

# 氨化细菌对植物浮岛人工湿地中有机氮强化分解

赵婷婷, 范培成, 姚立荣, 闫刚, 李定龙, 张文艺\*

(常州大学环境与安全工程学院, 常州 213164)

**摘要:** 鉴于人工植物浮岛生态塘出水氨氮浓度高、去除率较低这一难题, 将实验室筛选的一株具有高效氨化能力的工程菌应用于植物浮岛人工湿地中进行强化分解有机氮试验, 以提高植物浮岛生态系统中有机氮、氨氮的去除效果。菌株动力学试验研究表明: 有机氮分解反应符合零级反应, 降解速率为 0.76 mg/(L·h), 在 48 h 时有机氮的分解率为 81.80%。采用常绿植物蕙兰构建植物浮岛污水处理模拟生态系统, 以未加菌剂做为对照组, 以加入氨化细菌菌剂做为试验组, 进行对比试验。结果表明, 在 48 h 时未加菌剂的植物浮岛中有机氮的分解率为 75.66%, 有机氮质量浓度为 8.23 mg/L; 加入菌剂的植物浮岛中有机氮的分解率为 86.50%, 有机氮质量浓度为 4.40 mg/L, 加入菌剂比未加菌剂时有机氮的分解率提高了 11.16%, 有机氮质量浓度降低 3.83 mg/L。在 72 h 时, 加入菌剂的植物浮岛中氨氮质量浓度为 6.74 mg/L; 而未加菌剂在 72 h 时氨氮还未开始降解, 在 144h 时氨氮质量浓度为 9.86 mg/L<sup>-1</sup>。加入氨化细菌菌剂后, 植物根系能够更多的吸收氨氮, 为植物根系周围的微生物群提供了充足的氧气进行硝化作用, 提高了植物浮岛对氮素的去除效果。该研究可为人工湿地中提高氮素去除效果提供参考。

**关键词:** 分解, 细菌, 氨, 氮, 植物浮岛, 有机氮

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.z1.044

中图分类号: X703

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-Supp.1-0223-04

赵婷婷, 范培成, 姚立荣, 等. 氨化细菌对植物浮岛人工湿地中有机氮强化分解[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊 1): 223—226.

Zhao Tingting, Fan Peicheng, Yao Lirong, et al. Ammonifying bacteria in plant floating island of constructed wetland for strengthening decomposition of organic nitrogen [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(Supp.1): 223—226. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

植物浮岛<sup>[1]</sup>是利用湿地中基质、水生植物和微生物之间的相互作用, 通过一系列物理的、化学的以及生物的途径净化污水<sup>[2]</sup>, 具有低成本、易管理、生态环境效益显著以及较强的氮、磷去除能力等特点<sup>[3-5]</sup>。污水中的有机氮在开始时可以通过介质和植物根系的过滤和沉淀去除, 随后进行无机化过程即在氨化细菌的作用下转化为氨氮, 之后连同进水中的氨氮被硝化、亚硝化细菌转化成 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, 最终在反硝化过程中被反硝化细菌转化为 N<sub>2</sub>和 N<sub>2</sub>O 排出系统<sup>[6-7]</sup>。湿地中氮去除的生物去除机理包括, 氨化、硝化、反硝化和植物吸收。氨化作用是生物脱氮环节中的起始环节, 直接关系到后续的脱氮过程。氨化细菌是湿地去除有机氮的主要菌群, 是生物脱氮的关键。目前, 大部分湿地不能很好地去除废水中的氮, 如 Brix 研究的大部分湿地氮的去除率大多低于 30%<sup>[8]</sup>, Reed 和 Brow 报道美国大部分正在运行的人工湿

地氨氮去除率都有限, 人工湿地存在出水氨氮浓度高的问题<sup>[9-11]</sup>。有鉴于此, 本研究选择太湖地区冬季可以生长的陆生常绿植物蕙兰, 构建人工植物浮岛模拟装置, 把实验室筛选得到的一株高效氨化细菌用于该植物浮岛模拟装置中做为试验组进行强化有机氮分解对比研究, 以期达到植物浮岛对有机氮分解率提高和人工湿地出水有机氮、氨氮质量浓度降低的效果, 为人工湿地中氮素去除效果的提高提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

**菌株来源:** 从曝气生物滤池中分离得到一株具有高效氨化特性的工程菌。根据形态学特征观察、生理生化特性分析, 16 Sr DNA 扩增测序, 鉴定为粪产碱杆菌属 (*Alcaligenes faecalis*), 命名为 F1。该工程菌菌株的最适温度为 30℃, 最适 pH 值为 7.0, 本研究所用氨化细菌菌剂为液体菌剂, 微生物量 10.37 g/L。该菌剂由本课题构建。

### 1.2 试验水质

试验废水取自常州大学武进校区的校园湖水, 加入鲜奶混合均匀, 试验时间 2010 年 7—8 月, 试验用水水质指标如表 1 所示。

表 1 试验用水水质指标

Table 1 Water qualities used in test

有机氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	平均水温/℃	pH
32.34~33.82	6.33~10.78	25.1~31.2	6.5~7.0

收稿日期: 2010-12-31 修订日期: 2011-03-22

基金项目: 江苏省自然科学基金项目 (BK200930405); “十一五” 国家科技重大专项 (2008ZX07101-007-01)

作者简介: 赵婷婷 (1986—), 女, 硕士, 主要研究方向: 水污染控制工程。江苏省, 常州市, 常州大学环境与安全工程学院, 213164。Email: zting19860901@126.com.

※通信作者: 张文艺 (1968—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 水污染控制与生态修复。江苏省, 常州市, 常州大学环境与安全工程学院, 213164。Email: zwy@jpu.edu.cn.

### 1.3 试验方法

将生长良好,根系发达的蕙兰种植在直径 20 cm,深 10 cm 的花盆中,花盆的底面多孔,使根系可以穿过底部的孔洞生长至花盆外,悬挂在容积约为 10 L 的圆形装置中,在圆形装置中充装 1.2 节所述的试验用水,使水面刚好到达花盆的底部,并定期更换装置中污水,保证植物处于良好的生长环境。植物根系悬浮于污水中,构成以植物浮岛人工湿地处理生活污水的模拟装置,将模拟装置静止放置室外,并进行间歇曝气充氧,每小时曝气一次,每次曝气 5 min,以保证植物根须上的生物膜进行氨化、硝化反应所需氧气,以加入菌剂为试验组,未加菌剂为对照组,进行对比试验,每天定时测定污水的氨氮、总凯氏氮含量。

### 1.4 测定方法

水质测定方法参照国家环保总局编的《水和废水监测分析方法(第四版)》<sup>[12]</sup>。其中:氨氮测定采用蒸馏中和滴定法;总凯氏氮采用蒸馏中和滴定法。有机氮等于总凯氏氮减去氨氮含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 菌株有机氮分解动力学

将 3 mL 鲜牛奶加 197 mL 蒸馏水混合均匀,放入 250 mL 的锥形瓶中,加入 5 mL 的菌剂,置于摇床上 30℃ 恒温培养,每隔 6 h 测定氨氮、总凯氏氮的含量,有机氮等于总凯氏氮减去氨氮。

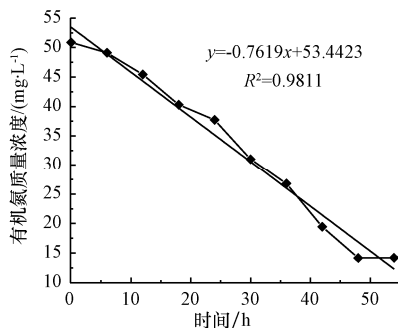


图 1 菌株 F1 有机氮分解曲线

Fig.1 Organic nitrogen decomposition curve of strain F1

由图 1 可知,在 48 h (第 2 天) 时,菌株 F1 对有机氮的分解率为 81.80%。李辉等<sup>[2]</sup>在人工湿地中氨化细菌去除有机氮的效果研究表明其分离出的氨化细菌对有机氮的去除率最好为 52.6%。从有机氮随时间变化的浓度来看,菌株 F1 对有机氮的降解几乎成直线下降。根据试验数据,利用 Original 软件进行曲线拟合,得到菌株 F1 有机氮分解动力学方程曲线为

$$y = -0.7619x + 53.4423 \quad (1)$$

$$R^2 = 0.9811; n = 10; p = 0.0019$$

式中,  $y$  为有机氮, mg/L;  $x$  为停留时间, d;  $R$  为相关系数;  $n$  为样本数;  $P$  为显著性差异,当  $P \leq 0.01$  时,表明相关性显著。

公式(1)表明有机氮的浓度变化随时间成直线下降。说明系统中有机氮的降解速率为常数,通过曲线方程计

算出菌株对有机氮的分解速率为 0.76 mg/(L·h)。

### 2.2 植物浮岛对有机氮的分解效果与机理

每天定时测定 1.3 节所述的植物浮岛污水处理模拟生态装置中污水的氨氮、总凯氏氮含量。有机氮、氨氮的关系如图 2 所示。

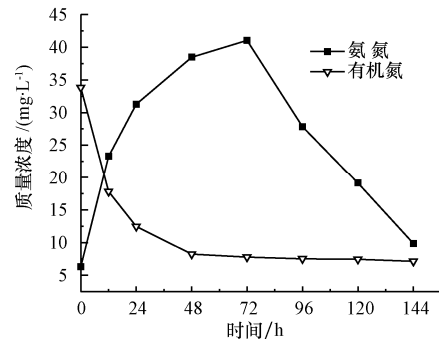


图 2 植物浮岛对有机氮分解效果

Fig.2 Organic nitrogen decomposition effect of plant floating islands

由图 2 可知,在 48 h (第 2 天) 时,植物浮岛对有机氮的分解率为 75.66%,比菌株 F1 的分解率低。校园湖水中本身存在的微生物群、植物浮岛对污水中的有机氮分解有一定的效果。开始时有有机氮在微生物氨化作用下生成氨氮,氨氮含量持续升高,之后氨氮通过微生物的硝化、反硝化作用和蕙兰的吸收同化作用去除,所以氨氮在 72 h (第 3 天) 时开始下降,在 144 h (第 6 天) 时氨氮质量浓度为 9.86 mg/L。水生植物在脱氮过程中起重要作用,植物可将  $O_2$  输送至根系供微生物呼吸,可为微生物提供附着介质并直接吸收氮,水生植物对氨氮和硝态氮都有吸收,但是硝态氮是植物利用的主要形式<sup>[13]</sup>。并且植物根系表面生长着丰富的生物膜及原生动物也可以直接降解转化水中的污染物。湿地植物可通过根系释放部分溶解氧,但由于释放量较小,难以满足有机污染物降解、氨氮硝化等过程对溶解氧的需求<sup>[14]</sup>。而对植物浮岛湿地间歇增氧,由于复氧作用,促进了植物根系附着的、含有大量硝化细菌的生物膜生长,加快了氨的硝化反应,能够提高氨氮的降解速率<sup>[15]</sup>。

### 2.3 工程菌剂强化分解植物浮岛中有机氮效果

在 1.3 节所述的植物浮岛污水处理模拟生态装置中加入 50 mL 氨化细菌菌剂,每天定时测定其污水的氨氮、总凯氏氮含量。有机氮、氨氮的关系如图 3 所示。

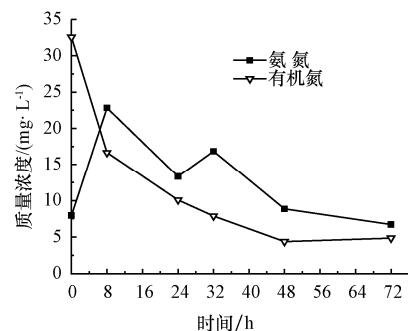


图 3 加入菌剂的植物浮岛有机氮分解效果

Fig.3 Organic nitrogen decomposition effect of plant floating islands with adding strain agent

由图 3 可知, 氨化细菌菌剂与植物浮岛共同作用下, 整个试验中有机氮随时间渐趋于稳定, 氨氮值震荡下降, 在 48 h (第 2 天) 时有机氮质量浓度为 4.40 mg/L, 有机氮的分解率为 86.50%。加入菌剂与未加菌剂的植物浮岛处理污水效果对比详见表 2。由表 2 可知, 加入菌剂比未加菌剂时的植物浮岛在 48 h (第 2 天) 有机氮的分解率提高了 11.16%, 有机氮质量浓度降低 3.83 mg/L。由图 2 可知, 未加菌剂的植物浮岛在 72 h (第 3 天) 时出水氨氮质量浓度为 41.05 mg/L, 之后氨氮质量浓度才开始下降, 在 144 h (第 6 天) 时出水氨氮质量浓度为 9.86 mg/L, 由图 3 可知, 加入菌剂的植物浮岛在 72 h (第 3 天) 时出水氨氮质量浓度为 6.74 mg/L, 比未加菌剂 144 h (第 6 天) 时出水氨氮质量浓度还低 3.12 mg/L, 表明加入氨化细菌菌剂对植物浮岛的出水氨氮去除有显著的影响, 一是出水氨氮值降低, 二是氨氮去除速率加快。

表 2 加入氨化菌剂和未加菌剂植物浮岛的效果对比  
Table 2 Comparison on effect of the plant floating islands between with adding strain agent and without strain agent

指标	进水有机氮/ (mg·L <sup>-1</sup> )	48 h 有机氮/ (mg·L <sup>-1</sup> )	48 h 有机氮分解率/%
未加菌剂	33.82	8.23	75.66
加入菌剂	32.56	4.40	86.50

#### 2.4 工程菌剂强化分解植物浮岛中有机氮机理

浮岛植物与微生物形成互生协同效应, 浮岛植物输送氧气至根区, 在根区形成好氧、缺氧和厌氧的不同环境, 为多种微生物的生存提供适宜的条件, 同时微生物可以把一些植物不能直接吸收的有机物降解成植物能吸收的营养盐类<sup>[16]</sup>。植物浮岛中的氨化细菌的数量有限, 有机氮分解缓慢且分解量受限, 植物只能吸收一些小分子含氮有机物, 大部分的含氮有机物是无法直接吸收利用的, 植物对氨氮也有吸收, 硝态氮才是植物利用的主要形式。因此, 植物根系周边的微生物群转化氨氮为硝态氮是湿地中氮去除的关键。

本研究通过加入氨化细菌菌剂, 使得有机氮及时充分分解, 提高了植物浮岛人工湿地中氮的去除效果。分析其原因, 可能机理是: 1) 氨化细菌承担了植物根系吸收小分子含氮有机物的量, 且氨化细菌及时充分分解有机氮为氨氮, 使得植物根系能够更多的吸收氨氮; 2) 由于氨化与硝化竞争氧气, 加入氨化细菌菌剂后氨化作用进程发生改变, 可能为植物根系周围的微生物群提供了充足的氧气进行硝化作用, 影响了硝化作用, 加快了氨氮的降解速度; 3) 硝化是在硝化细菌的作用下将氨氮氧化为硝酸根, 人工湿地中氨化细菌数量有限, 不能充分及时地把有机氮分解为氨氮, 则硝化细菌就没有足够的氨氮去氧化分解成硝态氮, 而硝态氮是植物利用的主要形式, 因此影响了后续植物对氮的吸收同化和微生物反硝化作用, 最终导致水力停留时间延长、氮去除过程的不连续和氮(包括总氮、有机氮、氨氮、硝态氮等)的去除负荷降低等问题。为此, 本研究把实验室筛选得到的一株高效氨化细菌用于植物浮岛人工湿地强化有机氮

分解, 提高了植物浮岛人工湿地中有机氮的分解率, 也间接地提高了氨氮去除负荷。

### 3 结论

1) 加入氨化细菌菌剂强化分解植物浮岛中有机氮, 在 48 h (第 2 天) 时, 有机氮的分解率为 86.50%, 比未加菌剂的植物浮岛有机氮的分解率提高了 11.16%, 有机氮质量浓度为 4.40 mg/L, 比未加菌剂的植物浮岛有机氮质量浓度降低了 3.83 mg/L; 在 72 h (第 3 天) 时, 出水氨氮浓度为 6.74 mg/L, 而未加菌剂在 72 h (第 3 天) 时氨氮还未开始降解, 在 144 h (第 6 天) 时出水氨氮质量浓度为 9.86 mg/L, 比加入菌剂出在 72 h 时 (第 3 天) 的出水氨氮质量浓度还高 3.12 mg/L。在植物浮岛中加入氨化细菌菌剂提高了有机氮分解率, 使得出水有机氮、氨氮浓度也大大降低。

2) 当氨化细菌加入植物浮岛中时, 氨化细菌承担了植物根系吸收小分子含氮有机物的量, 植物根系能够更多的吸收氨氮, 为植物根系周围的微生物群提供了充足的氧气进行硝化作用, 加快了后续植物对氮吸收同化和微生物反硝化作用, 最终提高了植物浮岛人工湿地中有机氮的分解率, 也间接提高了氨氮去除负荷。

#### [参 考 文 献]

- [1] Headley T R, Huett D O, Davison L. The removal of nutrients from plant nursery runoff in subsurface horizontal-flow wetlands[J]. *Water Science and Technology*, 2001, 44(11/12): 77-84.
- [2] 李辉, 徐新阳, 李培军, 等. 人工湿地中氨化细菌去除有机氮的效果[J]. *环境工程学报*, 2008, 2(8): 1044-1047. Li Hui, Xu Xinyang, Li Peijun, et al. Research on ammonibacteria removing organic nitrogen in construction wetland[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2008, 2(8): 1044-1047. (in Chinese with English abstract)
- [3] 刘月敏, 张克强, 张洪生, 等. 廊道式人工湿地处理污水过程中氨氮的去除效果研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(5): 208-212. Liu Yue-min, Zhang Ke-qiang, Zhang Hong-sheng, et al. Removal efficiency of ammonia nitrogen in wastewater by channel constructed wetland[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(5): 208-212. (in Chinese with English abstract)
- [4] Rousseau D P L, Lesag E, Story A. Constructed wetlands for water reclamation[J]. *Desalination*, 2008, 218(1/3): 181-189.
- [5] 司马卫平, 何强, 夏安林, 等. 人工湿地处理城市污水效能的影响因素分析[J]. *环境工程学报*, 2008, 2(3): 319-323. Sima Weiping, He Qiang, Xia Anlin, et al. Analysis on influencing factors of treatment efficiency of municipal wastewater with constructed wetlands[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2008, 2(3): 319-323. (in Chinese with English abstract)
- [6] Patrick W H, JR, Reddy K R. Nitrification-denitrification reactions in flooded soils and sediments: dependence on oxygen supply and ammonia diffusion[J]. *Journal of environmental*

- quality, 1976, 5: 469—472.
- [7] Reddy K P, Graetz D A. Carbon and nitrogen dynamics in wetland soils [M]. The ecology and management of wetlands. Portland, OR: Timber Press, 1988: 307—318.
- [8] Kemp M C, George D B. Subsurface flow constructed wetlands treating municipal wastewater for nitrogen transformation and removal[J]. Water environment research, 1997, 69(7): 1254—1262.
- [9] Reed S C, Brown D. Subsurface flow wetlands- a performance evaluation[J]. Water environment research, 1995, 67(2): 244—248.
- [10] White K D. Enhancement of nitrogen removal in subsurface flow constructed wetlands employing 2-stage configuration, an unsaturated zone, and recirculation[J]. Water Science and Technology, 1995, 32(3): 59—67.
- [11] Brix H. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants-the rootzone method[J]. Water Science and Technology, 1987, 19: 107—118.
- [12] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(第四版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 251—271.
- [13] Brix H. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes, and treatment performance [M]. Constructed wetlands for water quality improvement. Boca Raton, FL: CRC Press, 1993, 9—22.
- [14] 汤显强, 李金中, 李学菊, 等. 间歇曝气对生物填料人工湿地氮磷去除性能的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 318—322.
- Tang Xianqiang, Li Jinzhong, Li Xueju, et al. Effect of intermittent aeration on nitrogen and phosphorus removal in constructed wetlands with bilofilm carrier as substrate [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(1): 318—322. (in Chinese with English abstract)
- [15] 程伟, 程丹, 李强. 水生植物在水污染治理中的净化机理及其应用[J]. 工业安全与环保, 2005, 31(1): 6—9.
- Cheng Wei, Cheng Dan, Li Qiang. The purification principle and application of aquatic vascular macrophytes[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2005, 31(1): 6—9. (in Chinese with English abstract)
- [16] 唐林森, 陈进, 黄苗. 人工生物浮岛在富营养化水体治理中的应用[J]. 长江科学院院报, 2008, 25(1): 21—25.
- Tang Linsheng, Chen Jin, Huang Zhuo. The development of artificial floating-island[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2008, 25(1): 21—25. (in Chinese with English abstract)

## Ammonifying bacteria in plant floating island of constructed wetland for strengthening decomposition of organic nitrogen

Zhao Tingting, Fan Peicheng, Yao Lirong, Yan Gang, Li Dinglong, Zhang Wenyi<sup>\*</sup>

(School of Environmental and Safety Engineering, Chang Zhou University, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of low ammonia nitrogen removal efficiency in traditional constructed wetland of plant floating island, an engineering bacteria strain with high ammonifying ability was isolated from the laboratory to strengthen organic nitrogen decomposition in the system. The dynamic test of the ammonifying bacteria strain showed that the organic nitrogen decomposition reaction followed zero-level reaction, with degradation rate was 0.76 mg/(L·h) and organic nitrogen decomposition rate was 81.80%. The simulation ecosystem of plant floating island in wastewater treatment was constructed by the *Cymbidium faberi Rolfe* (Evergreen plant), and control test group was designed without adding the strain agent. The results showed that at 48 h, the organic nitrogen decomposition rate was up to 86.50% by adding the strain agent while it was 75.66% without them in the control test group in plant floating island, being increased by 11.16% after adding agent. Similarly, the organic nitrogen was 4.40 mg/L by adding the strain agent while it was 8.23 mg/L in the control group reduced by 3.83mg/L. At 72 h, the effluent ammonia nitrogen was 6.74 mg/L by adding the strain agent while at 72h it had not been degraded and at 144 h it was 9.86 mg/L in the control group. It was significant to strengthen organic nitrogen decomposition and removal efficiency by adding ammonifying bacteria because it supplies sufficient oxygen for the microorganisms adhering to the plant roots to nitrification, and it was more convenient for plants roots to absorb ammonia nitrogen as well. This study could provide reference for improving nitrogen removal effect in constructed wetland.

**Key words:** decomposition, bacteria, ammonia, nitrogen, plant floating island, organic nitrogen