

进水负荷对硝化菌与异养菌竞争关系的影响

王海东, 王淑莹, 彭永臻

(北京工业大学 环境与能源工程学院, 北京 100022)

摘要: 为优化反应器的脱氮设计,就水力负荷、温度对二级上向流曝气生物滤池内微生物种群结构的影响进行了研究。试验结果表明,在生物膜培养阶段,温度对氨氮氧化的影响要大于对 COD 降解的影响;较高的 COD 负荷会导致第一级反应器内的硝化点上移,第二级反应器的硝化速率因受第一级反应器出水残余有机物的影响而下降。在第二级反应器内氨氮的硝化速率明显加快,显示了单独驯化的硝化滤柱在氧化氨氮上的优势。在不同的进水 COD 负荷下,氨氧化菌与硝化菌的活性均有沿柱高逐渐增加的趋势,且当负荷较高时,不同高度处的氨氧化菌活性大多高于硝化菌的。异养菌的活性变化表明,生长较快的异养菌通常占据了反应器的进口区。

关键词: 硝化菌; 异养菌; 曝气生物滤池; 负荷; 生物活性; 竞争

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2006)23-0026-04

Influence of Applied Loading on Competition between Nitrifiers and Heterotrophs

WANG Hai-dong, WANG Shu-ying, PENG Yong-zhen

(College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: In order to optimize the nitrification design of the bioreactor, the influence of applied loading and temperature on the population structure of microorganisms in a two-stage upflow biological aerated filter was investigated. The results show that during the biofilm culturing phase, the temperature affects nitrification more than it does on COD removal. High influent COD loading leads to the nitrification point to be relegated to the upper of the filter. Due to residual COD bleeding from the first filter, the nitrification quality of the second filter is not the same, hence the efficiency is decreased. The nitrification velocity is evidently faster in the second filter, indicating the advantage of the filter colonized by nitrifying microorganisms on ammonia oxidation. The activity of ammonia oxidizers and nitrite oxidizers has a tendency to increase along the filter height under different influent COD loadings. During higher loadings, ammonia oxidizers show higher activities along the filter than do nitrite oxidizers. The profile of activities shows that heterotrophic bacteria, culturing faster than the nitrifiers, dominates the inlet of the reactor.

Key words: nitrifiers; heterotrophs; biological aerated filter; loading; activity of microorganism; competition

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(50521140075); 国家自然科学基金资助项目(50478084)

进水底物的多样性决定了生物处理系统中微生物的多样性。硝化与有机物降解是污水以及微污染源水的生化处理中非常重要的反应。然而,由于硝化菌的增长速率较慢以及异养菌与其竞争空间和溶解氧,使得硝化作用并不是十分稳定^[1]。因此,深入了解影响硝化细菌生长的相关因素,研究其在不同条件下与异养菌的竞争关系,对于优化反应器的脱氮设计具有十分重要的意义。

曝气生物滤池 (BAF)作为一种生物膜工艺,近年来在污水及回用水处理领域得到了较快的发展^[2]。在实际应用中,可通过将 BAF串联达到高效去除有机物并进行硝化的目的^[3,4]。不过,此工艺也存在着有机碳严重限制硝化细菌进行生化反应的问题^[5,6]:从挂膜阶段起,滤池内就存在着各种菌群的适应性生长与种群间的竞争,各微生物菌群在特定的进水水质下争取各自的最适生长空间。笔者考察了硝化菌与异养菌之间的竞争关系,并研究了氨氧化菌、硝化菌以及异养菌的比生物活性对其进行生化反应的影响。

表 1 曝气生物滤池的进水水质

Tab 1 Influent characteristics of BAF

项目	COD/ (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg·L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ -N/ (mg·L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N/ (mg·L ⁻¹)	碱度/ (mg·L ⁻¹)	pH	温度/ (℃)
范围	160~315	85~175	60~100	55~90	0.05~0.30	0.05~0.84	320~560	7.2~7.8	14~28

1.2 分析项目及方法

水样的 COD、BOD₅、SS、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、TP采用标准方法测定,温度、pH、DO采用便携式仪器测定。填料上的附着生物量采用重量法测定^[11],以 VAS表示,单位为 mgVAS/g填料。以比耗氧速率 (SOUR)来表征生物膜中好氧微生物的活性,在测定过程中通过分别投加氨氧化菌及硝化菌的选择性生物抑制剂——氯酸钠和丙烯基硫脲,可分别得到异养菌、氨氧化菌以及硝化菌的 SOUR值^[7],单位为 mgO₂/(gVAS·h)。

2 结果与讨论

2.1 温度对生物膜培养的影响

温度影响细菌的生长、繁殖及生化反应速率,对于启动运行来说,温度主要是影响挂膜微生物的生长^[8,9]。有研究显示,在不同操作条件下培养形成的生物膜可在较长时间内保持其特性^[10]。分别在水温为 14 与 27 时对第一级反应器做了两组启

1 试验装置与方法

1.1 试验装置与原水水质

二级上向流曝气生物滤池的结构见图 1。

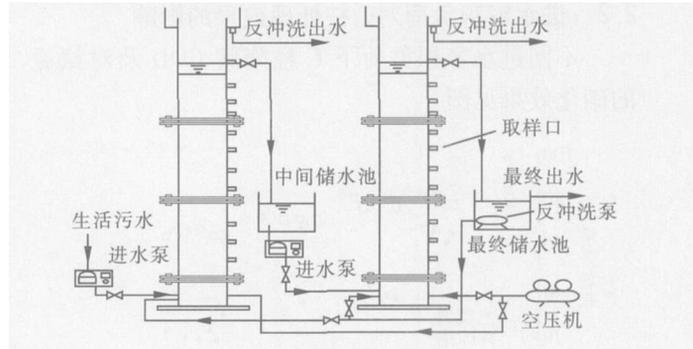


图 1 试验装置及流程

Fig 1 Schematic diagram of experimental set-up

滤池高为 2.6 m,内部充填粒径为 2~3 mm 的粘土陶粒作生物膜介质,沿池高每隔 15 cm 设一个取样口 (均可取水及填料)。两个滤池串联运行,其中第一级反应器用于氧化有机物 (C 柱),第二级为硝化反应器 (N 柱)。原水为北京工业大学校内生活污水,其 C/N 值约为 3。具体水质见表 1。

动试验,对 COD 和氨氮的去除效果见图 2。

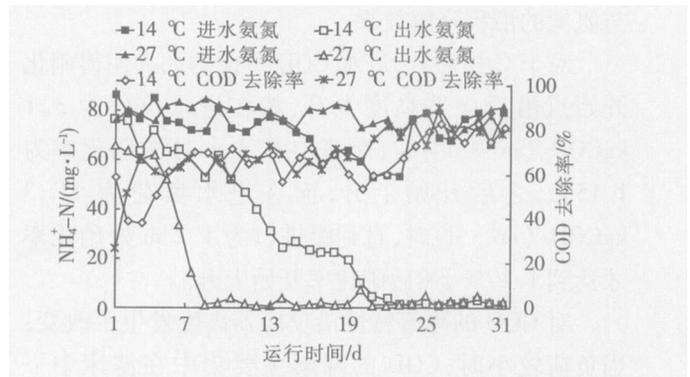


图 2 不同启动温度下对 COD 及氨氮的去除效果

Fig 2 NH₄⁺-N and COD removal at different startup temperature

14 下进水 15 d 后,对氨氮的去除率达到 60%,21 d 后去除率 >90%;而在 27 时,启动仅 8 d 对氨氮的去除率就达到了 97%。对于 COD 的降解,虽然在温度高时去除率达到 60%所需的时间略

短,但欲达到 70%以上较稳定的去除率,却均需到 21 d后。这说明在生物膜培养阶段,温度对氨氮氧化的影响要大于对 COD降解的影响。

2.2 进水容积负荷对 C柱处理效果的影响

不同进水容积负荷下 C柱降解 COD及对氨氮的硝化效果见图 3。

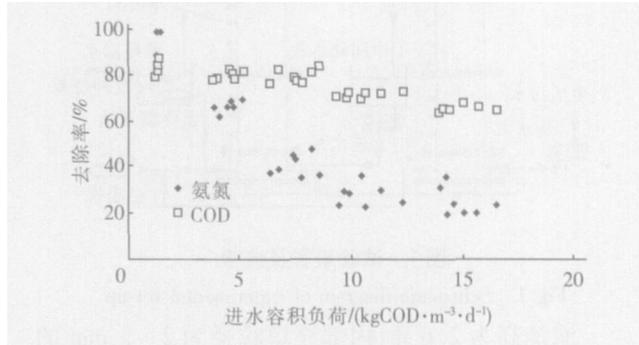


图 3 不同容积负荷下 C柱对氨氮及 COD的去除率
Fig 3 Removal efficiency of ammonia and COD with different applied loads in C filter

由图 3可知,C柱的容积负荷可达 9.4 kgCOD/(m³·d),此时出水 COD < 60 mg/L,对其去除率为 76%,对氨氮的去除率为 25%;当进水负荷 < 1.9 kgCOD/(m³·d)时,氨氮可以被完全硝化。

2.3 进水容积负荷对二级滤池处理特性的影响

第二级反应器对氨氮的去除效果与第一级反应器的进水负荷密切相关。图 4是在 C柱进水 COD负荷分别为 3.1、11.3 kgCOD/(m³·d)时,对 COD与氨氮的沿程降解效果。

对于 C柱而言,进水 COD负荷的加大使得硝化开始点沿反应器高度上升,如在进水负荷为 3.1 kgCOD/(m³·d)时,距进口 0.3 m处的硝化率为 1.15%,之后开始上升;而在进水负荷为 11.3 kgCOD/(m³·d)时,直到距进口为 1.2 m处硝化率才达到 1.17%,然后硝化率开始上升。

对 COD的降解特性沿反应器高度发生了改变:当负荷较小时,COD的降解主要集中在滤床中下部,且降解速率较高;随着负荷的加大,则异养菌逐渐占据滤池的较高处,表现为对 COD的降解速率随高度的增加而逐渐变得不明显,而且最终出水的 COD浓度大于负荷为 3.1 kgCOD/(m³·d)的。

图 4表明,较高的 COD负荷导致有机物在 C柱内降解得不完全,而 N柱由于受 C柱出水残余有机物的影响,其硝化速率下降,最终对氨氮的去除率仅

为 66%。而在进水 COD负荷为 3.1 kgCOD/(m³·d)时,对氨氮的去除率可达 98.5%。

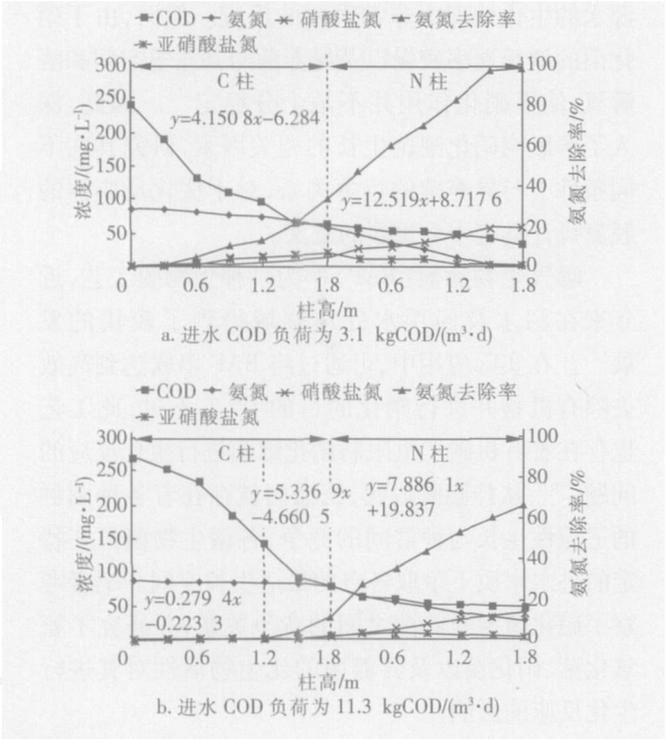


图 4 不同进水 COD负荷下 COD与氮浓度的沿程变化
Fig 4 Profiles of COD and nitrogen concentration along the two filters

将氨氮的硝化按速度不同分为 3段,由图 4可知,即使在 C柱内,由于对 COD的降解程度不同,硝化速度也存在差别;在 C柱出水进入 N柱后,硝化速率明显加快,这显示了单独驯化的硝化反应器在硝化氨氮上的优势,即将有机物降解与氨氮的硝化分别在两个柱内进行能够充分发挥各自的优势。

2.4 进水负荷对反应器内微生物分布的影响

根据前面的分析,有机物的氧化与氨氮的硝化之间存在着相互影响的关系,这种影响体现在微生物上即表现为反应器不同高度处的生物量及其活性存在差异。图 5显示了在不同进水 COD负荷下,各细菌的活性沿反应器高度的变化。

由图 5可知,氨氧化菌与硝化菌的活性均沿柱高逐渐增加,在氨氮被氧化 70%时达到最高,而且低负荷下的活性较高,说明异养菌的快速生长抑制了自养型硝化菌的生长。异养菌的活性变化表明生长较快的异养菌通常占据了反应器的进口区,其活性随负荷的增加而增高,且在高负荷下其活性随柱高的衰减速度小于低负荷的。

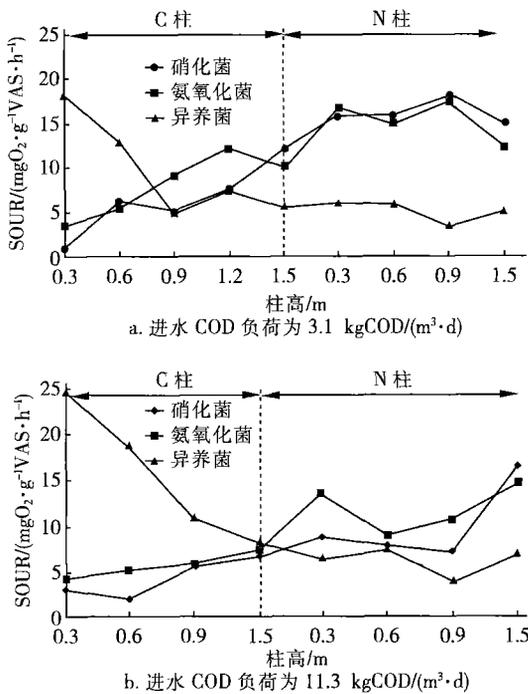


图 5 微生物活性沿柱高的变化

Fig 5 Profiles of microbiological activity along the two filters

综上所述,最大比增长速率存在差异的不同种群微生物之间由于对空间以及溶解氧的竞争,使得在反应器内出现了不同种类的微生物占据不同反应器空间的现象。在反应器的进水口处,由于有机底物充足,比增长速率较大的异养菌增殖速度较快,成为此空间段的优势种群;在反应器的中上部,由于有机底物浓度的降低,异养菌的生长受到了限制,硝化菌则由于溶解氧充足、底物(如氨氮)浓度高,而逐渐成为此段空间的优势种群,使得氨氮能够在此部位被较快去除。

对生物量的测定结果显示,在不同的进水 COD 负荷下生物量总是沿柱高逐渐降低,但是高负荷下的生物量多于低负荷的。当负荷较高时,氨氧化菌的活性在多数情形下都高于硝化菌的,因而可通过调控来实现 UBAF 的短程硝化。

3 结论

在生物膜培养阶段,温度对氨氮氧化的影响要大于对有机物降解的影响。

较高的进水 COD 负荷会导致第一级反应器的硝化点上移,第二级反应器由于受 C 柱出水残余有机物的影响,其硝化速率下降。与第一级 BAF 相比,第二级 BAF 内的硝化速率明显加快,显示了单独驯化的硝化滤池在硝化氨氮上的优势。

在不同的进水容积负荷下,氨氧化菌与硝化菌的活性均有沿柱高逐渐增加的趋势,且低负荷时的活性大于高负荷的。当进水负荷较高时,氨氧化菌的活性在多数情况下都高于硝化菌的。异养菌的生物活性变化表明生长较快的异养菌通常占据了反应器的进口区。生物量在不同负荷下总是沿柱高逐渐降低,但是高负荷下的生物量多于低负荷的。

参考文献:

- [1] Fdz-Polanco F, Mendez E, Uruena IA, *et al* Spatial distribution of heterotrophs and nitrifiers in a submerged biofilter for nitrification [J]. *Water Res*, 2000, 34 (16): 4081 - 4089.
- [2] Pujol R, Hamon Kandel X, Lemmel H. Biofilters: flexible reliable biological reactors [J]. *Water Sci Technol*, 1994, 29 (10 - 11): 33 - 38.
- [3] Pujol R, Lemmel H, Gousailles M A. Keypoint of nitrification in an upflow biofiltration reactor [J]. *Water Sci Technol*, 1998, 38 (3): 43 - 49.
- [4] Chudoba P, Pujol R. A three-stage biofiltration process: Performances of a pilot plant [J]. *Water Sci Technol*, 1998, 38 (8 - 9): 257 - 265.
- [5] Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants [M]. BATTLEBORO: BOOK PRESS INC, 1992.
- [6] Gilmore K R, Husovitz K J, Holst T, *et al* Influence of organic and ammonia loading on nitrifier activity and nitrification performance for a two-stage biological aerated filter system [J]. *Water Sci Technol*, 1999, 39 (7): 227 - 234.
- [7] Sumacz-Gorska J, Gemaey K, Demuyne C. Nitrification monitoring in activated sludge by oxygen uptake rate (OUR) measurements [J]. *Water Res*, 1996, 30 (5): 1228 - 1236.
- [8] 刘雨,赵庆良,郑兴灿. 生物膜法污水处理技术 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [9] 夏四清,高廷耀,周增炎. 受污染饮用水水源预处理技术 [J]. *上海环境科学*, 2000, 19 (8): 285 - 287.
- [10] Villaverde S, Fdz - Polanco F, Garcia P A. Nitrifying biofilm acclimation to free ammonia in submerged biofilters. Start-up influence [J]. *Water Res*, 2000, 34 (2): 602 - 610.

作者简介:王海东(1971 -),男,吉林辽源人,博士研究生,主要从事污水的生物处理及回用研究。

电话:(010)67392627

E-mail:wang haidong@ tom. com

收稿日期:2006 - 07 - 10