

一体化工艺中反硝化聚磷菌比例测定研究

荆肇乾¹, 吕锡武²

(1.南京林业大学土木工程学院,江苏 南京 210037; 2.东南大学环境科学与工程系,江苏 南京 210096)

摘 要 反硝化聚磷菌可以在缺氧条件下利用硝酸盐氮和亚硝酸盐氮作为电子受体完成吸磷过程,确定反硝化聚磷菌比例对于强化反硝化除磷作用具有重要意义。从一体化活性污泥工艺中取污泥混合液,加入蔗糖合 200mg/L COD 后进行厌氧搅拌,2h 后将厌氧污泥分成三等份,其中两份分别加入 10mg/L NO_3^- -N、10mg/L NO_2^- -N 后缺氧搅拌 2h,另一份用充氧仪曝气 2h。根据厌氧、缺氧/好氧交替过程中不同电子受体下的除磷量,可以简便的确定反硝化聚磷菌在全部聚磷菌中的比例,结果表明该一体化工艺中反硝化聚磷菌在全部聚磷菌中的比例达到 98.92%。

关键词 反硝化聚磷菌; 电子受体; 除磷量; 一体化活性污泥工艺

中图分类号 X703.1 **文献标志码** A **文章编号** 1003-6504(2009)09-0001-04

Determination of Denitrifying Phosphorus Accumulating Organisms Proportion in Integrated Process

JING Zhao-qian¹, LV Xi-wu²

(1.College of Civil Engineering, Nanjing Forest University, Nanjing 210037, China;

2.Department of Environment Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Denitrifying phosphorus accumulating organisms (DPAOs) can accomplish phosphorus uptake with nitrate and nitrite as electron acceptors under anoxic conditions. It is vital for enhanced denitrifying phosphorus removal to quantify the proportion of DPAOs. Mixed liquor was derived from an integrated activated sludge process and mixed with 200mg/L COD (sucrose) under anaerobic conditions. After two hours, anaerobic sludge was divided into three parts, and two of them were exposed to anoxic condition with 10mg/L nitrate and 10mg/L nitrite respectively for 2h, while the other was exposed to aerobic condition with an aerator for 2h. According to phosphorus removal capacity in anaerobic/anoxic and aerobic alternation with different electron acceptors, proportion of DPAOs in total phosphorus accumulating organisms (PAOs) could be determined simply and explicitly. Results indicated that proportion of DPAOs was up to 98.92% of all PAOs in integrated process.

Key words: denitrifying phosphorus accumulating organisms (DPAOs); electron acceptor; phosphorus removal capacity; integrated activated sludge process

常规生物除磷脱氮工艺由于聚磷菌和反硝化菌对有机物存在竞争,对有机物需求量较高。近年来的研究表明在缺氧条件下出现了磷的吸收现象,证明一部分聚磷菌可以在缺氧条件下利用硝酸盐作为电子受体完成吸磷过程,参与这一过程的聚磷菌称为反硝化聚磷菌。反硝化聚磷菌可以在缺氧环境吸收磷,吸磷和反硝化脱氮这两个生物过程同时完成,有机物同时用于除磷和脱氮过程,不仅节省了脱氮对碳源的需要^[1-2],而且吸磷在缺氧段完成可节省曝气所需要的能源,剩余污泥量也大大降低。强化反硝化除磷作用对于协调解决除磷和脱氮的矛盾具有重要意义,目前已经成为污水除磷脱氮处理的研究热点。

如何确定反硝化聚磷菌构成对于强化反硝化除磷作用、提高除磷脱氮效果尤为重要。随着分子生物学技术的发展,关于聚磷菌组成的研究进一步深入,有研究者发现 α -变形细菌、 β -变形细菌等参与了聚磷过程^[3-4],但不同研究者关于聚磷菌组成的研究结果存在较大差异。而既能参与反硝化又能参与除磷过程的反硝化聚磷菌的鉴别和定量更为困难。Hu^[5]等提出通过厌氧、好氧/缺氧交替的试验方法,分别以硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和氧气作为电子受体,根据厌氧、好氧/缺氧交替过程中的除磷量近似反映不同聚磷菌的比例。根据此方法可以确定以硝酸盐氮和亚硝酸盐氮为电子受体的聚磷菌即反硝化聚磷菌在全部聚磷菌中

收稿日期 2008-04-27 修回 2008-08-10

基金项目 国家“863”高技术研究发展计划(2002AA601012-1A) 江苏省科技攻关计划资助项目(BE2001035)

作者简介 荆肇乾(1975-),男,讲师,博士,主要从事水处理技术研究工作,(电话) 025-85427691 (电子信箱) carljing@163.com。

的比例。通过优化除磷脱氮工艺中厌氧、缺氧/好氧的时间和空间交替,加强DO等参数控制,可以促进反硝化聚磷菌增殖从而提高除磷脱氮效果。

1 反硝化聚磷菌比例确定的试验方法

相关反硝化除磷试验表明 NO_3^- -N 和 NO_2^- -N 均能参与反硝化除磷过程^[6],因而聚磷菌可以分为三类:

P_O 仅能利用氧气作为电子受体的聚磷菌;

P_{ON} 既能利用氧气又能利用硝酸盐氮作为电子受体的聚磷菌;

P_{ONn} 能以氧气、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮作为电子受体的聚磷菌。

事实上由于参与除磷的聚磷菌种类繁多,各种聚磷菌在不同条件下的除磷性能也存在差异,难以对这种差异进行定量分析。为研究方便,设定能以硝酸盐氮和亚硝酸盐氮为电子受体的聚磷菌可以在缺氧和好氧状态下以同样的速度吸收磷,仅能利用氧气作为电子受体的聚磷菌在缺氧状态下不起作用^[7-8],因而可以通过三种电子受体的除磷试验测定不同聚磷菌的比例。将经过厌氧释磷的污泥混合液分成三等份,其中两份分别加 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 缺氧搅拌,另一份曝气,比较三种条件下磷的吸收量 M_{ONn} 、 M_{ON} 、 M_O ,可

以确定三种类型的聚磷菌比例:

$$P_O/P(\%) = (M_O - M_{ON}) / M_O \times 100\% \quad (1)$$

$$P_{ON}/P(\%) = (M_{ON} - M_{ONn}) / M_O \times 100\% \quad (2)$$

$$P_{ONn}/P(\%) = M_{ONn} / M_O \times 100\% \quad (3)$$

$$P_{ONn}/P(\%) = 1 - (P_O/P + P_{ON}/P) \quad (4)$$

据式(1~4)可算出利用不同电子受体的聚磷菌比例。仅利用氧气作为电子受体的聚磷菌比例是好氧除磷量和硝酸盐氮反硝化除磷量之差与好氧除磷量的比值;仅利用氧气和硝酸盐氮而不利用亚硝酸盐氮的聚磷菌比例为硝酸盐氮反硝化除磷量和亚硝酸盐氮反硝化除磷量之差与好氧除磷量的比值;亚硝酸盐氮反硝化除磷量与好氧除磷量的比值为能利用氧气、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮三种电子受体的聚磷菌比例。

以图1所示的一体化活性污泥工艺进行试验分析,该工艺主体是一个分隔成五个矩形单元的活性污泥反应池,通过各个池子交替进水和运行状态的交替组合,创造良好的厌氧、缺氧和好氧条件以除磷脱氮,通过进出水位置转换实现污泥和混合液的循环流动和自动回流,不需要外加污泥和混合液回流措施。该工艺在时间和空间上存在厌氧、缺氧和好氧的交替,在单泥系统中促进了硝化菌、反硝化菌和聚磷菌的共同生长,也为反硝化聚磷菌的增殖提供了条件。

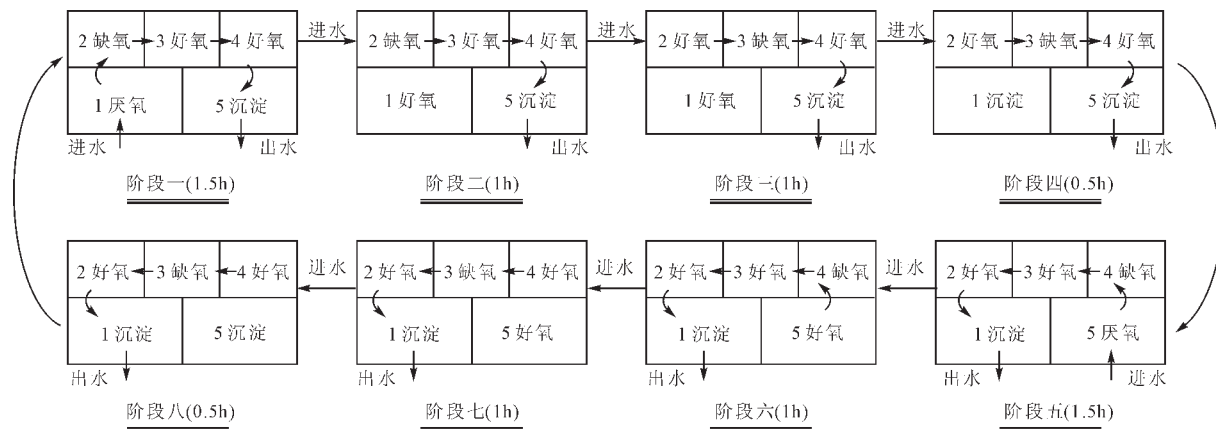


图1 一体化活性污泥工艺运行模式

Fig.1 Operation mode of integrated activated sludge process

该工艺周期交替运行,下半周期中1#池作为出水池,DO和 NO_3^- -N浓度较低,其污泥混合液比较容易实现厌氧释磷状态。取阶段七1#出水池混合液,污泥浓度为3480mg/L,加蔗糖合200mg/L COD、2mg/L PO_4^{3-} -P,水温为22.6℃,先厌氧搅拌,2h后将其分成三份,其中两份分别加入10mg/L NO_3^- -N、10mg/L NO_2^- -N 缺氧搅拌2h,另一份曝气2h(曝气量为0.02m³空气/h)。在整个过程中,每30min取样检测上清液中TP浓度在厌氧、缺氧及好氧交替过程中变化,并跟踪检测 NO_3^- -N和 NO_2^- -N随TP浓度变化,以确定在三种电

子受体下的除磷效果,进而利用公式(1~4)确定不同类型聚磷菌比例。

监测分析方法 COD 重铬酸钾法(GB11914-89); TP 钼酸铵分光光度法(GB11893-89); NO_3^- -N 酚二磺酸分光光度法(GB7480-87); NO_2^- -N N-(1-萘基)-乙二胺光度法(GB7493-87); 污泥浓度 重量法。

2 试验结果分析

如图2所示,加入蔗糖进行厌氧搅拌,经过2h厌氧结束时TP浓度达到10.52mg/L,厌氧结束后分三

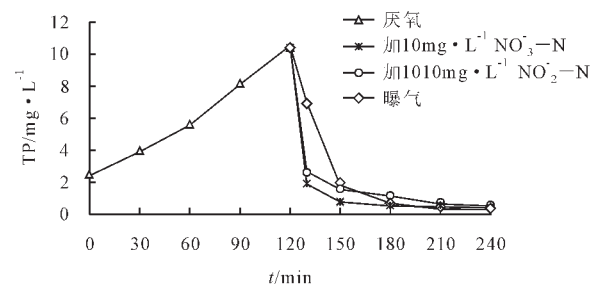


图2 厌氧与缺氧或好氧交替过程中TP浓度变化
Fig.2 TP changes under anaerobic and anoxic or aerobic alternation

等份,两份分别加入 NO_3^- -N、 NO_2^- -N 缺氧搅拌,一份曝气,三者均出现 TP 浓度迅速下降现象。在开始阶段加 NO_3^- -N 缺氧搅拌 TP 浓度下降最快,在 120min~130min 之间浓度从 10.52mg/L 降为 1.89mg/L,加 NO_2^- -N 缺氧搅拌 TP 浓度下降稍慢,曝气过程中 TP 下降速度最慢,说明在曝气开始阶段由于 DO 较低,没有转变为完全好氧状态,磷吸收速率较慢。但随着好氧状态的实现,曝气过程的磷吸收速率在 130min 后迅速提高,经过 2h 的曝气残余 TP 浓度仅为 0.29mg/L,与两种缺氧反硝化除磷方式相比,除磷更完全。

曝气过程磷吸收量 M_0 为 10.23mg/L,加 NO_3^- -N 和 NO_2^- -N 缺氧搅拌反硝化除磷量 M_{ON} 、 M_{ONH} 分别为 10.12mg/L、10.00mg/L。按照公式 (1~4) 计算得 P_0/P (%)、 P_{ON}/P (%)、 P_{ONH}/P 分别为 1.08%、1.17%、97.75%,即能利用三种电子受体的聚磷菌占绝对优势,说明该一体化活性污泥工艺污泥中聚磷菌既能好氧吸磷,又能缺氧利用硝酸盐氮或亚硝酸盐氮高效除磷,能利用硝酸盐氮和亚硝酸盐氮的反硝化聚磷菌比例高达 98.92%。

如图 3、4 所示,在反硝化过程中随着 NO_3^- -N 和 NO_2^- -N 浓度逐渐下降,TP 浓度降低。以 NO_3^- -N 为电子受体的反硝化除磷过程中,磷的吸收量为 10.12mg/L,

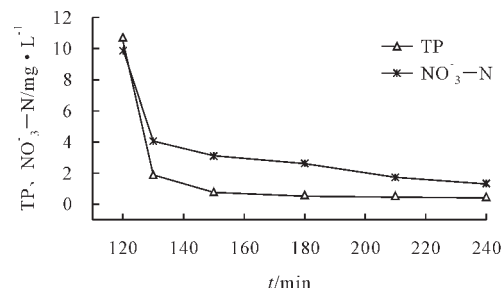


图3 NO_3^- -N反硝化除磷过程TP和 NO_3^- -N浓度变化
Fig.3 TP and NO_3^- -N changes during denitrifying phosphorus removal with NO_3^- -N

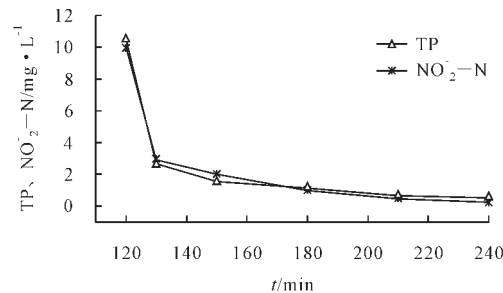


图4 NO_2^- -N反硝化除磷过程TP和 NO_2^- -N浓度变化
Fig.4 TP and NO_2^- -N changes during denitrifying phosphorus removal with NO_2^- -N

NO_3^- -N 浓度消耗 8.7mg/L 在以 NO_2^- -N 为电子受体的反硝化除磷中,磷的吸收量为 10mg/L, NO_2^- -N 浓度消耗 9.76mg/L。

三种电子受体下的除磷情况总结于表 1 中。以 O_2 为电子受体时除磷最完全,磷吸收率达到 97.24%。以 NO_3^- -N 为电子受体时最大吸磷速度最大,达到 14.9mgP/gMLSS·h;以 NO_2^- -N 为电子受体次之,达到 13.5mgP/gMLSS·h;以 O_2 为电子受体时最大吸磷速度最低,仅为 6.10mgP/gMLSS·h。由于 NO_3^- -N 中 N 为正五价, NO_2^- -N 中 N 为正三价,反硝化过程中充当电子受体时对 NO_2^- -N 需求量大于对 NO_3^- -N 需求量, NO_2^- -N 的最大反硝化速度也较 NO_3^- -N 大。

表 1 不同电子受体下除磷情况
Table 1 Phosphorus removal under different electron acceptors

	NO_3^- -N	NO_2^- -N	O_2
TP 吸收量(mg/L)	10.12	10.00	10.23
最大吸磷速率(mgP/(gMLSS·h))	14.90	13.50	6.10
NO_3^- -N 或 NO_2^- -N 消耗(mg/L)	8.70	9.76	—
最大反硝化速率(mgN/(gMLSS·h))	10.20	12.20	—

3 结论

(1) 对于具有除磷脱氮功能的活性污泥工艺,取其污泥混合液进行厌氧释磷、好氧吸磷及缺氧吸磷交替试验,通过检测交替运行过程中 TP 浓度变化,可以确定利用不同电子受体的除磷量和聚磷菌比例,进而确定反硝化聚磷菌的比例。强化以硝酸盐氮和亚硝酸

盐氮为电子受体的反硝化除磷作用,可以大大降低除磷脱氮作用对碳源的竞争,节省氧气供应量,减少剩余污泥量,在有效除磷脱氮的同时,取得明显节能降耗效果。

(2) 本研究以一个在时间和空间上存在厌氧、缺氧和好氧交替的一体化活性污泥工艺中污泥进行试验,结果表明 P_0/P (%)、 P_{ON}/P (%)、 P_{ONH}/P 分别为 1.08%、

1.17%、97.75%，能利用硝酸盐氮和亚硝酸盐氮的反硝化聚磷菌比例高达 98.92%。通过优化除磷脱氮工艺反应器组合和状态控制，有利于促进反硝化聚磷菌增殖。

[参考文献]

- [1] 蒋山泉,翟俊,肖海文,等. A²ON 工艺反硝化除磷研究[J]. 环境科学与技术,2008,31(2):73-76.
Jiang Shan-quan, Zhai Jun, Xiao Hai-wen, et al. A bench-scale experimental study on A²ON process for denitrification and phosphorus removing [J]. Environmental Science & Technology,2008,31(2):73-76. (in Chinese)
- [2] 谭译,李勇,黄勇. 一体式射流曝气膜生物反应器[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(3):55-57.
Tan Yi, Li Yong, Huang Yong. Submerged jet aerated membrane bioreactor[J]. Environmental Science & Technology, 2007, 30(3):55-57.
- [3] Liu W T, Nielsen A T, Wu J H, et al. *In situ* identification of polyphosphate- and polyhydroxy-alkanoate-accumulating traits for microbial populations in a biological phosphorus removal process[J]. Environ Microbiol, 2001, 3(2):110-122.
- [4] Bond P L, Erhart R, Wagner M, et al. Identification of some of the major groups of bacteria in efficient and nonefficient biological phosphorus removal activated sludge systems[J]. Appl Environ Microbiol,1999, 65(9):4077-4084.
- [5] Hu J Y, Ong S L, Ng W J, et al. A new method for characterizing denitrifying phosphorus removal bacteria by using three different types of electron acceptors[J]. Wat Res, 2003, 37(14):3463-3471.
- [6] Saito T, Brdjanovic D, van Loosdrecht M C M. Effect of nitrite on phosphate uptake by phosphate accumulating organisms[J]. Wat Res, 2004, 38(17):3760-3768.
- [7] Wachtmeister A, Kuba T, Van Loosdrecht M C M, et al. A sludge characterization for aerobic and denitrifying phosphorus removing sludge[J]. Wat Res, 1997, 31(3):71-478.
- [8] Meinhold J, Filipe C D M, Heijnen J J. Characterization of the denitrifying fraction of phosphate accumulating organisms in biological phosphate removal process[J]. Wat Sci Tech, 1999, 39(1):31-42.

更正 本刊 2009 年第 32 卷第 8 期文章 (p112~p114) 《ICP-AES 法测定茶汤中重金属的方法研究》中“华东师范大学环境科学与技术系,上海 200062 (英文 University, Shanghai 200062, China)”应更正为“苏州农业职业技术学院,江苏 苏州 215008 (英文 Suzhou Agriculture Vocational Technical Institute, Suzhou 215008, China)”,特此声明。