慢性中毒。而且,过量的锰还会损害人类的中枢神经系统<sup>[1-3]</sup>。锰的去除方法一直是给水工程的重要课题。生物除锰技术以其处理效果好、投资费用少、运行状况稳定等特点,越来越多地受到国内外学者的关注<sup>[4]</sup>。大量研究发现,滤

池中锰的去除主要是滤层中锰细菌生物作用的结果<sup>[5-9]</sup>。因而筛选高效的锰氧化细菌、并且探究其生长和除锰的优势条件,在生物除锰技术的机制研究和实际应用中具有重要作用。固定化微生物技术是生物工程领域中一项新兴的技术,固定化方法有吸附法、交联法和包埋法,以包埋法最为常用。利用包埋材料将微生物包埋后可以增加微生物的局部浓度,提高作用活性和对逆境的抗性<sup>[10]</sup>。

收稿日期:2010-11-03;修回日期:2011-02-23

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07207-007-04);吉林省科技厅项目(20090563)

作者简介:张凤君,教授,研究方向为水处理技术,电子邮箱:zhangfengjun@jlu.edu.cn

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

#### (1) 菌体来源

菌体取自本课题组的成熟除锰滤柱中。

#### (2) 培养基

$\text{NH}_4\text{NO}_3$  0.5g/L,  $\text{NaNO}_3$  0.5g/L,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.5g/L,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.5g/L,  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.2g/L, 柠檬酸铁铵 10g/L,  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.2g/L, 调节 pH 值至 7.0。固体培养基则加琼脂粉 15g/L, 湿热灭菌 20min 后使用<sup>[1]</sup>。

### 1.2 试验方法

#### (1) 锰氧化细菌的分离和纯化

采用倍比稀释和平板涂布的方法实现细菌的分离, 采用平板划线和斜面划线的方法实现细菌的纯化<sup>[1]</sup>, 采用摇瓶培养的方法筛选高效的锰氧化细菌。

#### (2) 菌体生物学特性研究

本实验进行了平板菌落特征的观察和细菌生理生化特性的鉴定<sup>[1]</sup>。

#### (3) 锰离子浓度的测定方法

采用国家环境保护局标准处提出的高碘酸钾分光光度

法<sup>[12]</sup>测定锰离子的浓度。

#### (4) 生长曲线的测定方法

本实验利用分光光度计进行光电比浊, 测定不同培养时间细菌悬浮液的吸光度  $A$  值, 绘制生长曲线。

#### (5) 菌体的包埋

本实验分别采用了聚乙烯醇包埋法、海藻酸钠包埋法、聚乙烯醇和海藻酸钠混合包埋法 3 种方法配制固定化颗粒。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 锰氧化细菌的分离和纯化

将成熟滤柱中的河砂倒入事先已灭菌、内装 90mL 无菌培养基的三角瓶中, 利用摇床使附着在河砂上的细菌呈单细胞状态分散于溶液中, 然后利用倍比稀释和平板涂布的方法分离出长势良好的 4 种细菌, 分别命名为 1<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>、7<sup>#</sup>。再用摇瓶培养的方法对这 4 种细菌的除锰性能进行研究, 将各个菌液和复配后的菌液以相同的体积分别加入富集培养基中, 以不加菌液的富集培养基作为空白对照, 在温度保持 30℃, 转速为 110r/min 的条件下, 培养 24h 后, 测定培养基中  $\text{Mn}^{2+}$  的浓度, 计算去除率。试验结果如图 1 所示。

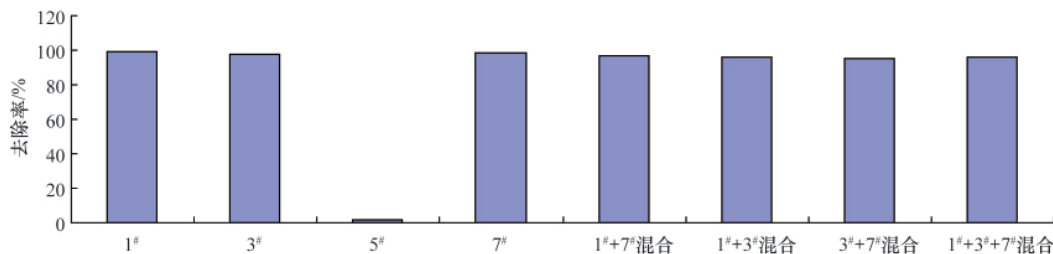


图 1 各菌体及复配菌体的除锰能力

Fig. 1 Removal efficiency of  $\text{Mn}^{2+}$  for these bacteria

由图 1 可以看出, 5<sup>#</sup> 菌体对  $\text{Mn}^{2+}$  的去除率很低, 分析原因可能是培养时间短, 该菌体需要较长的适应期, 在短时间内对  $\text{Mn}^{2+}$  没有氧化作用; 也可能是 5<sup>#</sup> 菌体利用培养基中除硫酸锰之外的其他营养物质就可以良好生长, 其存在对溶液中  $\text{Mn}^{2+}$  没有影响。虽然 5<sup>#</sup> 菌体可以在固体培养基上良好生长, 但显然它不是目标菌体。其他单菌体或复配菌体对  $\text{Mn}^{2+}$  的去除率都在 95% 以上, 但是复配菌体与单菌体相比, 对锰的去除率没有提升。因而选取 1<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 和 7<sup>#</sup> 单菌体进行后面的研究。

### 2.2 菌体生物学特性研究

#### (1) 菌落形态特征

对上述分离出来的 1<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 和 7<sup>#</sup> 单菌体的菌落形态特征进行观察, 结果如表 1 所示。

#### (2) 生理生化特性

3 种细菌的生理生化鉴定结果显示, 3 种菌种均为好氧菌, 不能产生淀粉水解酶, 不含有色氨酸酶, 发酵葡萄糖不产生乙酰甲基甲醇, 可以将柠檬酸盐作为唯一碳源加以利用。3<sup>#</sup> 菌体可以分解蛋白质, 发酵葡萄糖产酸能力强, 1<sup>#</sup> 菌体和 7<sup>#</sup>

表 1 菌落形态

Table 1 Colony morphology

菌体	菌落形态
1 <sup>#</sup>	圆形, 边缘整齐, 直径为 1—2mm, 凹陷, 棕色, 不透明
3 <sup>#</sup>	无荧光, 表面粗糙, 呈辐射丝状圆形, 边缘整齐, 直径 1mm 左右, 凹陷, 棕色, 半透明, 无荧光, 表面光滑, 呈同心环状, 边缘颜色较中心颜色深
7 <sup>#</sup>	圆形, 边缘整齐, 直径 1mm 左右, 低凹, 棕色, 不透明, 无荧光, 表面粗糙, 呈褶皱状

菌体不能分解蛋白质, 发酵葡萄糖产酸能力弱, 试验结果如表 2 所示。初步鉴定 3 种菌体均为芽孢杆菌属。

#### (3) 温度对菌体生长的影响

温度是微生物的重要生存因子。在适宜的范围内, 提高温度, 会相应的提高微生物的代谢速度和生长速度<sup>[13]</sup>。试验设置温度梯度 10、20、30、40℃, 检测菌体在 pH 值为 7、转速为

表 2 生理生化特性

Table 2 Physiological and biochemical characteristics

鉴定项目	反应结果		
	1# 菌	3# 菌	7# 菌
接触酶试验	+	+	+
淀粉水解试验	-	-	-
产吲哚试验	-	-	-
甲基红试验	-	+	-
乙酰甲基甲醇试验	-	-	-
柠檬酸盐利用实验	+	+	+
明胶液化试验	-	+	-
需氧性的测定	好氧	好氧	好氧
革兰氏染色	G+	G+	G+

注: + 为阳性反应结果, - 为阴性反应结果。

Notes: + means positive results, - means negative results.

110 r/min 的恒温摇床培养箱中培养 72h, 得到的菌体生长状况结果如图 2 所示。

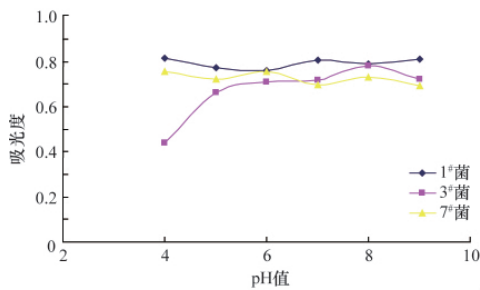


图 2 温度对菌体生长的影响

Fig. 2 Influence of temperature on the cell growth

由图 2 可以看出, 1# 菌体随着温度的升高, 菌体数量不断增多, 生长趋势越来越好; 3# 菌体和 7# 菌体先是随着温度的升高, 数量逐渐增多, 当温度升高到一定程度时, 体数量稍有回落。这说明 3 种菌体在 10—40℃ 的温度范围内, 都可以生长, 3 种菌体均有较宽的生长温度范围, 具有适应地下水低温条件的特性, 也可以适应夏天高水温的地表水体。

#### (4) 初始 pH 值对菌体生长的影响

微生物的生命活动、物质代谢与 pH 值密切相关。不同的微生物适应不同的 pH 值范围, 一般生物学的氧化作用发生于 pH 值为 6.5—7.5 时。试验设置 pH 值梯度为 4、5、6、7、8、9, 检测菌体在温度是 30℃、转速为 110r/min 的恒温摇床培养箱中培养 68h 的生长情况, 结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出, 1# 菌体和 7# 菌体生长的 pH 值范围较广, 在 pH 值为 4—9 的范围内, 菌体均能良好生长。而 3# 菌体适宜的 pH 值也比较宽, 通过对菌体生长全程的观察发现, 只有在起始 pH=4 的时候, 菌体生长速率较低, 对数期相应增长, 一定时间内不如其他 pH 值条件下的菌体数量多; 当起始 pH 值为 5—9 时, 菌体生长状况与 1#、7# 菌体相差不多, 都能

很好的生长。这说明 3 种菌体适宜生长的 pH 值均较广, 有效避免了在实际工程中需要调节进水 pH 值的麻烦。

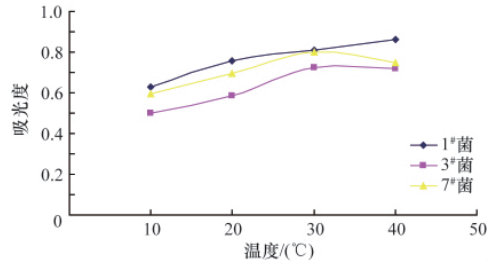


图 3 pH 值对菌体生长的影响

Fig. 3 Influence of pH on the cell growth

### 2.3 培养基中菌体生长情况和除锰能力

在温度为 25℃、pH=7、转速为 110r/min 的条件下, 将 3 种菌体分别接种到富集培养基中, 每隔一定时间检测各菌体的生长情况; 同时将培养到稳定期的 3 种菌液和富集培养基分别以 1:9 的比例混合, 定期检测各菌体的除锰能力, 试验结果图如图 4 所示。

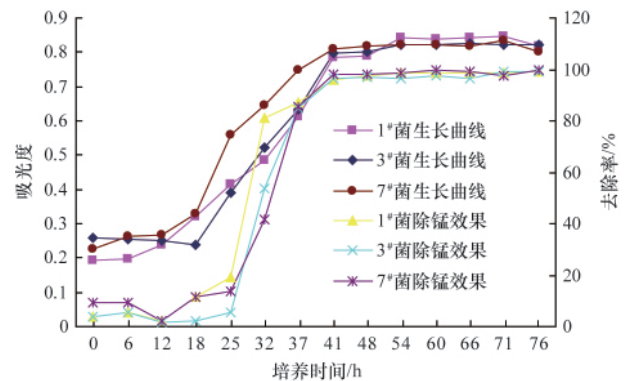


图 4 菌体在培养基中的生长曲线和除锰能力

Fig. 4 Cell growth curve and the ability of manganese removal in the eutrophic condition

由图 4 可以看出, 3 种菌体均表现出了良好的生长趋势, 3 种菌体的生长曲线基本吻合。培养 18h 后均达到生长对数期, 40h 后达到生长稳定期。3 种菌体对  $Mn^{2+}$  都有很好的去除效果, 去除率增高阶段对应菌体的对数生长期阶段。培养基中初始  $Mn^{2+}$  质量浓度为 32mg/L, 当培养 18h 后, 3 种菌体适应了个生长环境, 开始对其中的  $Mn^{2+}$  进行氧化。在 18—37h 内, 菌体生长速率很快, 氧化  $Mn^{2+}$  的速率也随之加快。经过 76h 的氧化过程, 3 种菌体对  $Mn^{2+}$  的去除率均达 90% 以上, 并且处理效果稳定。

### 2.4 贫营养条件下菌体生长情况和除锰能力

通过上述试验, 可以看出筛选出的 3 种锰氧化细菌在营养丰富的条件下, 可以得到非常好的除锰效果。但是实际工程中, 锰氧化细菌多用于处理营养贫乏的水源, 探究这 3 种菌体是否能在贫营养环境的水源中也发挥较好的除锰作用,

也是本文的另一重要内容。

采用自来水和四水硫酸锰配制模拟水源,使得模拟水源中  $Mn^{2+}$  的质量浓度为  $1.0mg/L$ 。通过实验测定得知,模拟水源中总磷质量浓度为  $0.01mg/L$ ,  $NH_3-N$  质量浓度为  $0.00mg/L$ ,  $NO_3-N$  质量浓度为  $0.03mg/L$ ,高锰酸盐指数为  $2.50mg/L$ ,溶解氧为  $6.00mg/L$ ,从实验结果可以看出,模拟水源可以视为实验所需的贫营养水源。将稳定期的菌液以 1:100 的比例接种到模拟水源中,在  $25^\circ C$ 、 $pH=7$ 、 $110r/min$  的条件下摇床培养,定期检测菌体的生长情况和除锰效果,实验结果如图 5 所示。

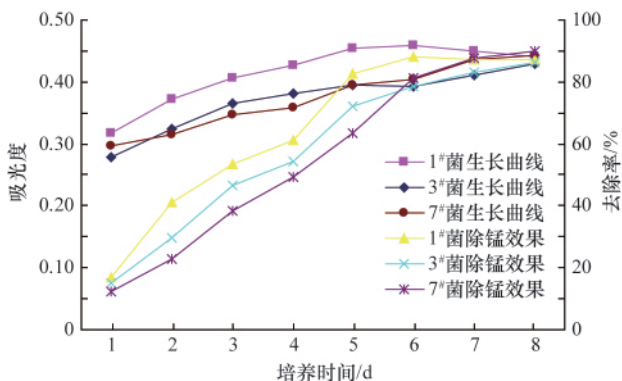


图 5 模拟水源中菌体生长情况和除锰能力

Fig. 5 Cell growth curve and the ability of manganese removal in the oligotrophic condition

由图 5 可以看出,3 种菌体可以在贫营养环境中保持良好的生长,并且对  $Mn^{2+}$  有很好的去除效果。较营养充足时,菌体生长速率变慢了,对  $Mn^{2+}$  的氧化速率也变慢了。但最终的除锰效果还是很好的,试验运行 8d 后,3 种菌体对  $Mn^{2+}$  的去除率均可达到 86% 以上。

### 2.5 包埋菌体除锰能力

不同包埋方法制成的包埋小球在成球性、操作难易、小球机械强度等方面有很大不同。对具体的微生物需要通过试验,综合考虑上面提及的因素确定一种较好的包埋方法。

#### (1) 菌体包埋条件

目前常用的包埋材料有聚乙烯醇、海藻酸钠、卡拉胶、聚丙烯酰胺和光硬化树脂等<sup>[14]</sup>。本研究中采用了聚乙烯醇包埋法、海藻酸钠包埋法、聚乙烯醇和海藻酸钠混合包埋法 3 种方法对菌体进行固定化包埋,将 3 种方法分别从包菌量、成球性、操作难易、小球机械强度和除锰效果等方面进行了优势对比,结果如表 3 所示。

由表 3 可以看出,只有聚乙烯醇和海藻酸钠混合包埋法,且包菌量为 1:1 和 1:2 时,所形成的凝胶颗粒有较好的机械强度,微生物活性损失很小。由于同样体积的固定化颗粒,包菌量为 1:1 时较 1:2 时菌体数量多,除锰效果好,故最适包菌量为 1:1。

#### (2) 固定化颗粒处理模拟水试验研究

将上述最佳包埋条件制备的固定化颗粒与干净廉价的

表 3 包埋条件对小球性能的影响

Table 3 Embedding conditions on the performance of the ball

包埋方法	包菌量/(V/V)	成球性	操作难易	小球机械强度	除锰效果
聚乙烯醇包埋法(10%的 PVA 溶液与菌液混合,滴入饱和硼酸溶液中)	2:1	不成球	难	低	—
	1:1	大小不均,有尾巴	适中	适中	不好
	1:2	大小不均,易附聚	适中	高	不好
海藻酸钠包埋法(1%的海藻酸钠溶液与菌液混合,滴入 2% $CaCl_2$ 溶液中)	2:1	不成球	难	非常低	—
	1:1	大小不均,有尾巴	适中	低	好
	1:2	大小不均,有尾巴	易	低	好
聚乙烯醇和海藻酸钠混合法(10%的 PVA 和 1%的海藻酸钠与菌液混合,滴入含 2% $CaCl_2$ 的饱和硼酸溶液中)	2:1	大小不均,有尾巴	适中	适中	好
	1:1	大小均匀	易	高	非常好
	1:2	大小均匀	易	高	较好

河砂以 1:9 的比例混匀,封装到高 40cm,内径为 3cm 的玻璃柱内,封装高度为 30cm。同时进行不添加固定化颗粒柱子的空白对照实验。从柱子上部以高位水箱进水,进水时的模拟水源  $Mn^{2+}$  的质量浓度为  $1.0-2.0mg/L$ ,保持水力停留时间为 10h,从柱子的最下面出水。每天测定水中  $Mn^{2+}$  的质量浓度,计算  $Mn^{2+}$  的去除率,绘制去除率与时间的相关曲线如图 6 所示。

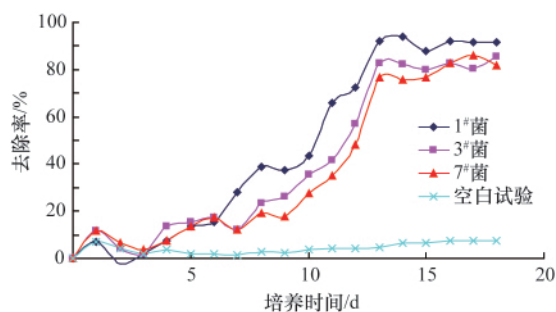


图 6 包埋小球处理模拟水源的除锰效果

Fig. 6 Removal efficiency of  $Mn^{2+}$  for simulative water source

由图 6 可以看出,利用 3 种菌体与河砂混合填充的柱子,在第 2 天对  $Mn^{2+}$  的去除率均下降,这主要是因为锰氧化细菌对锰离子的氧化过程是先吸附后氧化,而吸附速率远大于氧

化速率,所以在水力剪切的作用下,使原来吸附到菌体表面但还没来得及被氧化的  $Mn^{2+}$  又重新回到溶液中<sup>[15]</sup>,导致出水的  $Mn^{2+}$  质量浓度增大。随着菌体对生长环境的适应,菌体不断生长繁殖;随着运行时间的增加,处理效果逐渐变好,去除率逐渐上升。相同时间内,1# 菌体对  $Mn^{2+}$  的去除效果较 3# 和 7# 菌体好。运行 13d 后,去除率基本保持稳定,1# 菌体对  $Mn^{2+}$  的去除率最大可达 94.0%,3# 菌体和 7# 菌体对  $Mn^{2+}$  的最大去除率分别达 85.6% 和 85.9%。在空白实验中,第 1 天河砂对锰离子的吸附作用较好,对  $Mn^{2+}$  的去除率可达 7% 以上,但是随着时间的增加,河砂吸附趋于饱和,在之后几天内对  $Mn^{2+}$  的吸附作用微弱,出水  $Mn^{2+}$  和进水  $Mn^{2+}$  质量浓度相近,从第 9 天起,  $Mn^{2+}$  的去除率略有增加趋势,分析原因是柱子内出现了少量微生物对  $Mn^{2+}$  有一定去除效果,但是和包埋菌体相比,该去除效果微弱。这说明实验中对  $Mn^{2+}$  的去除主要依靠微生物的作用,且利用包埋菌体可以有效缩短处理周期。

### 3 结论

本文通过实验室研究,获得了准确可靠的数据,并对这些数据进行了充分有效的分析处理,主要得到以下结论:

(1) 从实验室成熟滤柱中分离筛选出 3 种具有较强  $Mn^{2+}$  氧化能力的革兰氏阳性细菌,分别编号为 1#、3# 和 7#。3 种菌体在富营养和贫营养的情况下,都可以良好生长,对  $Mn^{2+}$  的去除效果很好,去除率增高阶段对应菌株的对数生长期阶段。

(2) 采用聚乙烯醇和海藻酸钠混合包埋法配制的固定化颗粒成球性好,机械强度高,传质性能好;利用固定化颗粒和廉价的河砂按 1:9 的比例填柱进行实验室模拟实验,证明 3 种菌体对贫营养模拟水的除  $Mn^{2+}$  效果很好,最大去除率均大于 85.6%。

### 参考文献 (References)

- [1] 路杨,刘相国,杨朔,等. 地下水中锰离子氧化细菌的分离与筛选鉴定[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2009,39(6): 1117-1121.  
Lu Yang, Liu Xiangguo, Yang Shuo, et al. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2009, 39(6): 1117-1121.
- [2] 姚远,周志华,许旭萍,等. 铁锰氧化菌的筛选及其生物学特性研究[J]. 福建师范大学学报:自然科学版,2009,25(4): 100-104.  
Yao Yuan, Zhou Zhihua, Xu Xuping, et al. *Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition*, 2009, 25(4): 100-104.
- [3] 傅金祥,张丹丹,安娜,等. 混合菌氧化性能及其对铁锰去处效果研究[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版,2008,24(2): 265-268.  
Fu Jinxiang, Zhang Dandan, An Na, et al. *Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science Edition*, 2008, 24(2): 265-268.
- [4] 傅金祥,冯青,周东旭,等. 原水铁锰含量对细菌除铁除锰效能的影响[J]. 供水技术,2008,2(5): 22-24.  
Fu Jinxiang, Feng Qing, Zhou Dongxu, et al. *Water Technology*, 2008, 2(5): 22-24.
- [5] Mettler S, Abdelmoula M, Hoehn E, et al. Characterization of iron and manganese precipitates from an Insitu groundwater treatment plant[J]. *Groundwater*, 2001, 39(6): 921-930.
- [6] 李冬,张杰,张艳萍,等. 除铁除锰生物滤层最优化厚度的研究[J]. 中

国给水排水,2007,23(13): 94-97.

Li Dong, Zhang Jie, Zhang Yanping, et al. *China Water and Wastewater*, 2007, 23(13): 94-97.

- [7] Katsoyiannis I A, Zouboulis A I. Biological treatment of Mn(II) and Fe(II) containing groundwater: Kinetic considerations and product characterization[J]. *Water Research*, 2004, 38(7): 1922-1932.
- [8] 高洁,刘红梁,徐桂芹,等. 生物滤层中铁、锰氧化细菌的时空分布特征[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2006,22(6): 28-31.  
Gao Jie, Liu Hongliang, Xu Guiqin, et al. *Journal of Harbin University of Commerce: Natural Sciences Edition*, 2006, 22(6): 28-31.
- [9] Pacini V A, Ingallinella A M, Sanguinetti G. Removal of iron and manganese using biological roughing up flow filtration technology [J]. *Water Research*, 2005, 39(18): 4463-4475.
- [10] 傅利剑. 反硝化微生物生物学特性及其固定化细胞对硝态氮去除的研究[D]. 南京:南京农业大学,2004.  
Fu Lijian. Characteristics of denitrifier and study on removal of nitrate by iobilized cells[D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2004.
- [11] 马放,任南琪,杨基先. 污染控制微生物学实验 [M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002.  
Ma Fang, Ren Nanqi, Yang Jixian. Pollution control microbiology experiment[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2002.
- [12] 国家环境保护局. GB 11906—89 水质锰的测定高碘酸钾分光光度法[S]. 北京:中国标准出版社,2005.  
Ministry of Environmental Protection. GB 11906—89 Water quality—Determination of manganese—Potassium periodate spectrophotometric method[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005.
- [13] 戴宁. [omim][PF<sub>6</sub>]萃淋树脂吸附水中萘的机制及[omim][PF<sub>6</sub>]的生物降解性研究[D]. 长春:吉林大学,2009.  
Dai Ning. Study on mechanism of adsorpting naphthalene in aqueous phase by solvent impregnated resin with [omim][PF<sub>6</sub>] and the biodegradation of [omim][PF<sub>6</sub>][D]. Changchun: Jilin University, 2009.
- [14] 王建龙,施汉昌. 聚乙烯醇包埋固定化微生物的研究及进展[J]. 工业微生物,1998,28(2): 35-39.  
Wang Jianlong, Shi Hanchang. *Industrial Microbiology*, 1998, 28(2): 35-39.
- [15] 安娜,傅金祥,张丹丹. 除铁锰菌的分离及其氧化性能的实验 [J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版,2006,22(6): 989-994.  
An Na, Fu Jinxiang, Zhang Dandan. *Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science Edition*, 2006, 22(6): 989-994.

(责任编辑 岳臣)

### 《科技导报》“封面文章”栏目征稿

为快速反映我国最新科技研究成果,《科技导报》开设“封面文章”栏目,将最新科研成果第一时间在我刊最显著位置——封面上突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域我国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过 300dpi;文章篇幅不限,应说明研究的背景、方法、取得的结果以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。