

藻菌比对低碳氮生活污水处理效能的影响

马兴冠,宁惠婕,刘金金,简文浩

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 目的 探究小球藻与活性污泥混合形成藻菌共生体系的最优藻菌比例,使得对低碳氮比生活污水达到最好的处理效果。方法 取6个1 L三角烧瓶,放于恒温光照培养箱内培养,接种的初始生物质量浓度为0.45 g/L,小球藻与活性污泥的接种质量比为6:1,3:1,1:1,1:3,1:6,0:1;设置温度为26 ℃;光暗比为12:12;反应周期为3 d。分析不同比例藻菌共生体系对低碳氮比生活污水中氨氮、COD和总磷的去除效果。结果 藻菌共生反应体系对氨氮、COD、总磷的去除率普遍较好,均优于纯活性污泥反应器去除效果。其中藻菌质量比为3:1的藻菌共生体系去除效率最高,对氨氮的去除率达到89.7%,对COD的去除率达到76.3%,对总磷的去除率达到90.5%。结论 藻菌共生体系处理效果明显优于纯活性污泥反应器,活性污泥对COD和氨氮有很好的降解作用,小球藻对氮磷有高同化作用,同时活性污泥会促进小球藻对氮磷的吸收合成自身生物物质,达到互利共生的状态,具有对低碳氮比生活污水很好的处理效果。

关键词 小球藻;藻菌比;藻菌共生体系;低碳氮比生活污水

中图分类号 TU99;X703

文献标志码 A

Influence of Algal-bacterial Ratios on the Treatment Efficiency of Low Carbon Nitrogen Ratio Domestic Sewage

MA Xingguan, NING Huijie, LIU Jinjin, JIAN Wenhao

(School of Munciple and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: To achieve the best treatment effect for domestic sewage with low carbon nitrogen ratio, the optimal proportion of algal and bacterial in the algal-bacterial symbiosis system was explored. Six 1L triangular bottles with the initial biomass concentration was set to be 0.45 g/L, and the mass ratio of algal-bacterial 6:1, 3:1, 1:1, 1:3, 1:6, 0:1 were set in a constant temperature light incubator. The temperature was set 26 ℃, the light to dark ratio 12:12, and the reaction cycle 3 d. The results show that the treatment effects of the algal-bacterial symbiotic system on ammonia

收稿日期:2020-12-22

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2018YFD1100503)

作者简介:马兴冠(1972—),男,副教授,博士,主要从事水污染控制理论与技术方面研究。

nitrogen, COD and TP are all significantly better than those of activated sludge reactor. When the mass ratio of algal-bacterial is 3:1, the removal rates are highest, which reach 89.7% for ammonia nitrogen, 76.3% for COD and 90.5% for TP, respectively. Activated sludge has a good degradation effect on COD and ammonia nitrogen, and chlorella has a high assimilation effect on nitrogen and phosphorus. At the same time, activated sludge can promote the absorption of nitrogen and phosphorus by chlorella to synthesize its own biomass. And activated sludge and chlorella form their state of mutually beneficial symbiosis, which shows good treatment effects on domestic sewage with low carbon nitrogen ratio.

Key words: chlorella; algal-bacterial proportion; algal-bacterial symbiosis system; low C/N ratio domestic sewage

目前我国污水处理厂进水的碳氮比普遍比较低,导致现有污泥系统对氮磷的去除效果差,污水处理厂通常采用投加碳源的方法来提高污水的处理效果,增加了购买碳源药品的成本。因此,低碳氮比污水处理氮磷的难题成为近些年的研究热点^[1-4]。小球藻作为光合自养型生物,具有良好的脱氮除磷的效果,作为绿色能源具有很好的应用价值^[5-13]。樊杰等^[14]利用由水生藻类和活性污泥组成的藻菌共生体系来处理生活污水。研究发现不同藻菌比对生活污水中氮、磷的去除率具有很大的影响,对COD的去除率没有显著影响。合适的藻菌比有利于改善藻菌共生体系的去除效果^[15-17]。刘乐然^[18]在柱状光生物反应器中构建的藻菌共生系统处理二级出水的最佳运行条件为藻泥比例为5:1。笔者探究藻菌共生培养体系中最佳的藻菌接种初始质量比,达到对低碳氮比污水较好的去除效果。

1 试验

1.1 试验用水与接种污泥

试验进水模拟低碳氮比生活污水水质条件,将乙酸钠作为碳源, NH_4Cl 为氮源, K_2HPO_4 为磷源,按照微生物的生长需求,添加微量元素 0.1 mg/L。试验用水主要水质指标如表 1 所示。

反应器在初次启动时所接种的好氧活性污泥来自辽宁省抚顺市三宝屯污水处理厂,

连续运行一个月,完成好氧活性污泥的驯化的过程,污泥容积指数 SVI 为 120,好氧活性污泥活性良好。

表 1 试验用水主要水质指标

Table 1 Water quality indicators for test water

$\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N}) /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD}) /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TP}) /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
30	150	4

1.2 测定项目及方法

1.2.1 水质检测方法

水质指标根据《水和废水监测分析方法》操作方式进行检测。测定项目及分析方法如表 2 所示。

表 2 测定项目及分析方法

Table 2 Determination items and analysis method

检测项目	分析方法
COD	快速密闭催化消解法
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	纳氏试剂分光光度法
TP	过硫酸钾消解法

1.2.2 生物质干重的测定

干重法:将称量瓶与滤纸于烘箱中 105 °C 烘干 2 h,称量质量为 m_0 ,取 10 mL 小球藻与 100 mL 活性污泥通过真空泵于滤纸表层抽干后放于烘箱中 105 °C 烘干 2 h,称得质量为 m_1 。生物量干重为

$$V = (m_1 - m_0) / v. \quad (1)$$

式中: V 为生物量干重, g/L; m_0 为称量瓶和滤纸烘干至恒重的质量, g; m_1 为取样后样品和称量瓶和滤纸烘干至恒重的质量, g; v 为

取样的体积, L。

1.3 试验过程

试验装置采用6个1 L三角烧瓶,小球藻购于国家藻种中心,于BG11培养基中进行光照富集培养。6个反应器内接种的初始生物质量浓度为0.45 g/L,小球藻与活性污泥的接种质量比为6:1,3:1,1:1,1:3,1:6,0:1于恒温光照培养箱中进行培养,温度为26℃,光暗比为12:12,pH为6.5到7,反应后取上清液化验COD、氨氮、总磷指标,确定小球藻与活性污泥构成的处理效果最好的藻菌比。

2 试验结果与分析

2.1 各反应器 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 变化及去除效果

各个反应器对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果如图1所示。不同藻菌比例的藻菌共生体系对氨氮都有很好的处理效果,反应开始氨氮去除效率高,后来慢慢变缓趋于稳定,并且均优于纯活性污泥法反应器对氨氮55%的去除率。在反应第1天,氨氮质量浓度迅速下降。反应第2天, $m(\text{藻}):m(\text{泥})=3:1$ 的共生体系对氨氮的去除率达到83%,降解效果已经达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)中一级A排放标准5 mg/L。从氨氮变化规律来看,活性污泥中硝化细菌对氨氮的降解起到了重要的作用。不同藻菌比例的反应器对氨氮都具有很高的去除效果,试验最后藻泥质量比为6:1,3:1,1:1,1:3,1:6的反应器对氨氮的去除率分别达到了85.9%,89.76%,85.03%,85.95%,87.8%。

从氨氮的变化规律来看,单独的活性污泥体系对氨氮的处理效果不是很明显,添加小球藻构成的藻菌共生体系对氨氮的去除效果明显优于纯污泥反应器。因为小球藻通过光合作用产生氧气供给好氧微生物进行呼吸作用,同时微生物产生的 CO_2 可以为微藻吸收,达到互利共生的状态。活性污泥中硝化细菌通过硝化作用将氨氮转化成亚硝酸盐氮

和硝酸盐氮,同时小球藻吸收利用氨氮合成生物物质,达到了对氨氮很好的去除效果。

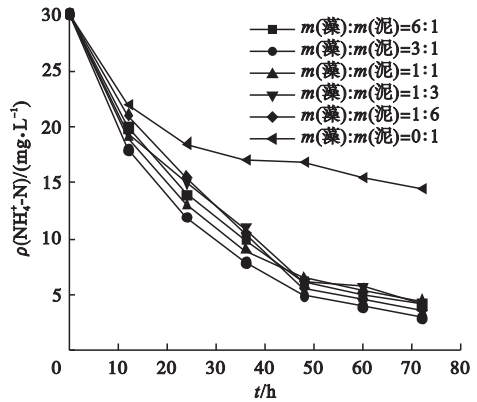


图1 各个反应器 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果

Fig. 1 Removal efficiency of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ in each reactor

2.2 各反应器 COD 变化及去除效果

各个反应器对 COD 的去除效果如图2所示。反应第2天藻菌共生体系对 COD 都有较大的去除效果,减少到48~60 mg/L,都达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)中一级B排放标准60 mg/L。 $m(\text{藻}):m(\text{泥})=1:6$ 时对 COD 的去除率最高达到了70%。反应第3天,藻泥质量比为6:1,3:1,1:1,1:3,1:6的反应器对 COD 的去除率分别达到了75%,76.3%,72%,79%,81%,均优于纯活性污泥反应器53%的去除率。

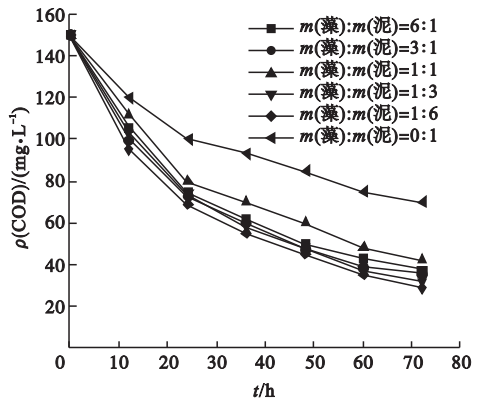


图2 各个反应器 COD 的去除效果

Fig. 2 Removal efficiency of COD in each reactor

从 COD 的去除规律来看,微藻比越高, COD 的去除率相对越低,可见在藻菌共生体

系中合适的藻菌比例很重要,过高的藻菌比例会导致处理效果变差。由于活性污泥是微生物菌群所构成,对污水中有机物的降解作用主要是异养细菌进行分解代谢的作用。

2.3 各反应器总磷变化及去除效果

各个反应器对 TP 的去除效果如图 3 所示。不同藻菌比例的藻菌共生体系反应开始对 TP 的去除效果趋于一致,对 TP 有较快的去除速率,但最后呈现出不同的去除效果,并且均优于纯活性污泥反应器 30% 的去除率。随着小球藻含量比例的增加,对 TP 的去除率有所提高,反应第 2 天, $m(\text{藻}):m(\text{泥})=6:1$ 与 $m(\text{藻}):m(\text{泥})=3:1$ 中对总磷的去除效果都已经达到 1 mg/L 以下。反应第 3 天时,对总磷的去除率达到了 83.2%、90.5%。 $m(\text{藻}):m(\text{泥})=1:3$ 与 $m(\text{藻}):m(\text{泥})=1:6$ 的反应器对总磷的去除效果不是很好,始终没有达到出水标准。分析原因是小球藻作为光合自养生物需要充分的光合的作用,随着活性污泥浓度的增大,会对小球藻的光合作用产生影响,以及小球藻的比例不高,导致对总磷的去除效果不是很好。试验最后藻泥质量比为 6:1,3:1,1:1,1:3,1:6 的反应器对总磷的去除率分别达到 83.2%、90.5%、75%、59%、51.5%。

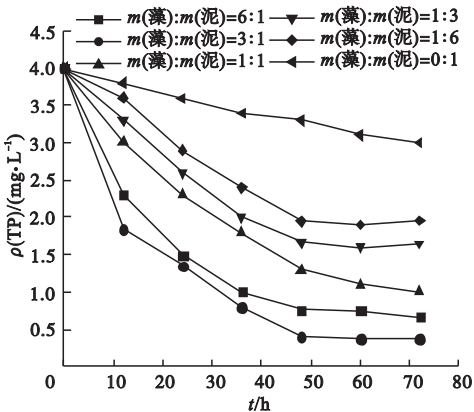


图3 各个反应器 TP 的去除效果

Fig. 3 Removal efficiency of TP in each reactor

从总磷的变化规律来看,细菌被认为是可以提高微藻对磷的去除效果的^[19-20]。常

规的活性污泥法除磷是通过厌氧释磷和好氧吸磷两个过程来完成,通过将富磷的剩余污泥排放达到对总磷的去除效果。在藻菌共生体系中小球藻对磷有高同化作用,通过生物量吸收磷合成小球藻自身生物质,提高了小球藻的能源利用价值,对污水中的磷在短时间有很好的去除效果。

3 结 论

(1)藻菌共生体系对污水处理效果明显优于纯活性污泥反应器,并且藻菌共生体系中存在最佳的接种比例。当小球藻与活性污泥接种质量比为 3:1 时,对低碳氮比污水去除效果最好,对氨氮,总磷,COD 分别达到了 89.76%、90.5%、76.3%。在水力停留时间为 2d 时,对氨氮,总磷,COD 的去除效果已经达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)中一级 A 排放标准。

(2)小球藻与活性污泥的共培养体系中,活性污泥对于氨氮的降解起到了主要作用,同时小球藻对氮磷有高同化作用,吸收氮磷营养元素合成自身生物质,对氨氮,总磷有很好的去除效果。细菌的存在会促进小球藻对氮磷营养物质的吸收。不同藻菌比共生体系对 COD 的去除效果没有显著区别。

参考文献

- [1] 王于靖. 外加铁源对低碳氮比污水处理系统脱氮及微生物多样性影响研究[D]. 合肥:安徽建筑大学,2019.
(WANG Yujing. Study on the effect additional iron source on nitrogen removal and microbial diversity in low carbon and nitrogen ratio wastewater treatment systems [D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2019.)
- [2] 徐丽,魏文涛,马兴冠. 基于 UASB 反应器的低碳磷酸盐还原菌种源污泥的培养和驯化[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2016,32(4):738-743.
(XU Li, WEI Wentao, MA Xingguan. Cultivation and domestication of sludge with low-carbon phosphate reduction bacteria in UASB reactor [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2016,32(4):738-743.)
- [3] 邵宇琪. Fe 对低 C/N 污水的生物脱氮性能及种群影响研究[D]. 合肥:安徽建筑大学,2018.

- (SHAO Yuqi. Study on the effect of Fe(II) on biological nitrogen removal performance and microbial population of low-C/N-ratio sewage [D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2018.)
- [4] GAO F, ZHANG H, YANG F, et al. Study of an innovative anaerobic (A)/oxic (O)/anaerobic (A) bioreactor based on denitrification-anammox technology treating low C/N municipal sewage [J]. Chemical engineering journal, 2013, 232(10): 65 - 73.
- [5] 陆伟东, 邓隆华, 刘海帆, 等. 小球藻 + 活性污泥处理酸析造纸黑液研究[J]. 韶关学院学报(自然科学版), 2020, 41(3): 34 - 38. (LU Weidong, DENG Longhua, LIU Haifan, et al. Study on treatment of acid precipitated pulp black liquor by using chlorellasp. and activated sludge [J]. Journal of shaoguan university(natural science edition), 2020, 41(3): 34 - 38.)
- [6] 马兴冠, 杜玉春. 固定化藻类 - 香根草浮床体系脱氮除磷效果研究[J]. 科学技术创新, 2019, 4: 182 - 183. (MA Xingguan, DU Yuchun. Study on nitrogen and phosphorus removal efficiency of immobilized alga-vetiveria floating bed system [J]. Scientific and technological innovation, 2019, 4: 182 - 183.)
- [7] SHEN Y, GAO J Q, LI L S. Municipal wastewater treatment via coimmobilized microalgal-bacterial symbiosis: microorganism growth and nutrients removal [J]. Bioresource technology, 2017, 243: 905 - 910.
- [8] JI X Y, JIANG M Q, ZHANG J B, et al. The interactions of algae-bacteria symbiotic system and its effects on nutrients removal from synthetic wastewater [J]. Bioresource technology, 2018, 247: 44 - 50.
- [9] COSTAS T, GESTHIMANI L, PETROS S. Microalgae-activated sludge treatment of molasses wastewater in sequencing batch photo-bioreactor [J]. Environmental technology, 2017, 38(9/12): 1120 - 1126.
- [10] 黄学平. 养猪废水处理耦合能源小球藻培养研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2018. (HUANG Xueping. Study on the treatment of swine wastewater and coupled cultivate energy chlorella [D]. Nanchang: Nanchang University, 2018.)
- [11] 王瑶基. 基于藻菌共生体系强化微藻富集和废水处理的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017. (WANG Yaoji. Construction of algae-bacteria co-cultivation system for enhancing algae harvest and accelerating wastewater treatment [D]. Changchun: Jilin University, 2017.)
- [12] 高敏. 藻菌共生系统对废水中氮磷及重金属的去除效果的研究[D]. 西安: 西安工程大学, 2016. (GAO Min. Study on removal of nitrogen and phosphorus and heavy metals from wastewater by alga-bacteria system [D]. Xi' an: Xi' an University of Technology, 2016.)
- [13] 那娜. 固定化小球藻强化光序批式反应器运行短程硝化工艺研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2017. (NA Na. A shortcut nitrogen removal process using an alga-bacterial consortium in a photo-sequencing batch reactor(PSBR)[D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2017.)
- [14] 樊杰, 陈越. 黑暗条件下不同接种比菌藻共生处理污水性能[J]. 水处理技术, 2020, 46(9): 81 - 85. (FAN Jie, CHEN Yue. Consortium of chlorella-activated sludge with different inoculum ratios for wastewater treatment under dark condition [J]. Technology of water treatment, 2020, 46(9): 81 - 85.)
- [15] 刘强. 不同藻菌共生体系在畜牧养殖废水深度处理中的优化研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2020. (LIU Qiang. Study on the optimization of different algae-bacteria symbiotic systems in the advanced treatment of livestock wastewater [D]. Nanchang: Nanchang University, 2020.)
- [16] 苏肖铃. 短带鞘藻 - 活性污泥共生体系的构建及其脱氮除磷效果评价[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2015. (SU Xiaoling. Establishment of Oedogonium Brevicingulatum and activated sludge symbiosis system and assessment of its efficiency in removal of nitrogen and phosphorus [D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2015.)
- [17] 黄以林. 短带鞘藻 - 活性污泥共生体系脱氮的实验研究[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2018. (HUANG Yilin. Experimental study on removal of nitrogen by symbiotic system of Oedogonium Brevicingulatum and activated sludge [D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2018.)
- [18] 刘乐然. 藻菌共生系统深度处理二级出水的条件优化研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2020. (LIU Leran. Study on the condition optimization of advanced treatment of secondary effluent by algae bacterial symbiosis system [D]. Ji' nan: Shandong Jianzhu University, 2020.)
- [19] 孙霓. 菌 - 藻共生 SBR 处理生活污水的效能与特性[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016. (SUN Ni. Research on the characteristics and treatment effects towards sanitary sewage using the novel SBR based on the algal-bacterial symbionts system [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.)
- [20] 梁汇元, 张云开. 固定化污泥与固定化小球藻共培养去除污水氮磷研究[J]. 广西科学, 2019, 26(2): 215 - 221. (LIANG Huiyuan, ZHANG Yunkai. Study on the removal of nitrogen and phosphorus from sewage by co-culture of immobilized sludge and immobilized chlorella [J]. Guangxi sciences, 2019, 26(2): 215 - 221.)
- (责任编辑: 徐玉梅 英文审校: 唐玉兰)