

# 低温低碳氮比好氧反硝化菌的筛选及鉴定

周兰影<sup>1,2</sup>, 马秀兰<sup>3</sup>, 张晨东<sup>3</sup>, 王呈玉<sup>3</sup>, 张凤君<sup>1</sup>

1. 吉林大学地下水资源与环境教育部重点实验室, 长春 130021

2. 吉林省产品质量监督检验院, 长春 130022

3. 吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118

**摘要** 传统的反硝化工艺存在反硝化细菌的世代时间较长(特别是在低温的冬季)、水力停留时间长、运行和投资费用大等问题。为寻找更好的反硝化细菌,从冬季北方城市污水厂驯化活性污泥中分离出1株耐低温、低碳氮比,且脱氮率较高的好氧反硝化菌株,命名为HFX08。初步鉴定该菌株为假单胞菌属(*Pseudomonas*), G<sup>-</sup>菌。该菌株的最适生长温度为10~20℃,生长曲线符合S型曲线,拟合方程相关性系数达到了差异极显著水平。随着碳氮比的增加,该菌株的反硝化速率随之提高,脱氮率最高可达92%。

**关键词** 好氧反硝化菌;假单胞菌属;脱氮率;碳氮比;低温

**中图分类号** X172

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.11.004

## Screening and Identification of an Aerobic Denitrifying Bacterium with Low C/N Ratio at Low Temperature

ZHOU Lanying<sup>1,2</sup>, MA Xiulan<sup>3</sup>, ZHANG Chendong<sup>3</sup>, WANG Chengyu<sup>3</sup>, ZHANG Fengjun<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Groundwater Resources and Environment of Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130021, China

2. Institute of Supervision Inspection on Product Quality of Jilin Province, Changchun 130022, China

3. College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

**Abstract** The conventional denitrification process has limited applications due to its disadvantages, such as long generation time of denitrifying bacteria, especially in cold winter, long hydraulic retention time and high costs. In this study, an aerobic denitrifying bacterium designated as HFX08 was isolated from a domestic sewage plant in a northern city of China in winter. The strain HFX08 exhibited high denitrification performance under low C/N ratio at low temperature. The results indicated that the strain HFX08 was G<sup>-</sup> and identified as *Pseudomonas* sp. The optimum temperature for its growth is in the range of 10–20°C. Its growth curve was fitted to S growth curve, whose fitting coefficient reached the level of extremely significant difference. The nitrogen removal rate by strain HFX08 increased with increasing C/N ratio, up to 92%.

**Keywords** aerobic denitrifying bacterium; *Pseudomonas*; nitrogen removal rate; C/N ratio; low temperature

随着人民生活水平的提高,饮食结构的不断改变,城市生活污水的水质成分有了很大的变化,含氮量增加,出现了

低碳氮比(C/N比,质量比)的情况<sup>[1,2]</sup>。传统的污水处理技术已经不能满足排放要求,因此脱氮技术的研究和应用引起人

收稿日期:2013-11-15;修回日期:2014-02-25

基金项目:吉林省重大科技攻关项目(20130204054SF);国家环境保护公益性行业科研专项(201009009)

作者简介:周兰影,博士研究生,研究方向为水处理技术,电子信箱:735189410@qq.com;张凤君(通信作者),教授,研究方向为水处理技术,电子信箱:zhangfengjun@jlu.edu.cn

引用格式:周兰影,马秀兰,张晨东,等.低温低碳氮比好氧反硝化菌的筛选及鉴定[J].科技导报,2014,32(11):33-37.

们的广泛关注。传统的反硝化作用是微生物在厌氧环境中,利用 $\text{NO}_3^-$ -N作为电子受体,同时将其还原为 $\text{N}_2$ 的过程<sup>[3,4]</sup>。

好氧反硝化指在有氧情况下将 $\text{NO}_3^-$ -N转化为 $\text{N}_2$ 的过程。近年来,国内外不少研究和报道证明了好氧反硝化菌的存在<sup>[5,6]</sup>。Kruel等<sup>[7]</sup>最早给出好氧反硝化反应的科学论证;Robertson等<sup>[8]</sup>在实验室观察到有氧条件下发生了反硝化现象。国内外已经发现的好氧反硝化菌有*Thiosphaerapantotropha*、*Pseudomonas* sp. 和 *Alcaligenesfaecalis*、*Pseudomonas nautical*、*Thaureamechernichensis*、*Alcaligenessp.*、*Microvirgulaaerodenitrificans*等<sup>[9-12]</sup>。但国内关于低温、低碳氮比好氧反硝化细菌分离的报道甚少。

本研究从已驯化的低温、低碳氮比城市活性污泥中分离出1株好氧反硝化细菌,验证其反硝化性能,确定温度、C/N比对菌株反硝化特性的影响,以期为北方地区冬季低C/N比污水处理工艺设计和操作提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 培养基

反硝化液体培养基:  $\text{KNO}_3$  2 g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.5 g,  $\text{MgSO}_4$  0.25 g, 蒸馏水 1000 mL, 调节 pH 值 7.0~7.2, 再加入乙酸钠(控制 C/N=4), 121℃ 灭菌 20 min。

反硝化富集固体培养基: 每升反硝化液体培养基中加入 15 g 琼脂粉。

溴百里酚(BTB)培养基: BTB 1 g,  $\text{KNO}_3$  1 g,  $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.05 g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.5 g,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  1 g,  $\text{CaCl}_2$  0.2 g, 蒸馏水 1000 mL, 调节 pH 值 7.0~7.2, 加入 15 g 琼脂粉, 培养基呈墨绿色, 121℃ 灭菌 20 min。

LB培养基: 蛋白胨 10 g, 酵母膏 1 g, NaCl 8 g, 蒸馏水 1000 mL, 调节 pH 值 7.0~7.5。

#### 1.1.2 仪器及试剂

PCR 扩增仪(PCR System 9600, Perkin-Elmer 公司), 电泳仪(Dcy-33A, 北京六一仪器厂), 紫外凝胶成像系统(大连宝生物公司), 高速离心机(Sigma 4K15, Sigma 公司, 美国), 电泳槽(DYY-6C, 北京六一仪器厂)。

$\text{KNO}_3$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4$ 、BTB、 $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaCl}_2$  均为分析纯, 由北京化学试剂有限公司生产; 蛋白胨、琼脂粉、酵母膏等由北京奥博星生物技术有限公司生产。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 菌种的富集、分离与鉴定

取驯化污泥<sup>[13]</sup>10 mL 加入 100 mL 反硝化富集培养液中, 10℃、120 r/min 振荡培养, 每 7 d 转接 1 次, 共转接 5 次; 取 100  $\mu\text{L}$  菌液在反硝化培养基上平板涂布; 涂布后 10℃ 培养, 根据生长情况, 一般为 3~10 d; 挑选生长快、菌落大的单一菌株在固体培养基中反复划线分离, 并在 BTB 培养基上点接,

同时进行硝酸盐还原、亚硝酸盐还原性和反硝化性能检测。将初筛得到的菌种接种于 100 mL 反硝化培养基中, 10℃、120 r/min 下摇瓶培养, 测定在对数生长期和稳定生长期的菌液的 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NO}_2^-$ -N 和总氮的浓度, 得到一株反硝化能力强的菌株, 命名 HFX08, 挑取单一菌落接种于培养基中同驯化条件扩繁, 达到对数生长期后, 取 1 mL 菌液放入 2 mL 离心管中, 丙三醇封口, 于 -20℃ 冷冻保存, 每隔 3 个月复壮 1 次。

将分离纯化的 HFX08 菌株在反硝化培养基上扩繁, 10℃ 培养, 观察菌落特征和菌体形态结构并进行染色反应; 对 HFX08 菌株进行葡萄糖产酸、接触酶、氧化酶、乙醇氧化、水解淀粉、水解明胶、吲哚等测定, 以了解其生理生化特征<sup>[14]</sup>。HFX08 菌株的硝酸盐还原性、反硝化性鉴定方法见《常见细菌系统鉴定手册》<sup>[14]</sup>。

采用通用引物对 HFX08 菌株的 16S rDNA 进行 PCR 扩增(上海生工生物工程技术有限公司合成), 正向引物: 5'-AGA GTTTGATCCTGGCTCAG-3', 反向引物: 5'-AAGGAGGTGAT CCAGCCGCA-3'。

PCR 反应体系为: 超纯水 33.5  $\mu\text{L}$ 、10×Ex Taq 缓冲液 5.0  $\mu\text{L}$ 、dNTP(10 mmol/L) 2.0  $\mu\text{L}$ 、上游引物 2.0  $\mu\text{L}$ 、下游引物 2.0  $\mu\text{L}$ 、模板 DNA 5.0  $\mu\text{L}$ 、Ex Taq 酶 0.5  $\mu\text{L}$ , 共计 50  $\mu\text{L}$ 。

PCR 的反应程序为: 98.0℃ 预变性 5 min; 80℃ 暂停; 94℃ 变性 45 s, 55℃ 退火 30 s, 72℃ 延伸 50 s, 35 个循环; 72℃ 延伸 10 min。

采用通用引物对纯化的 HFX08 菌株进行 16S rDNA 扩增, 扩增产物用 1% 琼脂糖凝胶电泳检测, 溴化乙锭染色, 紫外凝胶成像观察。以 DNA Marker 为参照, 对比 Marker 的亮带, 菌株在 1500 bp 处出现亮带, 回收特异条带, 由大连宝生物公司测序。

#### 1.2.2 菌株生长曲线及反硝化能力测定

保存的菌株接种于反硝化液体培养基中同培养条件活化后, 10℃、120 r/min 振荡培养 48 h, 10000 r/min 离心 5 min 收集菌体, 并用无菌水洗涤, 离心、收集反复 3 次。然后将菌体按 2% 的接种量转入 50 mg/L 以硝酸钾为氮源的新鲜反硝化培养基中继续活化, 当达到对数生长期后, 将活化的菌种按 5% 接种量接入反硝化液体培养基中, 调节乙酸钠和硝酸钾的浓度, 控制 C/N 比为 4, 每隔 2h 测定 1 次 OD 值, 并按时测定  $\text{NO}_3^-$ -N 的质量浓度。

#### 1.2.3 不同 C/N 比对菌株反硝化能力的影响

为探求 C/N 比对分离菌株反硝化效果的影响, 实验过程中以乙酸钠为碳源, 通过调整乙酸钠质量改变反硝化液体培养基中的 C/N 比, 控制 C/N 比为 2、3、4、6、8, 培养 48 h 后分别测定培养液中  $\text{NO}_3^-$ -N 的质量浓度。

#### 1.2.4 不同温度对菌株反硝化能力的影响

以乙酸钠为碳源、硝酸钾为氮源的反硝化培养液中接入对数生长期的供试菌株, 接菌量为 5%, 分别在 5、10、15、20、25℃ 下, 恒温振荡培养, 分别测定  $\text{NO}_3^-$ -N 质量浓度及去除率。

## 2 结果与讨论

### 2.1 菌株的生理特性及鉴定

将分离得到的HFX08菌株进行革兰氏染色,用光学显微镜对其染色前后的形态进行观察。HFX08菌落呈圆形,直径1.5 mm左右,表面呈脐状隆起,光滑,黄色,不透明,菌落边缘光滑菌体形态为球形,G<sup>-</sup>菌。

HFX08菌株生理生化实验表明,菌株的氧化酶、双水解酶、精氨酸双水解酶、反硝化性为阳性,明胶液化、水解淀粉为阴性。初步判定:HFX08为明胶水解,接触酶、柠檬酸盐、木糖苷酶阳性,氧化酶、葡萄糖产酸、谷氨酸转移酶阴性,表明其与假单胞菌属(*Pseudomonas*)有相类似特征。菌株的测序结果如图1所示。

```

1       CATGCAAGTC GAGCGGATGA GAAGAGCTTG CTCTTCGATT CAGCGGCGGA
61      ATGCCTAGGA ATTCGCTGG TAGTGGGGGA CAACGTTTCG AAAGGAACGC
121     TACGTCTAC  GGGAGAAAGC AGGGGACCTT  CGGGCCTTGC GCTATCAGAT
181     CGGATTAGCT AGTTGGTGAG GTAATGGCTC ACCAAGGCGA CGATCCGTAA
241     AGGATGATCA GTCACACTGG AACTGAGACA CGGTCCAGAC TCCTACGGGA
301     GGGAAATATG GACAATGGGC GAAAGCCTGA TCCAGCCATG CCGCGTGTGT
361     TTCGGATTGT AAAGCACITT AAGTTGGGAG GAAGGGCAIT AACCTAATAC
421     TGACGTTACC GACAGAATAA GCACCGGCTA ACTCTGTGCC AGCAGCCGCG
481     GGGTGCAAGC GTAATCGGA ATTACTGGGC GTAAAGCGCG CGTAGGTGGT
541     GGATGTGAAA GCCCGGGCT CAACCTGGGA ACTGCATCCA AAACCTGGCAA
601     GGTAGAGGGT GGTGGAATTT CCTGTGTAGC GGTGAAATGC GTAGATATAG
661     CAGTGGCGAA GGCGACCACC TGGACTGATA CTGCACTGA GGTGCGAAAG A
721     AAACAGGATT AGATACCTGT GTAGTCCACG CCGTAAACGA TGTAACCTAG
781     CCTTGAGATT TTAGTGGCGC AGTAAACGCA TTAAGTTGAC CGCCTGGGGA
841     AAGGTTAAAA CTCAAATGAA TTGACGGGGG CCCGCACAAG CGGTGGAGCA
901     TTCGAAGCAA CGCGAAGAAC CTTACCATGG CCTTGACATG CAGAGAACTT
961     GATTGGTGCC TTCGGGAACT CTGACACAGG TGCTGCATGG CTGTCGTCAG
1021    GAGATGTTGG GTTAAGTCCC GTAACGAGCG CAACCCTTGT CCTTAGTTAC
1081    TGGTGGGCAC TCTAAGGAGA CTGCCGGTGA CAAACCGGAG GAAGGTGGGG
1141    GTCATCATGG CCCTTACGGC CTGGGCTACA CACGTGCTAC AATGTCGGT
1201    GCCAAGCCCG GAGGTGGAGC TAATCTCACA AAACCGATCG TAGTCCGGAT
1261    CAACTCGACT GCGTGAAGTC GGAATCGCTA GTAATCGCGA ATCAGAATGT
1321    ACGTTCGCCG GCCTGTIACA CACCGCCCGC TCACACCATG GGAGTGGGTT
1381    TAGGTAGTCT AACCTTCGGC AAGGAGGAGC CTACCACGTT GCG
    
```

图1 HFX08菌株的16S rDNA序列

Fig. 1 16S rDNA sequences of strain HFX08

16S rDNA序列分析法是直接测序检测微生物群落的常用方法之一,是近10年来发展起来的一种分子指纹技术,广泛应用于分子系统发育分类学的研究,通过未知菌与基因库中已知种属的16S rDNA序列进行核苷酸同源性比较后进行系统发育分析,可以鉴定到属的水平。将HFX08菌的16S rDNA序列用Dnaman进行多重比对,该菌与*Pseudomonas*属16S rDNA序列同源性达99.9%以上。

### 2.2 菌株生长曲线及反硝化能力

菌株在10℃时的生长曲线及反硝化能力分别如图2和图3所示。

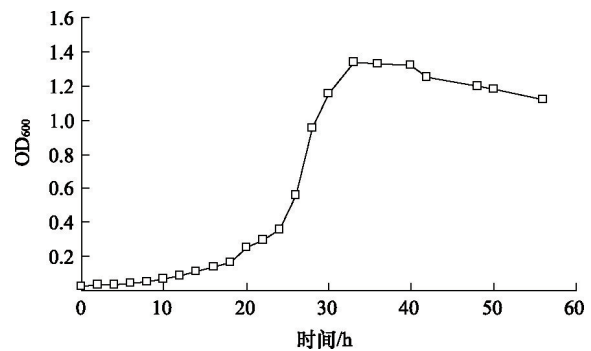


图2 HFX08菌株生长曲线

Fig. 2 Growth curve of HFX08

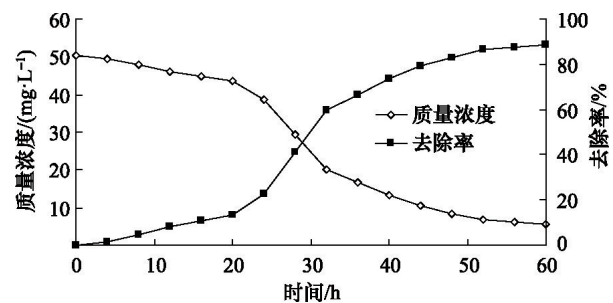


图3 不同时期培养液中NO<sub>3</sub>-N的变化

Fig. 3 Variation of NO<sub>3</sub>-N in different periods in the culture solution

由图2可见,菌株接种到培养液后,经历了一个迟缓期,在第34小时左右到达稳定期。生长曲线的拟合方程为 $Y=1.571/(1+264.18e^{-0.179x})$ ,相关系数 $R=0.9872$ 。对其进行方差检验( $n=21, R_{0.05}=0.413, R_{0.01}=0.526$ ),达到差异极显著水平,说明微生物生长曲线基本符合S型曲线。

由图3可见,当菌株达到对数生长期时,NO<sub>3</sub>-N去除率也达到最大。对数生长期细菌的生长速率达到最高,酶活力最强,反硝化过程主要发生在此阶段,因此在后续实验中,为保证菌液具有最大的活性,均使用对数生长期的菌液,这与马放等<sup>[12]</sup>的报道一致。

### 2.3 不同C/N比对菌株反硝化作用的影响

C/N比对细菌的物质和能量代谢影响很大,也是影响生物脱氮的主要因素之一,Cervantes等<sup>[15]</sup>认为C/N比是在呼吸过程中获得高效反硝化效率的主要控制参数。C/N比过高会降低硝化反应速率,C/N比过低会抑制反硝化反应进行。实验中以乙酸钠为碳源,KNO<sub>3</sub>为氮源,固定氮源质量浓度为50.8 mg/L,通过调节培养液中的乙酸钠质量浓度来改变其C/N比为2、3、4、6、8,不同C/N比条件下菌株的氮素转化率如图4所示。

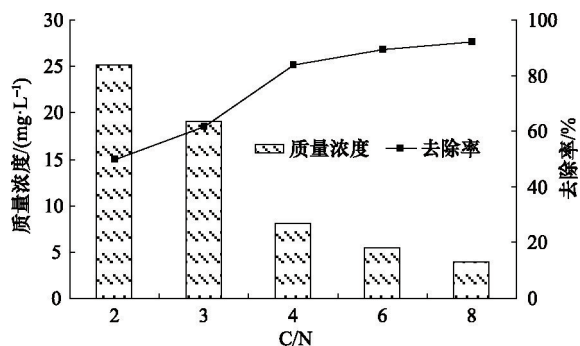


图4 不同C/N比下硝酸盐的变化曲线

Fig. 4 Variation of nitrate under different C/N ratios

从图4可以看出, C/N比对反硝化速率影响很大, 在C/N比为2、3、4、6、8时NO<sub>3</sub>-N的去除率分别为35.1%、55.0%、80.1%、91.2%、92%。这是因为初始碳源越充足, 菌体的反硝化能力越强, 菌体的生长速度也就越快, 也就是说, 脱氮率随着C/N比的增加而增加。当C/N比为2时, 反硝化速率较低, 说明碳源不足, 也就没有足够的能源供菌体生长, 菌的反硝化效率也变低, 当提供给菌体的碳源高于菌体需求时, 碳源就不再是菌体生长的限制性因素, 故继续增加碳源, 反硝化速率增加不多。

#### 2.4 温度对菌株反硝化作用的影响

温度是微生物的重要生存因子, 在适宜的温度范围内, 随着温度的增加, 菌株的酶促反应加快。不同温度下菌株反硝化作用见图5。

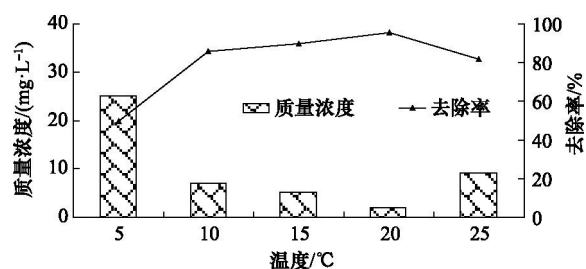


图5 不同温度条件下NO<sub>3</sub>-N的变化

Fig.5 Variation of NO<sub>3</sub>-N at different temperature

从图5可见, 随着温度的升高, NO<sub>3</sub>-N的去除率增大, 温度为5°C时, 去除率仅为49.8%, 温度为10°C时, 去除率85.8%。高于10°C后, 温度对菌株的反硝化效率影响不大, 但从20°C升高到25°C时, NO<sub>3</sub>-N的去除率有所下降, 因此菌株的最适生长温度为20°C。这是因为温度过高, 菌体内酶的结构就会发生变化, 阻碍了细胞的正常代谢活动, 因此NO<sub>3</sub>-N的去除率降低。HFX08菌株适宜生长的温度与韩晓云<sup>[16]</sup>所提出的不同微生物生长的适宜温度范围基本一致, 属于低温微生

物, 这有利于菌株在环境中的竞争与存活, 能够有效地发挥其好氧反硝化作用。

### 3 结论

1) 从驯化活性污泥中选育出1株有较强反硝化能力的好氧反硝化细菌HFX08, G-菌。经分子生物学鉴定, 菌株隶属于假单胞菌属(*Pseudomonas*)。

2) 菌株在培养的第34小时达到对数生长期, 其生长曲线基本符合S型曲线, 相关系数R达到差异极显著水平。

3) 随着C/N比的增加反硝化速率加大, 脱氮率最高可达到92%以上。

4) 菌株的最适生长温度为10~20°C。

#### 参考文献(References)

- [1] 江建权, 杨殿海, 周琪. 低温低浓度下城市污水活性污泥自然培养和驯化[J]. 苏州科技学院学报: 工程技术版, 2005, 21(1): 1-4.  
Jiang Jianquan, Yang Dianhai, Zhou Qi. Natural cultivation and acclimation of activated sludge of wastewater at lower temperature and concentration[J]. Journal of University of Science and Technology of Suzhou: Engineering and Technology Edition, 2005, 21(1): 1-4.
- [2] 周彦. 自生生物动态膜反应器处理高氨氮、低碳氮比污水的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.  
Zhou Yan. Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of master of engineering[D]. Wuhan: Huazhong University of Science, 2006.
- [3] 郑平. 环境微生物学[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2003.  
Zhen Ping. Environmental microbiology lecture[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2003.
- [4] 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.  
Wang Jianlong. Research on biological immobilization and water pollution control[M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [5] Ding A Z, Fu M, Sheng G Y. Evidence of aerobic denitrification[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(3): 2779-2785.
- [6] Robertson L A, Kuennen J G. Combined heterotrophic nitrification and aerobic denitrification in thiasphaerapantotropha and other bacteria[J]. Antonievan Leeuwenhoek, 1990, 57: 139-152.
- [7] Meiberg J B M, Bruinenberg P M, Harder W. Effect of dissolved oxygen tension on the metabolism of methylated amines in *Hyphomicrobium* X in the absence and presence of nitrate: evidence for "aerobic denitrification" [J]. Journal of General Microbiology, 1980, 120: 453-463.
- [8] Robertson L A, Van Niel E W J, Torremans R A M, et al. Simultaneous nitrification and denitrification in aerobic chemostat cultures of *Thiosphaera* pantotropha[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1988, 54(11): 2812-2818.
- [9] 马放, 王弘宇, 周丹丹, 等. 好氧反硝化菌株X31的反硝化特性[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2005, 33(7): 42-46.  
Ma Fang, Wang Hongyu, Zhou Dandan, et al. Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium pseudomonas chloritidismutans strain X31[J]. Journal of South China University of

- Technology: Natural Science Edition, 2005, 33(7): 42-46.
- [10] Her J J, Huang J S. Influences of carbon source and C/N ratio on nitrate/nitrite denitrification and carbon breakthrough[J]. Bioresource Technology, 1995, 54(1): 45-51.
- [11] 周丹丹, 马放, 王弘宇, 等. 关于好氧反硝化菌筛选方法的研究[J]. 微生物学报, 2004, 44(6): 837-839.  
Zhou Dandan, Ma Fang, Wang Hongyu, et al. Study on screening method of aerobic denitrifiers[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2004, 44(6): 837-839.
- [12] 马放, 王弘宇, 周丹丹. 活性污泥体系中好氧反硝化菌的选择与富集[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2005, 20(2): 80-83.  
Ma Fang, Wang Hongyu, Zhou Dandan. Selection and enrichment of aerobic denitrifier in activated sludge system[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology: Natural Science Edition, 2005, 20(2): 80-83.
- [13] 马秀兰, 张凤君, 周兰影, 等. 不同 MLSS 对低温低碳氮比污水处理效果的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2009, 31(6): 733-737.  
Ma Xiulan, Zhang Fengjun, Zhou Langying, et al. Effects of different MLSS on sewage treatment efficiency by low temperature and low C/N [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2009, 31(6): 733-737.
- [14] 东秀珠, 蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京: 科学出版社, 2001.  
Dong Xiuzhu, Cai Miaoying. Common identification manual of systematic bacteriology[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [15] Cervantes F, Monroy O, Gomez J. Influence of ammonium on the performance of a denitrifying culture under heterotrophic conditions [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 1999, 81(1): 13-21.
- [16] 韩晓云. 低温生物膜及其微生物特性的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.  
Han Xiaoyun. Low temperature biofilm and its microbial characteristics [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007.
- (责任编辑 王媛媛)

·学术动态·



## 第39期“科学家与媒体面对面”聚焦“雾霾”

2013年以来,中国25省(区、市)的100多座大中型城市接连出现不同程度的持续雾霾天气,大面积严重雾霾让国家和人民对大气污染的治理变得更为迫切。当前,中国的能源主要依靠石化能源,其中70%左右来自于煤炭,这也是造成中国生态环境不断恶化、持续雾霾的主要原因,若不改变这种高度依赖煤炭的能源结构,发展核电(中国核电占一次能源比例不足2%)等清洁能源,提升清洁能源比例,十面“霾”伏的现状将难以破解。纵观世界各国发展历程,20世纪60—70年代,处于工业化快速发展阶段的欧美发达国家也曾深受环境恶化、雾霾严重的困扰。当时,欧美发达国家推动了核电的规模发展,事实证明,核电在能源结构调整和环境优化改善方面发挥了突出作用。

持续雾霾下,大力推动中国核电规模化发展,用更多安全、清洁的核电替代煤电,成为调整能源结构和建设生态文明的现实选择。2014年4月4日,中国科协举办第39期“科学家与媒体面对面”活动,邀请中国工程院院士、中国核工业集团公司科技委主任潘自强,中国工程院院士、中国核工业集团公司科技委副主任叶奇蓁,国家发改委能源研究所原所长、中国能源研究会副理事长周大地围绕“联‘核’驱散雾霾、共享蓝天白云”这一主题进行解读。

详见中国科协在线直播<http://210.14.113.38:9080/asop/login.asop?titleId=380>。