

不同碳源条件下 A/O-MBR 的脱氮性能对比研究

唐嘉陵¹, 王晓昌¹, 夏四清^{1,2}

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西西安 710055;

2. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

[摘要] 碳源是影响脱氮效果的关键因素之一。在 A/O-MBR 中进行了葡萄糖、乙酸钠和厨余发酵液的脱氮性能对比。结果表明: 3 种碳源条件下反应器对 NH_4^+-N 的去除率都较高, 达到 98% 以上; 以葡萄糖为碳源时, 反硝化作用不够彻底, TN 去除率只有 60%, 而乙酸钠和厨余发酵液的反硝化作用明显, TN 去除率达到 80%。通过批次实验得出, 葡萄糖的比反硝化速率最低, 乙酸钠和厨余发酵液的比反硝化速率较高, 且相当; 同时, 葡萄糖的反硝化 COD 利用效率也比乙酸钠和厨余发酵液低, 说明其脱氮能力低于后两者。

[关键词] 碳源; 脱氮; 厨余发酵液; 比反硝化速率

[中图分类号] X703 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-829X(2015)06-0031-04

Comparison of nitrogen removing capacity of A/O-MBR under different carbon source conditions

Tang Jialing¹, Wang Xiaochang¹, Xia Siqing^{1,2}

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology,

Xi'an 710055, China; 2. School of Environmental Science and Engineering,

Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Carbon source is one of the most critical factors which have influence on nitrogen removing effect. In A/O-MBR, the nitrogen removing capacities of glucose, sodium acetate and fermented liquid of kitchen waste have been compared. The results show that the reactor has high effectiveness on their NH_4^+-N removing rates, reaching 98% or more, under three kinds of carbon source conditions. When glucose used as a carbon source, its denitrification is not complete, whose TN removing rate is only 60%. But the denitrification effect of sodium acetate and fermented liquid of kitchen waste are obvious, whose TN removing rates are both 80%. The results from batch tests show that the specific denitrification rate of glucose is the lowest, while specific denitrification rates of sodium acetate and fermented liquid of kitchen waste are higher and appropriate. The COD utilization rate of glucose denitification is also lower than those of sodium acetate and fermented liquid, indicating that its denitrification capacity is lower than those of the latter two.

Key words: carbon source; nitrogen removal; fermented liquid of kitchen waste; specific denitrification rate (SDNR)

传统的生物脱氮过程包括好氧硝化和厌氧反硝化 2 个过程, 分别由不同的生物群落在各自适宜的条件下相互耦合完成。有机物作为脱氮的重要影响因素之一, 直接控制着反硝化过程的进行。进水有机物较低时, 反硝化过程因电子供体不足而受到抑制, 脱氮效率低下^[1-2]。因此, 在实际工程中常常利用外增碳源, 提高进水中有机物的含量, 改善反硝化条件, 从而提高脱氮效果。常用的外增碳源主要有甲

醇、葡萄糖等。然而, 这些碳源在实际工程中运用并不经济。因此, 寻求经济、安全、高效的碳源十分必要^[3]。有研究指出, 厨余发酵液中含有较多的 VFA、乳酸、多糖等有机物, 而且碳氮比较高^[4], 具有作为碳源的潜能。

碳源的特性直接影响微生物的活性、反硝化速率、微生物产量以及微生物群落结构等^[5-7], 进而直接影响脱氮效率。目前, 有关利用厨余发酵液作为碳

[基金项目] 水体污染与治理科技重大专项(2013ZX07310); 陕西省污水处理与资源化重点科技创新团队项目(2013KCT-13); 城市污水处理设施升级改造及资源化利用技术(CX12160)

源的研究较少,关于其脱氮性能的报道更为少见。笔者利用厨余发酵液作为 A/O-MBR 的外增碳源,并将其脱氮特性与葡萄糖和乙酸钠进行比较,验证将其作为外增碳源的可行性。

1 材料与方法

1.1 A/O-MBR 反应器

A/O-MBR 反应器如图 1 所示。

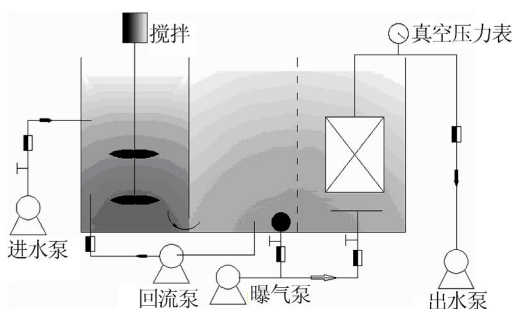


图 1 A/O-MBR 反应器结构示意图

该反应器有效体积为 37.5 L,其中厌氧池、好氧池和膜池的体积比为 1:1:1。膜组件为 PVDF 中空纤维膜,面积为 0.5 m²,孔径为 0.1 μm。好氧池与膜池之间利用穿孔隔板分开,膜池采用穿孔管曝气冲刷膜表面控制膜污染,气水比为 20:1;好氧池采用微孔曝气头曝气供气。运行期间,HRT 为 10 h,SRT 为 30 d,污泥质量浓度为 3 000~4 000 mg/L,MLVSS/MLSS 为 0.70~0.75。反应器进水为投加不同基质(葡萄糖、乙酸钠、厨余发酵液)的校园生活污水,进水水质如表 1 所示。厨余发酵液为厨余垃圾厌氧发酵产物,主要成分:COD 100~200 g/L;SCOD 60~120 g/L;VFA 10~15 g/L;蛋白质 10~30 g/L;多糖 50~100 g/L;TN 500~1 000 mg/L。

表 1 反应器进水水质

日期	碳源类型	COD/(mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)
第 1 天—第 23 天	葡萄糖	300~400	20~35	21~38
第 24 天—第 49 天	乙酸钠	200~350	20~30	20~33
第 50 天—第 73 天	厨余发酵液	200~350	15~20	17~25

1.2 污染物测定方法

每天定时从反应器中取样分析 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、TN、COD,分析方法参照参考文献[8]。将混合液在 3 500 r/min 下离心 10 min,取上清液测定 COD;上清液通过 0.45 μm 滤膜后测定 SCOD。

1.3 比反硝化速率

通过测定污泥的比反硝化速率(SDNR),比较 3 种碳源条件下活性污泥反硝化菌群的数量和活性。

在反应器运行稳定的条件下,取厌氧池污泥 0.5 L 于玻璃瓶中,使污泥质量浓度为 3 000 mg/L 左右。向其中加入 NaNO₃ 和碳源(葡萄糖、乙酸钠和厨余发酵液),使 NO₃⁻-N 和 COD 最终分别为 (35±5) mg/L 和 (300±20) mg/L。反应体系 pH 保持在 7.0~8.2。实验过程中,定时取样分析 NO₃⁻-N、NO₂⁻-N 和 COD。比反硝化速率:

$$SDNR = \frac{d[\rho(NO_3^- - N)]}{X dt} \quad (1)$$

式中:SDNR——比反硝化速率,mg/(g·h);

$\rho(NO_3^- - N)$ ——NO₃⁻-N 质量浓度,g/L;

X——污泥质量浓度,mg/L;

t——反应时间,h。

2 结果与讨论

2.1 不同碳源条件下污染物去除性能

2.1.1 COD 的变化

不同碳源条件下 COD 的变化情况如图 2 所示。

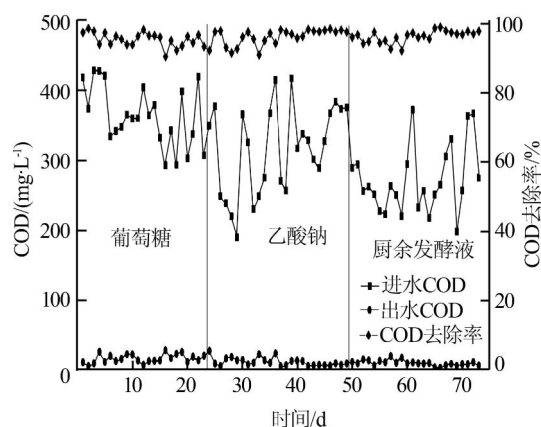


图 2 不同碳源条件下 COD 去除效果对比

从图 2 可以看出,3 种碳源条件下,进水 COD 波动较大,而出水 COD 均十分稳定,始终保持在 20 mg/L 以下,COD 去除率均达到 97% 以上,COD 去除十分彻底。这主要与膜的高效截留作用有关。进水中大部分有机物被膜组件截留于反应器中,有利于有机物的高效利用,保证出水水质。同时可以看出,投加厨余发酵液后,出水 COD 并无较大变化,表明厨余发酵液能够在短时间内被微生物适应,而且不会对其产生抑制作用。

2.1.2 NH₄⁺-N 的变化

不同碳源条件下 NH₄⁺-N 的变化情况如图 3 所示。

从图 3 可以看出,3 种碳源条件下,反应器出水 NH₄⁺-N 保持在 0.5 mg/L 左右,NH₄⁺-N 去除率都达到

98%以上,进水中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 几乎被全部氧化,硝化过程进行得十分彻底,因此脱氮效果主要取决于反硝化过程。由图 3 还可以看出,投加葡萄糖条件下,厌氧池的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 较高,为 3.5 mg/L 左右,表明反硝化作用不够彻底,导致出水 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 较高;而投加乙酸钠和厨余发酵液条件下,厌氧池中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 较低,为 0.5 mg/L 以下,表明反硝化作用十分完全,出水 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 较低。

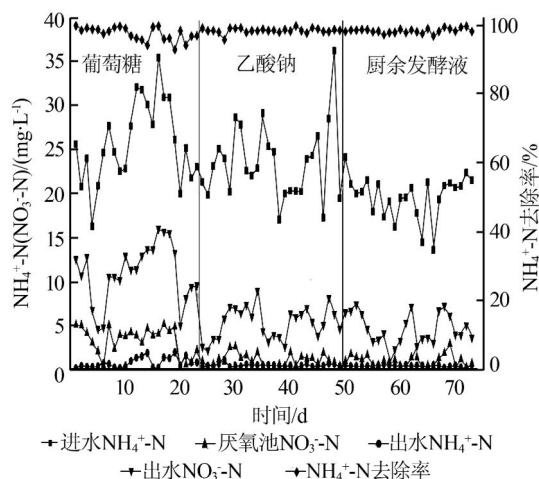


图 3 不同碳源条件下 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除效果对比

2.1.3 TN 的变化

不同碳源条件下 TN 的变化情况如图 4 所示。

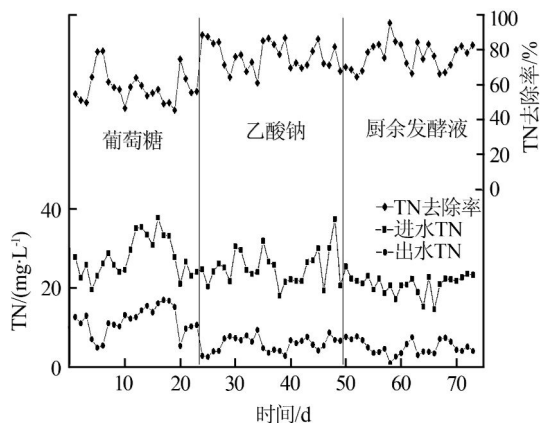


图 4 不同碳源条件下 TN 去除效果对比

由图 4 可以看出,以葡萄糖为碳源, TN 去除率为 60% 左右,而以乙酸钠和厨余发酵液为碳源, TN 去除率相当,保持在 80% 左右。此外,以葡萄糖为碳源时,出水 TN 为 15 mg/L 左右,而以乙酸钠和厨余发酵液为碳源时,出水 TN 明显降低,保持在 8 mg/L 以下。由此可以得出,在运行条件几乎相同的情况下,葡萄糖的脱氮能力较乙酸钠和厨余发酵液都低。

2.2 脱氮能力对比

为解释 3 种碳源条件下脱氮效率的差异,进行了反硝化速率实验,验证 3 种碳源条件下污泥的反硝化性能。另外,考察了 3 种碳源条件下,反硝化 COD 的有效利用率,从而分析碳源的脱氮能力。

2.2.1 反硝化速率对比

3 种碳源条件下污泥的比反硝化速率如图 5 所示。

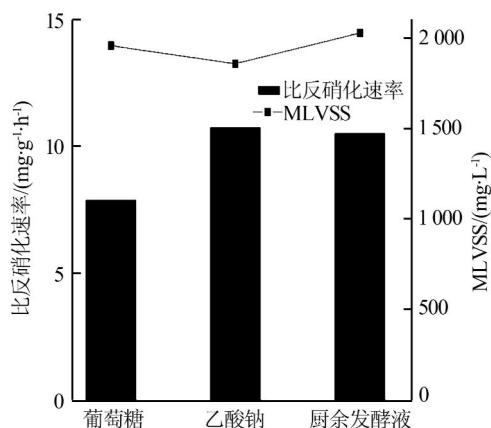


图 5 不同碳源条件下的比反硝化速率对比

由图 5 可知,葡萄糖为碳源条件下的比反硝化速率较乙酸钠和厨余发酵液为碳源时都低,仅为 7.89 mg/(g·h),而后两者的比反硝化速率相当,分别为 10.75、10.53 mg/(g·h)。M. Sage 等^[9]指出,反硝化速率主要由快速降解 COD、慢速降解 COD 以及内源代谢产物的反硝化速率构成,而主要取决于快速降解 COD。因此可以看出,乙酸钠和厨余发酵液的降解速率比葡萄糖高,更易被微生物利用。研究表明,混合物的反硝化速率高于单一组分的反硝化速率^[9]。厨余发酵液中含有 VFA、乳酸、乙酸、多糖等多种物质,因此其比反硝化速率较快。此外,碳源影响着非反硝化菌群的代谢途径和活性^[10],因此 3 种碳源下的反硝化速率的差别也与各自条件下驯化的微生物种群的差异、微生物的生长状态以及活性相关。

2.2.2 COD 利用效率对比

进水中的有机物,除了用于反硝化过程以外,还可能被用于微生物细胞合成以及能量消耗。根据电子平衡原理,将 1 g $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 转化为 N_2 需要消耗 2.86 g COD。3 种碳源条件下,反硝化 COD 的有效利用率如图 6 所示。

从图 6 可以看出,运行期间,以葡萄糖为碳源时,反硝化 COD 利用率较低,仅有 (13.7±5.0)%,而以乙酸钠和厨余发酵液为碳源时,反硝化 COD 利用

率较高,且二者差别较小,分别为 $(18.9\pm 5.3)\%$ 和 $(18.0\pm 4.8)\%$ 。由此说明,葡萄糖作为碳源不易被微生物用于反硝化过程。而相比之下,乙酸钠和厨余发酵液更易被作为反硝化电子供体,其脱氮能力也高于葡萄糖。

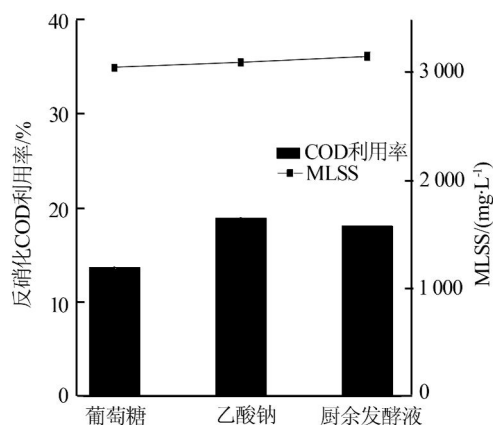


图6 不同碳源条件下反硝化 COD 利用效率对比

3 结论

在A/O-MBR中进行了葡萄糖、乙酸钠和厨余发酵液3种不同碳源的脱氮性能对比,结果表明,3种碳源条件下反应器硝化作用十分完全, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率均达到98%以上。以葡萄糖为碳源时,反硝化过程不彻底,导致TN去除率只有60%左右,而以乙酸钠和厨余发酵液为碳源时,TN去除率均可达到80%以上。

反硝化实验表明,葡萄糖的比反硝化速率最低,仅为 $7.89 \text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。与葡萄糖相比较,乙酸钠和厨余发酵液为快速降解碳源。此外,厨余发酵液的脱氮能力与乙酸钠相当,并高于葡萄糖,可以作为理想的外增碳源。

参考文献

[1] Carrera J, Vicent T, Lafuente J. Effect of influent COD/N ratio on

biological nitrogen removal (BNR) from high-strength ammonium industrial wastewater[J]. Process Biochemistry, 2004, 39(12): 2035-2041.

[2] Fu Zhimin, Yang Fenglin, Zhou Feifei, et al. Control of COD/N ratio for nutrient removal in a modified membrane bioreactor (MBR) treating high strength wastewater[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(1): 136-141.

[3] Fernández-Nava Y, Marañón E, Soons J, et al. Denitrification of high nitrate concentration wastewater using alternative carbon sources[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 173(1/2/3): 682-688.

[4] Kim H J, Kim S H, Choi Y G, et al. Effect of enzymatic pretreatment on acid fermentation of food waste[J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2006, 81: 974-980.

[5] Obaja D, Macé S, Mata-Alvarez J. Biological nutrient removal by a sequencing batch reactor (SBR) using an internal organic carbon source in digested piggery wastewater[J]. Bioresource Technology, 2005, 96(1): 7-14.

[6] Ahmed Z, Lim B R, Cho J, et al. Biological nitrogen and phosphorus removal and changes in microbial community structure in a membrane bioreactor; Effect of different carbon sources[J]. Water Research, 2008, 42(1/2): 198-210.

[7] Xia Siqing, Li Junying, Wang Rongchang. Nitrogen removal performance and microbial community structure dynamics response to carbon nitrogen ratio in a compact suspended carrier biofilm reactor[J]. Ecological Engineering, 2008, 32(3): 256-262.

[8] APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater [S].

[9] Sage M, Daufin G, Gesan-Guizieu G. Denitrification potential and rates of complex carbon source from dairy effluents in activated sludge system[J]. Water Research, 2006, 40(14): 2747-2755.

[10] Akunna J C, Bizeau C, Moletta R. Nitrate and nitrite reductions with anaerobic sludge using various carbon sources: Glucose, glycerol, acetic acid, lactic acid and methanol[J]. Water Research, 1993, 27(8): 1303-1312.

[作者简介] 唐嘉陵(1988—), 博士。电话: 029-82205652, E-mail: jialingtangtjl@gmail.com。

[收稿日期] 2015-04-08(修改稿)

·国内外水处理技术信息·

新型网格絮凝沉淀池——陈一君, 朱跃军, 高祥. CN 103833113A

本发明涉及水处理装置, 具体地说就是新型网格絮凝沉淀池。它包括壳体, 其特殊之处在于, 壳体内依次并排设有相互连通的进水口、网格混合区、絮凝反应区和絮凝沉淀区, 所

述的絮凝沉淀区是由倾斜布置的环形波纹板组合而成。本发明集混合絮凝反应、浅池分离、沉淀3过程于一体, 它具有混合、反应效率高, 截污能力强, 操作简单, 维护费用低的优点。