

尤 涛. 菌源对高盐废水驯化的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 285–288.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.06.073

# 菌源对高盐废水驯化的影响

尤 涛

(辽宁省环境科学研究院, 辽宁沈阳 110031)

**摘要:**针对高盐废水生物处理过程中菌源难于驯化的问题,采用逐步驯化法分别考察 2 种菌源对高盐废水驯化的影响,通过监测生物相的变化和挂膜情况,考察不同微生物菌群的处理能力。结果表明,采用每次提高进水盐度 1 g/L (以 NaCl 计)的逐步驯化方法,菌源 A 可建立能适应盐度 8 g/L (以 NaCl 计)的高盐微生物处理系统,出水 COD 值可达 407 mg/L,处理效率达到 83.7%,并对盐度的增大表现出较好的稳定性。

**关键词:**高盐废水;耐盐微生物;优势菌群;逐步驯化法

**中图分类号:**X703 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)06-0285-04

含盐废水微生物处理系统的构建按照微生物的来源可以分 2 种,一种是采用淡水微生物进行盐度驯化,另一种是接种筛选嗜盐微生物<sup>[1]</sup>。不同的菌源具有不同的生物多样性,导致其产生不同的生化功能特性,同时微生物体系对高盐环境的适应性也存在差异,获得高效耐盐微生物处理体系具有关键性的作用。废水生物处理反应器的功能是由微生物代谢活动和反应器运行参数共同控制实现的,而微生物的群落结构(多样性、种类、数量和分布)决定着其功能,反应器的处理效果可以通过微生物的群落结构得以反映<sup>[2]</sup>,我国对这方面的研究还很薄弱,尤其是关于高盐度废水生物处理中的微生物群落结构分析报道较少。2004 年 Uygun 等采用 SBR 工艺处理不同盐度的人工配水,当盐度从 0 升高到 6%,COD 去除率从 96% 下降至 32%;同时,盐度的增加,破坏了活性污泥内原有的群落结构,污泥性能变差<sup>[3]</sup>。何健等研究了某化工厂的高盐废水生物处理,将污泥在高盐环境下驯化培养出具有高

降解活性的耐盐污泥,当 NaCl 浓度为 45 g/L、COD 容积负荷为 1.6 kg/(m<sup>3</sup>·d)时,COD 去除率达到 96%<sup>[4]</sup>。王志霞等通过控制盐浓度,使其在一定范围内逐渐增加,研究了 SBR 反应器的运行情况,结果表明,污泥性能随着盐浓度的升高呈递增的趋势,出水水质良好<sup>[5]</sup>。汪善全等采用多种类型的接种污泥,在 SSBR 中处理高盐废水,研究显示,在盐度不断提高的情况下,驯化出的好氧颗粒污泥可以高效处理含盐废水,同时,得到的污泥与对照组相比,在抗盐度冲击、污泥活性、污泥稳定性等方面都有显著优势<sup>[6]</sup>。

本研究重点选择生活污水处理厂的活性污泥和制药废水处理厂的低盐活性污泥作为驯化的菌源,以腌制含盐废水为处理对象,探讨了采用逐步驯化法对比 2 种菌源进行高盐废水驯化的可行性及影响,以期高盐废水的生物处理奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

试验采用的反应器由有机玻璃制成,其有效容积为 163.5 L。内设片状组合填料;通过恒温加热棒控制水温在 (25±2)℃。采用充氧泵经砂头曝气,采用“进水—反应—沉淀—排水—闲置”的连续式运行方式。

收稿日期:2016-02-01

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2012ZX07202-003)。

作者简介:尤 涛(1981—),男,湖北荆州人,硕士,工程师,主要从事水污染防治技术研究工作。E-mail:xue0717@sina.com。

[4] 罗雁文,魏 晓,王良健,等. 湖南省各市(州)土地资源承载力评价[J]. 经济地理,2009,29(2):284–289.

[5] 孟庆香,常庆瑞,张俊华,等. 陕北农牧交错带土地承载力及提高途径探讨[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(1):108–111.

[6] 赵敏丽,刘普幸,朱小娟,等. 基于人粮关系的土地资源承载力空间格局研究——以河西走廊绿洲为例[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(2):203–208.

[7] 朱小娟,刘普幸,赵敏丽,等. 甘肃省土地资源承载力格局的时空演变分析[J]. 土壤,2013,45(2):346–354.

[8] 许联芳,谭 勇. 长株潭城市群“两型社会”试验区土地承载力评价[J]. 经济地理,2009,29(1):69–73.

[9] 陈 珏,雷国平,王元辉. 黑龙江省土地综合承载力空间差异研究[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(3):267–270.

[10] 姜秋香,付 强,王子龙. 基于粒子群优化投影寻踪模型的区域

土地资源承载力综合评价[J]. 农业工程学报,2011,27(11):319–324.

[11] 李 刚,卢晓宁,边金虎,等. 岷江上游土地资源承载力评价[J]. 水土保持研究,2015,22(1):262–268.

[12] 于广华,孙才志. 环渤海沿海地区土地承载力时空分异特征[J]. 生态学报,2015,35(14):4860–4870.

[13] 孙 钰,李新刚. 基于空间回归分析的城市土地综合承载力研究——以环渤海地区城市群为例[J]. 地域研究与开发,2013,32(5):128–132.

[14] 刘 明,高 林. 基于城镇化科学发展的京津冀区域土地资源承载力研究[J]. 城市发展研究,2015,22(4):6–8.

[15] 孙 钰,李新刚,姚晓东. 天津市辖区土地综合承载力研究[J]. 城市发展研究,2012,19(9):106–113.

[16] 李新刚. 城市土地综合承载力研究[D]. 天津:天津大学,2014.

1.2 模拟废水水质

废水水源采用模拟高盐污水,以蔗糖为碳源,谷氨酸钠和磷酸二氢钾为氮源和磷源,按照  $m(\text{COD}):m(\text{N}):m(\text{P})=200:5:1$  配制。模拟废水水质的各项指标:COD 为 2~3 g/L,盐度(以 NaCl 计)为 5~8 g/L,pH 值为 6.3~7.6,水温为 25~30 ℃。

1.3 试验方法

2 种菌源分别为生活污水处理厂的活性污泥,命名菌源 A;某制药厂的低盐活性污泥,命名菌源 B。在含高盐废水的反应器中分别接种菌源 A 与 B,进行驯化挂膜,形成对照;进水 pH 值为 7.0,有机负荷为  $0.35 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,温度 25 ℃。

运行工况为开始进水流速设置为 20 mL/min,采用逐步提高进水流速及进水盐度的方法进行驯化启动,即接种污泥后,每个阶段提高盐度 1 g/L(以 NaCl 计)直到预定的目标盐度 8 g/L(以 NaCl 计),进水流速提高到 65 mL/min,对每个驯化阶段测试 COD 值,并考察其生物相。

2 结果与分析

2.1 驯化过程中 2 种菌源对出水 COD 及处理负荷的影响  
试验中所设置的菌源 A 与菌源 B 污泥驯化过程中 COD 及处理负荷的变化如图 1、图 2、图 3 所示。

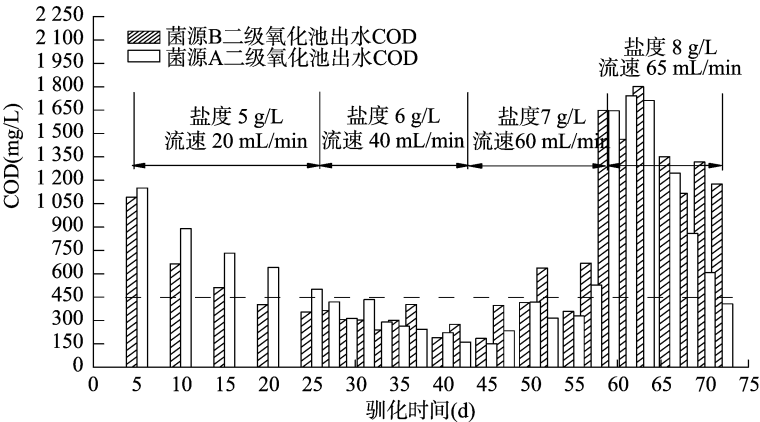


图1 2种菌源驯化过程中二级氧化池出水 COD 逐日变化

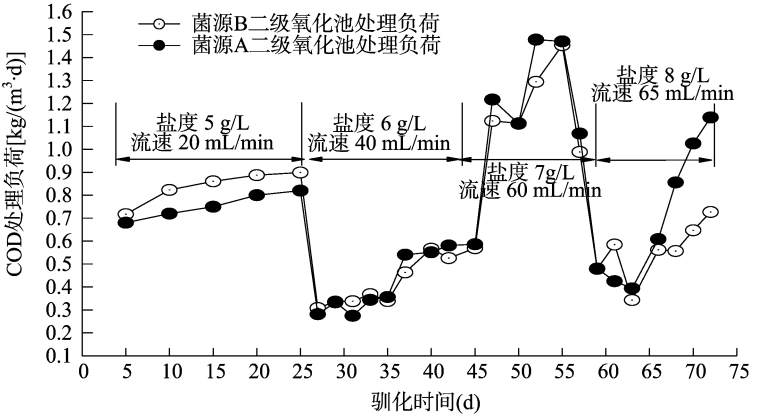


图2 2种菌源驯化过程中二级氧化池出水处理负荷逐日变化

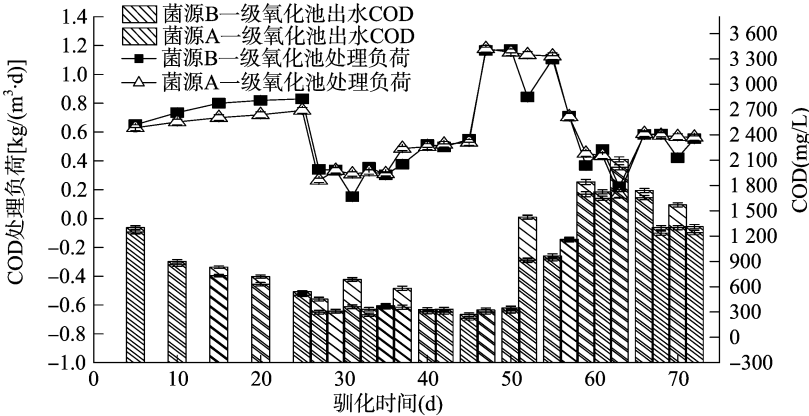


图3 2种菌源驯化过程中一级氧化池出水 COD 及处理负荷逐日变化

**2.1.1 二级氧化池驯化过程中 2 种菌源对出水 COD 变化影响的结果** 由图 1 可知,当盐度为 5 g/L、进水流速控制在 20 mL/min 时,菌源 B 驯化后二级氧化池出水 COD 值均小于菌源 A,2 组污泥驯化后的出水 COD 均伴随着驯化时间推移而逐渐变小;当盐度为 6 g/L、进水流速控制在 40 mL/min 时,菌源 B 驯化后的二级氧化池出水 COD 值与菌源 A 之间差值在逐渐减小,此阶段菌源 B 出水 COD 值大于菌源 A,整体上 2 组的出水 COD 值变化稳定,污泥均开始进入稳定的驯化阶段;当盐度为 7 g/L、进水流速控制在 60 mL/min 时,2 组的出水 COD 值比前一驯化阶段略增大,但总体上变化缓慢,并且菌源 B 的出水 COD 值大体上略高于菌源 A;当盐度为 8 g/L、进水流速控制在 65 mL/min 时,随着盐度与进水流速的不断提升,此阶段开始时 2 组污泥的出水 COD 值均有明显增大的趋势,表明此时的高盐及高负荷已经接近微生物所能承受的临界值,此后污泥不断适应驯化条件,使出水 COD 值由大变小至稳定阶段。从图 1 还可以看出,整个驯化阶段中,在不同驯化条件下,每提高一个阶段盐度及进水流速,初期均引起出水 COD 值的升高,随着驯化时间延长,出水 COD 值逐渐降低直至达到一个稳定的水平,这可能是由于每提高一个盐度,形成的新生态系统需要一个适应的过程,随着新生态系统逐步稳定,对盐度的承受能力不断提高,从而处理有机物的能力逐渐增强,出水水质逐渐好转;整个过程中菌源 B 的污泥的优势仅体现在第 1 阶段的适应期,在其他各个阶段中菌源 A 污泥表现出了较好的耐盐能力,分析其原因可能是由于菌源 B 比菌源 A 污泥组成中含有较多耐盐性微生物,但生物多样性较为单一,所以在驯化初期耐盐性微生物发挥了耐盐能力,随着驯化时间的延长,菌源 A 大量丰富的微生物不断适应驯化的高盐环境,发挥出潜在的耐盐能力,形成了更加丰富的耐盐微生物系统;并且在驯化终期盐度 8 g/L 时,出水 COD 值达到较好效果,出水 COD 值为 407 mg/L,达到污水综合排放标准 ( $\leq 450$  mg/L),处理效率为 83.7%。说明采用逐步提高盐度的驯化方法,菌源 A 较菌源 B 能成功构建耐盐微生物处理系统。

**2.1.2 二级氧化池驯化过程中 2 种菌源对处理负荷变化的影响** 由图 2 可知,当盐度为 5 g/L、进水流速控制在 20 mL/min 时,菌源 B 的处理负荷整体高于菌源 A,2 组污泥的处理负荷在该阶段内呈现稳定变化的趋势;当盐度为 6 g/L、进水流速控制在 40 mL/min 时,同样可以看出,此阶段 2 组污泥的 COD 处理负荷数值差异较小;当盐度为 7 g/L、进水流速控制在 60 mL/min 时,此阶段的 2 组污泥处理负荷均较高,呈明显的上升趋势,并且菌源 A 的处理负荷能力强于菌源 B;当盐度为 8 g/L、进水流速控制在 65 mL/min 时,污泥的处理负荷变化与出水 COD 变化基本一致,均呈现出良好状态,菌源 A 污泥 COD 处理负荷达到  $1.14 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。说明采用逐步提高盐度的驯化方法,菌源 A 较菌源 B 的处理能力更强,更适合高盐度的水处理环境,为由于盐度剧烈变化而引起的突发水污染情况提供了应急预案理论的数据。

**2.1.3 一级氧化池驯化过程中 2 种菌源的出水 COD 及处理负荷变化** 一级氧化池的每个阶段驯化条件均与二级氧化池相同,由图 3 可知,在每个不同的驯化阶段,一级氧化池的出水 COD 及处理负荷变化趋势与二级氧化池的变化相符,并没

有大幅度变化;整个驯化过程中菌源 A 的出水 COD 及处理负荷略好于菌源 B,进一步证实了对二级氧化池所获得数据的可靠性与科学性。

## 2.2 不同菌源驯化的耐盐菌群对盐度变化的稳定性

根据图 1 的试验数据分析,在驯化过程中,当盐度小于 7 g/L 时,二级氧化池出水水质保持逐步改善的趋势,说明盐度在此范围内增大对微生物菌群未造成较大的影响,属于微生物菌群较适应的变化范围。当盐度大于 7 g/L 时,每提高一次盐度,二级出水水质都会产生由差变好的大幅波动,说明 7 g/L 是原有微生物菌群可耐受的极限盐度。在盐度大于 7 g/L 的每一个驯化阶段,微生物菌群都会对自身结构进行优化以适应新的盐度环境。对比 2 种菌源驯化得到的微生物菌群在盐度为 8 g/L 时的驯化情况,菌源 A 的出水水质变化幅度要小于菌源 B,对于盐度的增大表现出较好的稳定性,原因可能在于菌源较好的生物多样性有利于驯化后菌群的稳定性。

## 2.3 驯化过程中 2 种菌源生物相观察结果

生物相观测结果如图 4、图 5、图 6、图 7 及表 1 所示。由镜检可知,菌源 A 污泥中所含微生物种类丰富,以钟虫为优势菌属,菌源 B 污泥中纤毛虫较多。随着盐度的进一步提高,钟虫逐渐减少,丝状菌在盐度为 6 g/L 时大量存在,随着盐度的提高,逐渐消失,分析其原因,是由于高盐废水中溶解性 BOD<sub>5</sub> 比例高,诱发丝状菌的异常繁殖,另一方面,在渗透压逐渐增大的过程中,增加了水相中的基质进入细胞内的难度,而丝状菌凭借比表面积大的特点,凸显了其对有机物基质竞争中的优势,但丝状菌的耐盐极限有限,高盐度时丝状菌消失。菌源 B 污泥与菌源 A 污泥中分别出现了漫游虫,并且漫游虫在盐度为 6~7 g/L 范围内大量存在。纤毛虫在整个盐度驯化过程中始终存在,表现出良好的耐盐能力。此外,当盐度提高到 8 g/L 时,菌源 A 污泥中开始出现少量眼虫,菌源 B 污泥有少量线虫,并且 2 组污泥均出现污泥絮体松散、出水浑浊,分析认为高盐条件下,微生物的种类和数量减少,使得有机物的降解受到抑制,废水污染程度加剧,因此出现了可表征环境监测水域内有机物增多、污染的生物指标眼虫,并且嗜盐微生物增加,主要以杆菌为主,由于其动能大,絮凝性差,影响到污泥的结构,使出水浑浊。

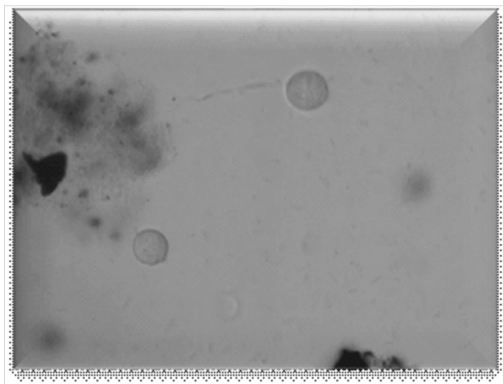


图4 菌源 B 接种污泥生物相

在盐度为 5~8 g/L 范围内,盐度的升高对反应器中的微生物生态系统有较大的影响,可以认为在盐度变化时,微生物通过调节体内的相容性物质来适应外界渗透压变化,并且盐

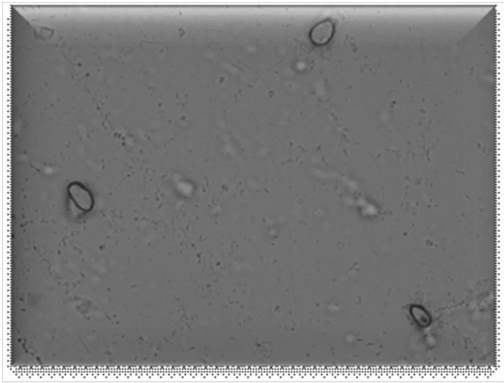


图5 菌源 B 高盐(8 g/L)生物相

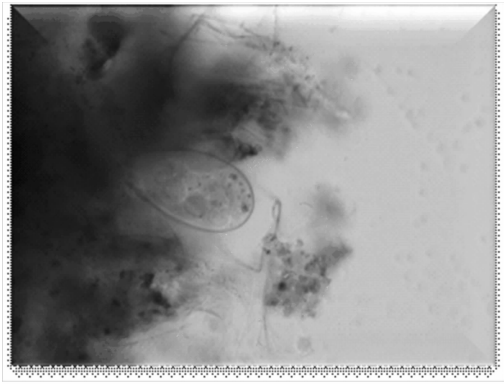


图6 菌源 A 接种污泥生物相

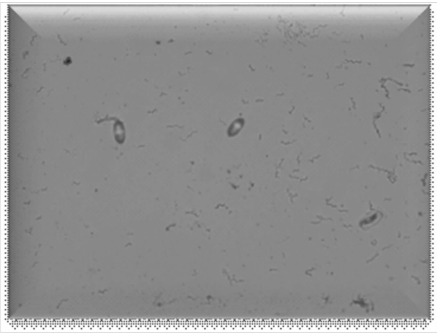


图7 菌源 A 高盐(8 g/L)生物相

度的高低与微生物的调渗能力成反比,高盐度条件下不耐盐微生物会死亡,而能适应高盐条件的微生物生存下来并大量增殖,使有机物的去除率能逐渐提高。在高盐条件下,中等嗜盐菌在细胞壁积累  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  等无机阳离子和氨基酸、甘油等有机化合物,从而增加了细胞的离子强度,以够维持细胞的渗透压。同时,镜检发现,随着盐度的提高,菌源 A 污泥的微生物适应性及多样性均好于菌源 B 污泥,可以认为反应器中的菌源 A 耐盐性更好,更具有高效处理含盐废水的潜力。

试验结果表明,通过逐步提高反应器中盐浓度的方法,以盐浓度为选择压力,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快速增殖,并通过逐渐提高盐度,可使以盐度为生存必要条件的嗜盐菌成为优势菌种,逐步构建出适应高盐浓度环境的耐高盐微生物系统。

表 1 好氧耐盐污泥驯化前后生物相观察结果比较

序号	盐度 (NaCl,g/L)	污泥种类	生物相观测结果	出水
1	5	菌源 B	有钟虫和等枝虫(数量较少),有纤毛虫(小,多,活跃)	澄清
		菌源 A	生物相丰富,有大量钟虫,污泥絮体较密实	澄清
2	6	菌源 B	有漫游虫(极多),纤毛虫(大,活动慢),丝状菌(极多),钟虫(少量)	澄清
		菌源 A	有纤毛虫(小,多,活跃),丝状菌(多)	澄清
3	7	菌源 B	有漫游虫(很多),纤毛虫(多,大,活动慢),丝状菌(少量),钟虫(少量)	澄清
		菌源 A	有漫游虫(很多),纤毛虫(大,扁,瘦,活动较慢),丝状菌(少量),钟虫(少量)	澄清
4	8	菌源 B	有线虫(少),长杆状嗜盐菌(少)	有点浑浊
		菌源 A	有线虫(数量较少)、眼虫、污泥絮体松散	有点浑浊

3 结论

采用逐步提高进水流速及进水盐度的方法进行驯化启动,分别对取自生活污水处理厂的菌源 A 与取自某制药厂的菌源 B 建立了目标盐度为 8 g/L(以 NaCl 计)的高盐微生物处理环境;通过对比研究表明菌源 A 发挥出了潜在的耐盐能力,形成了更加丰富的耐盐微生物系统;并且在驯化终期盐度 8 g/L 时,出水 COD 达到较好效果,出水值为 407 mg/L,处理效率达 83.7%,处理负荷为 1.14 kg/(m<sup>3</sup>·d),当盐度由 7 g/L 提高到 8 g/L 过程中,表现出良好稳定性,说明适合应用到由于盐度造成的突发性应急处理中。镜检结果表明,随着盐度的提高,菌源 A 污泥的微生物适应性及多样性均好于菌源 B 污泥,以钟虫为优势菌属,确定将菌源 A 污泥作为研究对象,应用到后续的高盐废水处理的研究中,其更具有实际应用价值,具有良好的应用前景。

参考文献:

[1]钟 璟,韩光鲁,陈 群. 高盐有机废水处理技术研究新进展[J]. 化工进展,2012,31(4):920-926.

[2]杨 静. 耐盐微生物的筛选及其在高盐废水处理中的应用[D]. 沈阳:沈阳师范大学,2013.

[3]Uygur, A, Kargi, et al. Salt inhibition on biological nutrient removal from saline wastewater in a sequenceing batch reactor[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2004, 34(3/4):313-318.

[4]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.

[5]王志霞,武周虎,王 娟. SBR 法处理含海水城市污水的脱氮除磷效果[J]. 工业水处理,2005,25(4):29-31,34.

[6]汪善全,原 媛,孔云华,等. 好氧颗粒污泥处理高含盐废水研究[J]. 环境科学,2008,29(1):145-151.