

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第7期

Vol.39 No.7

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

近20年来中国典型区域 PM _{2.5} 时空演变过程	罗毅,邓琼飞,杨昆,杨扬,商春雪,喻臻钰 (3003)
西安市 PM _{2.5} 健康损害价值评估	魏国茹,史兴民 (3014)
河北香河亚微米气溶胶组分特性、来源及其演变规律分析	江琪,王飞,孙业乐 (3022)
南京北郊秋季 PM _{2.5} 碳质组分污染特征及来源分析	徐足飞,曹芳,高嵩,鲍孟盈,石一凡,章炎麟,刘晓妍,范美益,张雯淇,卞航,刘寿东 (3033)
临安夏季霾和清洁天气 PM _{2.5} 化学组成特征比较	梁林林,孙俊英,张养梅,刘畅,徐婉筠,张根,刘旭艳,马千里 (3042)
盘锦市秋冬季节 PM _{2.5} 中碳组分特征及来源解析	张蕾,姬亚芹,张军,王士宝,李越洋,赵静琦,张伟 (3051)
南京冬季气溶胶光学特性及黑碳光吸收增强效应	黄聪聪,马嫣,郑军 (3057)
夏季青岛大气粗细粒子中微量元素的浓度、溶解度及干沉降通量	李鹏志,李茜,石金辉,高会旺,姚小红 (3067)
太原市夏季降水中溶解态重金属特征及来源	叶艾玲,程明超,张璐,何秋生,郭利利,王新明 (3075)
杭州地区大气 CO ₂ 体积分数变化特征及影响因素	浦静姣,徐宏辉,姜瑜君,杜荣光,齐冰 (3082)
典型工业源 VOCs 治理现状及排放组成特征	景盛翱,王红丽,朱海林,杨强,卢滨,夏阳,余传冠,陶士康,李莉,楼晟荣,黄成,唐伟,井宝莉 (3090)
地级市域工业 VOCs 排放源产排特性及其控制技术应用现状:以秦皇岛市为例	胡旭睿,虎啸宇,王灿 (3096)
青霉素发酵尾气 VOCs 污染特征及健康风险评价	郭斌,么瑞静,张硕,马磊,康江,王姗姗 (3102)
轻型汽油车尾气 OC 和 EC 排放因子实测研究	黄成,胡馨遥,鲁君 (3110)
南京市大气降尘重金属污染水平及风险评价	田春晖,杨若杼,古丽扎尔·依力哈木,钱新,王金花,李慧明 (3118)
西安城区路面细颗粒灰尘重金属污染水平及来源分析	石栋奇,卢新卫 (3126)
三峡库区主要河流秋季 pCO ₂ 及其影响因素	罗佳宸,毛蓉,李思悦 (3134)
泾河支流地表水地下水的水化学特征及其控制因素	寇永朝,华琨,李洲,李志 (3142)
生物滞留对城市地表径流磷的去除途径	李立青,刘雨倩,杨佳敏,王娟 (3150)
淀山湖浮游植物功能群演替特征及其与环境因子的关系	杨丽,张玮,尚光霞,张军毅,王丽卿,魏华 (3158)
抚仙湖硅藻群落的时空变化特征及其与水环境的关系	李蕊,陈光杰,康文刚,陈丽,王教元,陈小林,刘园园,冯钟,张涛 (3168)
蓝藻水华及其降解对沉积物-水微界面的影响	王永平,谢瑞,晁建颖,姬昌辉,于剑 (3179)
生物炭对人工湿地植物根系形态特征及净化能力的影响	徐德福,潘潜澄,李映雪,陈晓艺,王佳俊,周磊 (3187)
Mn-Co/蜂窝陶瓷催化剂制备及催化臭氧化对苯二酚效能	张兰河,高伟国,陈子成,张海丰,王旭明 (3194)
Fe/Cu 双金属活化过一硫酸盐降解四环素的机制	李晶,鲍建国,杜江坤,冷一非,孔淑琼 (3203)
铈酸盐改性钛酸纳米片对水中 Cd(II) 的吸附行为及机制	康丽,刘文,刘晓娜,刘宏芳,李一菲 (3212)
铁锰原位氧化产物吸附微量磷的实验	蔡言安,毕学军,张嘉凝,董杨,刘文哲 (3222)
制备方法对铁钛复合氧化物磷吸附性能的影响:共沉淀法与机械物理混合法	仲艳,王建燕,陈静,张高生 (3230)
电导率对厌氧产酸、正渗透与微生物燃料电池耦合工艺运行性能的影响	陆宇琴,刘金梦,王新华,李秀芬,李晔 (3240)
不同磷浓度下生物除磷颗粒系统的 COD 需求	李冬,曹美忠,郭跃洲,梅宁,李帅,张杰 (3247)
基质浓度对 ABR 反应器 SAD 协同脱氮除碳效能影响	张敏,姜滢,汪瑶琪,韦佳敏,陈重军,沈耀良 (3254)
采用含硫铁化学污泥作为反硝化电子供体进行焦化废水中总氮深度去除	付炳炳,潘建新,马景德,王丰,吴海珍,韦朝海 (3262)
间歇曝气下短程硝化耦合污泥微膨胀稳定性	高春娣,孙大阳,安冉,赵楠,焦二龙,祝海兵 (3271)
基于高通量测序的 SBR 反应器丝状膨胀污泥菌群分析	洪颖,姚俊芹,马斌,徐双,张彦江 (3279)
纳米零价铁(NZVI)对厌氧产甲烷活性、污泥特性和微生物群落结构的影响	苏润华,丁丽雨,任洪强 (3286)
气水比对后置固相反硝化滤池工艺脱氮及微生物群落影响	张千,吉芳英,付旭芳,陈晴空 (3297)
活性污泥胞外多聚物提取方法的比较	孙秀玥,唐珠,杨新萍 (3306)
耐冷嗜碱蒙氏假单胞菌 H97 的鉴定及其好氧反硝化特性	蔡茜,何腾霞,冶青,李振轮 (3314)
PFOS 前体物质(PreFOSs)降解菌的分离鉴定及其降解特性	赵淑艳,周涛,王博慧,梁田坤,柳丽芬 (3321)
采油井场土壤微生物群落结构分布	蔡萍萍,宁卓,何泽,张敏,石建省 (3329)
铜尾矿坝不同恢复年限土壤理化性质和酶活性的特征	王瑞宏,贾彤,曹苗文,柴宝峰 (3339)
广西某赤泥堆场周边土壤重金属污染风险	郭颖,李玉冰,薛生国,廖嘉欣,王琼丽,吴川 (3349)
邻苯二甲酸酯在重庆市城市土壤中的污染分布特征及来源分析	杨志豪,何明靖,杨婷,卢俊峰,魏世强 (3358)
成都平原区水稻土有机碳剖面分布特征及影响因素	李珊,李启权,王昌全,张浩,肖怡,唐嘉玲,代天飞,李一丁 (3365)
塔里木盆地北缘绿洲不同连作年限棉田土壤有机碳、无机碳含量与环境因子的相关性	赵晶晶,贡璐,安申群,李杨梅,陈新 (3373)
塔里木盆地北缘绿洲4种土地利用方式土壤有机碳组分分布特征及其与土壤环境因子的关系	安申群,贡璐,李杨梅,陈新,孙力 (3382)
高原喀斯特土壤有机碳短期稳定的温度作用机制	唐国勇,张春华,刘方炎,马艳 (3391)
施硼对水稻幼苗吸收和分泌砷的影响	朱毅,孙国新,陈正,胡莹,郑瑞伦 (3400)
不同改良剂对铅镉污染农田水稻重金属积累和产量影响的比较分析	胡雪芳,田志清,梁亮,陈俊德,张志民,朱祥民,王士奎 (3409)
南京大气臭氧浓度的季节变化及其对主要作物影响的评估	赵辉,郑有飞,魏莉,关清 (3418)
三峡库区涪陵和忠县两地居民发汞含量水平及影响因素分析	程楠,谢青,樊宇飞,王永敏,张成,王定勇 (3426)
人粪便好氧堆肥过程中典型抗生素的消减特性	时红蕾,王文昌,李倩 (3434)
COD/SO ₄ ²⁻ 对青霉素菌渣厌氧消化影响	强虹,李玉友,裴梦富 (3443)
果蔬类垃圾主发酵堆肥产物储放和利用的恶臭释放特征	何品晶,蒋宁玲,徐贤,韦顺艳,邵立明,吕凡 (3452)
曾用抗生素磺胺二甲嘧啶对稻田 NH ₃ 挥发的影响	庞炳坤,张敬沙,吴杰,李志琳,蒋静艳 (3460)
《环境科学》征订启事(3141) 《环境科学》征稿简则(3202) 信息(3229, 3433, 3451)	

耐冷嗜碱蒙氏假单胞菌 H97 的鉴定及其好氧反硝化特性

蔡茜, 何腾霞, 冶青, 李振轮*

(西南大学资源环境学院, 土壤多尺度界面过程与调控重庆市重点实验室, 重庆 400716)

摘要: 结合形态、磷脂脂肪酸及 16S rRNA 基因序列分析鉴定了分离自贵州冬水田的好氧反硝化菌株 H97, 采用模拟废水探讨了不同温度、接种量、C/N、初始 pH 和碳源种类对菌株 H97 反硝化能力的影响。结果表明, 菌株 H97 为蒙氏假单胞菌 (*Pseudomonas monteilii*), 目前国内外尚无蒙氏假单胞菌具有耐冷嗜碱好氧反硝化作用的研究报道, 是对好氧反硝化菌的补充; 该菌的最适脱氮条件为 15℃、pH 9.0、C/N 15、接种量 1.5×10^6 CFU·(100 mL)⁻¹, 碳源丁二酸钠。此外, 菌株 H97 在 pH 为 7.0~11.0 时, 均表现出良好的脱氮能力, 对硝酸盐氮和总氮的去除率分别可达 91.21% 和 79.10% 以上, 初始 pH 为 12.0 时, 对硝酸盐氮和总氮的去除率仍分别达 64.75% 和 36.78%, 表现出了较强耐碱能力。在初始硝酸盐氮浓度为 50.0 mg·L⁻¹ 和最适脱氮条件下, 菌株 H97 在 48 h 内对硝酸盐氮和总氮的去除率可达 97.69% 和 96.32%。同时, H97 对温度适应范围广, 在 15~40℃ 均具有较强好氧反硝化能力, 是 1 株耐冷嗜碱好氧反硝化细菌, 在碱性氮污染水体处理中具有较好的应用潜力。

关键词: 耐冷; 嗜碱; 蒙氏假单胞菌; 脱氮; 反硝化特性

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)07-3314-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.201709265

Identification and Characterization of a Hypothermic Alkaliphilic Aerobic Denitrifying Bacterium *Pseudomonas monteilii* Strain H97

CAI Xi, HE Teng-xia, YE Qing, LI Zhen-lun*

(Chongqing Key Laboratory of Soil Multiscale Interfacial Process, College of Resources and Environments, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: Low temperatures and high pH generally inhibit bio-denitrification. Thus, it is important to explore psychrotrophic and alkali-resistant microorganisms for nitrogen degradation. This study mainly focused on the identification of an alkaliphilic strain and preliminary exploration of its denitrification characteristics. Based on morphological observations, phospholipid fatty acids and 16S rRNA gene sequence analysis, strain H97, which was isolated from the winter paddy field in Guizhou province, was identified as *Pseudomonas monteilii*. Till date, there were few reports about the denitrification characteristics of *Pseudomonas monteilii*. The effects of environmental factors such as temperature, inoculation quantity, C/N ratio, initial pH, and carbon source were investigated using simulated wastewater. The optimum conditions for nitrate and total nitrogen removal by H97 were: inoculum size 1.5×10^6 CFU·(100 mL)⁻¹; initial pH 9.0; C/N = 15; 15℃; and sodium succinate as the carbon source. The nitrate and total nitrogen removal efficiencies were 97.69% and 96.32%, respectively, at optimum conditions with an initial nitrate nitrogen concentration of 50.0 mg·L⁻¹. The temperature experiments indicated that the optimal temperature for highest nitrogen removal efficiency was 15℃, and that the strain H97 could survive in a wide range of 15-40℃. Additionally, the nitrate and total nitrogen efficiencies at the initial pH value of 7.0-11.0 were 91.21% and 79.10%, respectively, and the denitrification capacity then decreased to 64.75% at the initial pH 12.0. These results indicated that strain H97 showed cold and alkali resistance, which suggests an application potential for the treatment of alkaline nitrogen polluted water in the southern winter.

Key words: hypothermia; alkaliphilic; *Pseudomonas monteilii*; nitrogen removal; denitrification characteristics

好氧反硝化细菌因其具有适应性较强、生长速度快、容易控制等优点, 而受到国内外研究者的青睐^[1]。目前, 已有大量好氧反硝化细菌的研究报道, 其中以假单胞菌属最多^[2], 主要有斯氏假单胞菌 (*Pseudomonas stutzeri*)^[3]、铜绿假单胞菌 (*Pseudomonas aeruginosa*)^[4]、托拉斯假单胞菌 (*Pseudomonas tolaasii*)^[5] 和恶臭假单胞菌 (*Pseudomonas putida*)^[6] 等。而国内外关于好氧反硝化蒙氏假单胞菌 (*Pseudomonas monteilii*) 的研究报

道很少, 仅有张文艺等^[7] 和冯雅丽等^[8] 的研究报道。而张文艺等未报道该蒙氏假单胞菌 N1 的反硝化特性; 冯雅丽等发现的蒙氏假单胞菌 YL-1 在 pH 大于 9.0, 温度低于 25℃ 或高于 35℃ 时, 基本丧失

收稿日期: 2017-09-28; 修订日期: 2018-01-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0404705); 重庆市研究生科研创新项目(CYB17063)

作者简介: 蔡茜(1992~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境微生物, E-mail: yxqax@163.com

* 通信作者, E-mail: lizhulun4740@sina.com

对硝酸盐氮的反硝化能力。

事实上,脱氮生物菌易受外在环境影响,环境中的温度和酸碱性就是影响生物脱氮的重要因素。目前报道的脱氮微生物大多数是在 20~35℃、中性或微碱性条件下进行,对低温、过酸或过碱的环境条件耐受性较弱。如菌株 *Pseudomonas stutzeri* F1^[9] 在温度低于 20℃ 或 pH 值大于 8.0 的条件下,其生长与反硝化脱氮作用均受到抑制;菌株 *Pseudomonas* sp. 2-8^[10] 在温度低于 20℃ 或 pH 值大于 9.0 的条件下,基本丧失反硝化能力。而现实中碱性氮污染废水的来源广泛,如生产化肥的废水 pH 值达 8.0~10.0^[11];生产石油树脂的废水 pH 值可达 11.0~13.0^[12]。因此,研究耐冷嗜碱高效生物脱氮菌对处理南方地区冬季碱性废水中的氮污染具有重要意义。

本实验从贵州冬水田中分离获得 1 株具有好氧反硝化作用的菌株 H97,结合形态学、磷脂脂肪酸及 16S rRNA 基因序列分析,该菌被鉴定为蒙氏假单胞菌 (*Pseudomonas monteilii*),通过环境因子对菌株生物脱氮的影响发现,该菌在 15~40℃ 和 pH 7.0~12.0 范围内均能进行高效的脱氮作用,研究结果为南方地区冬季碱性废水中氮污染生物处理提供了一种选择,以期为此后该菌的具体应用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 菌株来源

新分离菌株 H97 为本实验室从贵州省冬水田中分离筛选获得。

1.1.2 培养基

(1) BTB 培养基 (bromothymol blue, BTB)^[13]: NaNO_2 1.0 g·L⁻¹, KH_2PO_4 1.0 g·L⁻¹, $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g·L⁻¹, $\text{CaCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.2 g·L⁻¹, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.0 g·L⁻¹, 琥珀酸钠 8.5 g·L⁻¹ (固体加 2.0% 的琼脂), BTB (1.5% 溴百里酚蓝溶于无水乙醇) 1 mL, 调节 pH 至 7.2。

(2) 反硝化培养基 (DM)^[14]: 乙酸钠 2.56 g·L⁻¹, NaNO_3 0.31 g·L⁻¹, KH_2PO_4 1.5 g·L⁻¹, Na_2HPO_4 0.42 g·L⁻¹, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.0 g·L⁻¹, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.05 g·L⁻¹, 调节 pH 至 7.2。

(3) LB 培养基: 胰蛋白胨 10.0 g·L⁻¹, 酵母粉 5.0 g·L⁻¹, NaCl 10.0 g·L⁻¹, 固体加 2.0% 的琼脂, 调节 pH 至 7.2。

将上述所有培养基在 0.11 MPa、121℃ 条件下灭菌 30 min, 冷却后备用。

1.2 细菌鉴定

1.2.1 形态学特征观察

将分离纯化的菌株 H97 于 BTB 固体培养基上划线, 在 15℃ 条件下培养, 待长出菌落后观察其菌落形态, 采用 AFM 原子力显微镜 (DIMENSION ICON WITH SCANASYST, 美国 BRUKER 公司) 扫描观察菌体形态。

1.2.2 特异性磷脂脂肪酸鉴定

取纯化菌株 H97 进行皂化、甲基化、萃取以及碱洗涤后获得上机样品, 用 Agilent 6850 气相色谱仪 (FID 检测器) 分析特异性磷脂脂肪酸 (Phospholipid fatty acid, PLFA) 的成分。各脂肪酸成分通过 MIDI Sherlock 微生物鉴定系统 (Version 6.1, MIDI, Inc., Newark, DE) 进行检测。

1.2.3 菌株 H97 的 16S rRNA 基因序列检测

以纯化菌株 H97 的基因组 DNA 为模板, 采用通用引物 27F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') 和 1492R (5'-GGTTACCTTGTTACGACTT-3') 进行 16S rRNA 聚合酶链式反应 (PCR) 扩增, 将克隆产物送测序公司测序, 将 16S rRNA 基因序列在 GenBank 核酸序列数据库中进行同源性比较, 以 Neighbor-Joining 法^[15] 构建系统发育树。

1.3 影响菌株 H97 好氧反硝化特性的因素分析

向装有 100 mL 反硝化培养基的 250 mL 三角瓶中接入菌株 H97, 研究不同温度 (5、10、15、20、25、30、35 和 40℃)、接菌量 [0.5×10^6 、 1.0×10^6 、 1.5×10^6 、 2.0×10^6 和 2.5×10^6 CFU·(100 mL)⁻¹]、C/N 值 (0、5、10、15、20 和 25)、初始 pH 值 (6.0、7.0、8.0、9.0、10.0、11.0、12.0 和 13.0) 和碳源种类 (柠檬酸钠、丁二酸钠、葡萄糖、蔗糖和乙酸钠) 对菌株 H97 反硝化特性的影响。以上处理均在 150 r·min⁻¹ 摇床条件下培养 48 h 后, 测定菌株 H97 的生长、硝酸盐氮和总氮的浓度, 并计算硝酸盐氮和总氮的去除率。

1.4 分析方法

本研究中, 硝酸盐氮的测定采用紫外分光光度法^[16], 总氮的测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法^[17], 菌株的生长采用光度比浊法 (D_{600})。脱氮率计算方法如下:

$$R = [1 - (c_t/c_0)] \times 100\% \quad (1)$$

$$V = (c_0 - c_t)/t \quad (2)$$

式中, R 为氮的去除率, c_t 为终态氮浓度 (mg·L⁻¹), c_0 为初始氮浓度 (mg·L⁻¹), V 为氮的去除速率 [mg·(L·h)⁻¹], t 为时间。

采用 Excel、SPSS Statistics 19.0、MEGA 6.0 和

Origin 8.6 软件对实验数据进行统计分析并作图.

2 结果与分析

2.1 细菌鉴定

2.1.1 形态学特征

在 BTB 固体培养基上观察到菌株 H97 的菌落形态特征为: 圆形, 呈黑色, 表面湿润光滑, 边缘整齐, 中央略凸起, 革兰氏染色为阴性. 经原子力显微镜扫描观察, 结果如图 1 所示, 菌体呈短杆状或椭球状, 不产芽孢, 无鞭毛.

2.1.2 特异性磷脂脂肪酸鉴定

磷脂脂肪酸(PLFAs)是微生物细胞膜的主要成分, 不同类群微生物细胞膜的 PLFAs 存在差异, 同种类群微生物 PLFAs 含量比较恒定^[18], 它的种类和含量是细胞分类法的重要依据之一. 气相色谱能快速、灵敏、精确地检测出细菌细胞内的脂肪酸^[19].

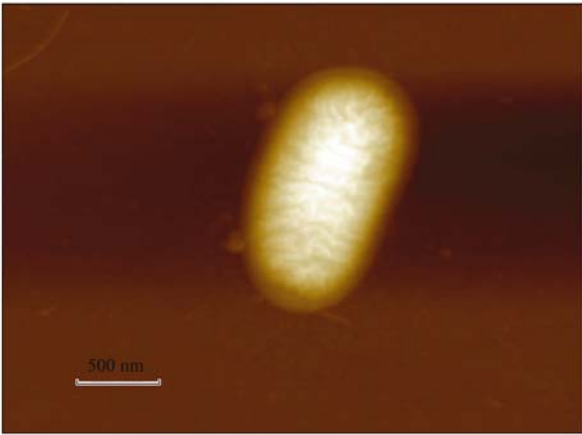


图 1 原子力显微镜扫描下的菌株 H97

Fig. 1 Strain H97 under the scanning atomic force microscope

本研究中, 菌株 H97 的磷脂脂肪酸鉴定结果如表 1 所示, 该菌株与 *Pseudomonas syringae* tomato 的相似性为 0.569.

表 1 特异性磷脂脂肪酸的鉴定结果

Table 1 Result of the specific phospholipid fatty acid identification

数据库	相似指数	菌种名称
RTSBA66. 21	0.569	<i>Pseudomonas syringae</i> tomato
	0.444	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype A
	0.432	<i>Pseudomonas syringae</i> maculicola
	0.423	<i>Pseudomonas syringae</i> syringae
	0.377	<i>Photobacterium angustum</i>
	0.368	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype C/P
	0.444	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype A
	0.432	<i>Pseudomonas syringae</i> maculicola
	0.423	<i>Pseudomonas syringae</i> syringae
	0.377	<i>Photobacterium angustum</i>
RCLIN66. 20	0.359	<i>Neisseria cinerea</i> GC subgroup B
	0.300	<i>Chromobacterium violaceum</i>
	0.286	<i>Aeromonas veronii</i> GC subgroup B
	0.271	<i>Pseudomonas putida</i> biotype A
	0.232	<i>Arcobacter cryaerophilus</i>
MI7HI03. 80		(没有匹配)

2.1.3 16S rRNA 基因序列分析

菌株 H97 的 16S rRNA 基因全长1 392 bp, 在

GenBank 中的登录号为 KY927410, 系统发育树如图 2 所示, 该菌与 *Pseudomonas monteilii* 的同源性达

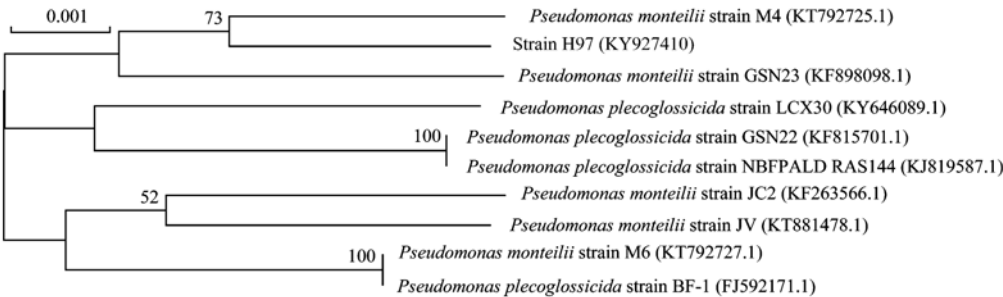


图 2 菌株 H97 的系统发育进化树

Fig. 2 Phylogenetic tree of strain H97

99%。基于磷脂脂肪酸鉴定的结果,在传统分类学上, *Pseudomonas monteilii* 属于丁香假单胞菌 (*Pseudomonas syringae*)^[20], 这与该菌 16S rRNA 基因序列分析的结果一致。因此,结合形态学、磷脂脂肪酸和 16S rRNA 基因序列分析的结果,可以将菌株 H97 确定为蒙氏假单胞菌 (*Pseudomonas monteilii*)。

2.2 影响菌株 H97 好氧反硝化特性的因素分析

2.2.1 温度对菌株 H97 反硝化特性的影响

如图 3 所示,当温度为 5℃ 和 10℃ 时,菌株 H97 几乎不能生长;但当温度上升到 15℃ 时,48 h 内,硝酸盐氮浓度由 $52.73 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至 $11.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均反硝化速率为 $0.87 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$,总氮的平均去除速率为 $0.81 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$,菌株 H97 对硝酸盐氮和总氮的去除率分别达 80.55% 和 73.18%;当温度为 15~30℃ 范围内时,菌株 H97 的生长和脱氮效率基本保持不变;当温度继续上升至 40℃ 时,菌株 H97 的生长和脱氮率逐渐降低,对硝酸盐氮和总氮的去除率分别为 63.60% 和 48.65%。

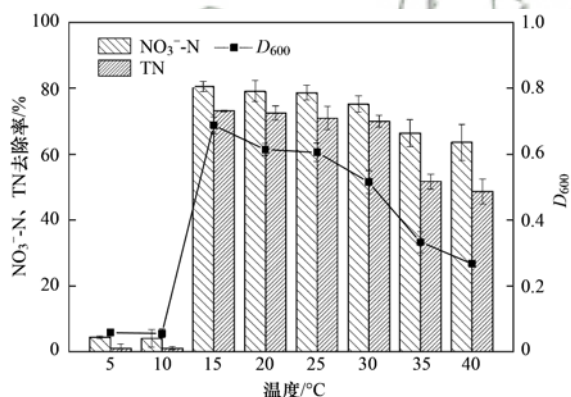


图 3 温度对菌株 H97 反硝化特性的影响

Fig. 3 Effects of temperature on the denitrification ability of strain H97

2.2.2 接菌量对菌株 H97 反硝化特性的影响

如图 4 所示,当接菌量为 $0.5 \times 10^6 \text{ CFU}$ 时(每 100 mL 培养基),硝酸盐氮和总氮的去除率仅为 18.01% 和 17.23%;但当接菌量上升至 $1.5 \times 10^6 \text{ CFU} \cdot (100 \text{ mL})^{-1}$ 时,48 h 内,硝酸盐氮浓度由 $48.46 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 下降至 $5.76 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$,平均反硝化速率为 $0.89 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$,总氮的平均去除速率为 $0.68 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$,菌株 H97 对硝酸盐氮和总氮去除率分别达 88.12% 和 59.07%;将接菌量继续增大到 $2.5 \times 10^6 \text{ CFU} \cdot (100 \text{ mL})^{-1}$ 时,总氮的去除率下降到 57.82%。因此,在实际应用中可以将

菌株 H97 的接菌量控制在 $1.5 \sim 2.0 \times 10^6 \text{ CFU} \cdot (100 \text{ mL})^{-1}$ 。

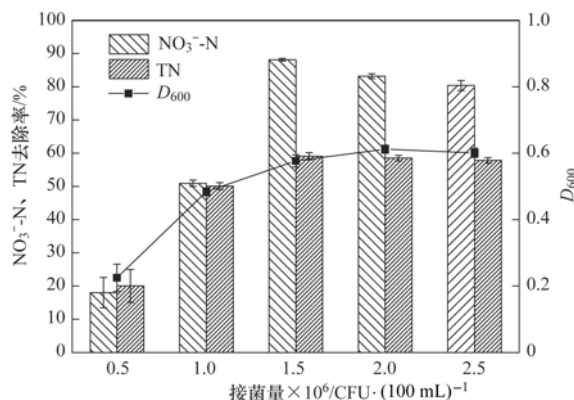


图 4 接菌量对菌株 H97 反硝化特性的影响

Fig. 4 Effects of inoculation quantity on the denitrification ability of strain H97

2.2.3 C/N 对菌株 H97 反硝化特性的影响

如图 5 所示,当 C/N 小于 10 时,菌株 H97 的生长和反硝化活性受到一定程度的抑制,对硝酸盐氮的去除不完全,几乎不能去除总氮;当 C/N 上升至 15 时,硝酸盐氮浓度由 $50.93 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至 $0.44 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均反硝化速率为 $1.05 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$,总氮的平均去除速率为 $0.7 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$,该菌对硝酸盐氮和总氮的去除率分别达 99.13% 和 61.42%;当 C/N 大于 15 时,脱氮率呈下降趋势。综合考虑,菌株 H97 的最佳 C/N 为 15。

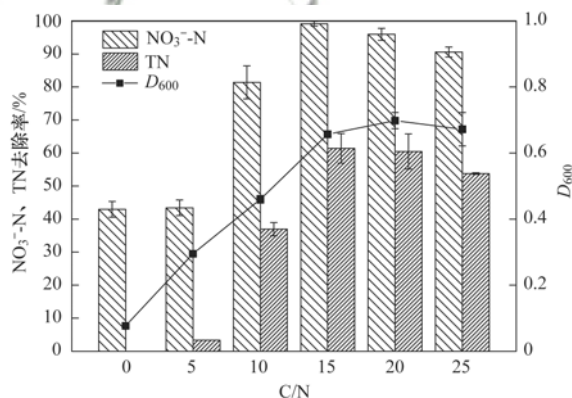


图 5 C/N 对菌株 H97 反硝化能力的影响

Fig. 5 Effects of C/N on the denitrification ability of strain H97

2.2.4 初始 pH 对菌株 H97 反硝化特性的影响

如图 6 所示,当 pH 为 6.0 时,不利于菌株 H97 的生长;当 pH 7.0~11.0 时,菌株 H97 能很好生长,对硝酸盐氮和总氮的去除率较高,尤其 pH=9.0 时,硝酸盐氮浓度由 $50.92 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降到 $0.47 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均反硝化速率为 $1.05 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$,总氮由 $53.44 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至 $4.39 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均去除

速率 $1.02 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$, 该菌对硝态氮和总氮的去除率分别达 99.07% 和 91.78%; pH = 11.0 时, 菌株 H97 生长较好, 脱氮效果较强; pH = 12.0 时, 其生长变弱, 仍具有一定脱氮能力, 对硝酸盐氮和总氮的去除率分别为 64.75% 和 36.78%。

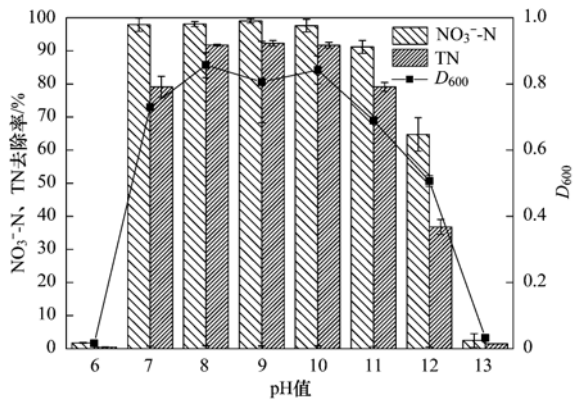


图 6 pH 对菌株 H97 反硝化能力的影响

Fig. 6 Effects of pH on the denitrification ability of strain H97

2.2.5 碳源种类对菌株 H97 反硝化特性的影响

如图 7 所示, 碳源种类对菌株 H97 的生长及脱氮率的影响存在很大差异. 当以柠檬酸钠、丁二酸钠和乙酸钠为碳源时, 菌株 H97 均能很好地生长, 尤其以丁二酸钠为碳源时, 48 h 内, 硝酸盐氮浓度由 $50.40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至 $1.17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均反硝化速率达 $1.03 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$, 总氮由 $55.53 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至 $2.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均去除速率为 $1.11 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$, 其对硝酸盐氮和总氮的去除率分别达 97.69% 和 96.32%; 当以葡萄糖为碳源时, 其对总氮的去除率仅为 46.42%; 而以蔗糖为碳源时, 该菌几乎不能生长. 因此, 综合考虑菌株 H97 的生长和脱氮效果, 以及丁二酸钠价格昂贵, 在实际污水处理

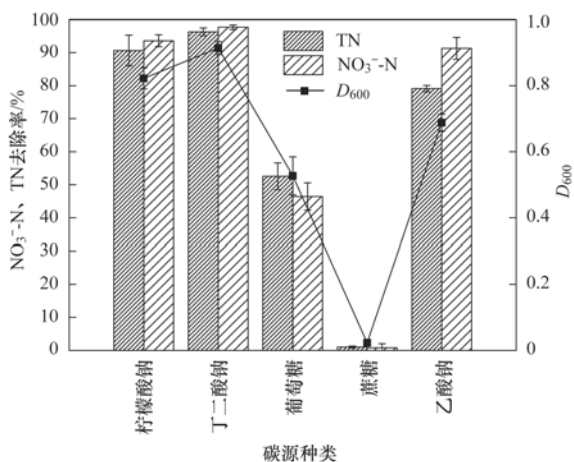


图 7 碳源种类对菌株 H97 反硝化能力的影响

Fig. 7 Effects of carbon source on the denitrification ability of strain H97

中可以将柠檬酸钠或乙酸钠作为菌株 H97 的最佳碳源.

3 讨论

温度是影响微生物反硝化特性的重要因素之一, 主要是通过影响微生物细胞结构来影响其生长和新陈代谢^[21]. 一般地, 好氧反硝化细菌的最适温度为 20 ~ 35℃, 如 Ye 等^[22]报道了菌株 *Providencia rettgeri* strain YL 的最适脱氮温度为 25℃; 李卫芬等的研究表明^[23], 菌株 *Pseudomonas stutzeri* F1 在温度高于 35℃ 时, 其生长和脱氮能力均受到抑制. 上述结论与本研究结果不同, 菌株 H97 能够适应 15 ~ 40℃ 的环境温度, 优于目前分离出的大多数好氧反硝化细菌; 该菌在 15℃ 时生长最好, 脱氮率最高. 这可能是因为该菌分离自贵州长期淹水的冬水田泥土中, 在 15℃ 实验条件下分离筛选获得, 对低温环境的适应能力较强, 在低温环境下能较好地进行脱氮作用. 因此, 该菌为处理南方地区冬季氮污染水体提供了选择.

接种量是影响细菌反硝化特性的重要因素之一. 在反硝化过程中, 若接种量不足则不能充分发挥微生物生长繁殖的潜力, 导致脱氮效果差; 而接种量过多会导致细菌对营养物质的竞争, 部分细菌死亡, 脱氮率降低. He 等的研究发现^[24], 当接种量为 1.5×10^6 CFU 时, 好氧反硝化细菌 *Arthrobacter arilaitensis* strain Y-10 对总氮的去除率最高 (52.5%), 当接种量上升至 2.5×10^6 CFU 时, 总氮的去除率下降至 32.27%, 与本研究结果相似.

C/N 是菌株能否进行完全反硝化的关键因素, 碳氮源的比例直接影响细菌的生长和对有机物质的去除效果. 若初始碳源充足, 则能为细菌脱氮提供足够的能量; 若碳源不足, 则不能提供足够的能量供细菌生长, 导致反硝化效率降低^[25]. 但当碳源高于细菌的需求时, 其生长和脱氮率会保持在一个稳定水平, 若继续增加碳源, 脱氮效率不会有太大变化, 甚至有下降趋势^[26]. Duan 等的研究发现^[27], 菌株 *Vibrio diabolus* SF16 对氮的去除率首先随 C/N 值的增大而升高, 当 C/N 达 10 时去除率最高 ($93.00\% \pm 2.31\%$), 之后随 C/N 值的增大而降低. 菌株 H97 的最佳 C/N 为 15, 但当 C/N 为 10 时, 该菌依然可以表现出良好的脱氮效果, 因此, 在实际应用过程中, 可通过延长生物脱氮时间, 而达到良好的脱氮效果.

一般来说, 过酸或过碱都会影响细菌的酶活性,

导致反硝化能力降低。目前分离出的大多数好氧反硝化细菌最适 pH 为中性或偏碱性, 在 pH = 11.0 时几乎不能生长, 不表现反硝化活性或反硝化活性很低。Wang 等^[28]对好氧反硝化假单胞菌 HS-N62 的研究表明, 当 pH 达 10.0 时, 其对硝酸盐氮的去除率不足 50%, 与本研究结果不同, 菌株 H97 能在 pH = 11.0 的碱性条件下高效脱氮, pH = 12.0 时, 仍能生存和脱氮, 具嗜碱特性, 表明菌株 H97 对处理碱性环境中的氮污染水体具有应用价值。

在反硝化过程中, 碳源作为电子供体和供微生物生长繁殖所需的营养物质, 最终将硝酸盐氮还原成含氮气体, 达到除氮效果^[29]。不同碳源在微生物代谢过程中的地位不同, 菌株对其的利用率也不同^[30]。在本研究中, 菌株 H97 对柠檬酸钠、丁二酸钠和乙酸钠的利用率较高, 对葡萄糖的利用率较低, 几乎不能利用蔗糖。可能是由于结构越简单, 分子量越小的碳源越容易被微生物降解, 而且柠檬酸钠、丁二酸钠和乙酸钠是三羧酸循环的中间产物, 更容易被菌株 H97 利用^[31]。

4 结论

(1) 本实验从贵州冬水田中分离获得 1 株具有好氧反硝化作用的菌株 H97, 结合形态学、磷脂脂肪酸及 16S rRNA 基因序列分析, 该菌被鉴定为蒙氏假单胞菌(*Pseudomonas monteilii*)。

(2) 菌株 H97 具有较强好氧反硝化能力, 在初始硝酸盐氮为 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 其最佳脱氮条件为: 温度 15°C , 接种量为 $1.5 \times 10^6 \text{ CFU} \cdot (100 \text{ mL})^{-1}$, pH 9.0, C/N = 15, 碳源丁二酸钠。

(3) 菌株 H97 能在 $15 \sim 40^\circ\text{C}$ 范围内生存和脱氮, 具有一定的耐冷特性, 对环境温度适应范围较广; 在 pH = 12.0 时, 仍能生长和脱氮, 具嗜碱特性, 表明菌株 H97 是 1 株耐冷嗜碱好氧反硝化细菌。

参考文献:

- [1] Jin R F, Liu T Q, Liu G F, et al. Simultaneous heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by the marine origin bacterium *Pseudomonas* sp. ADN-42[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2015, **175**(4): 2000-2011.
- [2] Ji B, Yang K, Wang H Y, et al. Aerobic denitrification by *Pseudomonas stutzeri* C3 incapable of heterotrophic nitrification[J]. Bioprocess and Biosystems Engineering, 2015, **38**(2): 407-409.
- [3] Sun Y L, Feng L, Li A, et al. Ammonium assimilation: an important accessory during aerobic denitrification of *Pseudomonas stutzeri* T13[J]. Bioresource Technology, 2017, **234**: 264-272.
- [4] 梁贤, 任勇翔, 杨奎, 等. 异养硝化-好氧反硝化菌 YL 的脱氮特性[J]. 环境科学, 2015, **36**(5): 1749-1756.
- [5] 何腾霞, 徐义, 李振轮. 耐冷亚硝酸盐型反硝化菌 *Pseudomonas tolaasii* Y-11 的鉴定及其脱氮特性[J]. 微生物学报, 2015, **55**(8): 991-1000.
- He T X, Xu Y, Li Z L. Identification and characterization of a hypothermia nitrite bacterium *Pseudomonas tolaasii* Y-11 [J]. Acta Microbiologica Sinica, 2015, **55**(8): 991-1000.
- [6] Xu Y, He T X, Li Z L, et al. Nitrogen removal characteristics of *Pseudomonas putida* Y-9 capable of heterotrophic nitrification and aerobic denitrification at low temperature[J]. BioMed Research International, 2017, **2017**: 1429018.
- [7] 张文艺, 陈雪珍, 陆丽巧, 等. BAF 反应器中好氧反硝化菌的分子鉴定及分析[J]. 土木建筑与环境工程, 2012, **34**(1): 118-123.
- Zhang W Y, Chen X Z, Lu L Q, et al. Molecular classification, identification and phylogenetic analysis of aerobic denitrifier N1 in the BAF reactor [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2012, **34**(1): 118-123.
- [8] 冯雅丽, 李洪珊, 李浩然. 一株深海反硝化菌的分离鉴定及反硝化特性研究[J]. 环境污染与防治, 2016, **38**(12): 27-30.
- Feng Y L, Li H S, Li H R. Identification and denitrification characteristics of a deep sea denitrifier [J]. Environmental Pollution & Control, 2016, **38**(12): 27-30.
- [9] Zhang H N, Wang H Y, Yang K, et al. Nitrate removal by a novel autotrophic denitrifier (*Microbacterium* sp.) using $\text{Fe}(\text{II})$ as electron donor[J]. Annals of Microbiology, 2015, **65**(2): 1069-1078.
- [10] 高喜燕, 刘鹰, 郑海燕, 等. 一株海洋好氧反硝化细菌的鉴定及其好氧反硝化特性[J]. 微生物学报, 2010, **50**(9): 1164-1171.
- Gao X Y, Liu Y, Zheng H Y, et al. Identification and characteristics of a marine aerobic denitrifying bacterium [J]. Acta Microbiologica Sinica, 2010, **50**(9): 1164-1171.
- [11] 孟范平, 姚瑞华, 刘强, 等. 利用纳米材料复合膜处理高浓度氯化铵废水[J]. 水处理技术, 2006, **32**(9): 52-55.
- Meng F P, Yao R H, Liu Q, et al. Treatment of wastewater containing high strong ammonium chloride by nano membrane device[J]. Technology of Water Treatment, 2006, **32**(9): 52-55.
- [12] 李积云. 浅析碱性废水处理[J]. 中国化工贸易, 2012, (11): 147.
- [13] Guo Y, Zhou X M, Li Y G, et al. Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by a novel *Halomonas campisalis* [J]. Biotechnology Letters, 2013, **35**(12): 2045-2049.
- [14] Song Z F, An J, Fu G H, et al. Isolation and characterization of an aerobic denitrifying *Bacillus* sp. YX-6 from shrimp culture ponds[J]. Aquaculture, 2011, **319**(1-2): 188-193.
- [15] 王兆阳, 陈国耀, 姜珂, 等. 1 株耐冷兼性嗜碱好氧反硝化菌的分离鉴定及反硝化特性[J]. 环境科学, 2014, **35**(6): 2341-2348.
- Wang Z Y, Chen G Y, Jiang K, et al. Identification and denitrification characteristics of a psychrotolerant facultative basophilic aerobic denitrifier[J]. Environmental Science, 2014,

- 35(6): 2341-2348.
- [16] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [17] HJ 636-2012, 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法[S].
- [18] 李南洁, 曾清苹, 何丙辉, 等. 缙云山柑橘林土壤微生物磷脂脂肪酸(PLFAs)及酶活性的季节变化特征[J]. 环境科学, 2017, 38(1): 309-317.
Li N J, Zeng Q P, He B H, et al. Seasonal variations of soil microbial PLFAs and soil enzyme activity under the citrus plantation in Mt. Jinyun, Chongqing [J]. Environmental Science, 2017, 38(1): 309-317.
- [19] 李正义, 贾俊涛, 曹际娟, 等. 一株分离自美国龙虾的麦氏弧菌的鉴定及其低温状态下细胞脂肪酸的变化[J]. 微生物学报, 2013, 53(6): 628-634.
Li Z Y, Jia J T, Cao J J, et al. Identification of *Vibrio metschnikovii* from *Homarus americanus* and its changes in membrane fatty acid composition in response to low temperature [J]. Acta Microbiologica Sinica, 2013, 53(6): 628-634.
- [20] Sneath P H A, Mair N S, Sharpe E. Bergey's manual of systematic bacteriology. Volume 2 [M]. Baltimore, USA: Williams & Wilkins, 1986.
- [21] Qin W, Li W G, Zhang D Y, et al. Ammonium removal of drinking water at low temperature by activated carbon filter biologically enhanced with heterotrophic nitrifying bacteria[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(5): 4650-4659.
- [22] Ye J, Zhao B, An Q, et al. Nitrogen removal by *Providencia rettgeri* strain YL with heterotrophic nitrification and aerobic denitrification[J]. Environmental Technology, 2016, 37(17): 2206-2213.
- [23] 李卫芬, 傅罗琴, 邓斌, 等. 1株好氧反硝化菌的分离鉴定及反硝化特性研究[J]. 环境科学, 2011, 32(8): 2403-2408.
Li W F, Fu L Q, Deng B, et al. Identification and denitrification characteristics of an aerobic denitrifier [J]. Environmental Science, 2011, 32(8): 2403-2408.
- [24] He T X, Li Z L. Identification and denitrification characterization of a novel hypothermia and aerobic nitrite-denitrifying bacterium, *Arthrobacter arilaitensis* strain Y-10[J]. Desalination and Water Treatment, 2016, 57(41): 19181-19189.
- [25] Kim J K, Park K J, Cho K S, et al. Aerobic nitrification-denitrification by heterotrophic *Bacillus* strains[J]. Bioresource Technology, 2005, 96(17): 1897-1906.
- [26] 孙庆花, 于德爽, 张培玉, 等. 1株海洋异养硝化-好氧反硝化菌的分离鉴定及其脱氮特性[J]. 环境科学, 2016, 37(2): 647-654.
Sun Q H, Yu D S, Zhang P Y, et al. Identification and nitrogen removal characteristics of a heterotrophic nitrification-aerobic denitrification strain isolated from marine environment [J]. Environmental Science, 2016, 37(2): 647-654.
- [27] Duan J M, Fang H D, Su B, et al. Characterization of a halophilic heterotrophic nitrification-aerobic denitrification bacterium and its application on treatment of saline wastewater [J]. Bioresource Technology, 2015, 179: 421-428.
- [28] Wang P, Yuan Y Z, Li Q, et al. Isolation and immobilization of new aerobic denitrifying bacteria [J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2013, 76: 12-17.
- [29] Zheng H Y, Liu Y, Gao X Y, et al. Characterization of a marine origin aerobic nitrifying-denitrifying bacterium[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2012, 114(1): 33-37.
- [30] Yang X P, Wang S M, Zhou L X. Effect of carbon source, C/N ratio, nitrate and dissolved oxygen concentration on nitrite and ammonium production from denitrification process by *Pseudomonas stutzeri* D6 [J]. Bioresource Technology, 2012, 104: 65-72.
- [31] 杨新萍, 钟磊, 周立祥. 有机碳源及DO对好氧反硝化细菌AD6脱氮性能的影响[J]. 环境科学, 2010, 31(6): 1633-1639.
Yang X P, Zhong L, Zhou L X. Effect of carbon source and dissolved oxygen on denitrification by aerobic denitrifier *Pseudomonas mendocina* AD6 [J]. Environmental Science, 2010, 31(6): 1633-1639.

CONTENTS

Spatial-Temporal Change Evolution of PM _{2.5} in Typical Regions of China in Recent 20 Years	LUO Yi, DENG Qiong-fei, YANG Kun, <i>et al.</i>	(3003)
Evaluation the Extent of Health Damage Caused by PM _{2.5} Particulate in Xi'an City	WEI Guo-ru, SHI Xing-min	(3014)
Analysis of Chemical Composition, Source and Evolution of Submicron Particles in Xianghe, Hebei Province	JIANG Qi, WANG Fei, SUN Ye-le	(3022)
Characteristics and Source Analysis of Carbonaceous Components of PM _{2.5} During Autumn in the Northern Suburb of Nanjing	XU Zu-fei, CAO Fang, GAO Song, <i>et al.</i>	(3033)
Comparison of Chemical Components Characteristics of PM _{2.5} Between Haze and Clean Periods During Summertime in Lin'an	LIANG Lin-lin, SUN Jun-ying, ZHANG Yang-mei, <i>et al.</i>	(3042)
Characteristics and Sources of Carbon Components in PM _{2.5} During Autumn and Winter in Panjin City	ZHANG Lei, JI Ya-qin, ZHANG Jun, <i>et al.</i>	(3051)
Aerosol Optical Properties and Light Absorption Enhancement of EC During Wintertime in Nanjing	HUANG Cong-cong, MA Yan, ZHENG Jun	(3057)
Concentration, Solubility, and Dry Deposition Flux of Trace Elements in Fine and Coarse Particles in Qingdao During Summer	LI Peng-zhi, LI Qian, SHI Jin-hui, <i>et al.</i>	(3067)
Characteristics and Sources of Dissolved Heavy Metals in Summer Precipitation of Taiyuan City, China	YE Ai-ling, CHENG Ming-chao, ZHANG Lu, <i>et al.</i>	(3075)
Characteristics of and Factors Affecting Atmospheric CO ₂ Concentration in Hangzhou	PU Jing-jiao, XU Hong-hui, JIANG Yu-jun, <i>et al.</i>	(3082)
Treatment Status and Emission Characteristics of Volatile Organic Compounds from Typical Industrial Sources	JING Sheng-ao, WANG Hong-li, ZHU Hai-lin, <i>et al.</i>	(3090)
Characteristics of Industrial VOCs Emission Sources and Control Technology Application in a Prefecture-level City Region-Based on Qinhuangdao City	HU Xu-rui, HU Xiao-yu, WANG Can	(3096)
Pollution Condition and Health Risk Assessment of VOCs in Fermentation Exhaust from Penicillin Production	GUO Bin, YAO Rui-jing, ZHANG Shuo, <i>et al.</i>	(3102)
Measurements of OC and EC Emission Factors for Light-duty Gasoline Vehicles	HUANG Cheng, HU Qing-yao, LU Jun	(3110)
Pollution Levels and Risk Assessment of Heavy Metals from Atmospheric Deposition in Nanjing	TIAN Chun-hui, YANG Ruo-zhu, Gulizhaer Yilihamu, <i>et al.</i>	(3118)
Contamination Levels and Source Analysis of Heavy Metals in the Finer Particles of Urban Road Dust from Xi'an, China	SHI Dong-qi, LU Xin-wei	(3126)
pCO ₂ in the Main Rivers of the Three Gorges Reservoir and Its Influencing Factors	LUO Jia-chen, MAO Rong, LI Si-yue	(3134)
Major Ionic Features and Their Possible Controls in the Surface Water and Groundwater of the Jinghe River	KOU Yong-chao, KUA Kun, LI Zhou, <i>et al.</i>	(3142)
Urban Runoff Phosphorus Removal Pathways in Bioretention Systems	LI Li-qing, LIU Yu-qing, YANG Jia-min, <i>et al.</i>	(3150)
Succession Characteristics of Phytoplankton Functional Groups and Their Relationships with Environmental Factors in Dianshan Lake, Shanghai	YANG Li, ZHANG Wei, SHANG Guang-xia, <i>et al.</i>	(3158)
Spatio-temporal Variations of Diatom Community and Their Relationship with Water Environment in Fuxian Lake	LI Rui, CHEN Guang-jie, KANG Wen-gang, <i>et al.</i>	(3168)
Effects of Algal Blooms and Their Degradation on the Sediment-water Micro-interface	WANG Yong-ping, XIE Rui, CHAO Jian-ying, <i>et al.</i>	(3179)
Effect of Biochar on Root Morphological Characteristics of Wetland Plants and Purification Capacity of Constructed Wetland	XU De-fu, PAN Qian-cheng, LI Ying-xue, <i>et al.</i>	(3187)
Preparation of Mn-Co/Ceramic Honeycomb Catalyst and Its Performance on Catalytic Ozonation of Hydroquinone	ZHANG Lan-he, GAO Wei-wei, CHEN Zi-cheng, <i>et al.</i>	(3194)
Degradation Mechanism of Tetracycline Using Fe/Cu Oxides as Heterogeneous Activators of Peroxymonosulfate	LI Jing, BAO Jian-guo, DU Jiang-kun, <i>et al.</i>	(3203)
Behavior and Mechanisms of Cd(II) Adsorption from Water by Niobate-Modified Titanate Nanosheets	KANG Li, LIU Wen, LIU Xiao-na, <i>et al.</i>	(3212)
Trace Amounts of Phosphorus Removal Based on the in-suit Oxidation Products of Iron or Manganese in a Biofilter	CAI Yan-an, BI Xue-jun, ZHANG Jia-ning, <i>et al.</i>	(3222)
Effect of Preparation Methods on Phosphate Adsorption by Iron-Titanium Binary Oxide: Coprecipitation and Physical Mixing	ZHONG Yan, WANG Jiang-yan, CHEN Jing, <i>et al.</i>	(3230)
Effects of Conductivity on Performance of a Combined System of Anaerobic Acidification, Forward Osmosis, and a Microbial Fuel Cell	LU Yu-qin, LIU Jin-meng, WANG Xin-hua, <i>et al.</i>	(3240)
COD Requirement for Biological Phosphorus Removal Granule System Under Different Phosphorus Concentrations	LI Dong, CAO Mei-zhong, GUO Yue-zhou, <i>et al.</i>	(3247)
Effect of Substrate Concentration on SAD Collaborative Nitrogen and Carbon Removal Efficiency in an ABR Reactor	ZHANG Min, JIANG Ying, WANG Yao-qi, <i>et al.</i>	(3254)
Evaluation of Advanced Nitrogen Removal from Coking Wastewater Using Sulfide Iron-containing Sludge as a Denitrification Electron Donor	FU Bing-bing, PAN Jian-xin, MA Jing-de, <i>et al.</i>	(3262)
Stability of Nitrification Combined with Limited Filamentous Bulking Under Intermittent Aeration	GAO Chun-di, SUN Da-yang, AN Ran, <i>et al.</i>	(3271)
Filamentous Sludge Microbial Community of a SBR Reactor Based on High-throughput Sequencing	HONG Ying, YAO Jun-qin, MA Bin, <i>et al.</i>	(3279)
Impact of Nano Zero-Valent Iron (NZVI) on Methanogenic Activity, Physiological Traits, and Microbial Community Structure in Anaerobic Digestion	SU Run-hua, DING Li-li, REN Hong-qiang	(3286)
Effects of Gas/Water Ratio on the Characteristics of Nitrogen Removal and the Microbial Community in Post Solid-Phase Denitrification Biofilter Process	ZHANG Qian, JI Fang-ying, FU Xu-fang, <i>et al.</i>	(3297)
Comparison of Extraction Methods of Extracellular Polymeric Substances from Activated Sludge	SUN Xiu-yue, TANG Zhu, YANG Xin-ping	(3306)
Identification and Characterization of a Hypothermic Alkaliphilic Aerobic Denitrifying Bacterium <i>Pseudomonas monteilii</i> Strain H97	CAI Xi, HE Teng-xia, YE Qing, <i>et al.</i>	(3314)
Isolation, Identification, and Biodegradation Behaviors of a Perfluorooctane Sulfonic Acid Precursor (PreFOSs) Degrading Bacterium from Contaminated Soil	ZHAO Shu-yan, ZHOU Tao, WANG Bo-hui, <i>et al.</i>	(3321)
Microbial Community Distributions in Soils of an Oil Exploitation Site	CAI Ping-ping, NING Zhuo, HE Ze, <i>et al.</i>	(3329)
Characteristics of Soil Physicochemical Properties and Enzyme Activities over Different Reclaimed Years in a Copper Tailings Dam	WANG Rui-hong, JIA Tong, CAO Miao-wen, <i>et al.</i>	(3339)
Risk Analysis of Heavy Metal Contamination in Farmland Soil Around a Bauxite Residue Disposal Area in Guangxi	GUO Ying, LI Yu-bing, XUE Sheng-guo, <i>et al.</i>	(3349)
Occurrence and Distribution of Phthalate Esters in Urban Soils of Chongqing City	YANG Zhi-hao, HE Ming-jing, YANG Ting, <i>et al.</i>	(3358)
Profile Distribution of Paddy Soil Organic Carbon and Its Influencing Factors in Chengdu Plain	LI Shan, LI Qi-quan, WANG Chang-quan, <i>et al.</i>	(3365)
Correlation Between Soil Organic and Inorganic Carbon and Environmental Factors in Cotton Fields in Different Continuous Cropping Years in the Oasis of the Northern Tarim Basin	ZHAO Jing-jing, GONG Lu, AN Shen-qun, <i>et al.</i>	(3373)
Soil Organic Carbon Components and Their Correlation with Soil Physicochemical Factors in Four Different Land Use Types of the Northern Tarim Basin	AN Shen-qun, GONG Lu, LI Yang-mei, <i>et al.</i>	(3382)
Short-term Mechanism of Warming-induced Stability for Organic Carbon in the Karst Plateau Soil	TANG Guo-yong, ZHANG Chun-hua, LIU Fang-yan, <i>et al.</i>	(3391)
Effects of Boron Treatment on Arsenic Uptake and Efflux in Rice Seedlings	ZHU Yi, SUN Guo-xin, CHEN Zheng, <i>et al.</i>	(3400)
Comparative Analysis of Different Soil Amendment Treatments on Rice Heavy Metal Accumulation and Yield Effect in Pb and Cd Contaminated Farmland	HU Xue-fang, TIAN Zhi-qing, LIANG liang, <i>et al.</i>	(3409)
Seasonal Variation in Surface Ozone and Its Effect on the Winter Wheat and Rice in Nanjing, China	ZHAO Hui, ZHENG You-fei, WEI Li, <i>et al.</i>	(3418)
Hair Mercury Concentrations in Residents of Fuling and Zhongxian in the Three Gorges Reservoir Region and Their Influence Factors	CHENG Nan, XIE Qing, FAN Yu-fei, <i>et al.</i>	(3426)
Removal of Typical Antibiotics During Aerobic Composting of Human Feces	SHI Hong-lei, WANG Xiao-chang, LI Qian	(3434)
Effect of COD/SO ₄ ²⁻ Ratio on Anaerobic Digestion of Penicillin Bacterial Residues	QIANG Hong, LI Yu-you, PEI Meng-fu	(3443)
Characteristics of Odor Emissions from Fresh Compost During Storage and Application	HE Pin-jing, JIANG Ning-ling, XU Xian, <i>et al.</i>	(3452)
Effects of the Veterinary Antibiotic Sulfamethazine on Ammonia Volatilization from a Paddy Field Treated with Conventional Synthetic Fertilizer and Manure	PANG Bing-kun, ZHANG Jing-sha, WU Jie, <i>et al.</i>	(3460)