

文章编号:2095-6002(2013)01-0070-04

引用格式:刘洋,董贞君,应清界,等. 异养硝化-好氧反硝化菌对食品工业废水的降解特性研究. 食品科学技术学报,2013,31(1):70-73.

LIU Yang, DONG Zhen-jun, YING Qing-jie, et al. Research on Degradation Characteristics of Heterotrophic Nitrification-aerobic Denitrifying Bacteria in Food Industry Wastewater. Journal of Food Science and Technology, 2013,31(1):70-73.

# 异养硝化-好氧反硝化菌对食品工业废水的降解特性研究

刘洋<sup>1</sup>, 董贞君<sup>1</sup>, 应清界<sup>2</sup>, 汪苹<sup>1,\*</sup>

(1. 北京工商大学食品学院, 北京 100048; 2. 江苏仙融环境技术有限公司, 江苏无锡 214135)

**摘要:** 通过用模拟的食品工业废水来培养8株异养硝化-好氧反硝化菌,以研究8株菌的生化及脱氮除磷性能,为提高食品工业废水处理效率提供理论基础. 以琥珀酸钠为碳源、硫酸铵为氮源、磷酸氢二钾为磷源,将8株菌接种于实验室配制的模拟培养基,每隔24 h测定水中 $OD_{600}$ 、COD、 $NH_3-N$ 、TN和TP浓度. 实验结果表明,8株菌生长情况良好并且均具有良好的生化能力和脱氮能力,在初始进水COD为2310 mg/L、TN为87 mg/L的情况下,COD和TN的去除率最高分别可达到97.2%和89.2%,但除磷效果不明显. 说明这8株菌能够在磷源低消耗的情况下,正常生长并表现出良好生化能力和脱氮能力,适合处理N/P较高的食品废水.

**关键词:** 食品工业废水; 异养硝化-好氧反硝化菌; 生化能力; 脱氮除磷

**中图分类号:** TS208; X172

**文献标志码:** A

近年来,随着国民经济的日益增长,人民生活水平不断提高,食品工业污水排放量也越来越大. 污水中不仅含有糖类、蛋白质、脂肪等有机物,更含有大量的氮、磷化合物等<sup>[1]</sup>. 其中氮磷的过量排放会导致水体富营养化<sup>[2]</sup>. 水体富营养化是我国当今水环境面临的重大问题,其危害主要表现在以下3方面:1)恶化水源水质,增加给水处理难度和成本;2)水体感官恶化,降低水体的美学价值;3)破坏水体生态平衡,降低水体的经济价值<sup>[3-6]</sup>. 严重时会使水体中溶解氧下降,鱼类大量死亡,甚至会导致湖泊消失. 因此降低废水中氮、磷含量显得尤为重要.

硝化和反硝化作用是自然界氮素循环的两个重要环节. 传统生物脱氮理论认为硝化作用与反硝化作用完全是对立的两个生化过程:硝化过程主要是由种类非常有限的化能自养型微生物完成的,反硝化过程主要是反硝化细菌的厌氧呼吸过程<sup>[7-8]</sup>. 但是,近二十年来生物脱氮理论和技术的新发展突破了对传统理论的认识<sup>[9-10]</sup>. 许多研究表明,不仅自

养菌能完成硝化反应,某些异养菌也可以进行硝化作用<sup>[11-13]</sup>;反硝化不只在厌氧和缺氧条件下进行,在好氧情况下也能进行. 利用异养硝化好氧反硝化脱氮技术具有下列优点:1)使硝化/反硝化过程在同一个反应器中进行,可以大大减少占地面积和建设资金;2)硝化反应的产物可直接成为反硝化反应的底物,避免了硝化过程中的 $NO_3^-$ 的积累对硝化反应的抑制,加快硝化反应的速度<sup>[14]</sup>;3)反硝化反应增加的碱度补充硝化反应减少的碱度,减少加入调节系统pH值的化学物质,降低成本<sup>[15]</sup>. 因此能同时进行异养硝化和好氧反硝化的菌种的研究越来越受到人们的关注.

本实验目的是利用模拟废水培养8株异养硝化-好氧反硝化菌,然后监测水中 $OD_{600}$ 、COD、 $NH_3-N$ 、TN和TP浓度随时间变化的情况,从而找出最佳水力停留时间、最大去除率和最大去除速率等有工程应用价值的参数,为进一步提高食品工业废水处理效率提供理论基础.

收稿日期:2012-10-26

作者简介:刘洋,男,硕士研究生,研究方向为废水处理;

\*汪苹,女,教授,主要从事水污染控制工程方面的研究. 通讯作者.

## 1 材料与方法

### 1.1 菌源

本实验室已从 SBR 反应器中筛选出 8 株具有异养硝化-好氧反硝化功能的菌株,经 16S rDNA 序列鉴定:1<sup>#</sup>戴尔福特菌(*Delftia sp*),2<sup>#</sup>蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*),3<sup>#</sup>丛毛单胞菌(*Comamonas sp*),4<sup>#</sup>蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*),5<sup>#</sup>蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*),6<sup>#</sup>芽孢杆菌(*Bacillus sp*),7<sup>#</sup>芽孢杆菌(*Bacillus sp*),8<sup>#</sup>巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*)。

### 1.2 培养基

富集培养基:柠檬酸三钠 4.08 g,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0.47 g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1.0 g,  $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.5 g,  $\text{CaCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.2 g,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  1.0 g, 蒸馏水 1 000 mL, pH 7.0 ~ 7.2, 经 0.11 MPa 121 °C 灭菌 20 min。

模拟废水:  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0.47 g, 琥珀酸钠 5.62 g, 维氏盐溶液 50 mL, pH 7.2, 蒸馏水 1 000 mL, 经 0.11 MPa 121 °C 灭菌 20 min。维氏盐溶液:  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  5.0 g,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.05 g,  $\text{NaCl}$  2.5 g,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  2.5 g,  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.05 g, 蒸馏水 1 000 mL。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 实验方法

试验菌株经富集培养 48 h 后按 10% (体积比) 的接种量接种到 400 mL 模拟废水中,在 30 °C, 180 r/min 条件下进行摇床震荡培养 96 h, 培养过程中每隔 24 h 取样 1 次, 每次取样 10 mL, 首先测定细菌光密度  $\text{OD}_{600}$ , 之后经 12 000 r/min 离心, 取上清液测定 COD,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , TN, TP。

确定总培养时间的原则是:生物量达到最大值后的 48 h, 终止培养。

#### 1.3.2 分析方法

$\text{OD}_{600}$  的测定采用紫外分光光度法;

COD,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , TN 和 TP 的测定均采用 DR 2800 型哈希水质测定仪, 所需药剂均为哈希原装药剂。

## 2 结果与分析

### 2.1 细菌生长情况

为了研究 COD、TN 和 TP 去除效果与菌株生长之间的关系, 每隔 24 h 进行  $\text{OD}_{600}$  测试, 如图 1。由图 1 可知, 1<sup>#</sup>, 2<sup>#</sup> 在 24 h 时生物量已达到最大值, 而其余 6 株在 48 h 时生物量才达到最大值, 因此 1<sup>#</sup>, 2<sup>#</sup> 总的培养时间定为 72 h, 而其余 6 株为 96 h。从 8

株菌的生长曲线可以看出, 8 株菌的生长状况良好, 并且可以清楚地看到对数期、稳定期、衰亡期几个基本的生长阶段。在接种到测试培养基之后的 24 h 内菌株保持着较高的增长速率, 细胞密度迅速增加; 此后进入稳定期, 细胞密度基本不变; 72 h 之后进入衰亡期, 细胞密度迅速减少。说明废水中有机的生物降解过程主要发生在 0 ~ 24 h 内。

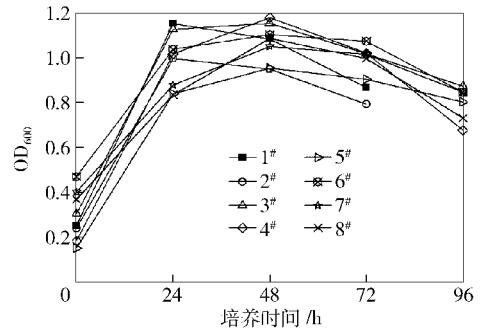


图 1 生长曲线

Fig. 1 Curve of growth

### 2.2 生化性能

以琥珀酸钠为唯一碳源研究 8 株菌生化性能, 每隔 24 h 对培养基中 COD 浓度进行测定, 如图 2。由图 2 可知, 水中 COD 的浓度在 0 ~ 24 h 内迅速降低, 然后在 24 ~ 48 h COD 降解速率略有放缓但仍然较快。在 0 ~ 48 h 8 株菌 COD 的去除率为 94.1% ~ 97.0%, 此段时间内 COD 的去除量占总去除量的 98.2% ~ 100%, 说明 8 株菌均具有很好的生化能力。COD 的去除主要在 48 h 内完成, 这是因为这段时期菌株正处于对数生长期和稳定期, 细菌在这个时期生长速度达到高潮, 此时需要消耗较多的能量, 而这些用于细胞合成、硝化和反硝化的能量主要来自于细胞体对有机物的氧化。

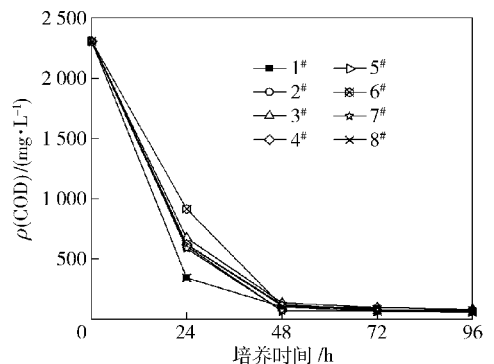


图 2 水中 COD 浓度变化曲线

Fig. 2 Variation of COD concentration in water

### 2.3 氨氮去除能力

以硫酸铵为唯一氮源研究 8 株菌的氨氮去除能

力(如图3),8株菌均表现出良好的氨氮去除能力.在0~48 h内,水中氨氮的浓度随着时间的推移而降低并在48 h时降到最低,此时氨氮的去除率在85.1%~99.2%,其中2<sup>#</sup>最佳达到99.2%.8株菌的最大氨氮去除速率均出现在0~24 h,其中5<sup>#</sup>达到3 mg/L·h<sup>-1</sup>,这远远高于自养菌硝化速率0.68 mg/L·h<sup>-1</sup>,为后面反硝化过程中所需NO<sub>3</sub>-N提供了保证.从图3中还可以看到,在48~96 h,水中NH<sub>3</sub>-N浓度有一个小幅的增长,这可能是由于48 h后水中细胞体处于一个由稳定期向衰亡期转变的过程,这期间会有部分细胞体死亡并溶解于水中,从而导致水中NH<sub>3</sub>-N的上升.

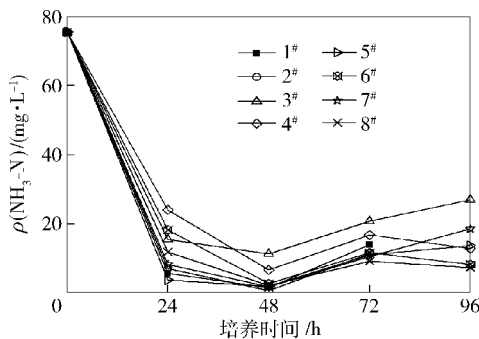


图3 水中NH<sub>3</sub>-N浓度变化曲线

Fig. 3 Variation of NH<sub>3</sub>-N concentration in water

## 2.4 脱氮性能

以水中TN含量为指标研究8株菌脱氮性能(如图4),8株菌均表现出良好的脱氮能力.在0~24 h内,水中总氮的浓度随着时间的推移而迅速降低,除6<sup>#</sup>和8<sup>#</sup>是在48 h时达到最低,其余7株均在24 h时达到最低,此时总氮的去除率在74.1%~97.7%,其中5<sup>#</sup>脱氮性能最佳达到97.7%.8株菌的最大脱氮速率均出现在0~24 h,这段时间正是细胞处于对数增值的期间,其中最大脱氮速率是5<sup>#</sup>达到3.54 mg/L·h<sup>-1</sup>.最大脱氮速率与最大氨氮去除速率出现的时间均为0~24 h,可以推断硝化和反硝化过程是同步进行的,这也正是硝化和反硝化效率都能保持较高水平的原因,硝化反应的产物可直接成为反硝化反应的底物,避免了硝化过程中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的积累对硝化反应的抑制,加速了硝化反应的速度.在48~96 h,水中总氮浓度有一个小幅的增长,这可能是由于48 h后水中细胞体处于一个由稳定期向衰亡期转变的过程,这期间会有部分细胞体死亡并溶解于水中,从而导致水中总氮的上升.

## 2.5 除磷能力

以磷酸氢二钾为唯一磷源研究8株菌除磷能力(如图5),随着培养时间的推移,水中的TP浓度非

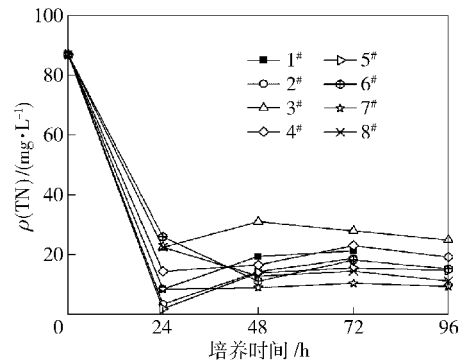


图4 水中TN浓度变化曲线

Fig. 4 Variation of TN concentration in water

但没有降低反而略微升高.这可能由3个原因造成:1)本实验从始至终都是在好氧状态进行,所以菌株没有厌氧释磷的过程,从而也就影响其在好氧状态下吸收磷的能力,这也是水中总磷含量没有降低的原因;2)由于在前期富集阶段吸附在菌体细胞上的磷溶解到水中,从而导致水中总磷含量上升;3)在细胞衰亡期会有大量细胞死亡溶解,这也是导致水中总磷含量可能上升的另一个原因.虽然水中总磷浓度没有下降,但COD和TN去除率却非常可观.这表明8株异养硝化-好氧反硝化菌能在磷源低消耗的情况下很好完成COD和TN去除,因此此类菌株适用于COD/P和N/P偏高的废水.

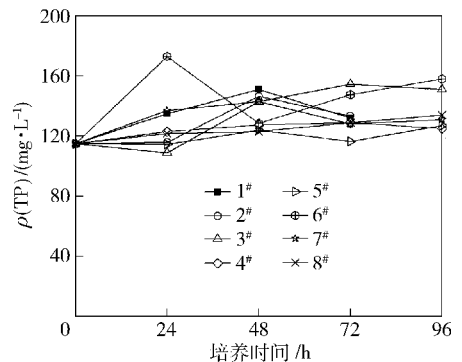


图5 水中总磷浓度变化曲线

Fig. 5 Variation of TP concentration in water

## 3 结论

1) 在以琥珀酸钠为碳源、硫酸铵为氮源、磷酸氢二钾为磷源的条件培养下,发现8株菌均有很好的生化能力和脱氮能力,其中COD去除率为95.7%~97.2%、NH<sub>3</sub>-N去除率为64.2%~87.8%,TN去除率为71.3%~89.2%,但除磷效果不明显.

2) 对比细胞生长曲线图可以看出,8株菌对COD、NH<sub>3</sub>-N、TN的较大去除速率均出现在细胞的

对数生长期,因此较佳水力停留时间应为 24 h. 而在此之后,不仅去除速率会放缓甚至还会出现各指标浓度略有上升的现象,这可能与细胞在经历了增长期、稳定期后来到了衰亡期有关.

3) 8 株菌都在磷源低消耗的情况下,表现出了很好的生化能力和脱氮能力. 这说明该类菌株适用于处理具有 N/P 较高的食品废水,如在处理味精废水、屠宰废水时,无需补充磷源,可节省一定的处理费用.

#### 参考文献:

- [1] 童延斌,魏长庆. 食品工业废水处理技术的进展[J]. 农产品加工,2009(5):34-36.
- [2] 吉芳英,赵易,熊黎,等. 环流式活性污泥/生物膜组合工艺的脱氮除磷性能[J]. 中国给水排水,2011,27(15):25-28.
- [3] 郭远凯,黎松强. 啤酒废水改良 Bardenpho 工艺除磷脱氮技术研究[J]. 环境科学与技术,2009,32(8):120-122.
- [4] 曲格平. 环境保护知识读本[M]. 北京:红旗出版社,1999:25-38.
- [5] 张林生. 废水脱氮除磷方法与处理工艺[J]. 污染防治技术,1999(4):200-203.
- [6] 齐孟文,刘凤娟. 城市水体富营养化的生态危害及其防治措施[J]. 环境科学动态,2004(1):44-46.
- [7] Mével G, Prieur D. Heterotrophic nitrification by a ther-

mophilic bacillus species as influenced by different culture conditions [J]. Canadian Journal of Microbiology, 2000, 46(5): 465-473.

- [8] Pochana K, Keller J. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND) [J]. Water Science and Technology, 1999, 39(6): 61-68.
- [9] 林燕,孔海南,何义亮. 异养硝化细菌的分离及其硝化特性试验研究[J]. 环境科学,2006,27(2):324-328.
- [10] 左薇. 一株好氧反硝化菌的筛选鉴定及其脱氮特性分析[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
- [11] Pai S L, Chong N M, Chen C H. Potential applications of aerobic denitrifying bacteria as bioagents in waste water treatment [J]. Bioresource Technology, 1999, 68(2): 179-185.
- [12] Joo H S, Hirai M, Shoda M. Characteristics of ammonium removal by heterotrophic nitrification-aerobic denitrification by alcaligenes faecalis No.4[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2005, 100(2): 184-191.
- [13] 郑平,徐向阳,胡宝兰. 新型生物脱氮理论与技术[M]. 北京:科技出版社,2004:3-6.
- [14] Frette L, Gejlsbjerg B, Westermann P. Aerobic denitrifiers isolated from an alternating activated sludge system [J]. FEMS Microbiology Ecology, 1997, 24(4): 363-370.
- [15] 马放,王弘宇,周丹丹. 好氧反硝化菌株 31 的反硝化特性[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,2005,33(7):42-47.

## Research on Degradation Characteristics of Heterotrophic Nitrification-aerobic Denitrifying Bacteria in Food Industry Wastewater

LIU Yang<sup>1</sup>, DONG Zhen-jun<sup>1</sup>, YING Qing-jie<sup>2</sup>, WANG Ping<sup>1,\*</sup>

(1. School of Food and Chemical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;

2. Xianrong Environmental Technology Co. Ltd., Wuxi 214135, China)

**Abstract:** In this paper, eight strains of heterotrophic nitrification-aerobic denitrifying bacteria were cultivated in simulated food wastewater, in order to study the degradation characteristics of eight strains. In this experiment, eight strains were cultivated in simulated food wastewater, with sodium succinate as carbon source, ammonium sulfate as nitrogen source, and dipotassium hydrogen phosphate as phosphorus source, and OD<sub>600</sub>, COD, NH<sub>3</sub>-N, TN, and TP were detected every 24 hours. The results showed that eight strains of bacteria grew well in simulated food wastewater and have good biochemical and denitrify ability. In the initial water with COD of 2 310 mg/L and TN of 87 mg/L, the highest removal rate of COD and TN can reach 97.2% and 89.2% respectively, but phosphorus removal effect was not obvious. It indicated that this eight strains could degrade COD and TN in low consumption of phosphorus source, and they were suitable for processing food wastewater of high N/P without supplement phosphorus source.

**Key words:** food industry wastewater; heterotrophic nitrification -aerobic denitrifying bacteria; biochemical ability; nitrogen and phosphorus removal

(责任编辑:檀彩莲)