

文章编号:1671-6833(2008)02-0103-04

# 葡萄糖为碳源时生物除磷系统的影响因素研究

何争光,温晓灿

(郑州大学 水利与环境学院,河南 郑州 450001)

**摘要:** 研究葡萄糖为主要碳源时,污泥龄、pH值、温度和厌氧搅拌对SBR生物除磷系统运行稳定性的影响,并与碳源为乙酸钠和汽车涂装废水时的系统进行比较。结果表明,随着污泥龄的缩短,除磷效率明显提高;生物除磷的最佳pH为6.5~7.5;污水的水温对除磷效果没有明显的影响;而厌氧搅拌对厌氧释磷有促进作用。以汽车涂装废水作为碳源的除磷系统除磷效果最差。

**关键词:** SBR;生物除磷;葡萄糖;污泥龄;碳源

**中图分类号:** X 703.1 **文献标识码:** A

## 0 引言

强化生物除磷(EBPR)工艺是一项高效低能的废水处理技术,它能在有效去除废水中有机污染物的同时起到除磷效果,并且在控制自然水体的富营养化方面起到了重要的作用。但是,强化生物除磷的效果并不稳定,因此深入探索强化生物除磷各个影响因素的作用机理,改善现有的除磷工艺,稳定除磷效果,成为世界各国许多水处理领域科研工作者的奋斗目标。

葡萄糖是一种重要的简单碳水化合物,它存在于废水中并且在主要的生化途径中有重要作用<sup>[1]</sup>,许多研究者在研究以碳为底物的代谢途径时均采用了葡萄糖。另外,糖源也被人们认为是一种重要的中间储存物质,而葡萄糖是多糖最基本的组成单位,因此研究葡萄糖在EBPR中的作用也就显得更加重要了。

实验的目的是研究以葡萄糖为主要碳源时,污泥龄、pH值、温度和厌氧搅拌对SBR生物除磷系统的运行稳定性和性能的影响,并与碳源为乙酸钠和汽车涂装废水时的系统进行了对比,试图探寻生物除磷的最优微生态环境。

## 1 实验材料与内容

### 1.1 实验材料及运行方式

实验采用SBR工艺,反应器由透明的有机玻璃制作而成,装置呈圆柱状,内径10 cm,高度

20 cm,反应器总容积1.57 L,有效容积1.2 L。一个循环周期为8 h,其中厌氧2 h,好氧4 h,沉降0.5 h,进水、排水和闲置共1.5 h。每运行2个周期闲置8 h。接种污泥取自郑州某污水处理厂,经驯化具有除磷能力。厌氧状态的混合通过电磁加热搅拌机控制转子搅拌,好氧状态的充氧由银湖sp-780型养鱼泵通过微孔曝气头布气完成。

实验前期以表1所示水质进水,后期将表1中的葡萄糖用乙酸钠和汽车涂装废水代替,使其水质指标相近,COD:290.9~612.2 mg/L;氨氮20.1~25.2 mg/L;总磷(TP):2.96~13.4 mg/L。

表1 模拟污水的成分

Tab.1 Components of the synthetic wastewater

成分	浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )
葡萄糖	300~600
淀粉	60
尿素	30
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	13~57
NH <sub>4</sub> Cl	60~75
NaCO <sub>3</sub>	90
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	22

### 1.2 实验内容

采用SBR工艺,以葡萄糖作为主要碳源,采用相同的运行条件,选定不同的污泥龄、pH值、温度,考察SBR除磷系统的处理效果和运行稳定性。在相同的环境条件和运行条件下,采用乙酸钠和汽车涂装废水作为碳源,考察不同碳源对生物

收稿日期:2008-02-23;修订日期:2008-03-21

作者简介:何争光(1963-),男,河南孟州人,郑州大学教授,博士,主要从事水污染控制理论与技术等方面的研究工作。

除磷的处理效果和运行稳定性的影响。

## 2 结果与讨论

### 2.1 污泥龄的影响

生物除磷系统的污泥龄影响到污泥含磷量及剩余污泥的排放量,从而影响到系统的除磷效果,是除磷效率至关重要的影响因素。泥龄反映了活性污泥系统中微生物的生长状态、生长条件、世代期等一系列基本特性;且对活性污泥系统的运行状况如出水水质、产泥量、需氧量都有较大的影响,是生物除磷系统运行控制中最重要的控制参数<sup>[2]</sup>。笔者选定3个污泥龄值 SRT = 6, 10, 20 d 进行实验,观察不同泥龄条件下 SBR 除磷工艺中 TP 的变化情况。不同泥龄系统在运行稳定时某一典型周期磷的去除效果如表 2 所示。

实验表明,泥龄对磷的去除率有明显影响,随着泥龄的增加,磷的去除率显著降低。SRT = 20 d 时,泥龄较长,系统的除磷效果不理想;SRT = 6 d 时,污泥排放量增大,污泥负荷增加,TP 的去除率为 94.0%,远远高于 20 d 时的 87.2%。

表 2 不同 SRT 对 TP 去除效果的影响

Tab. 2 Phosphorus removal rate under different SRT in different system

泥龄/d	进水 TP /(mg·L <sup>-1</sup> )	出水 TP /(mg·L <sup>-1</sup> )	去除率/%
6	7.00	0.42	94.0
10	7.38	0.48	93.5
20	6.95	0.89	87.2

### 2.2 pH 值的影响

pH 值对生物除磷的效果有着及其重要的影响,pH 值的变化可以引起细胞膜电荷的变化,从而影响了微生物对营养物质的吸收;还可以影响代谢过程中酶的活性,改变生长环境中营养物质的可给性及有害物质的毒性。对于常规生物处理来说,pH 值过高或者过低都有可能影响活性污泥内生物的生化反应进程甚至使活性污泥中毒<sup>[3-4]</sup>。SBR 反应器具有较强的耐负荷冲击能力,但是如果 pH 值大幅度变化,会影响反应器的效率,甚至会使微生物中毒导致而使反应器失效。

#### 2.2.1 pH 值对系统处理效果的影响

笔者对不同 pH 值条件下的除磷效果进行了分析,测试进水 pH 值在 6~8 之间变化时 EBPR 系统的除磷效果。在调节系统 pH 值的整个过程中,当稳定运行时,不同 pH 值条件下生物除磷系统对磷酸盐的平均去除效果如图 1 所示。

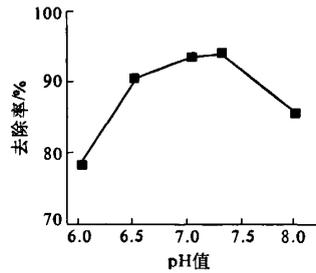


图 1 pH 值对系统除磷效果的影响

Fig. 1 Phosphorus removal rate under different pH value in different system

从图 1 可以看出,在 pH < 6.5 时,系统对磷的去除率未达到 90%。而当进水的 pH 值在 6.5~7.5 时,处理效果较好。pH > 7.5,去除率有下降趋势。可见,生物除磷的最佳 pH 环境应为中性条件。过酸和过碱的条件对 EBPR 系统均是有害的。

#### 2.2.2 pH 值对吸磷释磷的影响

分别选取 pH 值为 6.03、7.34、8.04 时,观察典型周期的 TP 变化,如图 2 所示。

如图 2 所示,在 pH = 6.03 时,出水中磷含量为 1.52 mg/L,去除率仅为 78.2%,去除效果不佳;pH = 7.34 和 pH = 8.04 时,出水中磷含量均小于 1 mg/L,去除率分别达到了 94.1%、90.4%,处理效果较好。在厌氧阶段,pH = 6.03 时,磷的释放量为 13.84 mg/L,远低于 pH 为 7.34、8.04 时的 19.01 mg/L、19.54 mg/L;在好氧阶段,由于厌氧阶段释磷不充分,pH 为 6.03 的反应器吸磷效果明显差于其他 2 个反应器。这可能是由于较低的 pH 值对有机物降解产生抑制作用,在厌氧阶段,低 pH 值抑制了有机物被细胞吸收利用的过程,从而抑制了磷的释放。若磷的释放被抑制,就会影响到好氧阶段磷的过量吸收;同时在好氧阶段,较低的 pH 值会使微生物的好氧速率降低,同样影响了磷的吸收<sup>[5]</sup>。

### 2.3 温度的影响

温度不仅影响微生物的新陈代谢活动,对优势菌种的选择和微生物代谢途径也有影响,而且对气体转移速率和污泥的沉降性能等也有影响<sup>[6]</sup>。笔者选择 2 个不同的水温:18℃和 32℃,观察典型周期 TP 的变化如图 3 所示。

图 3 显示,18℃、32℃时的出水中磷的含量分别为 0.44 mg/L、0.48 mg/L,去除率分别为 93.9%、93.5%。由此可见,污水的水温对除磷效果没有明显的影响。产生微小差别的原因可能是,在生化反应允许的范围内,温度越高生化反应速

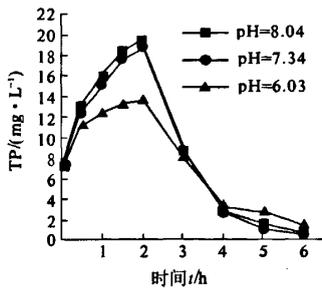


图 2 不同 pH 值下典型周期内 TP 浓度的变化  
Fig.2 Variation of TP in typical cycle under different pH

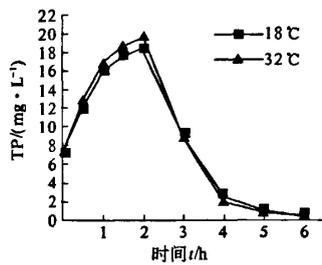


图 3 不同温度下典型周期内 TP 浓度的变化  
Fig.3 Variation of TP in typical cycle under different temperature

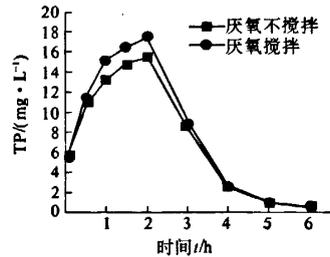


图 4 厌氧搅拌对 TP 去除效果的影响图  
Fig.4 TP removal rates in typical cycle with anaerobic stirring

表 3 污水的成份

Tab.3 Components of the wastewater

水质指标	乙酸钠废水	葡萄糖废水	涂装废水
COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	483.60	496.50	487.70
TP/(mg·L <sup>-1</sup> )	7.05	7.15	7.09
氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	20.10	22.0	20.60

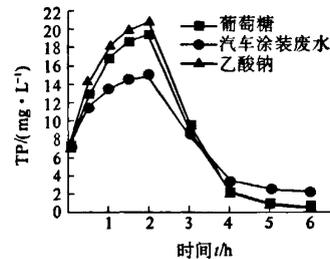


图 5 不同碳源条件下典型周期的 TP 去除效果图  
Fig.5 TP removal rates in typical cycle with different substrates

度越快,厌氧释磷和好氧吸磷越充分,从而除磷效率越高;但与此同时,由于内源呼吸速率加快,使得活性污泥中活性污泥浓度的质量分数降低,除磷率有所下降<sup>[7]</sup>.

2.4 厌氧搅拌的影响

为提高厌氧释磷的效率,笔者在厌氧阶段均采用厌氧搅拌方式.厌氧搅拌对 TP 去除效果的影响如图 4 所示.从图 4 可以看出,厌氧搅拌有助于释磷,搅拌时释磷达到 17.47 mg/L,污水经厌氧搅拌与活性污泥完全混合后,使 SBR 反应器内基质浓度提高,生化反应获得巨大的推动力,基质转化速率提高,有利于 PHB 的合成,能有效提高厌氧释磷的效率;厌氧越充分,释磷也越充分,合成的 PHB 就越多,更好地保证在好氧阶段过量摄磷的效果,所以 TP 的去除率就较高.

2.5 碳源的影响

聚磷菌在利用不同基质的过程中对磷的释放存在明显差异<sup>[8]</sup>.笔者分别采用乙酸钠、葡萄糖、经混凝沉淀处理过的汽车涂装废水作为碳源进行实验.3 者的水质指标如表 3 所示.经过驯化,运行稳定后,3 个反应器典型周期的 TP 浓度变化如图 5 所示.

由图 5 所示,在主要碳源为乙酸钠和葡萄糖的条件下,最终出水的 TP 去除率分别达到了 94.3%、93.4%,处理效果很好.而经混凝沉淀处理过的汽车涂装废水为碳源的反应器中去除率仅为 69.7%.由资料可知<sup>[9]</sup>,汽车工业废水可生化性较差,系统严重缺乏可溶性低分子有机物.以工业水作为碳源的系统强化生物除磷现象不显著,如图 5 所示,在厌氧阶段,释磷现象十分微弱,从而可知细胞合成的 PHB 也较少,因此直接影响了随后的好氧阶段聚磷菌的过量摄磷;在好氧阶段,磷的超量吸收现象并不理想.而在以葡萄糖和乙酸钠为碳源的系统中,有着明显的厌氧释磷和好氧摄磷现象,并且最终的处理效果都比较理想.由此可见,污水中易降解物质对除磷效果的影响主要表现在厌氧释磷上,水体中易降解物质的多少影响着释磷的多少.易降解物质越多,释磷越充分,PHB 合成越多,在好氧阶段就能提供更多能量用于过量摄磷,从而 TP 的去除率就越高.由上

可知生物除磷对不同碳源的利用是不同的,乙酸钠和葡萄糖是较为适合的生物除磷碳源。

### 3 结语

通过对比实验,研究了葡萄糖为碳源时,不同污泥龄、pH值、温度和厌氧搅拌对SBR生物除磷系统运行稳定性的影响;并与碳源为乙酸钠和汽车涂装废水的系统进行了比较,得到如下结论:

(1)较短的污泥龄有利于除磷效果的提高。选择SRT=6,10,20 d进行实验,当污泥龄为20 d时,除磷效果最差;短的污泥龄有利于聚磷菌成为优势菌种,使污泥具有较高的活性,对于提高系统除磷率有重要意义。

(2)生物除磷的最佳pH环境为6.5~7.5。实验表明,pH低于6.5时释磷和摄磷能力急剧下降;pH在6.5~7.5时释磷和摄磷能力差别不大,且最终处理效果好;pH增至8时,释磷量继续增加,但去除率反而有所下降。

(3)污水的水温对除磷效果没有明显的影响。分别在18,32℃时进行实验,结果表明温度对生物除磷的影响较小。

(4)厌氧搅拌对厌氧释磷有促进作用。在厌氧阶段采用厌氧搅拌方式,有利于增加SBR反应器内基质浓度,增强生化反应推动力,能有效提高厌氧释磷效率和最终出水TP去除率。

(5)葡萄糖是较为适合的生物除磷碳源。在分别采用葡萄糖、乙酸钠、经混凝沉淀处理后的汽车涂装废水作为碳源的对比实验中,汽车涂装废

水的TP去除率仅为69.7%,处理效果最差,葡萄糖和乙酸钠为碳源的系统的处理效果良好。

### 参考文献:

- [1] WANG NIAN D, GORDON H, JIAN P. The role of glucose in developing enhanced biological phosphorus removal[J]. *Environ Eng Policy*, 2002, 3:45-54.
- [2] 徐亚同. 废水中氮磷的处理[M]. 上海:华东师范大学出版社,1996. 170.
- [3] 张自杰,顾夏声. 排水工程(下册)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997. 318.
- [4] 张波,高廷耀. 生物脱氮除磷工艺厌氧/缺氧环境倒置效应[J]. *给水排水*, 1997, 14(3):7-10.
- [5] 尹军,王建辉,王雪峰,等. 污水生物除磷若干影响因素分析[J]. *环境工程学报*, 2007, 1(14):9-10.
- [6] THONGCHAI P, APIRADEE D, JIN A. Temperature effect on microbial community of enhanced biological phosphorus removal system[J]. *Water Research*, 2003, 37:409-415.
- [7] 张晔. 生物除磷机理及其影响因素分析[J]. *唐山学院学报*, 2003, 16(1):25.
- [8] JULIANE H, DORIS K, LIANE K. Effect of different carbon sources on the enhanced biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor[J]. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2002, 18:355-360.
- [9] 朱乐辉,付朝臣. 曝气生物滤池工艺处理汽车涂装废水[J]. *环境工程*, 2006, 24(1):76-78.

## Study on Influencing Factors of Biological Phosphorus Removal with Glucose as Carbon Source

HE Zheng-guang, WEN Xiao-can

(School of Water Conservancy and Environment Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** The effect of the SRT, pH value, temperature and anaerobic stirring on biological phosphorus removal process in SBR fed with glucose was studied in this paper. The phosphorus removal effect was also compared with that in the systems applying sodium acetate or coating wastewater of automobile manufacturing as the major substrate. The results indicated that short SRT can increase phosphorus removal significantly; the optimal pH ranged from 6.5 to 7.5; change of temperature had little effect on the phosphorus removal; and anaerobic stirring adopted at the anaerobic reaction step can improve anaerobic phosphorus release. It is found that phosphorus removal effect was the worst in the system applying coating wastewater of automobile manufacturing as the major substrate.

**Key words:** SBR; biological phosphorus removal; glucose; SRT; carbon source