

# 异养硝化细菌处理氨氮废水及影响因素研究

苏俊峰<sup>1, 2</sup>, 黄文斌<sup>1</sup>, 马放<sup>2</sup>, 黄廷林<sup>1</sup>, 高珊珊<sup>2</sup>

1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055;

2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院环境科学与工程系, 黑龙江 哈尔滨 150090

**摘要:** 从生物陶粒反应器中筛选出 6 株异养硝化细菌, 将异养硝化细菌扩大培养后, 建立 SBR 反应器并进行了氨氮去除的试验研究。在 SBR 反应器进入稳定运行阶段时, 可以观察到系统对于氨氮的去除率稳定在 82.96% 左右, 表现出较好的氨氮去除效果; 出水亚硝酸盐含量一直维持在较低的水平, 其最大值不超过  $3.84 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; COD 的平均去除率为 54.72%, 基本实现了同一反应器中的有机物和氨氮的共同去除。异养硝化 SBR 反应器温度为  $29 \text{ }^\circ\text{C}$  时, 反应器对氨氮和总氮的去除能力最大为 82.28% 和 47.27%; 在 pH 值为 8.0 时, 氨氮去除率最高达到 80.15%。C/N < 4.5 时, 随着 C/N 比的增加, 氨氮和总氮的去除率快速增加; 在 C/N 为 6 时, 氨氮去除率最高达到 87.62%。

**关键词:** 序列间歇式活性污泥法; 异养硝化; 硝化特性

**中图分类号:** X703

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2012) 09-1599-05

**引用格式:** 苏俊峰, 黄文斌, 马放, 黄廷林, 高珊珊. 异养硝化细菌处理氨氮废水及影响因素研究[J]. 生态环境学报, 2012, 21(9): 1599-1603.

SU Junfeng, HUANG Wenbin, MA Fang, HUANG Tinglin, GAO Shanshan. Heterotrophic nitrification bacteria dispose the wastewater of  $\text{NH}_4\text{-N}$  and influence factor [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(9): 1599-1603.

水体富营养化是我国当今水环境面临的重大问题, 其中氮是造成水体富营养化和环境污染的一个很重要的污染因子, 而生物脱氮技术是目前应用最广泛的氮污染控制方法<sup>[1-3]</sup>。传统的生物脱氮是由自养细菌在好氧条件下完成硝化过程, 在缺氧条件下由反硝化细菌将  $\text{NO}_3^-$  转化为  $\text{NO}_2^-$ , 进一步转化为  $\text{N}_2\text{O}$  和  $\text{N}_2$  最终完成生物脱氮<sup>[4]</sup>。近年来, 有关异养型硝化细菌的报道较多, 与自养型硝化细菌相比, 异养型硝化细菌在自然界的分布更为广泛, 包括真菌、放线菌和细菌, 甚至一些藻类<sup>[5-6]</sup>。在某些环境之中, 异养硝化作用的贡献可以与自养菌相当, 甚至超出<sup>[7]</sup>。关于异养硝化作用, 虽然目前仍有很多机理未得到解释, 对一些现象的解释也不尽圆满, 但异养硝化作用的重要性日益受到关注<sup>[8-10]</sup>。

国内外对含氨氮废水的处理基本是采用自养硝化细菌将氨氮转化为亚硝酸盐和硝酸盐<sup>[11-12]</sup>, 利用异养硝化细菌处理氨氮废水的报道较少。国内对异养硝化细菌的研究大部分集中在菌的筛选鉴定, 硝化特性等方面的研究, 而将高效异养硝化细菌应用于污水的处理至今未见报道。本研究采用从污水处理系统中筛选到的 6 株异养硝化细菌构成复合菌群, 利用复合菌群生物强化后建立 SBR 反应器处理含氮污水。

## 1 材料和方法

### 1.1 异养硝化分离培养基

(1) 牛肉膏蛋白胨培养基: 牛肉膏 3 g、NaCl 5 g、蛋白胨 10 g、 $\text{H}_2\text{O}$  1 000 mL、pH 7.0~7.2。

(2) 异养氨化培养基:  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0.382 g、乙酸钠 2 g、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.05 g、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.2 g、NaCl 0.12 g、 $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.01 g、 $\text{FeSO}_4$  0.01 g、 $\text{H}_2\text{O}$  1 000 mL。

### 1.2 异养硝化细菌的分离及硝化能力测定

将生物陶粒样品充分悬浮于 100 mL 无菌水中, 震荡培养 12 h 后取菌悬液按 10% 接种量接种于牛肉膏蛋白胨培养基中,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  摇床富集培养 2 代, 每代 24 h, 然后将富集培养液接种于异养氨化培养基固体平板中,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  温箱培养 1 d, 待形成菌落后挑取单菌落, 接种于异养亚硝化培养基中。将 5 mL 的含纯化菌株的混合液样品加入到 500 mL 经灭菌的培养用培养基中, pH 值调至 7.0~8.0, 三角瓶在  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  恒定转速培养。每日取样, 样品经离心分离后用标准方法测定 COD、氨氮、亚硝酸盐氮和总 N, 所有结果均用空白溶液做对比。

### 1.3 SBR 反应器的人工配水方法

由人工配水来代替试验用废水, 由  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MnSO}_4$ 、

**基金项目:** 国家科技支撑计划 (2012BAC04B02); 国家自然科学基金项目 (51008242); 陕西省教育厅专项科研计划项目 (12JK0896); 西安建筑科技大学校基础基金 (JC1207)

**作者简介:** 苏俊峰 (1977 年生), 男, 副教授, 主要从事环境微生物研究。E-mail: sjf1977518@sina.com.cn

**收稿日期:** 2012-06-20

表1 试验模拟用水水质  
Table 1 Water quality of the synthetic wastewater

水质指标	COD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	TP	pH
浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	38~216	18.78~53.62	0~1.92	0~0.22	3~6	7.2~8.0

NaAC·3H<sub>2</sub>O和微量元素按一定比例配制。其水质如表1所示。其中进水COD浓度根据试验需求配制。

1.4 SBR反应器的建立

SBR反应器由有机玻璃加工而成,容积为3 L,采用鼓风机曝气、电动搅拌机搅拌。将筛选的异养硝化细菌扩大培养,接种少量的新鲜活性污泥,空曝气3 d后形成活性污泥后开始运行。水温20~25 ℃,12 h为一个周期,每个周期进水5 min,曝气11 h 20 min,沉淀30 min,排水5 min,每次换水时排出总水量的50%左右。

1.5 水质分析方法

依照国家环保局编写的《水和废水分析检测方法》进行,具体方法见表2。

2 结果与讨论

2.1 SBR反应器运行效果分析

从图1可知,第1~10 d氨氮的平均去除率为58.15%,第11~20 d逐渐上升至76.43%,第21~35 d继续上升至82.96%。异养硝化细菌开始时由于生物量较少,因而在试验前期氨氮去除率较低,随着硝化细菌数量的增加氨氮去除率逐步提高。相应的

亚硝酸盐出水平均质量浓度在第1~10 d为5.6 mg·L<sup>-1</sup>,第11~20 d为2.86 mg·L<sup>-1</sup>,第21~35 d为0.88 mg·L<sup>-1</sup>。硝酸盐出水平均质量浓度在第1~10 d为11.78 mg·L<sup>-1</sup>,第11~20 d为16.2 mg·L<sup>-1</sup>,第21~35 d为15.5 mg·L<sup>-1</sup>。在整个试验阶段,出水亚硝酸盐含量逐渐降低,在反应器稳定运行期间,系统并无亚硝酸盐的积累,同时还可以看出系统中的硝酸盐质量浓度比较稳定,并无很大的变化,这说明系统中异养硝化细菌利用氨氮的速度很快,可以及时地将产生的亚硝酸盐转化为硝酸盐或者N<sub>2</sub>逸出水面。第1~10 d的总氮平均去除率为22.29%,第11~20 d提高至35.33%,第21~35 d则继续上升至45.42%,从结果可以看出系统的总氮是呈现出下降的趋势,可能有部份氮被用来合成细胞物质,同时异养硝化细菌具有反硝化功能,将亚硝酸盐和硝酸盐转化为氮气逸出反应器,并最终造成总氮的去除。

从图2可知,第1~10 d COD的平均去除率为36.54%,而第11~20 d逐渐上升至49.39%,第21~35 d继续上升至54.72%,结果表明,生物陶粒反应器对COD有一定的去除,这说明系统中的硝化细菌

表2 常规指标的检测项目与方法  
Table 2 Main analytical items and analytical methods

待测指标	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TN-N	COD
测定方法	乙二胺光度法	麝香草酚分光光度法	纳氏试剂分光光度法	碱性过硫酸钾紫外分光光度法	快速测定法

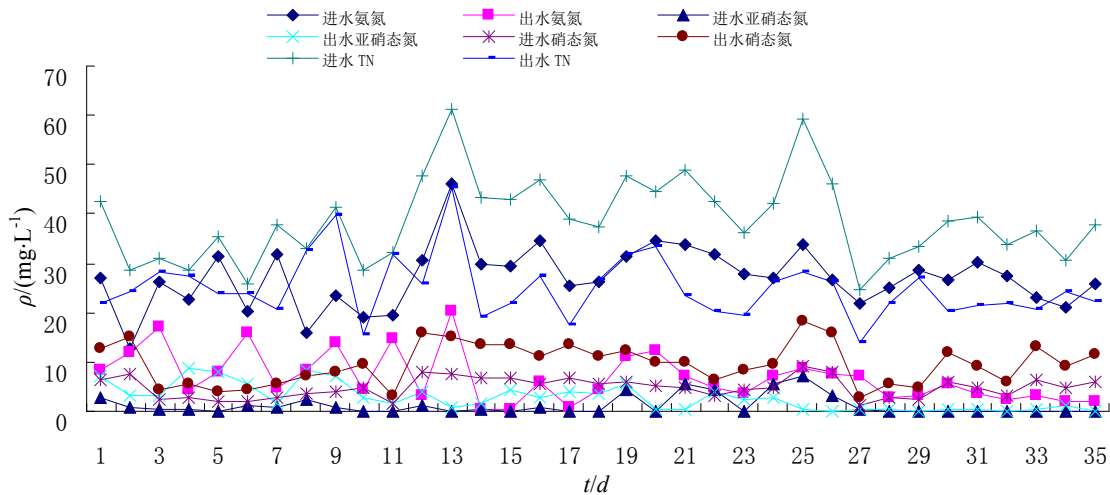


图1 进出水NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N,NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N,TN浓度的变化

Fig.1 Variation of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N,NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and TN in the effluent of bio-ceramic reactor

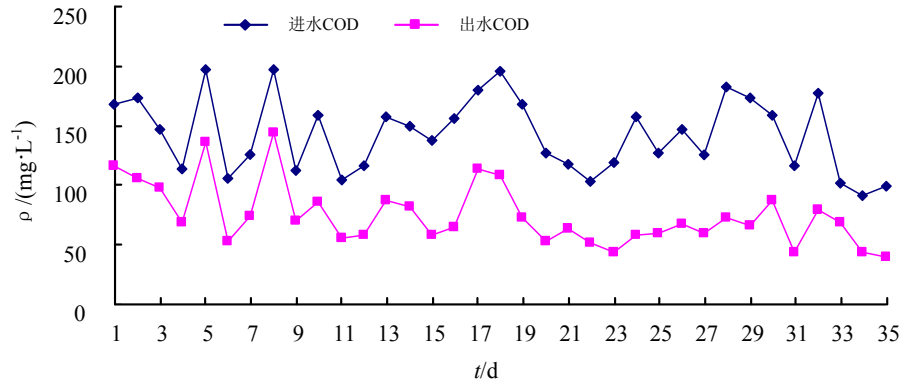


图2 进出水 COD 浓度的变化  
Fig.2 Variation of COD in the effluent of bio-ceramic reator

和系统中的异养菌在共同起作用,同时去除了 COD 和一定的氨氮。

### 2.2 SBR 反应器中氨氮去除效能及影响因素

对反应器内的微生物生长、繁殖具有较大影响的环境因子,如温度、碳氮比和 pH 等,它们不仅影响微生物个体的生长、繁殖等生命活动,还对微生物在反应器内的种类和数量等也分别有一定作用。

#### 2.2.1 温度的影响

试验过程中将温度分别控制在 15、23 和 29 °C。由图 3 可知,温度变化对氨氮的去除效果存在很大的影响,在一定范围内温度越高,硝化效率也越高。当温度为 15 °C 时,反应器对氨氮的去除率为 38.74%,而当温度升高到 23 °C 时,反应器对氨氮的去除能力达到 68.74%,继续升高温度到 29 °C,反应器对氨氮的去除能力最高达到 82.28%,可见,随着温度的升高反应器对氨氮的去除能力逐渐增强。温度对总氮的去除效果也有较大的影响。当温度分别控制在 15、23 和 29 °C 时,反应器对总氮去除率分别达到 16.31%、31.57%和 47.27%,可见,随着温度的升高反应器对总氮的

去除能力逐渐增强。

这一阶段试验结果表明,温度对硝酸氮和总氮的去除影响很大。随着温度的升高,反应器对硝酸氮和总氮的去除率也随之升高,当温度达到 29 °C 时,反应器对氨氮和总氮去除率最高。

分析认为,温度不仅影响细菌的比增长速率,而且会影响细菌的活性。在低温条件下,异养硝化细菌的繁殖速度降低。此外温度的降低会导致细菌体内酶的活力受到抑制,代谢速度较慢。异养硝化细菌本身活力降低导致了硝化速率降低,而随着温度的升高,细菌活力逐渐旺盛,繁殖速度和代谢速度加快。因此,硝化速率也就逐渐增加。在实际工程中,由于水温很难长期保持在 29 °C 左右,因此本试验将温度控制在 23~25 °C。

#### 2.2.2 pH 的影响

pH 值对硝化反应的影响有两方面,一方面是异养硝化细菌的生长要求有合适的 pH 值,另一方面是 pH 值对游离氨质量浓度有重大影响,废水中氨随 pH 不同分别以离子态 ( $\text{NHB}_4$ ) 和分子态 (FA) 形式存在,从而影响异养硝化细菌的活性。由表 3 可知,pH 值变化对氨氮的去除率存在很大的影响,pH

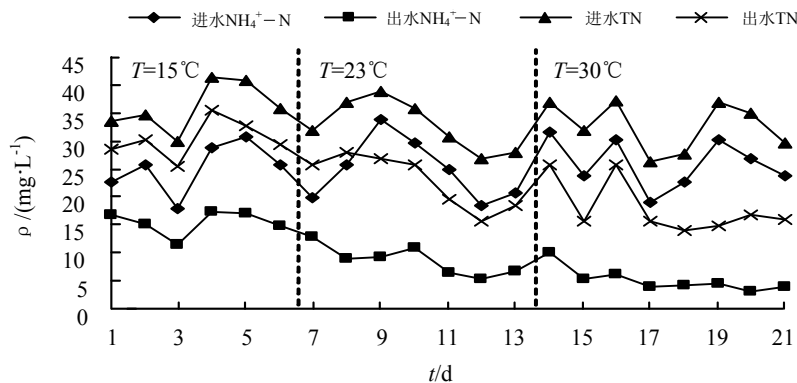


图3 不同温度对氨氮和总氮去除效果的影响  
Fig.3 Effect of temperature on  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  and TN removal

表3 pH对反应器氨氮去除效果的影响  
Table 3 Effect of pH on  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  removal of SBR reactor

项目	pH					
	5	6	7	8	9	
$\text{NH}_4^+-\text{N}$	进水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	32.85	27.85	30.05	26.85	33.10
	出水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	21.74	10.61	8.72	5.33	10.64
	去除率/%	33.82	54.72	70.98	80.15	67.85
TN	进水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	45.75	36.28	39.63	37.65	41.07
	出水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	36.27	22.56	19.81	20.03	25.59
	去除率/%	20.72	37.82	50.01	46.8	37.69

值为8.0时的氨氮去除率最高达到80.15%，在酸性(pH 5)时，异养硝化菌生长状况不良，基本没有硝化效果；反硝化最适宜的pH值为中性(pH 7左右)，pH值能直接影响酶的活性，环境中的氢离子质量浓度如果超过了微生物酶的适应范围，微生物对营养物质的吸收和酶的活力都相应受到影响。本试验将pH值控制在7~8。

### 2.2.3 碳氮比的影响

本试验阶段，水温控制在25℃左右。通过调节进水COD浓度，来控制不同的碳氮比(COD/TN)分别为1.5:1、3:1、4.5:1、6:1和9:1，研究C/N对反应器各污染物去除效果的影响。

从表4中可以看出，C/N对氨氮和总氮的去除都有明显的影响。当C/N<4.5时，随着C/N比的增加，氨氮和总氮的去除率快速增加；在C/N为6时，氨氮去除率最高达到73.37%，进一步增加C/N比氨氮去除率有所下降；在C/N为9时，总氮的去除率最高达到52.84%。考虑到进水中太多的有机碳源将会引起出水中有机碳含量的增加，本试验将C/N控制在4.5左右。

表4 C/N比对反应器氨氮去除效果的影响  
Table 4 Effect of C/N ratio on  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  removal of SBR reactor

项目	COD/TN					
	1.5	3	4.5	6	9	
$\text{NH}_4^+-\text{N}$	进水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	28.85	25.96	31.72	30.53	30.16
	出水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	18.74	9.80	4.61	4.13	9.08
	去除率/%	35.04	61.85	85.47	87.62	69.89
TN	进水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	35.73	34.27	38.56	39.03	34.84
	出水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	29.53	21.65	20.07	19.45	16.43
	去除率/%	21.00	36.83	47.95	50.17	52.84

## 3 结论

SBR反应器运行稳定期间，氨氮的平均去除率为82.96%，亚硝酸盐出水平均质量浓度为0.88  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，硝酸盐出水平均质量浓度为15.5  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，系统并无亚硝酸盐的积累，总氮的平均去除率为

45.42%，可能有部份的氮被用来合成细胞物质，同时异养硝化细菌具有反硝化功能，将亚硝酸盐和硝酸盐转化为氮气逸出反应器，并最终造成总氮的去除。

异养硝化SBR反应器在温度为29℃时，反应器对氨氮和总氮的去除能力最大为82.28%和47.27%，可见，随着温度的升高反应器对氨氮和总氮的去除能力逐渐增强。pH值变化对氨氮的去除率存在很大的影响，pH值为8.0时的氨氮去除率最高达到80.15%，二异养硝化菌在酸性(pH 5)环境生长状况较差，基本没有硝化效果。当C/N<4.5时，随着C/N比的增加，氨氮和总氮的去除率快速增加；C/N为6时，氨氮去除率最高达到87.62%，进一步增加C/N比氨氮去除率有所下降；C/N为9时总氮的去除率最高达到52.84%。

## 参考文献:

- [1] 魏俊虎, 赵晓祥, 王苑. 一株好氧反硝化菌的筛选鉴定及其条件优化[J]. 安全与环境学报, 2011, 12(4): 94-97.
- [2] SAKAIRI M A C, YASUDA K, MATSUMURA M. Nitrogen removal in seawater using nitrifying and denitrifying bacteria immobilized in porous cellulose carrier[J]. Water Science and Technology, 1996, 34(8): 267-274.
- [3] 周健, 李志刚, 龙腾锐, 等. 一体化多级生物膜反应器处理高氮小城镇污水脱氮试验研究[J]. 环境科学学报, 2007, 11(11): 1804-1808.
- [4] 钟成华, 李杰, 邓春光, 等. 人工湿地废水处理中氮、磷去除机理研究[J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 30(4): 141-146.
- [5] ISLAM A, CHEN D, WHITE R E. Heterotrophic and autotrophic nitrification in two acid pasture soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(4): 972-975.
- [6] 林燕, 孔海南, 王茸影, 等. 异养硝化作用的主要特点及其研究动向[J]. 环境科学, 2008, 29(11): 3291-3296.
- [7] BRIERLEY E D R, WOOD M. Heterotrophic nitrification in an acid forest soil: isolation and characterisation of a nitrifying bacterium[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(10): 1403-1409.
- [8] 张培玉, 曲洋, 于德爽, 等. 菌株 qy37 的异养硝化/好氧反硝化机制比较及氨氮加速降解特性研究[J]. 环境科学, 2010, 31(8): 1819-1826.
- [9] XIA Siquing, 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.
- [10] 潘丹, 黄巧云, 陈雯莉. 两株异养硝化细菌的分离鉴定及其脱氮特性[J]. 微生物学报, 2011, 51(10): 1382-1389.
- [11] 张红晶, 龙腾锐, 何强, 等. 侧向流曝气生物滤池的同步硝化反硝化研究[J]. 中国给水排水, 2006, 22(5): 34-37.
- [12] FREITAG T E, CHANG L, CLEGG C D, et al. Influence of inorganic nitrogen management regime on the diversity of nitrite-oxidizing bacteria in agricultural grassland soils[J]. Applied Environmental Microbiology, 2005, 71(12): 8323-8334.

## Heterotrophic nitrification bacteria dispose the wastewater of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and influence factor

SU Junfeng<sup>1,2</sup>, HUANG Wenbin<sup>1</sup>, MA Fang<sup>2</sup>, HUANG Tinglin<sup>1</sup>, GAO Shanshan<sup>2</sup>

1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China

**Abstract:** 6 heterotrophic nitrobacteria were screened from bio-ceramic reactor, The process of removing ammoniac nitrogen was done by setting the heterotrophic nitrification bacteria on the sequencing batch reactor. And the efficiency of ammoniac nitrogen removal can reach up to 82.96%, when the reactor works smoothly. The nitrite concentration of effluent was in a low level and the maximum value was no more than 3.84 mg/L. At the same time, the efficiency of COD was 54.72%, which presents the coinstantaneous removing of both organic and ammoniac nitrogen. When the temperature is 29 °C, the removal rate of the ammonia-nitrogen and TN are 82.28% and 47.27%. As the pH is 8.0 the removal rate of ammonia-nitrogen is 80.15%. As the C/N rate is less than 4.5, the removal rate of the ammonia-nitrogen and the TN increased. As the C/N rate is 6, the removal rate of the ammonia-nitrogen is 87.62%.

**Key words:** Sequencing Batch Reactor; heterotrophic nitrification; nitrifying characteristic