

高盐榨菜腌制废水处理的微生物系统构建研究

周 健, 吴绮桃, 龙腾锐, 王夏敏

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要: 针对高盐榨菜腌制废水生物处理过程中微生物系统难于构建的问题,研究了采用逐步驯化法构建高盐微生物处理系统的可行性及投加甜菜碱对高盐条件下生物脱氮系统建立的影响。试验结果表明:采用每次提高进水盐度为0.5% (以NaCl计)的逐步驯化方法,可建立能适应盐度为7% (以NaCl计)的高盐微生物处理系统,优势菌群为杆状嗜盐菌;在温度为25℃、DO为5 mg/L、有机负荷为1.0 kgCOD/(m³·d)时,反应器对COD的去除率达到了97.4%;投加甜菜碱对高盐环境下硝化菌及反硝化菌的培养具有促进作用,缩短了生物硝化及反硝化系统的构建时间。

关键词: 榨菜废水; 高盐; 微生物系统构建; 逐步驯化法

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2007)15-0017-05

Establishment of Microbiological System for Treatment of Mustard Tuber Wastewater with High Salinity

ZHOU Jian, WU Qi-tao, LONG Teng-rui, WANG Xia-min

(MOE Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: In order to solve the difficult problems in the establishment of microbiological system during the treatment of high-salinity mustard tuber wastewater, the feasibility of establishing high-salinity microbiological treatment system by progressive domestication method and the effect of betaine addition on the establishment of biological nitrogen removal system under high-salinity condition were investigated. The result shows that under the progressive domestication process, in which inflow salinity is periodically increased by 0.5% (calculated as NaCl), a high-salinity microbiological treatment system can be established to endure salinity level of 7% (calculated as NaCl), and the predominant microorganisms are the bacilliform halophiles. Under the temperature of 25℃, the DO of 5 mg/L and the organic loading of 1.0 kgCOD/(m³·d), the COD removal rate reaches 97.4%. Furthermore, the addition of betaine can accelerate the cultivation of nitrobacteria and denitrifying bacteria in high-salinity environment and shorten the time of forming biological nitrification and denitrification systems under high-salinity condition.

Key words: mustard tuber wastewater; high salinity; establishment of microbiological system; progressive domestication process

含盐废水生物处理的难点是如何构建其微生物系统,对此,目前的研究主要集中在低盐度废水处理

方面,而有关高盐条件下生物脱氮系统构建的报道则较少。杨健等在盐度为3.4% (以NaCl计,下同)

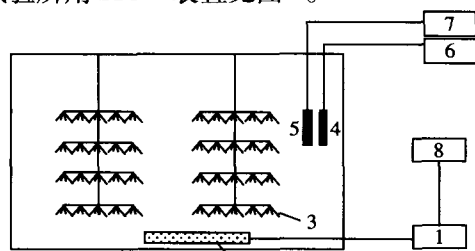
的条件下驯化出了以菌胶团为主的活性污泥^[1],当负荷为 $1.0 \text{ kgCOD}/(\text{kgVSS} \cdot \text{d})$ 时,其具有良好的吸附降解性能,对 COD 和 BOD_5 的去除率分别可达 90% 和 93%。何健等比较高盐和低盐条件下的污泥驯化过程^[2],结果表明以盐分作为选择渗透压力可以驯化出在盐度为 4.3% 的环境中具有高降解活性的耐盐污泥;与低盐(2.4%)驯化相比,其驯化期长 24 d。An 等采用两段生物接触氧化法处理盐度分别为 2.5% 和 3.4% 的有机废水^[3],经过驯化后对 BOD_5 的去除率可达 90%。Charles Glass 在研究高盐、高氮废水脱氮时发现,污泥经驯化后能够在盐度为 7.7% 的条件下进行反硝化,且脱氮率随盐度的增加而减小,而未驯化的污泥不能进行反硝化^[4]。

笔者针对榨菜腌制废水(盐度高达 7%)生物处理系统难于构建的问题,探讨了采用逐步驯化法构建高盐微生物处理系统的可行性及投加甜菜碱对生物脱氮系统建立的影响,以期高盐榨菜腌制废水的生物处理奠定基础。

1 试验材料及方法

1.1 试验装置

试验所用 SBBR 装置见图 1。



1.充氧泵 2.砂头 3.填料 4.DO 探头 5.pH 探头
6.DO 测定仪 7.pH 测定仪 8.时间控制器

图 1 SBBR 试验装置

Fig. 1 Schematic diagram of SBBR process

SBBR 反应器的有效容积为 7 L,内设半软性填料,挂膜密度为 30%;采用充氧泵经砂头曝气,每个

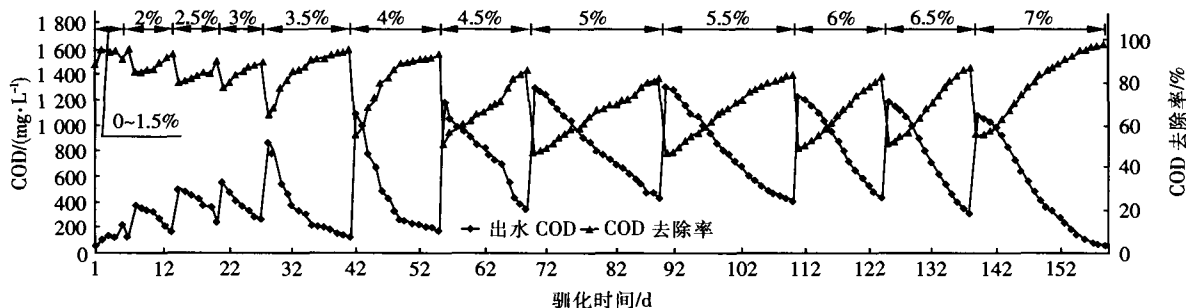


图 2 驯化过程中 COD 浓度的逐日变化

Fig. 2 Daily variation of COD concentration during domestication

周期包括进水、反应、排水、闲置等工序。

1.2 试验水质

试验用水为涪陵榨菜厂的腌制出水,其水质见表 1。

表 1 试验水质

Tab. 1 Quality of wastewater in experiment

项目	盐度/%	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD_5 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
数值	0.5 ~ 7	2 500	1 500	65	180

1.3 试验方法

1.3.1 微生物处理系统的构建研究

在 SBBR 中接种城镇污水厂的污泥进行挂膜,运行条件:进水 pH 值为 7.0,有机负荷为 $1.0 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,DO 为 5 mg/L ,温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$,泥龄约 45 d;运行工况:进水(0.2 h)—曝气(11 h)—排水和闲置(0.8 h)。采用逐步提高进水盐度的方法进行驯化启动,即一个阶段结束后,提高盐度(0.5%)进入下一个阶段,如此直到 7% 的目标盐度,期间测定 COD 并观察生物相。

1.3.2 投加甜菜碱试验

采用 5 组成功驯化到 7% 盐度的反应器进行平行试验,将各反应器投加的甜菜碱浓度分别控制在 0、0.1、0.5、1.0、1.5 mmol/L,进水 pH 值为 7.0,有机负荷为 $0.05 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,氮负荷为 $0.08 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,DO 为 5 mg/L 左右,温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$,泥龄约为 45 d;运行工况为:进水(0.2 h)—曝气(11 h)—排水和闲置(0.8 h),定期测定 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 及 $\text{NO}_3^- - \text{N}$,考察投加甜菜碱对高盐条件下硝化及反硝化菌培养驯化的影响。

2 结果与讨论

2.1 微生物处理系统的构建

驯化过程中 COD 浓度的逐日变化见图 2。

由图 2 可知,当盐度为(0 ~ 1.5%)、(2% ~ 3%)、(3.5% ~ 4.5%)、(5% ~ 5.5%)、(6% ~ 6.5%)、7%时,各阶段的驯化时间分别为 5、7、14、21、14 和 21 d,对应的 COD 去除率分别为 95%、(89% ~ 93.2%)、(85.5% ~ 94.8%)、(81.2% ~ 83.9%)、(82.0% ~ 87.0%)、97.4%。驯化过程中,每提高一次盐度后,初期的出水 COD 浓度均大幅度升高,随着驯化时间的延长,其出水浓度逐渐降低直至稳定在一个较低的水平,而 COD 的去除率则逐渐升高。这是由于提高盐度后,建立新的生态系统需要一个过程,随着新的生态系统的建立和优势菌的逐步稳定,系统对盐度的承受能力不断提高,去除有机物的能力也逐渐增强。在驯化终期,出水 COD 为 62 mg/L,达到了污水综合排放一级标准。这表明,采用逐步提高盐度的驯化方法,能够成功地构建耐盐微生物处理系统。

对生物相的观察结果见表 2。

表 2 驯化前、后生物相观察结果比较

Tab. 2 Comparison of biofacies before and after domestication

盐度/%	生物相观察结果
0	生物相丰富,有大量钟虫,污泥絮体较密实
0.5	钟虫和累枝虫:数量较少;纤毛虫:数量多,活跃
1	纤毛虫:数量多,活跃;丝状菌:数量多
1.5	纤毛虫:数量多,活跃;钟虫和累枝虫:数量少;丝状菌:数量多
2	漫游虫:数量极多;丝状菌:数量极多
2.5	漫游虫:数量极多;纤毛虫:活动慢;丝状菌:数量极多;钟虫:数量少
3	漫游虫:数量很多;纤毛虫:活动较慢;丝状菌:数量少;钟虫:数量少
3.5	漫游虫:很多;纤毛虫:数量多,活动慢;丝状菌:数量少;钟虫:数量少
4	纤毛虫:多、大、活动慢,污泥絮体松散
4.5	纤毛虫:数量较多
5	纤毛虫的数量较少,污泥絮体松散
5.5	有少量纤毛虫和杆状嗜盐菌
6	有纤毛虫(数量少)、杆状嗜盐菌(数量较少)、圆形嗜盐菌(数量少),污泥絮体小、松散
6.5	有纤毛虫(数量少)、杆状嗜盐菌(数量较多)、圆形嗜盐菌(数量少),污泥絮体小、松散
7	有纤毛虫(数量少)、杆状嗜盐菌(数量多)、圆形嗜盐菌,污泥絮体小、松散

镜检结果表明,接种污泥中所含微生物种类丰富,以钟虫为优势物种。随着盐度的提高,则钟虫逐

渐减少,在盐度为 4% 时已观察不到;漫游虫在盐度为 2% ~ 3.5% 时大量存在,但当盐度提高到 4% 时其完全消失;丝状菌在盐度为 1% ~ 2.5% 时大量存在,随着盐度的提高则逐渐消失。分析认为由于榨菜废水中溶解性 BOD₅ 所占比例高^[5],因而容易诱发丝状菌的异常繁殖。另一方面,随着渗透压的增加,水相中的基质达到细胞内的难度增大,而丝状菌的比表面积大,在对基质的竞争中有一定的优势,因而在一定盐度范围内丝状菌能够大量繁殖。但丝状菌耐盐度的能力有限,故当盐度升高到一定程度时其会完全消失。纤毛虫在整个驯化过程中始终存在,表现出良好的耐盐能力。杆状和球形嗜盐菌在盐度为 5.5% 时开始出现,随着盐度的增加则其数量逐渐增多,而榨菜腌制废水中也存在少量这种细菌,故推断杆状和球形嗜盐菌的种源来自榨菜腌制废水,并在反应器中大量生长。此外,当盐度提高到 5.5% 以上时污泥絮体变得松散,出水浑浊,分析原因是:高盐条件下,微生物的种类和数量减少,而嗜盐微生物的数量增加(以杆菌为主),其动能大,絮凝性差,导致出水浑浊。

在 0 ~ 6% 的盐度范围内,盐度的升高对反应器中的微生态系统有较大的影响,尤其是当盐度 > 5% 时,反应器中只有少量的纤毛虫及嗜盐菌,对应的驯化时间也比低盐度的长,因此可以认为随着盐度的升高,微生物的调渗能力降低,非耐盐微生物死亡,而能适应的微生物生存下来并增殖,耐盐及嗜盐微生物的数量逐渐增加,其通过调节体内的相容性物质来适应外界渗透压的变化,使有机物的去除率逐渐增加。盐度为 6% ~ 6.5% 时的驯化时间比 5% 和 5.5% 的短,这是因为当盐度提高到 6% 以上后,出现了以盐度为生存必要条件的中度嗜盐杆菌和球菌。在高盐条件下,中度嗜盐菌在细胞壁积累无机阳离子(Na⁺、K⁺)和有机化合物(氨基酸、甘油等),这增加了细胞的离子强度,能够维持细胞的渗透压。同时镜检还发现,随着盐度从 6% 提高到 7%,中度嗜盐菌的数量明显增加,因而可以认为 7% 的盐度更有利于嗜盐菌的生长繁殖。

综上所述,通过逐步提高反应器中的盐度,可以把污泥中的非耐盐微生物淘汰,使耐盐能力较强的菌群得到增殖,并且随着盐度的逐渐增加,可使以盐度为生存必要条件的嗜盐菌成为优势菌种,逐步构建出能适应高盐度环境的微生物处理系统。

2.2 投加甜菜碱对建立生物脱氮系统的影响

投加甜菜碱对构建高盐生物脱氮系统的影响如图3~5所示。

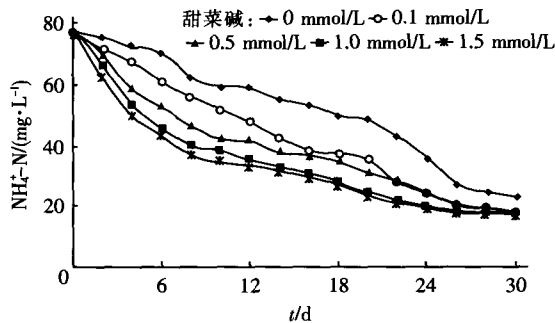


图3 投加甜菜碱对去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的影响

Fig.3 Effect of dosing betaine on $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal

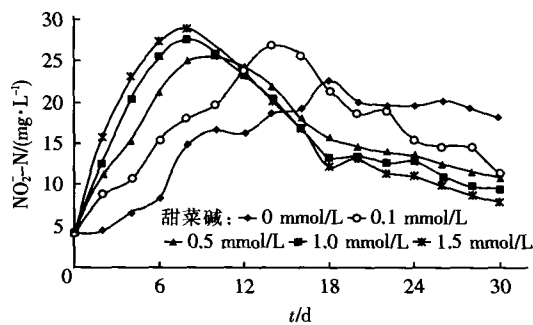


图4 投加甜菜碱对去除 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的影响

Fig.4 Effect of dosing betaine on $\text{NO}_2^- - \text{N}$ removal

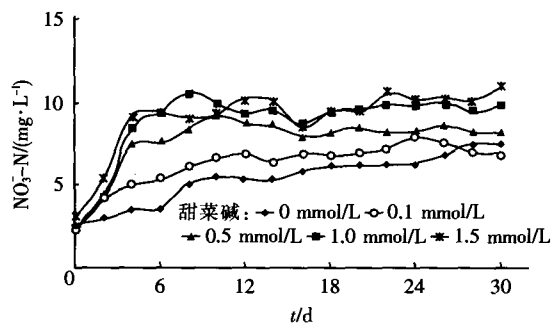


图5 投加甜菜碱对去除 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的影响

Fig.5 Effect of dosing betaine on $\text{NO}_3^- - \text{N}$ removal

由图3~5可知,随着驯化时间的增加,各反应器出水中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度,从初始的 76.5~78.5 mg/L 下降到 17.7~22.6 mg/L;出水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度则是先逐渐升高再下降,最高可达 29.1 mg/L;出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度逐渐增加,从初始的 2.3~3.0 mg/L 提高到 6.8~11.0 mg/L。投加了 1.5 mmol/L 甜菜

碱的反应器比未投加甜菜碱反应器的驯化时间缩短了近 10 d。在 7% 的盐度条件下,随着驯化时间的增加则耐盐硝化菌的生态优势逐步建立,各反应器中均发生了硝化反应,硝化效能逐日提高。在驯化的初始阶段,投加甜菜碱对硝化效能的影响较大,即其投加量越大则亚硝化及硝化速率越快, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 及 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度越高,说明投加甜菜碱对耐盐硝化菌微生物生态系统的构建有明显的促进作用。分析原因是:甜菜碱本身不带电荷,且在水中的溶解性好,因而在细胞内的高浓度积累对微生物的影响较小^[6],在驯化初期,硝化菌可从环境中直接吸收甜菜碱来增强其抗盐能力,投加甜菜碱较多的反应器,其硝化菌体内积累的甜菜碱也多,有助之适应高盐环境,促进其增殖。另一方面,随着污泥驯化时间的延长,投加与未投加甜菜碱的反应器硝化能力的差异逐渐缩小,这是因为,随着驯化时间的延长,耐盐和嗜盐硝化菌的数量逐步增加,嗜盐硝化菌通过自身将外源性物质合成渗透保护剂以适应高盐环境,使反应器的硝化效能逐日提高。

由图4还可知,驯化7d后投加甜菜碱的反应器在表现出良好硝化能力的同时,还表现出较强的同步反硝化能力,这是因为在SBBR反应器的生物膜中形成了良好的好氧、缺氧微环境,有利于同步硝化反硝化菌的生长;另一方面,投加甜菜碱对反硝化微生物生态系统的建立有促进作用。随着驯化时间的增加,反应器的反硝化能力逐渐增强;对于未投加甜菜碱的反应器,其耐盐反硝化菌的数量增加较慢,需要较长的驯化时间。

3 结论

① 采用每次提高进水盐度为 0.5% 的逐步驯化方法,建立了能适应盐度为 7% 的高盐微生物处理系统,优势菌群为杆状嗜盐菌;在温度为 25℃、DO 为 5 mg/L、有机负荷为 1.0 kgCOD/(m³·d) 时,反应器对 COD 的去除率达到了 97.4%。

② 投加甜菜碱对高盐环境下硝化菌及反硝化菌的培养有促进作用,缩短了生物硝化及反硝化系统的构建时间。

参考文献:

- [1] 杨健,王士芬,郭长虹. 驯化活性污泥处理高含盐量有机废水研究[J]. 上海环境科学,1998,17(9):8-10.

(下转第25页)

生物破乳剂较化学破乳剂具有优势,主要体现在其能够大幅削减 COD,有利于解决使用化学破乳剂时脱出水 COD 超标的难题。

③ 对油田采出水回注系统而言,生物混凝滤后水与化学混凝滤后水在 SS、含油量这两个指标上相当,对于其他主要水质指标,则前者仍占有优势:化学混凝滤后水有硫酸锶结垢趋势,而生物混凝滤后水无此趋势;生物混凝滤后水对挂片的腐蚀速率远低于化学混凝滤后水。

参考文献:

- [1] 康万利,孙春柳. 油田乳状液破乳方法研究进展[J]. 管道技术与设备,2006,(2):1-4.
- [2] 陈雷,祁佩时,王永庆,等. 三元复合驱采石油废水的处理与回用研究[J]. 中国给水排水,2001,17(6):4-6.
- [3] Das M. Characterization of de-emulsification capabilities of a *Micrococcus* species[J]. Bioresour Technol,2001,79(8):15-22.
- [4] Park S H, Lee Jung-Hyun, Ko Sung-Hwan, et al. Demulsification of oil-in-water emulsions by aerial spores of a *Streptomyces* sp [J]. Biotechnol Lett, 2000, 22 (17): 1389 - 1395.
- [5] Nadarajah N, Singh A, Ward O P. Evaluation of a mixed bacterial culture for de-emulsification of water-in-petroleum oil emulsions [J]. World J Microbiol Biotechnol, 2002,18(5):435-440.
- [6] 徐远春,崔建升,耿艳楼,等. 生物破乳剂性能研究[J]. 环境保护,1998,(6):22-23.
- [7] Janiyani K L, Purohit H J, Shanker R, et al. De-emulsification of oil-in-water emulsions by *Bacillus subtilis* [J]. World J Microbiol Biotechnol, 1994,10(5):452-456.
- [8] 黄翔峰,闻岳,杨葆华,等. 破乳菌种 TR-1 的筛选与破乳性能实验研究[J]. 油田化学,2006,23(2):136-139.
- [9] 李茂生. 水溶性聚醚在金属加工液中的应用[J]. 合成润滑材料,2003,30(4):8-10.
- [10] 关德,杨寨,魏光华,等. SZ36-1 油田注水系统结垢趋势预测及防垢研究[J]. 油田化学,2001,18(2):136-138.

作者简介:黄翔峰(1974-),男,福建古田人,博士,副教授,研究方向为水污染控制。

电话:(021)65982592

E-mail:hxf@mail.tongji.edu.cn

收稿日期:2007-04-18

(上接第20页)

- [2] 何健,李顺鹏,崔中利,等. 含盐工业废水生化处理耐盐污泥驯化及其机制[J]. 中国环境科学,2002,22(6):546-550.
- [3] An L, Gu G W. The treatment of saline wastewater using a two-stage contact oxidation method [J]. Water Sci Technol, 1993, 28(7):31-37.
- [4] Charles Glass. Denitrification of high-nitrate, high-salinity wastewater [J]. Water Res, 1999, 33(1):223-229.
- [5] 李哲,周健,曾朝银. 榨菜废水水质特性及其对活性污泥沉降性能的影响[J]. 给水排水,2005,31(11):57-60.
- [6] 洪青,张国顺,张忠辉,等. 中度嗜盐菌 *Halomonas* sp. BY5-1 的渗透调节[J]. 微生物学通报,2004,31(5):71-73.

作者简介:周健(1964-),女,江苏常州人,教授,研究方向为水处理理论与技术。

电话:(023)66357572

E-mail:zhoujian@126.com

收稿日期:2007-04-18