ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第6期

Vol.35 No.6

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

双奖期刊

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第35卷 第6期
2014年6月15日

目 次

北京地区冬夏季持续性雾-霾发生的环境气象条件对比分析 …… 廖晓农,张小玲,王迎春,刘伟东, 杜佳,赵玲慧(2031)
阜康大气气溶胶中水溶性无机离子粒径分布特征研究 …… 苗红妍,温天雪,王跃思,刘子锐,王丽,兰中东(2045)
上海地铁站台大气颗粒物中过渡金属研究 …… 包良满,雷前涛,谈明光,李晓林,张桂林,刘卫,李燕(2052)
七一冰川地区苔藓中重金属元素含量研究 …… 马娟娟,李真(2060)
冬季东海、南黄海中DMS和DMSP浓度分布及影响因素研究 …… 宋以柱,张洪海,杨桂朋(2067)
大亚湾石化排污海域重金属污染及生态风险评价 …… 徐姗楠,李纯厚,徐娇娇,肖雅元,林琳,黄小平(2075)
深圳水库群表层水中全氟化合物的分布特征 …… 王鑫璇,张鸿,何龙,沈金灿,柴之芳,杨波,王艳萍(2085)
表层岩溶泉水中多环芳烃污染特征及来源解析 …… 孙玉川, 沈立成,袁道先(2091)
桂江主要离子及溶解无机碳的生物地球化学过程 …… 唐文魁,陶贞,高全洲,毛海若,姜光辉,焦树林,郑雄波,张乾柱,马赞文(2099)
汾河源区不同景观带水文过程研究 …… 杨永刚,李彩梅,秦作栋,邹松兵(2108)
北京市通州区地下水分层质量评价及水化学特征 …… 郭高轩,琚宜文,翟航,许亮,沈媛媛,纪轶群(2114)
光透法定量两相流中流体饱和度的模型及其应用 …… 章艳红,叶淑君,吴吉春(2120)
紫色土坡耕地氮淋溶过程及其环境健康效应 …… 陈维梁,高扬, 林勇明,朱波,徐亚娟,于贵瑞,吴承祯(2129)
基于非点源溶解态氮负荷估算的率水流域土地利用结构优化研究 …… 陆宇超,毕孟飞,李泽利,沙健,王玉秋,钱丽萍(2139)
镇江老城区古运河沉积物氮及有机质垂向分布及污染评价 …… 周晓红,李义敏,周艺,卫安平,周广顺, 肖思思(2148)
两种沉水植物对上覆水和间隙水中可溶性无机氮的影响 …… 杨文斌,李阳,孙共献(2156)
湖泊沉积物短时间反复扰动下悬浮物上生物有效磷的动态变化 …… 武晓飞,李大鹏(2164)
不同扰动强度下城市重污染河道底泥对磷吸收和固定的影响 …… 王尚, 李大鹏(2171)
池塘残饵对底泥氮、磷释放影响的模拟研究 …… 吕元蛟,李瑞娇,张念,赵峰,谢从新,张敏(2178)
再悬浮过程中河流底泥PAHs的迁移与释放 …… 王晓慧,毕春娟,韩景超(2185)
低分子有机酸对汞氧化还原反应的影响 …… 赵士波,孙荣国,王定勇,王小文,张成(2193)
活性炭催化过氧化氢去除荧光增白剂 …… 刘海龙,张忠民,赵霞, 焦茹媛(2201)
准分子灯光照降解水相中烷基酚的动力学 …… 刘玉海, 叶招莲, 文颖频,毕承路(2209)
AF+BAF用于处理树脂化工集中区废水厂尾水的研究 …… 涂勇,刘伟京,张耀辉,徐军,唐敏,陈勇,白永刚(2216)
镉(Ⅱ)-8-羟基喹啉分子印迹聚合物微球的合成及吸附性能研究 …… 杨春艳,陈复彬,赵慧,常自强,章竹君(2223)
微气泡曝气生物膜反应器同步硝化反硝化研究 …… 刘春,年永嘉,张静,张明,张磊,龚鹏飞,肖太民,李星(2230)
聚乳酸/淀粉固体缓释碳源生物反硝化研究 …… 唐丹琦,王娟,郑天龙,刘建国,汪群慧(2236)
丝状菌膨胀对无纺布生物反应器处理效果及膜污染特征的影响 …… 侍宽,薛罡,高品,吴凡(2241)
聚合氯化铝去除污泥水中磷的工艺优化 …… 周振,胡大龙,乔卫敏,陈冠翰,蒋玲燕,李震,麦穗海(2249)
鄱阳湖持久性有机污染物(POPs)长距离传输潜力模拟 …… 弓晓峰,向洪锐,陈春丽,周文斌,王佳佳,刘春英,曾艳(2256)
基于不确定性分析的垃圾焚烧烟气中重金属的土壤沉积及生态风险评估 …… 廖志恒,孙家仁,吴兑,范绍佳,任明忠,吕家扬(2264)
农药企业场地土壤中苯系物污染风险及管理对策 …… 谭冰,王铁宇,李奇锋,张海燕,庞博,朱朝云,王道涵,吕永龙(2272)
渤海湾海域10种鱼类中二噁英类及指示性多氯联苯的污染特征研究及风险评价 …… 王莎莎,高丽荣,田益玲,朱帅,张芹(2281)
基于荧光传感器Frex的特性检测水质环境中生物毒性物质 …… 赵巍,汪钊,蔡强,欧文斌,孟凡国(2287)
对苯二酚抑制铜绿微囊藻生长下藻毒素的产生与释放 …… 张元春,梁文艳,赵远,李飞贞,曹敬灿,胡绍杰(2294)
基于沼液的培养基及产油小球藻藻种选育 …… 赵凤敏,梅帅,曹有福,丁进锋,徐嘉杰,李树君(2300)
酸性矿山废水库周边土壤微生物多样性及氨氧化菌群落研究 …… 刘莹,王丽华,郝春博,李璐,李思远,冯传平(2305)
河蚬(*Corbicula fluminea*)扰动对表层沉积物中氨氧化菌群落结构和丰度的影响 … 王雪,赵大勇,曾巾,余多慰,吴庆龙(2314)
海洋油气田沉积物产甲烷活性及微生物生态 …… 田琪,王佳,范晓蕾,罗生军,郭荣波,邱艳玲(2322)
DGGE及T-RFLP分析光照下电位对细菌群落的影响 …… 吴义诚,邓欢,肖勇,赵峰(2328)
重金属抗性解磷细菌的磷溶解特性研究 …… 田江,彭霞薇,李霞,孙雅君,冯红梅, 江泽平(2334)
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 …… 王兆阳,陈国耀,姜珂,许培雅(2341)
黑麦草-丛枝菌根对不同番茄品种抗氧化酶活性、镉积累及化学形态的影响 …… 江玲,杨芸,徐卫红,王崇力,陈蓉,熊仕娟,谢文文,张进忠,熊治庭,王正银,谢德体(2349)
黄河三角洲区土壤活性氮对盐分含量的响应 …… 李玲,仇少君,陈印平,赵西梅,刘京涛,陆兆华(2358)
宁南山区不同草地土壤原位矿化过程中氮素的变化特征 …… 蒋跃利,赵彤,闫浩,黄懿梅(2365)
长期施用四环素残留猪粪对土壤中耐药菌及抗性基因形成的影响 …… 张俊,杨晓洪,葛峰,王娜,焦少俊,叶波平(2374)
长期不同耕作方式对紫色水稻土重金属含量及有效性的影响 …… 常同举,崔孝强,阮震,赵秀兰(2381)
伊犁河流域土壤重金属环境地球化学基线研究及污染评价 …… 赵新儒,特拉津·那斯尔,程永毅,詹江渝,杨剑虹(2392)
江苏如东互花米草盐沼湿地重金属分布及其污染评价 …… 张龙辉, 杜永芬, 王丹丹, 高抒, 高文华(2401)
小流域农业面源氮污染时空特征及与土壤呼吸硝化关系分析 …… 欧阳威,蔡冠清,黄浩波,耿晓君(2411)
保护性耕作下小麦田土壤呼吸及碳平衡研究 …… 张赛,王龙昌, 黄召存,贾会娟,冉春燕(2419)
米槠天然林和人工林土壤呼吸的比较研究 …… 吴君君,杨智杰,翁发进,刘小飞,陈朝琪,林伟盛,王小红,陈坦(2426)
水力停留时间对复合式厌氧折流板反应器乙醇型发酵制氢系统的影响 …… 刘晓烨,张洪,李永峰(2433)
《环境科学》征订启事(2208) 《环境科学》征稿简则(2400) 信息(2084,2200,2229,2391)

聚乳酸/淀粉固体缓释碳源生物反硝化研究

唐丹琦[1],王娟[1],郑天龙[1],刘建国[2],汪群慧[1]*

(1. 北京科技大学环境工程系,北京 100083; 2. 内蒙古工业大学能源与动力工程学院,呼和浩特 010051)

摘要: 以被硝酸盐氮污染的地下水为研究对象,利用共混/熔融聚合技术将聚乳酸和淀粉混合,制备成兼具碳源和生物载体的缓释碳. 并考察不同质量比(聚乳酸: 淀粉为8:2、7:3、6:4、5:5)的缓释碳在反硝化间歇试验中硝氮、亚硝氮和 COD 的去除效果,结果表明,当聚乳酸/淀粉质量比为 5:5的缓释碳,其反硝化效果最佳,硝氮去除率达 99%; 以该比例的缓释碳进行反硝化填充柱连续动态试验时,反应器中反硝化效果显著,出水硝氮浓度在 2 mg·L^{-1}以下,为开发环境友好的可控性缓释碳源提供了科学依据.

关键词:反硝化; 缓释碳源; 聚乳酸; 淀粉; 地下水

中图分类号: X703.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2014)06-2236-05 **DOI**: 10.13227/j.hjkx.2014.06.027

Effect of PLA/Starch Slow-Release Carbon Source on Biological Denitrification

TANG Dan-qi[1], WANG Juan[1], ZHENG Tian-long[1], LIU Jian-guo[1], WANG Qun-hui[1]

(1. Department of Environmental Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China; 2. College of Energy and Power Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China)

Abstract: We used polylactic acid (PLA) and starch to develop a slow-release carbon source and biofilm carrier by blending and fusing techniques for removing nitrate contamination from groundwater, investigated the changes of nitrate, nitrite concentrations and COD in denitrification process supplied by the slow-release carbon source in different mass ratios [PLA/starch (P:S) were 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, respectively]. The experimental results demonstrated that the best mass ratio of PLA/starch was 5:5, resulting in a nitrate removal rate of more than 99%. A high denitrification performance was achieved in continuous fixed-bed reactor, the effluent nitrate concentration was below 2 mg·L^{-1}. These experiments provide scientific basis for the development of environmentally-friendly and controllable slow-release carbon source.

Key words: denitrification; slow-release carbon source; polylactic acid (PLA); starch; groundwater

由于农业上氮肥的大量使用、生活污水以及工业含氮废水的排放使河湖和地下水都受到了不同程度的硝酸盐污染. 地下水硝酸盐污染不仅污染环境、破坏生态平衡,而且长期饮用受硝酸盐污染的水,还会产生致癌、致畸、致突变的"三致"作用,对人体健康造成严重危害[1]. 因此,地下水中硝酸盐的有效治理迫在眉睫.

目前,地下水硝酸盐的去除方法一般有物理法、化学法、生物法等[2, 3]. 从彻底消除硝酸盐污染和降低经济成本考虑,异养生物反硝化工艺更为合理[4, 5]. 但由于地下水中缺乏有机碳源,因此该工艺在反硝化运行过程中须投加碳源. 传统的外加碳源有甲醇、乙醇、葡萄糖及乙酸等,不过这些液体碳源普遍存在投加量控制难、易浪费且出水水质不稳定的问题[6, 7].

近年来,有学者研究了固相反硝化工艺,该工艺的特点主要是采用结构疏松的有机碳物质,将其同时作为碳源和生物膜载体,操作简单、运行稳定且适用范围广[8~13]. 天然高分子材料经过改造后能达到稳定供给的目的,既保证微生物旺盛的新陈代谢,提高污染物的去除效率,又具有生物亲和性好、造价低等优点[14, 15].

淀粉是重要的生物营养成分之一,可以水解生成麦芽糖、葡萄糖等,且原料来源广泛[16]. 聚乳酸的降解产物为乳酸,是人体正常代谢所需的物质,具有无毒无副作用的特点[17, 18]. 因此,本研究将聚乳酸(polylactic acid, P)和淀粉(starch, S)共混,制备成兼具碳源和生物膜载体作用的缓释碳,并考察不同质量 P:S 的缓释碳在反硝化的间歇试验中对硝氮等污染物去除的变化,进而选定反硝化效果最佳的聚乳酸/淀粉混合比,将其用于连续动态试验中,以期最大程度提高反硝化效率并降低工艺运行费用,为新型缓释碳源的开发应用提供数据依据.

收稿日期: 2013-10-29; **修订日期**: 2013-12-17

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07201002-6)

作者简介: 唐丹琦(1989~),女,硕士研究生,主要研究方向为水污染控制与治理技术,E-mail:chloetdq@hotmail.com

* 通讯联系人,E-mail:wangqh59@sina.com

1　材料与方法

1.1　聚乳酸/淀粉缓释碳的制备

以分子量为 8 万的聚乳酸颗粒(购于深圳市光华伟业实业有限公司)和市售淀粉为原料,聚乳酸颗粒和淀粉按一定的质量比加入高速粉碎机(HY-04B,北京环亚天元机械技术有限公司),使其粉碎并混合均匀,再缓慢匀速添加到已升温至 100 ~ 180℃注塑机(JP6C-9,北京英特塑料机械总厂)中,挤出直径约 0.3 cm 圆柱体,在室温下冷却后,截断成长度约 2 cm 的短小柱体,缓释碳材料如图 1 所示.

图 1　聚乳酸/淀粉缓释碳材料

Fig. 1　Photograph of fresh PLA/Starch slow-release carbon source

1.2　不同聚乳酸/淀粉混合比的释放速率试验

在 4 个 1 L 的锥形瓶中分别加入 10 g 混合比分别为 8∶2、7∶3、6∶4 和 5∶5 的聚乳酸/淀粉缓释碳以及 1 L 蒸馏水,调节 pH 至 7.5 左右,并将瓶密封,温度控制在 25℃ ±1℃. 定期取样分析 COD 浓度,考察缓释碳材料的释碳规律.

1.3　优选聚乳酸/淀粉混合比的间歇反硝化试验

在 4 个 250 mL 的锥形瓶中分别加入 10 g 混合比分别为 8∶2、7∶3、6∶4 和 5∶5 的聚乳酸/淀粉缓释碳以及 150 mL 蒸馏水,并在另外一个 250 mL 的锥形瓶中加入 0.028 mL 甲醇(液体碳源)作为对照组,投加 KNO_3 和 NaH_2PO_4 使硝氮和总磷的浓度分别为 50 $mg\cdot L^{-1}$ 和 10 $mg\cdot L^{-1}$,加入经反硝化驯化后的活性污泥并将污泥浓度控制在 800 $mg\cdot L^{-1}$,调节 pH 至 7.5 左右,并将瓶密封. 将锥形瓶放入恒温振荡器,转速 70 $r\cdot min^{-1}$,温度控制在 25℃ ±1℃. 每天换入 150 mL 人工配制的含硝酸盐废水,连续运行 16 d,每隔 24 h 取样分析硝氮、亚硝氮和 COD 的浓度.

1.4　反硝化填充柱连续动态试验

试验在上流式的填充柱中进行,该填充柱为有机玻璃制成的圆柱体,内径 100 mm,高 450 mm,有效填充体积为 1 L,填充优选出的最佳聚乳酸/淀粉混合比的缓释碳 300 g. 将缓释碳放入驯化好的反硝化污泥中浸泡,混匀搅拌,接种之后将缓释碳置于填充柱中进行挂膜,1 d 后进水(进水硝氮浓度为 50 $mg\cdot L^{-1}$,温度为 25℃ ±1℃)反应器就能达到良好的处理效果,说明该缓释碳的挂膜速度快. 随后,考察连续稳定进水时,反应器的反硝化效果,并定期取样分析进水和出水的硝氮、亚硝氮、氨氮、pH 和 COD. 图 2 为连续动态试验装置示意.

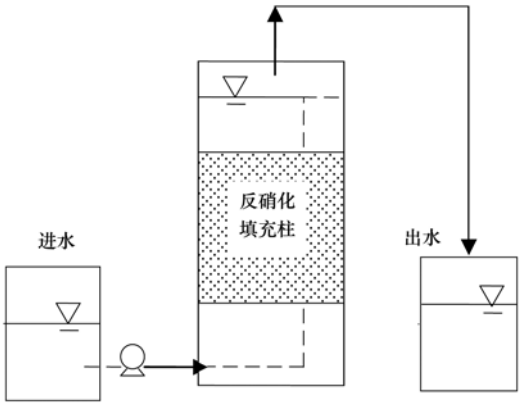

图 2　反硝化填充柱试验装置示意

Fig. 2　Schematic representation of fixed-bed reactor

1.5　分析方法

硝氮的测定采用紫外分光光度法;亚硝氮和氨氮分别采用 *N*-(1-萘基)-乙二胺光度法和纳氏试剂法测定;COD 的测定采用重铬酸钾法[19]. pH 使用雷磁 pH-3C 型 pH 计测定;溶解氧采用美国哈希 HQ30D 型便携式溶解氧仪进行测定. 反硝化速率(Dr,%)的计算见式(1).

$$Dr = \frac{[NO_{3\,(inf)}^{-} - NO_{3\,(eff)}^{-} - NO_{2\,(eff)}^{-}]}{HRT} \times 100\% \quad (1)$$

式中,$NO_{3\,(inf)}^{-}$ 指进水硝氮浓度($mg\cdot L^{-1}$);$NO_{3\,(eff)}^{-}$ 指出水硝氮浓度($mg\cdot L^{-1}$);$NO_{2\,(eff)}^{-}$ 指出水亚硝氮浓度($mg\cdot L^{-1}$);HRT 为水力停留时间(h).

2　结果与讨论

2.1　不同聚乳酸/淀粉混合比缓释碳的优选试验

由于聚乳酸与淀粉熔融聚合后的结构的特殊性,可通过对缓释碳中二者混合比的控制在一定范

围内调节释碳性能. 不同混合比缓释碳有机物的释放速率如图 3 所示. 以 COD 表征缓释碳在溶液中的释放速度. 结果表明,P:S 为5:5的缓释碳释放速率最快,溶出的碳源量(即 COD 值)最多; P:S 为8:2的缓释碳释放速度慢,溶出的 COD 值最低. 因此在相同碳源投加量的前提下,聚乳酸比例较高的缓释碳释放碳源的速度过慢,有可能造成碳源不足;淀粉比例较高的缓释碳释放速率最快,且节约成本,但碳源释放过快,会增加 COD 浓度,导致出水不能达标排放. 因此,在实际废水处理中选择适宜的聚乳酸/淀粉混合比至关重要.

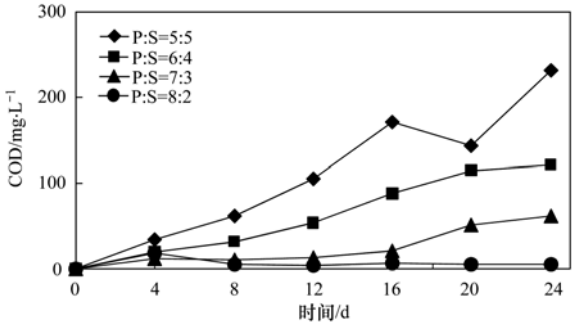

图 3 不同混合比缓释碳的释碳曲线

Fig. 3 COD release of slow-release carbon source with different mass ratio

采用 P:S 分别为8:2、7:3、6:4和 5:5的缓释碳,在 1.4 节所述的条件下进行反硝化试验,并以另投加甲醇作为对照同步进行反硝化试验. 5 个锥形瓶的初始硝氮浓度均为 50 mg·L^{-1},反硝化出水水质如图 4 所示.

由图 4(a)可知,P:S 为5:5和 6:4的两个体系,在反应初期(5 d 以内)COD 呈快速积累趋势,这是由于缓释碳表面淀粉快速溶解,而体系中的反硝化菌数量有限,释放的碳源量超过微生物代谢和反硝化需要的量; 但处理 5 d 后,生物膜达到了一定厚度逐渐稳定,利用碳源的速度与缓释碳释放 COD 的速度基本保持平衡,使水相中 COD 浓度维持在很低的值. 与此结果相对应,P:S 为5:5和 6:4两个体系的硝氮浓度在 2 d 内急剧下降,此后硝氮去除率维持在 98% 左右[图 4(b)],说明这两组碳源的释放速率与反硝化脱氮反应过程的微生物碳源需求相吻合. 当缓释碳中聚乳酸比例过大(P:S 为7:3和 8:2)时,COD 浓度一直很低(即缓释碳释放的速度小于反硝化菌利用碳源的速度),导致溶出的可利用的碳源不足而限制了细菌的反硝化效果[图 4(b)].

中间产物亚硝氮的积累也与碳源有一定相关

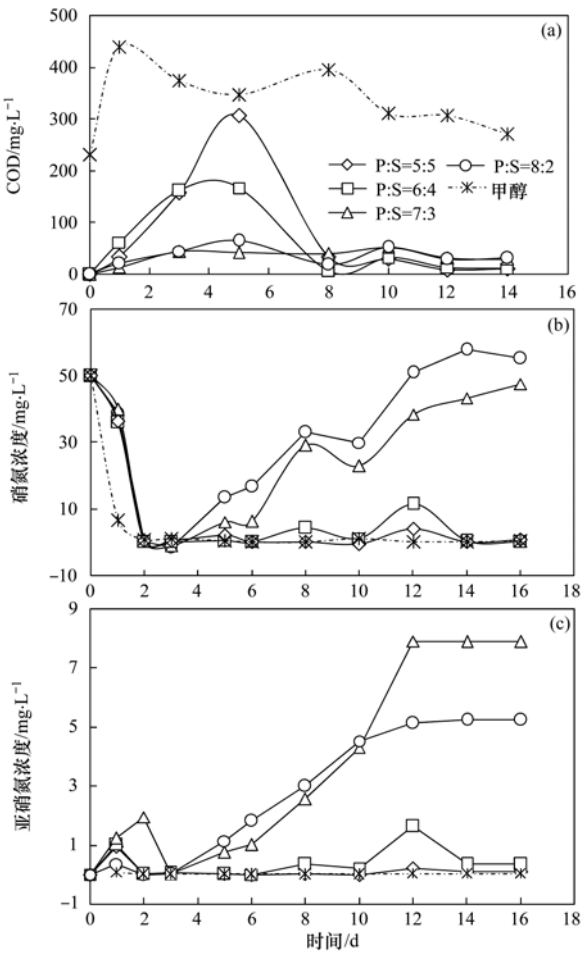

图 4 不同混合比的缓释碳对反硝化出水水质的影响

Fig. 4 Effect of slow-release carbon source with different mass ratio on the quality of denitrification effluent

性,1 mg 硝氮还原为亚硝氮只需消耗 1.15 mg 的 COD,而完全还原为氮气则需要消耗 2.86 mg 的 COD[20]. 投加缓释碳的反硝化体系常因释放的有机物量少,导致碳源不足而使反硝化反应停留在亚硝化阶段,从而造成亚硝氮的积累[21, 22]. 由图 4(c)可以看出,P:S 为7:3和 8:2时,碳源不足导致亚硝氮不能及时还原使得其浓度逐渐升高,而混合比为5:5和 6:4两试验组,亚硝氮浓度一直很低,保持在 0.1 mg·L^{-1}左右[图 4(c)],说明碳源充足,反硝化反应充分,脱氮效果显著.

当液体甲醇作碳源时,每天定时添加 0.028 mL 的甲醇,虽然硝氮去除率也很高,亚硝氮累积浓度很低,但出水的 COD 浓度高于缓释碳体系[图 4(a)],因此优选 P:S 为5:5的缓释碳作为碳源.

2.2 反硝化填充柱连续动态试验中反硝化效果

由前述结果可知,P:S 为5:5的缓释碳的反硝化效果最佳,因此选择用该比例的缓释碳进行连续动态反硝化试验. 当进水硝氮浓度为 50 mg·L^{-1},水力

停留时间为 3 h,定期分析出水水质变化,结果如图 5 和图 6 所示.

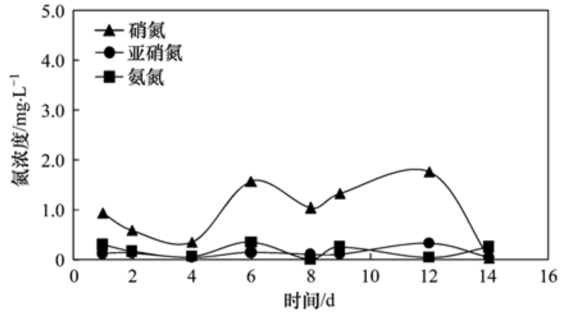

图 5　出水硝氮、亚硝氮和氨氮的浓度变化

Fig. 5　Change of nitrate, nitrite and ammonia concentrations in the effluent

由图 5 可知,在连续动态过程中,出水硝氮浓度小于 2.0 $mg \cdot L^{-1}$,硝氮去除率在 96% 以上,反硝化去除效果好的原因可能是在反应器中溶解氧的浓度小于 0.5 $mg \cdot L^{-1}$,适宜的条件使得反硝化菌的活性较高. 另外,反应器出水亚硝氮浓度始终小于 0.2 $mg \cdot L^{-1}$,表明本试验反硝化过程进行得较为彻底,可有效地控制中间产物亚硝氮的生成.

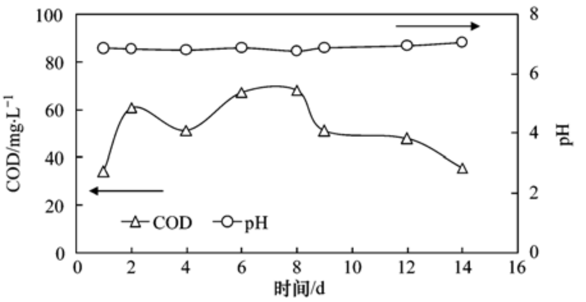

图 6　出水 COD 浓度和 pH 的变化

Fig. 6　Change of COD concentration and pH in the effluent

由图 6 可知,反硝化填充柱运行期间,出水 pH 值很稳定,始终维持在 7 左右. 这可能是由于虽然反硝化反应会增加碱度导致 pH 升高[式(2)],但缓释碳中的聚乳酸会逐渐降解为乳酸[式(3)],溶于水后呈酸性,中和了反硝化产生的碱度从而使 pH 保持稳定.

$$C_3H_6O_3 + NO_3^- \longrightarrow N_2 + CO_2 + H_2O + OH^- \qquad (2)$$

$$\left[O—CH(CH_3)—CO\right]_n + (n-1)H_2O \longrightarrow nHO—CH(CH_3)—COOH \qquad (3)$$

此外,整个反应过程中,反应器出水的 COD 浓度维持在 30 ~ 70 $mg \cdot L^{-1}$之间. 这说明该缓释碳源释放速率平稳,并可持续稳定地为反硝化菌的新陈代谢提供充足的碳源. 本研究中反应器的平均反硝化速率为 16.25 $mg \cdot (L \cdot h)^{-1}$,这与 Ovez 等[23]以芦苇和甘草为反硝化碳源时所得到的反硝化速率[4.23 $mg \cdot (L \cdot h)^{-1}$和 6.96 $mg \cdot (L \cdot h)^{-1}$]相比,具有一定的优势[24 ~ 26],且 P∶S 为5∶5的聚乳酸/淀粉缓释碳机械强度高,不会出现天然有机物软化所造成的填料层堵塞等问题. 连续 14 d 的运行结果表明,在投加缓释碳释放碳源充足的条件下,废水中硝酸盐的去除稳定而高效,且未发生水质恶化现象. 因此,P∶S 为5∶5的聚乳酸/淀粉缓释碳作为地下水处理中的反硝化碳源是可行的.

3　结论

(1)在不同质量比(聚乳酸/淀粉为8∶2、7∶3、6∶4、5∶5)的间歇反硝化试验中,优选混合比为 5∶5,其出水硝氮、亚硝氮以及 COD 值均优于其他 3 种混合比. 从反硝化效果和经济成本方面考虑,含淀粉 50% 的缓释碳更适于作为反硝化工艺的碳源.

(2)以聚乳酸/淀粉混合比为 5∶5的缓释碳进行反硝化填充柱试验,既实现了硝酸盐的高效处理,又不会造成二次污染. 利用聚乳酸的特性可以制备使用寿命长、价格低廉并具有生物降解可控性的碳源,对于地下水硝酸盐的去除具有广阔的应用前景.

参考文献:

[1]　毕晶晶, 彭昌盛, 胥慧真. 地下水硝酸盐污染与治理研究进展综述[J]. 地下水, 2010, **32**(1): 97-102.

[2]　闫素云, 匡颖, 张焕祯. 硝酸盐氮污染地下水修复技术[J]. 环境科技, 2011, **24**(S2): 7-10.

[3]　Wang Q H, Feng C P, Zhao Y X, *et al*. Denitrification of nitrate contaminated groundwater with a fiber-based biofilm reactor[J]. Bioresource Technology, 2009, **100**(7): 2223-2227.

[4]　Saeed T, Sun G Z. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media[J]. Journal of Environmental Management, 2012, **112**(15): 429-448.

[5]　Rocca C D, Belgiorno V, Meric S. Overview of *in-situ* applicable nitrate removal processes[J]. Desalination, 2007, **204**(1-3): 46-62.

[6]　李金诗, 赵坤强. 不同碳源及含量对反硝化脱氮效果的影响研究现状[J]. 能源与环境, 2011, (3): 6-7, 10.

[7]　邵留, 徐祖信, 尹海龙. 污染水体脱氮工艺中外加碳源的研究进展[J]. 工业水处理, 2007, **27**(12): 10-14.

[8]　Boley A, Müller W R, Haider G. Biodegradable polymers as solid substrate and biofilm carrier for denitrification in recirculated aquaculture systems[J]. Aquacultural Engineering, 2000, **22**(1-2): 75-85.

[9]　Shen Z Q, Zhou Y X, Wang J L. Comparison of denitrification performance and microbial diversity using starch/polylactic acid

blends and ethanol as electron donor for nitrate removal[J]. Bioresource Technology, 2013, **131**: 33-39.

[10] 王允, 张旭, 张大奕, 等. 用于地下水原位生物脱氮的缓释碳源材料性能研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(8): 2183-2188.

[11] 张大奕, 李广贺, 王允, 等. 缓释有机碳源材料释碳模型与生物脱氮效应[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2009, **49**(9): 1507-1511.

[12] Chu L B, Wang J L. Comparison of polyurethane foam and biodegradable polymer as carriers in moving bed biofilm reactor for treating wastewater with a low C/N ratio[J]. Chemosphere, 2011, **83**(1): 63-68.

[13] Gutierrez-Wing M T, Malone R F, Rusch K A. Evaluation of polyhydroxybutyrate as a carbon source for recirculating aquaculture water denitrification[J]. Aquacultural Engineering, 2012, **51**: 36-43.

[14] 王旭明, 王建龙. 利用固相反硝化工艺去除饮用水原水中的硝酸盐[J]. 中国给水排水, 2008, **24**(6): 6-10.

[15] 周贵忠, 孙静, 张旭, 等. 地下水生物反硝化碳源材料研究[J]. 环境科学与技术, 2008, **31**(7): 4-6.

[16] 沈志强, 吴为中, 杨春平, 等. 利用淀粉基共混物作为反硝化固体碳源的研究[J]. 环境科学, 2012, **33**(5): 1609-1613.

[17] 范振兴, 王建龙. 利用聚乳酸作为反硝化固体碳源的研究[J]. 环境科学, 2009, **30**(8): 2315-2319.

[18] Wu W Z, Yang F F, Yang L H. Biological denitrification with a novel biodegradable polymer as carbon source and biofilm carrier[J]. Bioresource Technology, 2012, **118**: 136-140.

[19] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 中国环境科学出版社, 2002. 102-284.

[20] 张自杰. 排水工程: 下册[M]. (第四版). 中国建筑工业出版社, 2000. 306-315.

[21] Ge S J, Peng Y Z, Wang S Y, *et al*. Nitrite accumulation under constant temperature in anoxic denitrification process: The effects of carbon sources and COD/NO_3^--N[J]. Bioresource Technology, 2012, **114**: 137-143.

[22] 葛士建, 王淑莹, 杨岸明, 等. 反硝化过程中亚硝酸盐积累特性分析[J]. 土木建筑与环境工程, 2011, **33**(1): 140-146.

[23] Ovez B, Ozgen S, Yuksel M. Biological denitrification in drinking water using *Glycyrrhiza glabra* and *Arunda donax* as the carbon source[J]. Process Biochemistry, 2006, **41**(7): 1539-1544.

[24] 金赞芳, 陈英旭, 小仓纪雄. 以棉花为碳源去除地下水硝酸盐的研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, **23**(3): 512-515.

[25] Soares M I M, Abeliovich A. Wheat straw as substrate for water denitrification[J]. Water Research, 1998, **32**(12): 3790-3794.

[26] 孙雅丽, 张国臣, 阎中, 等. 以腐朽木为碳源去除废水中硝酸盐氮的研究[J]. 环境科学, 2010, **31**(6): 1494-1498.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 35 No. 6

Jun. 15, 2014

CONTENTS

Comparative Analysis on Meteorological Condition for Persistent Haze Cases in Summer and Winter in Beijing ····· LIAO Xiao-nong, ZHANG Xiao-ling, WANG Ying-chun, *et al.* (2031)

Size Distributions of Water-Soluble Inorganic Ions in Atmospheric Aerosols in Fukang ····· MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Yue-si, *et al.* (2045)

Study on Transition Metals in Airborne Particulate Matter in Shanghai City's Subway ····· BAO Liang-man, LEI Qian-tao, TAN Ming-guang, *et al.* (2052)

Heavy Metal Concentrations in Mosses from Qiyi Glacier Region ····· MA Juan-juan, LI Zhen (2060)

Distributions of Dimethylsulfide and Dimethylsulfoniopropionate and Influencing Factors in the East China Sea and the Southern Yellow Sea During the Winter ····· SONG Yi-zhu, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (2067)

Pollution by Heavy Metals in the Petrochemical Sewage Waters of the Sea Area of Daya Bay and Assessment on Potential Ecological Risks ····· XU Shan-nan, LI Chun-hou, XU Jiao-jiao, *et al.* (2075)

Distribution of Perfluorinated Compounds in Surface Water of Shenzhen Reservoir Groups ····· WANG Xin-xuan, ZHANG Hong, HE Long, *et al.* (2085)

Contamination and Source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Epikarst Spring Water ····· SUN Yu-chuan, SHEN Li-cheng, YUAN Dao-xian (2091)

Biogeochemical Processes of the Major Ions and Dissolved Inorganic Carbon in the Guijiang River ····· TANG Wen-kui, TAO Zhen, GAO Quan-zhou, *et al.* (2099)

Hydrologic Processes of the Different Landscape Zones in Fenhe River Headwater Catchment ····· YANG Yong-gang, LI Cai-mei, QIN Zuo-dong, *et al.* (2108)

Assessment of Groundwater Quality of Different Aquifers in Tongzhou Area in Beijing Plain and Its Chemical Characteristics Analysis ····· GUO Gao-xuan, JU Yi-wen, ZHAI Hang, *et al.* (2114)

Models for Quantification of Fluid Saturation in Two-Phase Flow System by Light Transmission Method and Its Application ····· ZHANG Yan-hong, YE Shu-jun, WU Ji-chun (2120)

Nitrogen Leaching and Associated Environmental Health Effect in Sloping Cropland of Purple Soil ····· CHEN Wei-liang, GAO Yang, LIN Yong-ming, *et al.* (2129)

Research on Land Use Structure Optimization Based on Nonpoint Source Dissolved Nitrogen Load Estimation in Shuaishui Watershed ····· LU Yu-chao, BI Meng-fei, LI Ze-li, *et al.* (2139)

Nitrogen and Organic Matter Vertical Distribution Characteristics and Evaluation in Ancient Canal Sediments of Zhenjiang Old Town ····· ZHOU Xiao-hong, LI Yi-min, ZHOU Yi, *et al.* (2148)

Effects of Two Submerged Macrophytes on Dissolved Inorganic Nitrogen in Overlying Water and Interstitial Water ····· YANG Wen-bin, LI Yang, SUN Gong-xian (2156)

Bioavailable Phosphorus on Suspended Solids of Lake Under Short-term and Repeated Sediment Disturbance ····· WU Xiao-fei, LI Da-peng (2164)

Influence of Different Disturbance Intensity on the Phosphorus Adsorption and Immobilization by the Sediments from an Inner City Heavily Polluted Canal ····· WANG Shang, LI Da-peng (2171)

Effect of Feed Residues on the Release of Nitrogen and Phosphorus of Pond Sediment ····· LÜ Yuan-jiao, LI Rui-jiao, ZHANG Nian, *et al.* (2178)

Delivery and Release of Sediment PAHs During Resuspension ····· WANG Xiao-hui, BI Chun-juan, HAN Jing-chao (2185)

Effects of Low Molecular Weight Organic Acids on Redox Reactions of Mercury ····· ZHAO Shi-bo, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, *et al.* (2193)

Removal of Fluorescent Whitening Agent by Hydrogen Peroxide Oxidation Catalyzed by Activated Carbon ····· LIU Hai-long, ZHANG Zhong-min, ZHAO Xia, *et al.* (2201)

Kinetics of Alkylphenols Degradation in Aqueous Phase with Excilamp Irradiation ····· LIU Yu-hai, YE Zhao-lian, WEN Ying-pin, *et al.* (2209)

AF + BAF for Treating Effluent in the Sewage Plant of the Resin and Chemical Industry Park ····· TU Yong, LIU Wei-jing, ZHANG Yao-hui, *et al.* (2216)

Synthesis and Adsorption Property of Cd(Ⅱ)-8-hydroxyquinoline Molecularly Imprinted Polymer Microspheres ····· YANG Chun-yan, CHEN Fu-bin, ZHAO Hui, *et al.* (2223)

Simultaneous Nitrification and Denitrification in a Microbubble-aerated Biofilm Reactor ····· LIU Chun, NIAN Yong-jia, ZHANG Jing, *et al.* (2230)

Effect of PLA/Starch Slow-Release Carbon Source on Biological Denitrification ····· TANG Dan-qi, WANG Juan, ZHENG Tian-long, *et al.* (2236)

Impacts of Filamentous Bulking on Treatment Effect and Fouling Characteristics of Nonwoven Bioreactor ····· SHI Kuan, XUE Gang, GAO Pin, *et al.* (2241)

Optimization for Phosphorous Removal in Thickening and Dewatering Sludge Water by Polyaluminum Chloride ····· ZHOU Zhen, HU Da-long, QIAO Wei-min, *et al.* (2249)

Simulation of Long-Range Transport Potential of POPs in Poyang Lake ····· GONG Xiao-feng, XIANG Hong-rui, CHEN Chun-li, *et al.* (2256)

Uncertainty Analysis of Ecological Risk Assessment Caused by Heavy-metals Deposition from MSWI Emission ····· LIAO Zhi-heng, SUN Jia-ren, WU Dui, *et al.* (2264)

Risk Assessment and Countermeasures of BTEX Contamination in Soils of Typical Pesticide Factory ····· TAN Bing, WANG Tie-yu, LI Qi-feng, *et al.* (2272)

Levels Distribution and Risk Assessment of the Indicator and Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls in Ten Different Species of Marine Fish of Bohai Bay, China ····· WANG Sha-sha, GAO Li-rong, TIAN Yi-ling, *et al.* (2281)

Detection of Biohazardous Materials in Water upon the Characteristics of Fluorescent Sensor Frex ····· ZHAO Wei, WANG Zhao, CAI Qiang, *et al.* (2287)

Generation and Release of Microcystin-LR by *Microcystis aeruginosa* Under Hydroquinone Inhibition ····· ZHANG Yuan-chun, LIANG Wen-yan, ZHAO Yuan, *et al.* (2294)

Culture Medium Based on Biogas Slurry and Breeding of Oil Chlorella ····· ZHAO Feng-min, MEI Shuai, CAO You-fu, *et al.* (2300)

Microbial Diversity and Ammonia-Oxidizing Microorganism of a Soil Sample Near an Acid Mine Drainage Lake ····· LIU Ying, WANG Li-hua, HAO Chun-bo, *et al.* (2305)

Effects of *Corbicula fluminea* Bioturbation on the Community Composition and Abundance of Ammonia-Oxidizing Archaea and Bacteria in Surface Sediments ····· WANG Xue, ZHAO Da-yong, ZENG Jin, *et al.* (2314)

Methanogenic Activity and Methanogen Diversity in Marine Gas Field Sediments ····· TIAN Qi, WANG Jia, FAN Xiao-lei, *et al.* (2322)

Effect of the Potential on Bacterial Community Under Illumination by DGGE and T-RFLP ····· WU Yi-cheng, DENG Huan, XIAO Yong, *et al.* (2328)

Isolation and Characterization of Two Bacteria with Heavy Metal Resistance and Phosphate Solubilizing Capability ····· TIAN Jiang, PENG Xia-wei, LI Xia, *et al.* (2334)

Identification and Denitrification Characteristics of a Psychrotolerant Facultative Basophilic Aerobic Denitrifier ····· WANG Zhao-yang, CHEN Guo-yao, JIANG Ke, *et al.* (2341)

Effects of Ryegrass and Arbuscular Mycorrhiza on Activities of Antioxidant Enzymes, Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Different Varieties of Tomato ····· JIANG Ling, YANG Yun, XU Wei-hong, *et al.* (2349)

Response of Active Nitrogen to Salinity in a Soil from the Yellow River Delta ····· LI Ling, QIU Shao-jun, CHEN Yin-ping, *et al.* (2358)

Variation of Soil Nitrogen During *in situ* Mineralization Process Under Different Grasslands in the Mountainous Area of Southern Ningxia, Northwest China ····· JIANG Yue-li, ZHAO Tong, YAN Hao, *et al.* (2365)

Effects of Long-Term Application of Pig Manure Containing Residual Tetracycline on the Formation of Drug-Resistant Bacteria and Resistance Genes ····· ZHANG Jun, YANG Xiao-hong, GE Feng, *et al.* (2374)

Long-Term Effects of Tillage Methods on Heavy Metal Accumulation and Availability in Purple Paddy Soil ····· CHANG Tong-ju, CUI Xiao-qiang, RUAN Zhen, *et al.* (2381)

Environmental Geochemical Baseline of Heavy Metals in Soils of the Ili River Basin and Pollution Evaluation ····· ZHAO Xin-ru, Telajin Nasier, CHENG Yong-yi, *et al.* (2392)

Distribution Patterns and Pollution Assessments of Heavy Metals in the *Spartina alterniflora* Salt-Marsh Wetland of Rudong, Jiangsu Province ····· ZHANG Long-hui, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, *et al.* (2401)

Temporal-Spatial Distribution of Agricultural Diffuse Nitrogen Pollution and Relationship with Soil Respiration and Nitrification ····· OUYANG Wei, CAI Guan-qing, HUANG Hao-bo, *et al.* (2411)

Soil Respiration and Carbon Balance in Wheat Field Under Conservation Tillage ····· ZHANG Sai, WANG Long-chang, HUANG Zhao-cun, *et al.* (2419)

Comparison of Soil Respiration in Natural *Castanopsis carlesii* Forest and Plantation Forest ····· WU Jun-jun, YANG Zhi-jie, WENG Fa-jin, *et al.* (2426)

Influences of Hydraulic Retention Time on the Ethanol Type Fermentation Hydrogen Production System in a Hybrid Anaerobic Baffled Reactor ··· LIU Xiao-ye, ZHANG Hong, LI Yong-feng (2433)

《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）

2014 年 6 月 15 日　第 35 卷　第 6 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 35　No. 6　Jun. 15, 2014

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：90.00 元　　国外发行代号：M 205

国 内 外 公 开 发 行