

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放 何吉成(1)

北京上甸子站气相色谱法大气 CH₄ 和 CO 在线观测方法研究 汪巍,周凌晔,方双喜,张芳,姚波,刘立新(8)

2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子 朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥(13)

广东东江流域多氯萘的大气沉降研究 王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干(20)

塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征 段魏魏,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳(26)

紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究 王灿,席劲瑛,胡洪管,姚远(32)

春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征 丁雁雁,张传松,石晓勇,商荣宁(37)

春季胶州湾海水汞的形态研究 许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒(42)

丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素 蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春风(48)

塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化 陈永金,李卫红,董杰,刘加珍(55)

某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟 马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱(64)

北京市城市降雨径流水质评价研究 侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平(71)

重庆市路面降雨径流特征及污染源解析 张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云(76)

沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究 陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文(83)

Pd/TiO₂ 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究 张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣(88)

pH 值对纳米零价铁吸附降解 2,4-二氯苯酚的影响 冯丽,葛小鹏,王东升,汤鸿霄(94)

给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究 陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超(104)

安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价 宋大平,庄大方,陈巍(110)

染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析 曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓(117)

间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究 谢志刚,邱雪敏,赵燕玲(124)

pH 及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响 庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕(129)

硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究 吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭(135)

农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用 徐仁扣,赵安珍,肖双成,袁金华(142)

高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究 廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕(147)

活性污泥对四环素的吸附性能研究 陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方(156)

加油站油类污染物自然衰减现场试验研究 贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌(163)

生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法 宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新(169)

利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为 MUCT 工艺运行控制参数 王晓玲,尹军,高尚(175)

数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响 董峰,张捍民,杨凤林(181)

不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响 刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站(191)

间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究 曾龙云,杨春平,郭俊元,罗胜联(197)

鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究 陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英(203)

北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估 陈操操,刘春兰,李铮,王海华,张妍,王璐(208)

外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究 杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕(216)

赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建 朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春(222)

邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究 别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅茜,赵薇,王震宇(228)

纳米 TiO₂ 对短裸甲藻的毒性效应 李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇(233)

苏州河底泥 3 种内分泌干扰物的空间分布及环境风险 李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟(239)

电子废物拆解区农业土壤中 PCNs 的污染水平、分布特征与来源解析 王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟(247)

洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险 刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建(253)

湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价 刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治(260)

广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律 项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵(266)

缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究 吴锡,许丽英,张雪霞,宋雨,王新,贾永锋(273)

可渗透反应复合电极法对铬(VI)污染土壤的电动修复 付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富(280)

胡敏酸对汞还原能力的测定和表征 江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅(286)

Zn(II) 对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响 黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅(293)

油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究 张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉(299)

利用 PCR-DGGE 分析未开发油气田地表微生物群落结构 满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(305)

黄土高原六道沟流域 8 种植物根际细菌与 AMF 群落多样性研究 封晔,唐明,陈辉,丛伟(314)

鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析 张健,关连珠,颜丽(323)

杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响 赵磊,王中慧,陈德珍,马晓波,栾健(329)

《环境科学》征稿简则(7) 《环境科学》征订启事(19) 信息(47,70,202,304)

沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究

陈祈春, 李正魁*, 王易超, 吴凯, 范念文

(南京大学环境学院污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京 210093)

摘要: 研究了沉水植物床-固定化微生物技术在水源地中的修复效果. 从太湖水体中筛选分离出土著氨化、亚硝化、硝化和反硝化细菌, 通过增殖进入多孔载体内部使之固定, 结合自主设计的沉水植物床, 在太湖贡湖湾内进行了原位修复实验, 该装置抗风浪性能良好, 将反硝化细菌数量由 $5.4 \times 10^2 \sim 2.7 \times 10^3$ 提高至 $3.9 \times 10^5 \sim 9.1 \times 10^5$, 实验区氧化亚氮排放通量介于 $3 \sim 24 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 之间, 显著高于对照组, 该技术对总氮去除率为 $19\% \sim 74\%$, 硝氮去除率为 $24\% \sim 81\%$; 120 d 的连续监测数据表明, 该技术可用于湖泊水源地修复, 有效减轻水体富营养化状况.

关键词: 富营养化; 水源地; 沉水植物床-固定化微生物; 修复; 反硝化

中图分类号: X173; X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)01-0083-05

Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration

CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, WU Kai, FAN Nian-wen

(State Key Laboratory of Pollutant Control and Resources Reuse, School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The effect of submerged macrophytes bed-immobilized bacteria technology which applied in drinking water restoration was studied. Ammonifying bacteria, nitrobacteria, nitrosobacteria and denitrifying bacteria which isolated from Taihu Lake was immobilized to the porous carries, combined with the submerged macrophytes bed technology, we applied the new equipment in water restoration of Gonghu Bay, this equipment has good ability to resist storm, the denitrifying bacteria number increased from $5.4 \times 10^2 \sim 2.7 \times 10^3$ to $3.9 \times 10^5 \sim 9.1 \times 10^5$, N_2O flux of experimental plot was $3 \sim 24 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, it's more than the contrast group obviously, TN concentration reduced $19\% \sim 74\%$, while NO_3^- concentration reduced $24\% \sim 81\%$ after the equipment running a period of time; The experimental data of 120 days showed that this technology is suitable for drinking water restoration, as it can control eutrophication.

Key words: eutrophication; drinking water; submerged macrophytes bed-immobilized bacteria; restoration; denitrification

贡湖是太湖东北部的湖湾, 近年来, 随着流域内经济的快速发展和人为活动的影响, 水污染加剧, 水质不断恶化, 其北部水域水质处于 V 类和劣 V 类, 严重影响了水源水的供水安全. 因此, 控制太湖贡湖水源地污染, 改善其水质具有重要意义.

关于脱氮微生物分离、筛选及脱氮机制已有相关研究^[1~5], 沉水植物在水体净化中的作用也得到积极肯定^[6,7], 但传统研究所采取的物理措施多针对陆生及挺水植物恢复, 如浮床植物系统^[8~10], 针对沉水植物恢复, 能调节水生植物种植板距水面高度的装置尚未见报道. 本研究针对贡湖上山水源地风浪大、湖流变化快, 水源地无底泥覆盖、存在水生植物腐烂二次污染等特点, 采用筛选的土著高效脱氮微生物结合沉水植物, 制作成沉水植物床对贡湖上山水源地水质进行净化实验, 取得了有益的实验效果, 其结果对湖泊水体水源水净化及水源地修复具有一定意义.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

示范工程位于太湖贡湖湾内的上山水源地(图1), 整个湖区正从藻-草过渡湖区向藻型湖区转变, 沿岸水网密集, 金墅港、田鸡港、龙塘港等入湖河道向贡湖输入大量污染物质, 使得区域内的水源地水质面临巨大风险.

上山水源地是苏州高新区第二水厂的取水水源, 服务范围主要为苏州高新区西北部地区, 该区域风浪较大, 太湖西北部的藻类水华可在风力作用下迁移到水源地, 对水源地水质造成重大威胁, 另外,

收稿日期: 2011-01-30; 修订日期: 2011-05-06

基金项目: 江苏省自然科学基金重点项目(BK2010056); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-012, 2008ZX07101-004)

作者简介: 陈祈春(1987~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为湖泊生态工程, E-mail: eniac17968@126.com

* 通讯联系人, E-mail: zhkuili@nju.edu.cn

入湖河道的污染物也造成该区域水质不断恶化,从2010年的采样调查发现,水源地 TN 为 $1.18 \sim 3.44 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 NH_4^+ 为 $0 \sim 0.58 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 NO_3^- 为 $0.36 \sim 0.67 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 NO_2^- 为 $0.0023 \sim 0.055 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 该区域水质受气象因素影响非常大,表现水质在气温、风浪作用下呈现出清水态、浊水态、蓝藻水华、黑水团等几种状态,这对水厂的净化工艺造成巨大冲击。



图1 示范工程平面示意

Fig. 1 Sketch map of demonstration project

1.2 实验材料

1.2.1 固定化微生物获取

采集太湖水体、底泥、水生植物根部样品,接种到选择性培养基上,富集筛选出土著太湖氨化、亚硝化、硝化、反硝化细菌,通过分离鉴定,发现亚硝化细菌为假单胞菌属中的某一种,氨化细菌为产碱菌属某种,反硝化细菌为无色杆菌属中的某一种;将亲水性玻璃态单体甲基丙烯酸- β -羟乙酯、丙烯酸羟乙酯与蒸馏水按照一定的体积比混合均匀,用氮气充至饱和,在温度 -78°C 条件下,采用吸收剂量为 $1 \times 10^4 \text{ Gy}$ 的 ^{60}Co - γ 射线辐照制备形成生物相容性固定化聚合物载体,将辐射聚合后制备的固定化载体切成 5 mm 见方的小块,用人工合成营养液浸泡, 28°C 振荡 24 h 并交换 3 次。加入经活化培养进入对数生长期的氨化、硝化、亚硝化和反硝化细菌培养液各 200 mL , 28°C 振荡 24 h 、静置 48 h ,使氨化、硝化、亚硝化和反硝化细菌交替在有氧条件及厌氧条件下吸附于固定化载体表面,并通过增殖进入多孔载体内部使之固定。

1.2.2 沉水植物床制作

沉水植物床尺寸为 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$,框架采用不锈钢管,中间为沉水植物种植板,主要制作材料有:扁铁、角铁、 2 cm 优质泡沫板,单个沉水植物床需要不锈钢管 20 m 、扁铁 16 m 、角铁 4 m ,沉水植物

种植板共有 20 个种植孔,用来种植沉水植物,种植板下面可放置固定化微生物,用以营造好氧厌氧微环境,从而去除氮类物质(图2)。

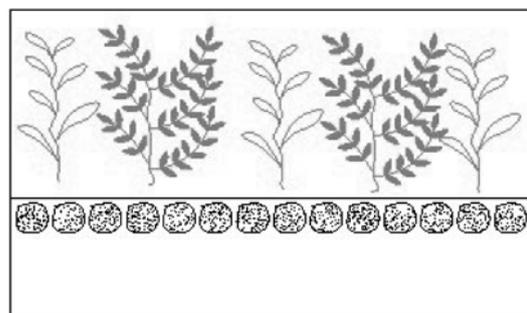


图2 沉水植物床示意

Fig. 2 Schematic of the submerged macrophytes-bed

1.3 围隔构建

围隔的尺寸为 $10 \text{ m} \times 6 \text{ m}$,中间被分成 6 个小的区域,其中 4 个格子用于做对比实验,另外 2 个用于储备沉水植物,采用篷布、油布、泡沫、扁带等制成围隔,顶部用泡沫制成浮体,底部采用石龙作为沉重物,各节点处用扁铁、螺丝、扁带等连接,制作完成后,运到实验地点原位安装,安装过程中,通过钢管桩、塑料绳对围隔加以固定,确保风浪、湖流来袭时围隔位置的稳定,减少外来因素对围隔内部实验效果的影响。

1.4 实验设置

共设置 4 组对照实验,A组为空白对照,B组种植沉水植物伊乐藻,C组为固定化微生物,D组为沉水植物伊乐藻加固定化微生物,分别考察沉水植物、固定化微生物、沉水植物加固定化微生物对水源地水质净化效果。

1.5 指标测定及方法

1.5.1 水质指标测定

亚硝酸盐氮: N -(1-萘基)-乙二胺分光光度法;氨氮:纳氏试剂分光光度法;硝酸盐氮:酚二磺酸分光光度法;总氮:过硫酸钾氧化、紫外分光光度法;pH:便携式 pH 计;DO:便携式溶氧仪。

1.5.2 N_2O 排放通量

采用漂浮式静态箱法,采样装置材料为有机玻璃,外部包裹珍珠棉及铝箔纸,尺寸为直径 40 cm 、高 50 cm 的圆筒,箱体底部裹有橡胶浮筒,可保证静态箱漂浮在水面上,顶部安装有搅拌小风扇,由 12 V 蓄电池供电,以保证采样时箱内气体混合均匀,另外顶部设有采气口和温度计插口。

研究表明 N_2O 排放的日平均值出现在 $09:00$

和 19:00^[11],但是排放的规律并非固定不变,通常气温决定了其排放的模式^[12,13],为尽可能保证样品具有很好的全天代表性,样品采集一般设在上午 08:30~12:00,用双峰针和真空瓶(日本国立环境技术研究所)采集气样,样品由中国科学院南京土壤研究所分析中心测定, N_2O 通量是指单位时间内单位面积上 N_2O 变化量,正值表示气体从土壤或水体向大气排放,负值表示土壤或水体吸收消耗大气中该气体,其通量 F 公式如下:

$$F = \rho \times \frac{V}{A} \times \frac{\Delta c}{\Delta t} \times \frac{273}{273 + T}$$

式中, F 为 N_2O 排放通量(以 N 计),单位为 $\mu g \cdot (m^2 \cdot h)^{-1}$; ρ 为标准状态下 N_2O 的密度 1.25 kg/m^3 ; V 为密闭箱内有效的空间体积(m^3); A 为密闭箱覆盖的水面面积(m^2); Δc 为 N_2O 气体浓度差(表示为占空气的体积分数); Δt 为采样的时间间隔(h); T 为采样时密闭箱的温度^[14].

1.5.3 反硝化细菌

用最大可能数法^[15~17]测定水样中反硝化细菌的数量。

1.6 数据分析

本研究中所有的数据图表绘制均使用软件 ORIGIN 7.5 进行,数据的统计分析使用软件 SPSS 13.0 进行。

2 结果与讨论

2.1 水质变化

实验于 2010 年 7~11 月连续进行,分别监测总氮、氨氮、硝氮、亚硝氮、氮循环微生物数量、 N_2O 排放量、DO 以及 pH 等数据。结果表明,实验期间该技术对总氮去除率达到 19%~74%、氨氮 36%~100%、硝态氮 24%~81%、亚硝氮 27%~100% (图 3~6),对于总氮去除效果而言,沉水植物+固定化微生物组的效果好于固定化微生物组,固定化微生物组的效果好于沉水植物组,但 11 月由于部分沉水植物死亡导致水体总氮升高,此时固定化微生物组对总氮的净化效果最好,硝氮的变化规律与总氮一致;实验初期氨氮含量较高,随着时间变化,氨氮通过微生物的转化及植物吸收逐步得以去除;亚硝氮含量总体较低,随着实验进程有一定的变化,但控制在国家地表水安全标准以下。

通过相关性分析发现,空白组的氨氮与亚硝氮为显著负相关($r = -0.771, P < 0.05$),这说明氨氮首先转化为氧化亚氮中间体,进而转化为硝氮;沉水

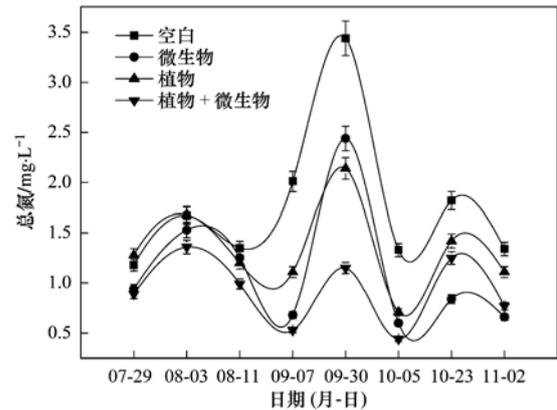


图 3 总氮变化曲线

Fig. 3 Dynamic changes of TN concentration in the experiment district

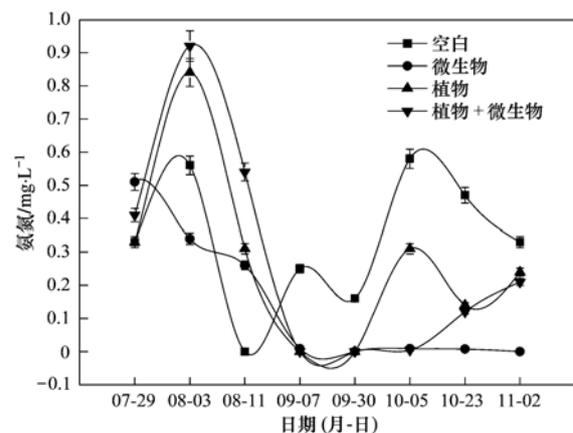


图 4 氨氮变化曲线

Fig. 4 Dynamic changes of NH_4^+ concentration in the experiment district

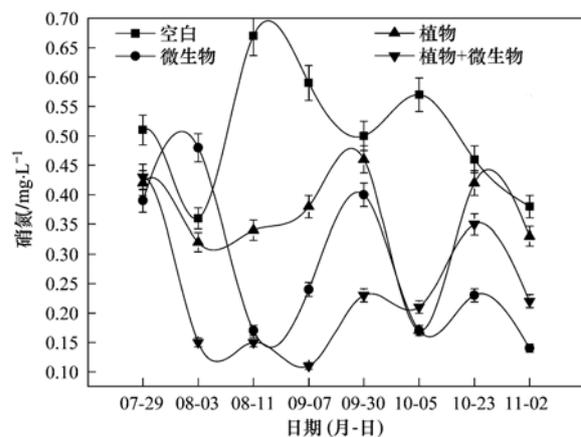


图 5 硝氮变化曲线

Fig. 5 Dynamic changes of NO_3^- concentration in the experiment district

植物+固定化微生物组的总氮去除率、氨氮去除率、pH 三者之间相关性显著,这是由于沉水植物和微生物的存在提高了水体 pH,使部分氨氮通过挥发作用

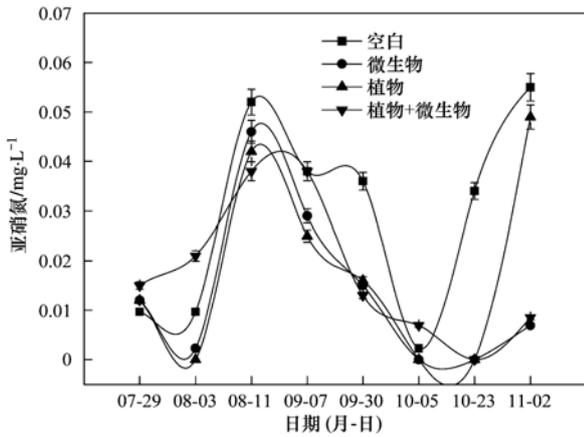


图6 亚硝氮变化曲线

Fig. 6 Dynamic changes of NO_2^- concentration in the experiment district

去除,另外反硝化作用的加强使硝氮含量降低,对于该组而言,氨氮在总氮中占较大比例,因此总氮与氨氮的去除率呈显著相关($r = 0.819, P < 0.05$).

2.2 pH 变化

pH 是重要的水体指标,沉水植物因其根、茎、叶完全沉没于水中,在白天光照充足时,会因其强烈的光合作用消耗水中的 CO_2 ,导致水中 pH 值的增加^[18],进而可能促进水体氨挥发或改变微生物的活性,实验结果也验证了这一点,沉水植物的存在增加了水体 pH,沉水植物 + 固定化微生物组最高达到 9.6 以上(图7).

2.3 DO 变化

太湖属于浅水湖泊,水中溶解氧含量较高,由实验结果发现,7月29日的溶解氧大小顺序为:沉水植物 > 空白 > 沉水植物 + 固定化微生物 > 固定化微生物,这主要是由于沉水植物光合作用产生氧气,而微

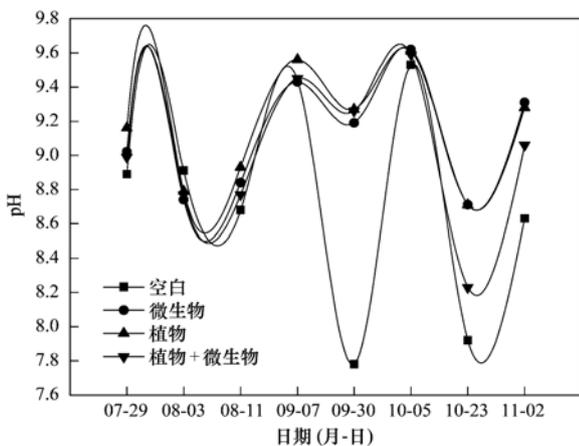


图7 pH变化曲线

Fig. 7 Dynamic changes of pH value in the experiment district

生物在转化氮的过程中消耗氧气,与7月29日的结果不同的是,其余大部分时间各个对照之间的溶解氧含量差别不大,主要是由于实验区大部分时间风浪较大,风浪作用使水体溶解氧处于过饱和状态,使得各个对照组之间的溶解氧含量差别很小(图8).

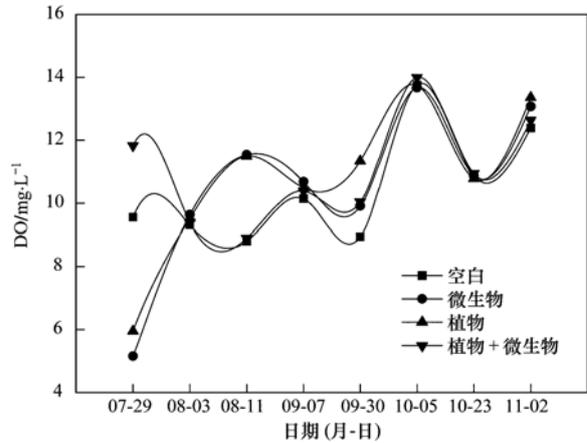


图8 DO变化曲线

Fig. 8 Dynamic changes of DO concentration in the experiment district

2.4 N_2O 通量变化

空白组反硝化细菌数量为 $5.4 \times 10^2 \sim 2.7 \times 10^3$,沉水植物 + 固定化微生物组的反硝化细菌数量为 $3.9 \times 10^5 \sim 9.1 \times 10^5$,比空白对照组高出 2~3 个数量级,通过 SPSS 软件做相关性分析发现,氧化亚氮通量与反硝化细菌数量相关性极显著($r = 0.975, P < 0.01$),这说明氧化亚氮的产生途径主要来自于微生物的反硝化作用,实验结果也证实了这一点,空白组氧化亚氮通量(平均值)为 $-1.95 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$,处理组氧化亚氮通量(平均值)为 $11.44 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ [$3 \sim 24 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 之间],沉水植物 + 固定化微生物组的氧化亚氮通量明显高于空白组(图9),通过相关性分析还发现,氧化亚氮通量与温度成显著负相关($r = -0.78, P < 0.05$),这可能是由于温度高的时候沉水植物光合作用较强,导致 pH 升高,部分氮源通过氨挥发的方式去除,另外沉水植物吸收部分氮源,导致反硝化的氮源不足,而气温低的时候恰恰相反(图10).

实验区由于风浪较大,溶解氧浓度较高,再加上该区域由于清淤造成的本底微生物含量降低,致使空白组的反硝化作用较弱,分析认为沉水植物 + 固定化微生物组的反硝化作用得以加强主要有两点原因:首先是沉水植物床为沉水植物的生长提供了良好的平台,沉水植物的生长为根系周围的微生物提供了相对好氧-厌氧微环境,另外本实验用到的微生

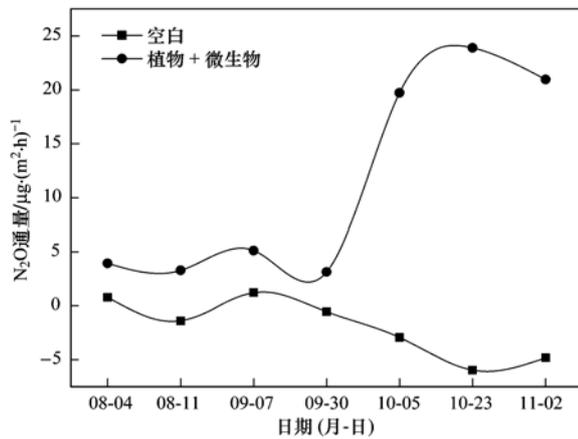


图9 氧化亚氮排放通量对比

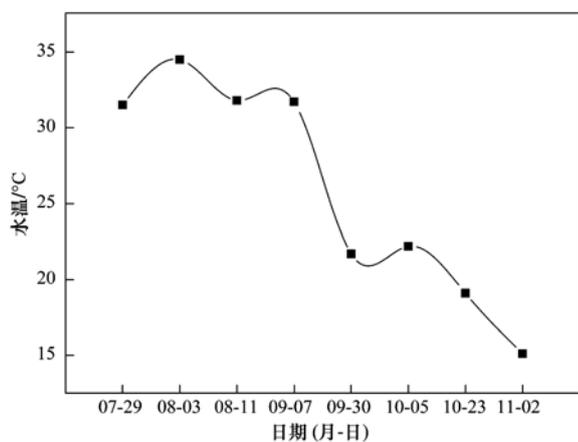
Fig.9 N₂O flux in the experiment district

图10 水体温度变化

Fig. 10 Dynamic changes of water temperature in the experiment district

物载体为一种微孔高分子材料,其表层到内部所营造的好氧-厌氧微环境进一步增强了反硝化作用。

3 结论

(1) 贡湖示范工程运行后长达 120 d 的连续监测数据表明,采用沉水植物 + 固定化微生物结合的沉水植物床技术,可以明显改善示范工程区水质。

(2) 氮循环细菌通过扩散,增加了水体以及植物根区的微生物数量,氨化、亚硝化和反硝化细菌均高出对照组 2~3 个数量级,进一步增强净化水体的能力。

(3) 根据水质氮素指标以及 N₂O 气体排放通量的数据,表明了利用微生物固定化载体强化净化技术对贡湖水源地进行水质净化能够取得良好的脱氮效果,能够有效减轻湖泊的富营养化状况,预防湖泊富营养化的发生。

(4) 沉水植物加固定化微生物技术可以在大风

浪湖泊区域及水源地起到强化净化作用,为富营养化水体和荒漠化水体修复提供有效途径。

参考文献:

- [1] 邢鹏,孔繁翔,陈开宁,等. 生态修复水生植物根际氨氧化细菌的研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(8): 2154-2159.
- [2] 金敏,王景峰,孔庆鑫,等. 好氧异养硝化菌 *Acinetobacter* sp. YY-5 的分离鉴定及脱氮机理[J]. 应用与环境生物学报, 2009, **15**(5): 692-697.
- [3] 陈咄圳,王立刚,王迎春,等. 异养硝化-好氧反硝化菌的筛选及脱氮性能的实验研究[J]. 环境科学, 2009, **30**(12): 3614-3618.
- [4] 蒋静艳,胡正华,黄耀. 异养硝化/好氧反硝化菌的分离鉴定及其在不同培养条件下产 N₂O 研究[J]. 环境科学, 2009, **30**(7): 2105-2111.
- [5] Risgaard-Petersen N, Meyer R L, Rørsbeck N P. Denitrification and anaerobic ammonium oxidation in sediments-effects of microphytobenthos and NO₃⁻ [J]. Aquatic Microbial Ecology, 2005, **40**(1): 67-76.
- [6] 王沛芳,王超,王晓蓉,等. 苦草对不同浓度氮净化效果及其形态转化规律[J]. 环境科学, 2008, **29**(4): 890-895.
- [7] Lauridsen T L, Jensen J P, Jeppesen E, et al. Response of submerged macrophytes in Danish lakes to nutrient loading reductions and biomanipulation [J]. Hydrobiologia, 2003, **506**(1-3): 641-649.
- [8] 周小平,王建国,薛利红,等. 浮床植物系统对富营养化水体中氮、磷净化特征的初步研究[J]. 应用生态学报, 2005, **16**(11): 2199-2203.
- [9] 李海英,冯慕华,李玲,等. 微曝气生态浮床净化入湖河口污染河水原位模型实验[J]. 湖泊科学, 2009, **21**(6): 782-788.
- [10] 张志勇,冯明雷,杨林章. 浮床植物净化生活污水中 N、P 的效果及 N₂O 的排放[J]. 生态学报, 2007, **27**(10): 4333-4341.
- [11] Dong Y S, Zhang S, Qi Y C, et al. Fluxes of CO₂, N₂O and CH₄ from a typical temperate grassland in Inner Mongolia and its daily variation [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, **45**(17): 1590-1594.
- [12] Bremner J M, Robbins S G, Blackmer A M. Seasonal variability in emission of nitrous oxide from soil [J]. Geophysical Research Letter, 1980, **7**(9): 641-644.
- [13] 熊正琴,邢光熹,沈光裕,等. 太湖地区湖水与河水中溶解 N₂O 及其排放[J]. 环境科学, 2002, **23**(6): 26-30.
- [14] 刘景双,王金达,李仲根,等. 三江平原沼泽湿地 N₂O 浓度与排放特征初步研究[J]. 环境科学, 2003, **24**(1): 33-39.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [16] 李卓棣,喻子牛,何绍江. 农业微生物学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [17] 国家环境保护局. 水生生物监测手册[M]. 南京: 东南大学出版社, 1993.
- [18] 王传海,李宽意,文明章,等. 苦草对水中环境因子影响的日变化特征[J]. 农业环境科学学报, 2007, **26**(2): 798-800.

CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years	HE Ji-cheng (1)
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Atmospheric CH ₄ and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station	WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (8)
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> (13)
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (20)
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> (26)
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (32)
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (37)
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> (42)
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> (48)
Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River	CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, <i>et al.</i> (55)
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> (64)
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (71)
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (76)
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> (83)
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO ₂	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> (88)
Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron	FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (94)
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> (104)
Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province	SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei (110)
Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater	CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, <i>et al.</i> (117)
Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon	XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling (124)
Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments	PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, <i>et al.</i> (129)
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> (135)
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> (142)
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> (147)
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> (156)
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> (163)
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> (169)
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone	WANG Xiao-ling, YIN Jun, GAO Shang (175)
Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter	DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin (181)
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System	LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (191)
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (197)
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> (203)
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> (208)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (216)
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (222)
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i>	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> (228)
Toxic Effects of Nano-TiO ₂ on <i>Gymnodinium breve</i>	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (233)
Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks	LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, <i>et al.</i> (239)
Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, <i>et al.</i> (247)
Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk	LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, <i>et al.</i> (253)
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> (260)
Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China	XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (266)
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> (273)
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> (280)
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> (286)
Effect of Zn (II) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source	LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (293)
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> (299)
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (305)
Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China	FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, <i>et al.</i> (314)
Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation	ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li (323)
Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions	ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, <i>et al.</i> (329)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年1月15日 33卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 1 Jan. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码: 100085) 电话: 010-62941102, 010-62849343 传真: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码: 100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊