第 25 卷第 12 期
2005 年 12 月

环 境 科 学 学 报
Acta Scientiae Circumstantiae

Vol. 25, No. 12
Dec., 2005

周 健,曾朝银,龙腾锐,等. 高盐高氮榨菜废水生物脱氮试验研究[J]. 环境科学学报,2005,25(12):1636 - 1640

ZHOU Jian, ZENG Chaoyin, LONG Tengrui, *et al*. Study on biological nitrogen removal in mustard tuber wastewater with high salinity and high nitrogen concentration[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(12): 1636 - 1640

高盐高氮榨菜废水生物脱氮试验研究

周 健[1,*],曾朝银[1],龙腾锐[1],黄厚富[2]

1. 重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400045
2. 浙江工业大学建筑设计研究院,杭州 310014

收稿日期:2005-06-07 **修回日期**:2005-08-23 **录用日期**:2005-09-01

摘要:针对榨菜生产过程中产生的高盐高氮废水,探讨了在高盐条件下有机负荷、氮负荷、DO、pH 等因素对 SBBR 反应器脱氮效能的影响. 研究结果表明,在 SBBR 反应器中接种从榨菜腌制废水中筛选出的耐盐菌后,可使反应器对高盐废水具有良好的适应性,同时镜检发现其生物膜中存在大量丝状菌;反应器具有较强的同时硝化反硝化能力,有机负荷、氮负荷、DO、pH 等因素对反应器脱氮效能的影响显著;研究得出其最优运行参数为有机负荷小于 1.0 kg·m^{-3}·d^{-1}、氮负荷小于 0.15 kg·m^{-3}·d^{-1}、DO 大于 5 mg·L^{-1}、进水 pH 大于 7 及温度大于 20 ℃,在此条件下可使进水盐度(以 NaCl 计)为 2 %、COD_{Cr} 为 3500 mg·L^{-1},TN 为 530 mg·L^{-1},NH_4^+-N 为 150 mg·L^{-1}的榨菜废水,其出水 COD_{Cr} 小于 80 mg·L^{-1}、NH_4^+-N 小于 3 mg·L^{-1}、TN 小于 16 mg·L^{-1},NH_4^+-N 和 TN 的去除率分别为 98 %和 96 %。

关键词:榨菜废水;高盐废水;生物脱氮;同时硝化反硝化

文章编号:0253-2468(2005)12-1636-05 **中图分类号**:X703 **文献标识码**:A

Study on biological nitrogen removal in mustard tuber wastewater with high salinity and high nitrogen concentration

ZHOU Jian[1,*], ZENG Chaoyin[1], LONG Tengrui[1], HUANG Houfu[2]

1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045
2. The Architectural Design & Research Institute Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014

Received 7 July 2005; **received** in revised form 23 August 2005; **accepted** 1 September 2005

Abstract: Aiming at the high salinity and high nitrogen of the wastewater produced in the manufacturing process of mustard tuber, the influence of the factors such as organic loading rate (OLR), nitrogen loading rate (NLR), DO and pH on the effect of the nitrogen removal of SBBR reactor in the condition of high salinity was studied. The results showed that if the halophilic bacteria selected from mustard tuber wastewater were inoculated in the SBBR reactor, the reactor could get a better adaptability to the high salinity. And by the observation of microscope, it was found that there were a great many of filamentous organisms proliferating on the biological film. The reactors had relatively strong simultaneous nitrification and denitrification capacity, the influences of OLR, NLR, DO and pH on the nitrogen removal were significant. And the operating conditions were OLR ≤1.0 kg·m^{-3}·d^{-1}, NLR ≤0.15 kg·m^{-3}·d^{-1}, DO ≥5 mg·L^{-1}, pH ≥7, T ≥20 ℃. Under this condition, if the influent salinity of the wastewater(as NaCl) was 2 %, COD = 3500 mg·L^{-1}, TN = 530 mg·L^{-1}, NH_4^+-N = 150 mg·L^{-1}, and the effluent quality will be COD < 80 mg·L^{-1}, TN < 16 mg·L^{-1}, NH_4^+-N < 3 mg·L^{-1}. NH_4^+-N and TN removals rates were 98 % and 96 % respectively.

Keywords: mustard tuber wastewater; salinity wastewater; biological nitrogen removal; simultaneous nitrification and denitrification (SND)

榨菜加工生产过程中产生的废水具有高盐、高有机物及高氮的特征,由于这类废水盐度较高,使其生物处理的难度增大,特别是对其中 N、P 的去除成为难点。目前,对于含盐废水处理的研究主要集中在有机物去除方面,对其脱氮除磷的研究较少. Campos 等(2002)研究指出当盐度高于 3 %(NaCl 计)时,活性污泥系统的硝化作用失效;而 Guanghao Chen 等(2003)则得出活性污泥硝化的耐盐极限是 6.5 g·L^{-1};Dincer 等(2001)认为在活性污泥系统中硝化所需的最小的泥龄应从无盐水的 12 d 增加到

基金项目:重庆市科委攻关项目(No. 7986)

作者简介:周 健(1964—),女,副教授(博士),E-mail: zhoujiantt@126.com, Tel: 023-66357572; * 通讯作者(责任作者)

Foundation item: The item of scientific committee of Chongqing(No. 7986)

Biography: ZHOU Jian(1964—), female, Associate professor(Ph. D.), E-mail: zhoujiantt@126.com, Tel: 023-66357572; * **Corresponding author**

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 %盐度下的 25 d;于德爽等(2003)研究了含海水污水的硝化能力,认为在海水比例不超过 10.5 %的生活废水(盐度约 0.38 %)中可实现短程硝化反硝化,并取得较高的氨氮去除率. Nugul 等(1999)采用 SBR 反应器处理海产品加工废水,在盐度为 0.03 %～0.2 %(NaCl 计)范围内能取得较好的脱氮效果. 但上述研究主要针对的是活性污泥系统,内容集中在盐度对活性污泥硝化性能的影响方面,所研究废水的盐度和含氮污染物浓度均较低,并且未见采用序批式生物膜系统对含盐废水进行脱氮的报道,尤其是对于高盐高氮高有机物的废水.

重庆涪陵是著名的榨菜之乡,每年约有 350×10^4 t 含高盐高氮高有机物的榨菜废水产生,并直接排入三峡库区,对库区水环境形成了严重的威胁. 针对榨菜废水的特征,本研究采用序批式生物膜反应器 SBBR(sequence biofilm batch reactor)对该废水进行处理,主要探讨在较高盐度条件下,有机负荷(OLR)、氮负荷(NLR)、DO、pH 等因素对反应器脱氮效能的影响,寻求榨菜废水脱氮的最优工况及途径,以期为榨菜废水的处理提供科学依据.

1　试验材料及方法 (Materials and methods)

1.1　试验装置

试验采用的 SBBR 反应器由有机玻璃制成,其有效容积为 14 L,内设半软性填料,挂膜密度约 30 %,采用充氧泵经砂头曝气,试验装置见图 1. 采用"进水-反应-沉淀-排水-闲置"的序批式运行方式.

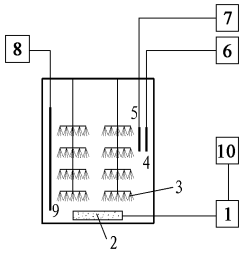


图 1　试验装置图(1. 充氧泵; 2. 砂头;3. 半软填料;4. DO 探头; 5. pH 探头;6. DO 测定仪;7. pH 测定仪;8. 温控仪;9. 加热恒温装置;10. 时间控制器)

Fig. 1　Schematic diagram of experimental equipment (1. air pump; 2. air diffuser; 3. fibrous carrier package; 4. DO probes; 5. pH probes; 6. DO controller; 7. pH controller; 8. temperature controller; 9. calefaction device; 10. time controller)

1.2　试验水质

试验用水取自涪陵华安榨菜厂综合出水,水质见表 1.

表 1　试验水质

Table 1　Quality of influent wastewater

盐度 (NaCl)	COD_{Cr} /(mg·L^{-1})	BOD_5 /(mg·L^{-1})	NH_4^+-N /(mg·L^{-1})	TN /(mg·L^{-1})	PO_4^{3-}-P /(mg·L^{-1})	pH
2.0 %～2.5 %	3500 ±300	1400 ±100	150 ±10	500 ±30	20 ±5	6.5 ±0.5

1.3　试验方法

1.3.1　启动阶段

将从榨菜腌制废水中筛选富集出来的耐盐菌,接种到取自城市污水处理厂的活性污泥中,培养出耐盐的活性污泥,再将其加入各试验反应器进行挂膜,挂膜期间控制有机负荷为 1.0 kg·m^{-3}·d^{-1},DO 为 5 mg·L^{-1}左右,温度 20 ℃左右,泥龄约 45 d;反应器运行工况为进水 0.2 h,曝气 11 h,排水和闲置 0.4 h,每个反应器运行 60 个周期以上,至出水稳定后,进行各项指标检测.

1.3.2　负荷对榨菜废水脱氮的影响研究

用 4 组反应器进行平行试验,通过采用不同的排水比,将反应器有机负荷分别控制为 0.5,1.0,1.5,2.0 kg·m^{-3}·d^{-1},对应的氮负荷分别为 0.08,0.15,0.24,0.30 kg·m^{-3}·d^{-1},其它条件与挂膜期间运行条件一致.

1.3.3　DO 对榨菜废水脱氮的影响研究

用 4 组反应器进行平行试验,DO 分别控制在 3,4,5,6 mg·L^{-1},有机负荷控制为 1.0 kg·m^{-3}·d^{-1},其它条件与挂膜期间运行条件一致.

1.3.4　进水 pH 对榨菜废水脱氮的影响研究

由于榨菜的腌制废水 pH 为 4,榨菜综合出水 pH 为 6.5 ±0.5,但在高温季节,由于水在调节池中储存的时间较长时会发生酸化而导致 pH 降低,故在实际中 pH 有一定的波动性,因此需要考察 pH 的变化对反应器脱氮效能的影响. 用 4 组反应器进行平行试验,通过投加 1 % H_2SO_4 和 NaOH,将进水 pH 分别控制为 4,5,6,7,有机负荷控制在 1.0 kg·m^{-3}·d^{-1},DO 为 5 mg·L^{-1}左右,其它条件与挂膜期间运行条件一致.

2　试验结果 (Results)

2.1　负荷对榨菜废水脱氮的影响

有机负荷、氮负荷对榨菜废水脱氮影响的试验结果见表 2 及图 2.

表 2 为反应器稳定运行时出水的均值及去除率,有机负荷在 0.5～2.0 kg·m^{-3}·d^{-1}范围内,有机物去除率为 97.34 %～97.83 %,NH_4^+-N 去除率为

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 负荷对出水水质及去除率的影响

Table 2 Effect of OLR on effluent quality and removal rates

有机负荷 /(kg·m⁻³·d⁻¹)	反应器稳定运行后平均出水水质					
	COD/(mg·L⁻¹)	COD 去除率	NH_4^+-N /(mg·L⁻¹)	NH_4^+-N 去除率	TN /(mg·L⁻¹)	TN 去除率
0.5	76	97.83%	1.2	99.2%	19.63	96.3%
1.0	80	97.71%	3.0	98%	16.46	96.9%
1.5	85	97.57%	30.0	80%	101.48	80.9%
2.0	93	97.34%	70.8	52.8%	191.28	63.9%

表 3 DO 对出水氮浓度及去除率的影响

Table 3 Effect of DO on effluent nitrogen and removal rates

DO /(mg·L⁻¹)	反应器稳定运行后平均出水水质			
	NH_4^+-N /(mg·L⁻¹)	NH_4^+-N 去除率	TN /(mg·L⁻¹)	TN 去除率
3	97.5	35.0%	366.10	30.9%
4	20.1	86.6%	95.13	82.05%
5	0.6	99.6%	16.40	92.8%
6	0.9	99.4%	28.02	94.7%

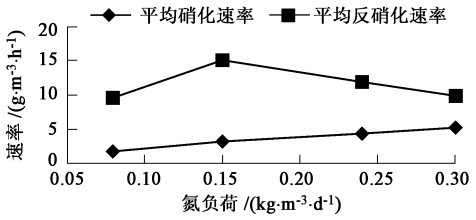


图 2 氮负荷对硝化速率和反硝化速率的影响

Fig. 2 Effect of NLR on nitrification rates and denitrification rates

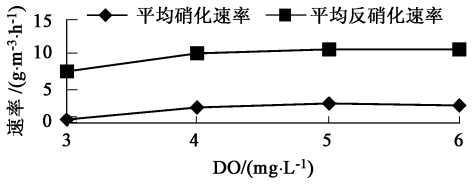


图 3 DO 对硝化速率和反硝化速率影响曲线

Fig. 3 Effect of DO on nitrification rates and denitrification rates

52.8%～99.2%,TN 去除率为 63.9%～96.9%. 当有机负荷小于 1.0 kg·m⁻³·d⁻¹时,氮负荷小于 0.15 kg·m⁻³·d⁻¹,经过 11 h 曝气后,出水 NH_4^+-N、TN 达到一级排放标准;但当有机负荷大于 1.5 kg·m⁻³·d⁻¹,氮负荷大于 0.24 kg·m⁻³·d⁻¹时,出水 NH_4^+-N、TN 去除率下降,出水不能达标.

图 2 为反应器平均硝化速率和反硝化速率曲线,由图 2 可知,氮负荷对硝化速率和反硝化速率影响较大,此处的硝化速率表征反应器内 NH_4^+-N 随时间的变化速率,采用反应初期和末期的 NH_4^+-N 浓度之差与时间的比值表示,而反硝化速率表征反应器内 TN 随时间的变化速率,采用反应初期和末期的 TN 浓度之差与时间的比值表示. 结果表明:随着负荷的增加,平均硝化速率从 1.75 g·m⁻³·h⁻¹增加到 5.1 g·m⁻³·h⁻¹,而平均反硝化速率在氮负荷为 0.15 kg·m⁻³·d⁻¹时,达到最大值 15 g·m⁻³·h⁻¹,此后当氮负荷为 0.30 kg·m⁻³·d⁻¹时,则降低到 9.75 g·m⁻³·h⁻¹.

2.2 DO 对榨菜废水脱氮的影响

DO 对榨菜废水脱氮的影响试验结果见表 3 及图 3.

表 3 为不同 DO 影响下出水 NH_4^+-N 和 TN 浓度及去除率,经 11 h 的曝气反应,DO 为 3 mg·L⁻¹和 4 mg·L⁻¹的反应器,出水 NH_4^+-N 为 97～20 mg·L⁻¹,TN 为 366～95 mg·L⁻¹,NH_4^+-N 去除率为 35%～86%,TN 去除率为 31%～82%,未达排放标准;而 DO 为 5 mg·L⁻¹和 6 mg·L⁻¹的反应器,出水 NH_4^+-N 为 0.6～0.9 mg·L⁻¹,TN 为 16～28 mg·L⁻¹,TN 去除率高达 97%～95%,达到排放标准. 图 4 为反应器平均硝化速率和反硝化速率曲线,DO 对硝化速率和反硝化速率影响较大,DO 从 3 mg·L⁻¹增加到 5 mg·L⁻¹时,平均硝化速率从 0.65 g·m⁻³·h⁻¹增加到 2.91 g·m⁻³·h⁻¹,平均反硝化速率由 7.51 g·m⁻³·h⁻¹增加到 10.68 g·m⁻³·h⁻¹.

2.3 进水 pH 对榨菜废水脱氮的影响

进水 pH 对榨菜废水脱氮的影响试验结果见表 4 和图 4、图 5.

表 4 为稳态时不同 pH 反应器出水浓度和去除率,由表 4 可知,当 pH 为 7 时,出水 NH_4^+-N、TN 达到排放标准;当 pH 为 6 时,出水 NH_4^+-N 达标,而 TN 为 111.8 mg·L⁻¹,TN 去除率为 76%. 而在 pH 为 4 和 5 时,出水 NH_4^+-N、TN 均不能达标. 图 4 为稳定运行时各反应器内 pH 随时间的变化曲线,由图 4 可知,在开始曝气的 1.5 h 内,pH 值逐渐升高到 8,随后 pH 值略有下降维持在 7.5. 图 5 为稳定运行时,不同 pH 条件下的脱氢酶浓度,由图 5 可知,随着 pH 的增加,脱氢酶浓度从 1.35 μg·g⁻¹·h⁻¹逐渐增大到 2.70 μg·g⁻¹·h⁻¹. 在进水 pH 为 7 时达到最大.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 4　pH 对出水氮浓度及去除率的影响

Table 4　Effect of pH on effluent nitrogen and removal rates

pH	反应器稳定运行后平均出水水质			
	NH_4^+-N /(mg·L^{-1})	NH_4^+-N 去除率	TN /(mg·L^{-1})	TN 去除率
4	72.0	52.0 %	196.05	63.01 %
5	29.4	80.4 %	155.52	70.66 %
6	3.9	97.4 %	111.82	78.90 %
7	0.4	99.7 %	19.64	96.30 %

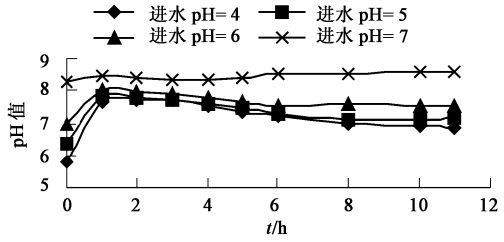


图 4　各反应器中 pH 的变化曲线

Fig. 4　The curve of pH changes in every reactor

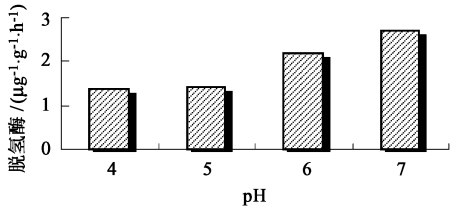


图 5　进水 pH 对脱氢酶的影响

Fig. 5　Effect of influent pH on TTC-Dehydrogenase activity

3　讨论(Discussion)

3.1　负荷对榨菜废水脱氮的影响

试验结果表明,在有机负荷小于 1.0 kg·m^{-3}·d^{-1}及氮负荷小于 0.15 kg·m^{-3}·d^{-1}时,NH_4^+-N 与 TN 去除率可以达到 97.7 %和 96.9 %,是因为通过接种榨菜腌制废水中筛选的耐盐菌,使反应器中微生物对盐度有良好的适应性,反应器内发生了明显的同步硝化反硝化作用. 经测定反应器内生物膜在反应器中的实际微生物浓度达到 16.0 g·L^{-1},VSS/MLSS为 0.73～0.84,表明填料上生长的生物膜相当密实,反应器内的污泥实际承担的有机负荷(COD 计)为 0.025～0.10 kg·kg^{-1}·d^{-1},泥龄约 45 d 左右,这为硝化菌提供了良好的生长环境,使反应器具有较强的硝化能力. 另一方面,反应器中生物膜具有良好的微环境,在曝气反应过程中 TN 浓度逐渐降低,有较强的同时反硝化能力.

从反应器的硝化速率和反硝化速率来看,最大的反硝化速率为 15 g·m^{-3}·h^{-1},根据反应器中实际污泥量换算可得单位质量 VSS 的最大反硝化速率为 0.024 g·g^{-1}·d^{-1},与普通城市污水的 0.06～0.07 g·g^{-1}·d^{-1}相比有较大的降低,表明盐度的存在,对反硝化过程产生了一定的抑制,而采用 SBBR 反应器,依然表现出较强的氮的去除能力,主要是反应器中实际生物量大,有效地缓解了盐度抑制带来的效能的降低.

当有机负荷大于 1.5 kg·m^{-3}·d^{-1},氮负荷大于 0.24 kg·m^{-3}·d^{-1}时,脱氮效率下降,虽然此时硝化速率较有机负荷小于 1.0 kg·m^{-3}·d^{-1}和氮负荷小于 0.15 kg·m^{-3}·d^{-1}时高,但由于此时氮负荷过高,在一定反应时间内 NH_4^+-N 不能完全转化,故硝化反应不彻底,从而导致了反应器脱氮效能的下降.

3.2　DO 对榨菜废水脱氮效能的影响

对于 DO 为 3 mg·L^{-1}和 4 mg·L^{-1}反应器的脱氮效能明显低于 DO 为 5 mg·L^{-1}和 6 mg·L^{-1}时的情况,分析其原因认为:一方面盐度的存在使离子强度增大,水的活度下降影响了氧的传递(Fikret Kargi, 1998);另一方面,该生物膜较厚实,在低 DO 水平下,氧的分压不足以将氧传递到生物膜内部,使得生物膜内部缺氧环境增加,减少了硝化菌生存的空间,反应器硝化能力下降,最终导致反应器脱氮能力的下降,试验观察到此时反应器内生物膜表面大面积变黑,这说明生物膜开始大面积缺氧.

DO 为 5 mg·L^{-1}和 6 mg·L^{-1}的反应器则表现出了较高的脱氮效能,在 DO 达到 6 mg·L^{-1}时,其硝化效果良好,与 DO 为 5 mg·L^{-1}时相差不大,但其出水总氮为 28.38 mg·L^{-1},高于 DO 为 5 mg·L^{-1}时的 16.43 mg·L^{-1},这主要是由于 DO 升高后,使生物膜中缺氧环境减少导致的结果,因此,控制 DO 在合适的范围内,使得生物膜内部微观的缺氧和好氧环境的比例适当,才能实现高效的同步硝化反硝化.

3.3　进水 pH 对榨菜废水脱氮效能的影响

试验结果表明,含盐水中的反硝化菌在 pH 为 7.0～7.5 时的效能较低. 由图 5 可知,随着 pH 值的增加,脱氢酶浓度逐渐增加,表明微生物活性逐渐增加,说明 pH 值对含盐水的微生物活性有较大的影响,当进水 pH 为 6 时,其出水 NH_4^+-N 较低,反应器具有较强的硝化效能,虽然此时进水 pH 较低,但反应器中实际 pH 保持在 7～8,这是由于反应器中有机氮转化和同时硝化反硝化对碱度的贡献,进水中氨氮约为 150 mg·L^{-1},TN 为 530 mg·L^{-1},其中约有

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

380 mg·L^{-1}的有机氮要转化为氨氮,在形成的氨氮中,有一部分是以游离氨形式存在的,而游离氨是缓冲体系中的一种致碱物质,因此,由于进水中较高的有机氮含量以及同时反硝化作用产生的碱度,使反应器对碱度有较强的缓冲能力,可以使其 pH 保持在 7.0～8.0,充足的碱度又保证了反应器硝化过程的进行;但此时反应器的反硝化能力却较低.而在进水 pH 为 7.0 时,反应器内 pH 为 8.0～8.5,此时反应器具有较强的反硝化能力,对于非含盐水,反硝化菌适宜的 pH 范围为 7.0～7.5,因此,可以认为,在高盐度条件下,反硝化菌适宜的 pH 范围为 8.0～8.5.

采用 SBBR 处理榨菜废水,最佳进水 pH 值为 7.0,因此当水质波动导致进水 pH 值降低,并有总氮去除要求时,应对进水 pH 进行调节.

3.4 反应器的微生物状况

对脱氮性能较好的有机负荷为 1.0 kg·m^{-3}·d^{-1}反应器中的生物膜镜检(图 6),可以发现该生物膜中丝状菌占优势,污泥絮体密实.

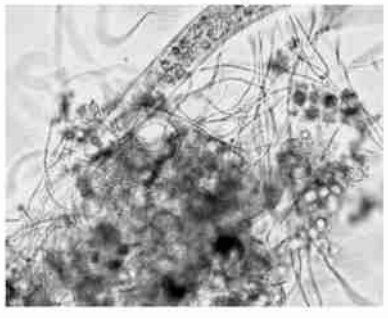


图 6 有机负荷为 1.0 kg·m^{-3}·d^{-1}时生物膜中丝状菌(×400)

Fig. 6 Filamentous bacteria in biofilm when OLR was 1.0 kg·m^{-3}·d^{-1} (×400)

值得注意的是在稳定运行的反应器内发现生物膜中有大量丝状菌的存在.这说明试验废水在盐度为 2 %条件下,丝状菌依然能够很好的生存,分析认为是由于榨菜废水中溶解性耗氧有机物较高造成的,经测定,溶解性耗氧有机物约占 95 %左右,这与有关文献(杨健等,1998)中关于"含盐废水中丝状菌消失,活性污泥不再以丝状菌为构架"的报道有较大的区别,该丝状菌固定在填料上,未对出水造成任何影响;但鉴于目前丝状菌定量检测技术的缺乏和丝状菌对脱氮的效能影响方面研究的缺乏,此反应器内丝状菌对脱氮效能的影响和对微观生态环境的影响等方面值得进一步研究.

4 结论(Conclusions)

1) 有机负荷、氮负荷、DO 和 pH 等因素对 SBBR 反应器脱氮效能有显著的影响,当反应器中有机负荷小于 1.0 kg·m^{-3}·d^{-1},氮负荷小于 0.15 kg·m^{-3}·d^{-1},DO 大于 5 mg·L^{-1},进水 pH 大于 7 时,处理进水盐度为 2 %、COD_{Cr} 为 3500 mg·L^{-1},TN 为 530 mg·L^{-1},NH_4^+-N 为 150 mg·L^{-1}的榨菜废水,出水 COD_{Cr} 小于 80 mg·L^{-1}、NH_4^+-N 小于 3 mg·L^{-1}、TN 小于 16.46 mg·L^{-1},NH_4^+-N 和 TN 的去除率分别为 98 %和 96 %.

2) 在 SBBR 反应器中接种从榨菜腌制废水中筛选的耐盐菌,使反应器对盐度有良好的适应性,具有较强的同时硝化反硝化能力,并发现生物膜中丝状菌为优势菌种.

参考文献(References):

Campos J L, Mosquera-Corral A, Sanchz M, *et al*. 2002. Nitrification in Saline Wastewater with High Ammonia Concentration in An Activated Sludge Unit[J]. Water Research, 36: 2555—2560

Dincer Ali R, Fikret Kargi. 2001. Salt inhibition kinetics in nitrification of synthetic saline wastewater [J]. Enzyme and Microbial Technology, 28: 661—665

Fikret Kargi, Dincer Ali R. 1998. Saline wastewater treatment by haophile-supplemented activated sludge culture in an aerated rotating biodisc contactor[J]. Enzyme and Microbial Technology, 22: 427—433

Guang-hao Chen, Mann-Tack Wong, Satoshi Okabe, *et al*. 2003. Dynamic response of nitrifying activated sludge batch culture to increase chloride concentration [J]. Wat Res, 37: 3125—3135

Nugul Intrasungkha, Jürg Keller, Linda L Blackall. 1999. Biological Nutrient Removal Efficiency in Treatment of Saline Wastewater [J]. Wat Sci Tech, 39(6): 183—190

Yang J, Wang S F, Guo C H. 1998. Biodegradation of High Salinity Wastewater by Acclimated Activated Sludge [J]. Shanghai Environmental Sciences, 17(9): 8—10(in Chinese)

Yu D S, Peng Y Z, Song X Q, *et al*. 2003. Nitrogen Removal from the Sewage Containing Seawater via Nitrite Pathway [J]. Environmental Science, 24(3): 50—55(in Chinese)

中文参考文献:

杨 健,王士芬,郭长虹. 1998. 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,17(9): 8—10

于德爽,彭永臻,宋学起,等. 2003. 含海水污水的短程硝化反硝化[J]. 环境科学,24(3): 50—55

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net