

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第7期

Vol.34 No.7

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

唐山市大气颗粒物 OC/EC 浓度谱分布观测研究 郭育红, 辛金元, 王跃思, 温天雪, 李杏茹, 封孝信 (2497)

北京东灵山地区主要大气污染物浓度变化特征 于阳春, 胡波, 王跃思 (2505)

奥运前期与奥运期间北京市大气细颗粒物特征比较分析 张菊, 欧阳志云, 苗鸿, 王效科, 任玉芬, 宋文质 (2512)

华东森林及高山背景区域臭氧变化特征及影响因素 苏彬彬 (2519)

北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究 方治国, 孙平, 欧阳志云, 刘芄, 孙力, 王小勇 (2526)

民用燃煤源中多环芳烃排放因子实测及其影响因素研究 海婷婷, 陈颖军, 王艳, 田崇国, 林田 (2533)

醇类汽油车醇醛酮、芳香烃和烯烃类排放的试验研究 张凡, 王建华, 王小臣, 王建昕 (2539)

微波解吸-催化燃烧净化甲苯研究 曹晓强, 张浩, 黄学敏 (2546)

生物滴滤池对 BTEX 的去除及相应细菌群落分析 李建军, 廖东奇, 许玫英, 孙国萍 (2552)

炼油厂废水处理站挥发性羰基化合物成分谱研究 周博宇, 刘旺, 王伯光, 周咪, 黄青, 周磊 (2560)

春季东、黄海溶解甲烷的分布和海水交换通量 曹兴朋, 张桂玲, 马啸, 张国玲, 刘素美 (2565)

千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究 董春颖, 虞左明, 吴志旭, 吴春金 (2574)

新安江流域土地利用结构对水质的影响 曹芳芳, 李雪, 王东, 赵越, 王玉秋 (2582)

长江中下游草型湖泊浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析 孟睿, 何连生, 过龙根, 席北斗, 李中强, 舒俭民, 刁晓君, 李必才 (2588)

河口盐度梯度下溶解态核酸的微生物可利用性 杨青青, 李朋辉, 黄清辉 (2597)

水藻暴发的影响因素定量研究初步 张卓, 宋志尧, 黄昌春, 俞肇元 (2603)

深水型水库藻类功能组时空演替及生境变化的影响 卢金锁, 胡亚潘 (2611)

结合水体光学分类反演太湖总悬浮物浓度 周晓宇, 孙德勇, 李云梅, 李俊生, 龚绍琦 (2618)

Subwet 模型在人工湿地设计中的应用 李慧峰, 黄津辉, 林超 (2628)

白洋淀荷茎叶提取液对铜绿微囊藻及四尾栅藻化感效应 何连生, 孟繁丽, 刁晓君, 李一葳, 孟睿, 席北斗, 舒俭民 (2637)

苦草 (*Vallisneria spiralis*) 对城市缓流河道黑臭底泥理化性质的影响 许宽, 刘波, 王国祥, 马久远, 曹勋, 周锋 (2642)

铁屑-微生物协同还原去除水体中 Cr(VI) 研究 汤洁, 王卓行, 徐新华 (2650)

铁铜催化剂非均相 Fenton 降解苯酚及机制研究 杨岳主, 李玉平, 杨道武, 段锋, 曹宏斌 (2658)

不同形态无机氮对水中微量药物安替比林光降解效能影响 赵倩, 陈超, 封莉, 张立秋 (2665)

邻苯二甲酸二甲酯的紫外光-H₂O₂ 降解机制研究 刘青, 陈成, 陈泓哲, 杨绍贵, 何欢, 孙成 (2670)

二胺基改性有序多孔 SBA-15 对溶液中 Cd²⁺ 离子的吸附研究 张萌, 杨亚提, 秦睿, 王力, 张增强, 李忠宏, 李荣华, 孟昭福 (2677)

酸化蛭石的表面有机修饰及其对疏水性微污染物的吸附 蒋争明, 于旭彪, 胡芸, 任源, 李雪辉, 韦朝海 (2686)

基于废陶瓷的多孔陶瓷研制及其对 Ni²⁺ 的吸附性能 张永利, 王承智, 史册, 尚玲玲, 马瑞, 董婉莉 (2694)

树皮支持的厌氧生物法去除地下水中的高氯酸盐 王蕊, 刘菲, 陈楠, 陈鸿汉 (2704)

Cr(VI) 污染地下水修复的 PRB 填料实验研究 朱文会, 董良飞, 王兴润, 翟亚丽 (2711)

化学沉淀法去除稀土湿法冶炼废水中钙与高浓度氨氮研究 王浩, 成官文, 宋晓薇, 徐子涵, 蒙金结, 董传强 (2718)

镍铁尾矿硫酸浸出动力学研究 陈安安, 周少奇, 黄鹏飞 (2729)

HRT 对 A²O 工艺中典型多环麝香迁移转化的影响 刘鹏程, 黄满红, 陈东辉, 陈亮 (2735)

发酵液作为 EBPR 碳源的动力学模拟 张超, 陈银广 (2741)

强化污泥利用水解反应器改善碳源与污泥减量作用研究 熊娅, 王强, 宋英豪, 朱民, 林秀军 (2748)

污泥胞外聚合物的提取方法及其对污泥脱水性能的影响 周俊, 周立祥, 黄焕忠 (2752)

不同粒径铁铝泥对砷(III)的吸附效果 林璐, 胥嘉瑞, 吴昊, 王昌辉, 裴元生 (2758)

我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析 仇焕广, 廖绍攀, 井月, 栾江 (2766)

浙北平原富硒土壤资源区硒来源的定量分离 徐明星, 潘卫丰, 岑静, 马学文 (2775)

三江平原土地利用方式变化对土壤锰形态影响 张仲胜, 吕宪国, 宋晓林 (2782)

吉林前郭水田土壤有机碳垂向分布规律和储量研究 汤洁, 张雯辉, 李昭阳, 张楠, 胡猛 (2788)

关中地区农田土壤有机碳固存速率及影响因素: 以陕西武功县为例 张晓伟, 许明祥 (2793)

三峡库区不同林草措施土壤活性有机碳及抗蚀性研究 黄茹, 黄林, 何丙辉, 周立江, 于传, 王峰 (2800)

土壤自养微生物同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴C 连续标记法 史然, 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 葛体达, 隋方功, 童成立, 吴金水 (2809)

西南丘陵区保护性耕作下小麦农田土壤呼吸及影响因素分析 张赛, 张晓雨, 王龙昌, 罗海秀, 周航飞, 马仲炼, 张翠微 (2815)

丹江口水库迁建区土壤有机氯农药的分布特征及风险评价 李子成, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 赵艳民, 时瑶 (2821)

农药企业场地苯系物污染风险及调控对策 虎博, 王铁宇, 杜立宇, 谭冰, 朱朝云, 吕永龙 (2829)

水分管理对硫铁镉在水稻根区变化规律及其在水稻中积累的影响 张雪霞, 张晓霞, 郑煜基, 王荣萍, 陈能场, 卢普相 (2837)

硝酸盐对沉积物中有机物氧化减量及微生物群落结构的影响 刘近, 邓代永, 孙国萍, 刘永定, 许玫英 (2847)

零价铁对脱色希瓦氏菌 S12 偶氮还原的促进作用 周庆, 陈杏娟, 郭俊, 孙国萍, 许玫英 (2855)

2 株好氧反硝化菌的筛选及其强化贫营养生物膜脱氮效果 全向春, 岑艳, 钱殷 (2862)

反硝化聚磷菌快速富集、培养及其荧光原位杂交技术鉴别 刘立, 汤兵, 黄绍松, 付丰连, 张启泰, 黎健彬, 罗建中 (2869)

1 株反硝化除磷菌的鉴定及其反硝化功能基因研究 张倩, 王弘宇, 桑稳姣, 李孟, 杨开, 马放 (2876)

1 株高效 BBP 降解菌的分离与特性研究 陈湖星, 杨雪, 张凯, 钟秋, 郭佳, 王攀, 熊丽, 刘德立 (2882)

微生物-化学水解联合作用下烟嘧磺隆的降解 张小林, 李咏梅, 袁志文 (2889)

扑草净降解菌的分离、筛选与鉴定及降解特性初步研究 周际海, 孙向婷, 胡锋, 李辉信 (2894)

固定化 *Lysinibacillus cresolovorans* 的 PVA-SA-PHB-AC 复合载体制备及间甲酚的降解 李婷, 任源, 韦朝海 (2899)

生物破乳菌 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 表面活性物质提取与其破乳特性分析 黄翔峰, 张树聪, 彭开铭, 陆卫君, 刘佳 (2906)

A²O 工艺活性污泥中可培养丝状细菌的多样性 高莎, 金德才, 赵志瑞, 齐嵘, 彭霞微, 白志辉 (2912)

生活垃圾堆肥渗滤液污染物组成与演化规律研究 李丹, 何小松, 席北斗, 魏自民, 潘红卫, 赵国鹏, 崔东宇 (2918)

专辑征稿通知 (2551) 《环境科学》征稿简则 (2685) 《环境科学》征订启事 (2868) 信息 (2875)

河口盐度梯度下溶解态核酸的微生物可利用性

杨青青, 李朋辉, 黄清辉*

(同济大学环境科学与工程学院, 长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 核酸物质(DNA 和 RNA)作为自然水体中重要的溶解有机质组分之一,是水生微生物食物网的重要物质基础,因此核酸的微生物可利用性具有重要研究意义. 2012 年春季从长江口不同盐度区域采集水样,并分别添加鱼类 DNA 和酵母 RNA 进行培养,考察了其微生物可利用性. 结果表明,在溶解态核酸添加至不同盐度的培养体系时,添加的 DNA 大约有 20%~50% 从溶解态快速转变至颗粒态,转化率随盐度增加而增加,而添加的 RNA 仅有约 10% 从溶解态转变至颗粒态,受盐度影响不大. 在各培养体系中,溶解态核酸的微生物利用动力学曲线均符合 Sigmoid 方程,先有 30~80 h 不等的延滞期,而后进入快速利用期,最后为停止期,其中海水微生物对核酸的最大利用速率比河口/淡水微生物更快. 当溶解态核酸进入河口水体后,分为微生物可利用的(自由溶解态/酶可水解的)、胶体结合态和颗粒态,其中 RNA 中微生物可利用形态百分比(80%~90%)显著高于 DNA,且随盐度变化不大,而 DNA 中微生物可利用形态百分比随盐度升高而从 78% 逐渐降低至 50%. 因此,河口盐度梯度下的 DNA 和 RNA 赋存形态分布特征和微生物可利用性具有显著差异.

关键词: 脱氧核糖核酸; 核糖核酸; 溶解有机质; 微生物可利用性; 河口

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)07-2597-06

Microbial Bioavailability of Dissolved Nucleic Acids Across the Estuarine Salinity Gradient

YANG Qing-qing, LI Peng-hui, HUANG Qing-hui

(Key Laboratory of Yangtze River Water Environment, Ministry of Education, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: As an important component of dissolved organic matter (DOM), nucleic acids (DNA and RNA) are essential nutrient and energy sources in aquatic microbial food web. Therefore, it is important to understand the bioavailability of nucleic acids. The bioavailability of nucleic acids was investigated by a batch of incubation experiments, adding fish DNA and yeast RNA into water samples with different salinity collected from the Yangtze River estuary in the spring of 2012. According to the results, 20%-50% of dissolved DNA was transformed into particulate DNA quickly with the conversion rates increasing with salinity, only 10% dissolved RNA was transformed into particulate RNA and the salinity had no effect on the conversion rates. In each incubation experiment, the microbial utilization kinetic curves of dissolved nucleic acids were fitted to the Sigmoid model. There were lag periods of 30-80 hours followed by the rapid utilization phase and then the stagnation phase. The results also showed that the bacteria in seawater had higher maximum utilization rate than the bacteria in estuarine and fresh water. Dissolved nucleic acids spiked in estuarine water can be bound to colloids and particles at some extent, only those free dissolved or enzymatically hydrolysable forms are bioavailable. The percentage of bioavailable RNA (80%-90%) was significantly higher than that of bioavailable DNA and it did not change significantly with salinity while the percent of bioavailable DNA decreased from 78% to 50% with salinity. Therefore, the speciation and bioavailability are significantly different between DNA and RNA across the estuarine salinity gradient.

Key words: DNA; RNA; dissolved organic matter; microbial bioavailability; estuary

核酸(如 DNA 和 RNA)是构成生命体的四大类有机高分子化合物之一,在河流、湖泊、河口和海洋等天然水域环境中广泛存在. 水体中溶解态核酸操作定义为能够通过 0.2 或 0.22 μm 孔径滤膜的核酸,是天然溶解有机质(DOM)的重要组分^[1]. 溶解态 DNA 主要来源于浮游微生物的排泄、死亡分解及自溶等,浮游植物是溶解态 RNA 的重要来源^[2,3]. 据调查,溶解态 DNA 浓度约为 0.56~88 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,而溶解态 RNA 浓度范围更宽,为 4~871 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[4,5]. 研究表明,溶解态 DNA 包括 3 种主要

形态:自由的/酶可水解的 DNA、病毒 DNA 和未知结合态的 DNA,其中 27%~54% 容易发生不同程度的酶促水解过程^[6,7],并释放核苷酸(三磷酸腺苷 ATP)、核糖、嘌呤、嘧啶及正磷酸盐等物质^[8],而其中 ATP 水解时会释放大量能量,满足生物体内需能的各种化学反应. 有研究指出,大分子化合物能

收稿日期: 2012-10-18; 修订日期: 2012-12-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071301); 中央高校基本科研业务费专项(0400219216)

作者简介: 杨青青(1989~),女,硕士研究生,主要研究方向为水环境科学, E-mail: yangqing612@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: qhhuang@tongji.edu.cn

像小分子化合物一样被微生物快速利用^[9~12]. Jørgensen 等^[13]的实验表明,在营养盐限制条件下,溶解态 DNA 为细菌的生长提供 5% ~ 10% 的 C、N 和接近 50% 的 P 需求. 因此,溶解态 DNA 及其降解产物对水域中异养微生物的生长及物质能量循环具有重要作用. 以往的研究主要集中在对溶解态 DNA 的研究,对溶解态 RNA 的微生物利用了解较少.

河口是河流与海洋相互作用显著的区域,其河口咸淡水混合过程形成显著的盐度梯度,其微生物群落结构也从淡水类型向海洋类型过渡^[14],即使盐度的温和变化也会导致 DOC 降解菌的群落组成和生长特征发生变化^[15]. 因此,溶解有机质(包括核酸)的微生物可利用性在沿河口盐度梯度方向上可能会有差异. 另外近年来随着城市化进程的加快及人类活动的影响,大量的营养物质排入海,长江口水域富营养化问题日益严重,这对长江口溶解态核酸含量也有很大影响. 所以本研究以长江河口为对象,在典型水样中添加核酸进行微生物培养实验,分析 DNA 和 RNA 在河口盐度梯度下的微生物可利用性及其差异,这对深化了解水体中微生物生长及物质能量循环具有重要意义.

1 材料与方法

2012 年 3 月搭载国家自然科学基金长江口共享航次,在长江口及其邻近海域采集表层水样,现场测定盐度等水质指标,并用 0.7 μm 孔径玻璃纤维滤膜(Whatman GF/F, 450 $^{\circ}\text{C}$ 预灼 3 h)过滤,避光冷藏. 带回实验室后,选取河口淡水(盐度 0.2)、河口微咸水(盐度 9.3)、羽状流高盐水(盐度 31.0)、近岸海水(盐度 34.8)等典型水样开展培养实验.

取少量 GF/F 过滤水样经 0.22 μm 孔径 PVDF 滤膜(Millipore 公司)过滤后,进行以下测定,结果如表 1 所示:①用双光束紫外-可见分光光度计(普析通用 TU-1901 仪器,5 cm 比色皿)进行吸收光谱扫描,波长扫描范围 800 ~ 200 nm. 根据公式 $a_{\lambda} = 2.303 A(\lambda)/r$ 计算吸收系数 $a_{\lambda} (\text{m}^{-1})$,其中 λ 为波长(nm), $A(\lambda)$ 为波长 λ 处的吸光度, r 为比色皿的光程(m). 其中, a_{355} 常被用来表征 CDOM 的浓度,275 ~ 295 nm 和 350 ~ 400 nm 波段的光谱斜率 S 值是将指数方程经自然对数转化后进行线性拟合而得, $S_{275-295}$ 与 $S_{350-400}$ 的比值称为光谱斜率比 S_R ^[16, 17]. ②用荧光分光光度计(日立 F-4500)进行三维荧光激发/发射光谱扫描,获得 EEMs 数据,通

过平行因子分析(PARAFAC)^[17, 18]解析出 C1 ~ C4 等 4 个荧光组分. ③溶解有机碳(DOC)的浓度在总有机碳分析仪(岛津 TOC-VCPH)上测定,而总溶解态磷(TDP)和总溶解态氮(TDN)则是在连续流动注射营养盐自动分析仪(AA3,德国布朗鲁比)上经在线紫外消解后测定.

DNA 和 RNA 为生物大分子,包含嘌呤碱基和嘧啶碱基,这些碱基的环状结构中带有共轭双键,使核酸具有强烈的紫外吸收特性,其最大吸收值在波长 260 nm 处,通常据此性质可以对核酸进行定量测定^[19, 20]. 本研究采用 260 nm 处的吸收系数 a_{260} 对添加的单一核酸进行定量,这与用总水解碱基化合物(THNs)进行核酸定量^[21]具有较好的一致性.

量取 1 L GF/F 过滤水样置于锥形瓶(1 L)中,添加三文鱼 DNA (Type III, 商品号 D1626, Sigma-Aldrich 公司)或圆酵母 RNA (Type VI, 商品号 R6625, Sigma-Aldrich 公司),为了可以准确地观察核酸含量随时间的变化过程,减少误差的影响,本研究选用 2.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 作为最终浓度,将锥形瓶置于摇床中避光振荡,每个盐度水样做 2 个平行. 在添加培养开始时,取大约 20 mL 添加了 DNA 或 RNA 的水样,经 0.22 μm 孔径滤膜过滤后,测定其紫外吸收光谱(同上所述). 其中,河口淡水、河口微咸水、近岸海水的样品,每间隔数小时取 20 mL 水样,经 0.22 μm 孔径滤膜过滤后,测定紫外吸收光谱,观察紫外吸收曲线随时间变化,直至 260 nm 处的吸收峰消失后再取 1 ~ 2 次样测试. 羽状流高盐水的样品只在培养实验开始和结束时测定紫外吸收光谱. 培养实验过程中定期取水样观察微生物的生长状况,采用平板计数法对细菌数目进行计量.

本研究采用下列 Sigmoid 方程对培养实验中 DNA 或 RNA 被微生物利用的动力学过程进行拟合:

$$a_{260}(t) = \frac{a_1 - a_2}{1 + e^{-k(t-t_0)}} \quad (1)$$

式中, a_1 和 a_2 分别为 DNA 或 RNA 添加培养实验中 a_{260} 的初始值和最终值(m^{-1}), t 为培养时间(h), $a_{260}(t)$ 为 t 时刻的吸收系数(m^{-1}), t_0 为 a_{260} 等于 $(a_1 + a_2)/2$ 的时刻, k 为 t_0 时刻的斜率,反映核酸的利用速率(h^{-1}).

2 结果与讨论

2.1 溶解态核酸浓度随盐度的变化

从培养体系原始水质特征(表 1)可以看出,随

着盐度逐渐增加, DOM 的吸收系数 (a_{355})、DOC 和营养盐含量以及各组分荧光强度大体上呈降低趋

势, 而 $S_{275-295}$ 与 S_R 逐渐升高, 说明沿河口盐度梯度方向 DOM 的含量逐渐降低, 且分子量逐渐变小。

表 1 培养体系水质基本特征

Table 1 Basic characteristic of the raw water for cultivation experiments

样品名称	单位	河口淡水 (EFW)	河口微咸水 (EBW)	羽状流高盐水 (PSW)	近岸海水 (CSW)
经度	°	121.66	122.29	122.62	122.94
纬度	°	31.46	30.92	30.67	30.29
盐度		0.2	9.3	31	34.8
pH		8.1	8.4	8.3	8.2
a_{355}	m^{-1}	1.65	1.50	0.47	0.18
$S_{275-295}$	nm^{-1}	0.018	0.018	0.024	0.033
S_R		0.97	0.98	1.36	1.81
DOC	$\mu mol \cdot L^{-1}$	168 **	175	106	88
TDP	$\mu mol \cdot L^{-1}$	1.95 **	1.68	0.74	0.39
TDN	$\mu mol \cdot L^{-1}$	453 **	451	38	15
Fl_{C1}^*	R. U.	0.25 **	0.22	0.06	0.02
Fl_{C2}^*	R. U.	0.43 **	0.56	0.07	0.05
Fl_{C3}^*	R. U.	0.53 **	0.55	0.11	0.04
Fl_{C4}^*	R. U.	0.44 **	0.35	0.10	0.03

1) * 表示平行因子分析所得荧光组分荧光强度 (单位: 经拉曼归一化处理), 其中 C1 和 C4 为类腐殖质组分、C2 和 C3 为类蛋白组分; ** 表示河口淡水样品的部分指标未测定, 标注数据均为与之最近的河口淡水区样点测定的数据, 仅供参考

如图 1 所示, 溶解态核酸在添加至各种盐度的天然水 GF/F 过滤液样品之后, 其净吸收系数均低于超纯水中所添溶解态核酸的净吸收系数。显然, 部分核酸被移出溶解态, 可能是部分核酸被吸附在悬浮物上形成颗粒态核酸^[6]而被 0.22 μm 孔径滤膜过滤去除。这种吸附作用可能有以下两种主要机制^[22]: 核酸分子末端的磷酸根基团与 GF/F 过滤液中水合氧化物

的羟基直接发生键合作用; 或者金属阳离子通过桥联作用将核酸分子结合起来。溶解态 DNA 在实验初始时显著减少, 其损失率 (20% ~ 50%) 随盐度的增加而显著增加, 然而在各培养体系中, 溶解态 RNA 的损失均只有大约 10% 的损失, 与盐度没有关系。显然, 还有其它某种机制主导着溶解态 DNA 的损失, 进而导致 DNA 和 RNA 的差异。

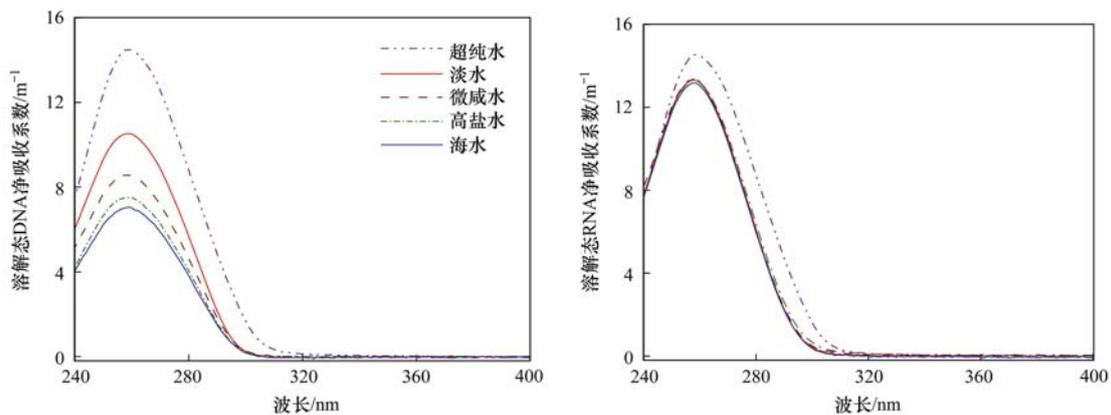


图 1 等量溶解态核酸加入不同盐度培养体系时的净吸收系数

Fig. 1 Net absorption coefficients of dissolved nucleic acids spiked with the same amount into the cultivation systems with different salinity

据报道, 无定形黏土矿物对 DNA 和 RNA 的吸附存在最大吸附容量, 而且对核酸的吸附率随 pH 值升高而大幅度减小, 可从 pH = 3 时的 98% 降低至 pH = 10 时的 6%^[22,23]。本研究培养体系 pH 值均超过 8, 因而 GF/F 过滤液中含有的悬浮细菌和胶体 (无定形黏土矿物、腐殖质和蛋白质等) 对溶解态

DNA 和 RNA 的吸附是有限的 ($\approx 10\%$); 而且, 溶解态 DNA 的损失除了上述的吸附作用之外, 可能还与水体中盐析作用有关, 即不断升高的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 和 Na^+ 等阳离子的浓度 ($[Na^+] > 10 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$; $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}] > 1.0 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$) 引起 DNA 分子的沉淀有关^[24,25]。此外, 本研究中 RNA 为单链结

构,而 DNA 为拥有2 000个碱基对的双链结构大分子,当金属阳离子与带负电的核酸分子桥联起来时,聚合 DNA 分子的体积比聚合 RNA 分子更为庞大,因而更容易被过滤截留。

2.2 溶解态核酸的微生物利用动力学

溶解态核酸的微生物利用动力学曲线大致呈反“S型”分布(图2)。培养初期,微生物并没有利用核酸,而是存在30~80 h不等的延滞期,并且延滞期随培养体系盐度的增大而缩短,即海水体系的延滞期最短,而淡水体系的延滞期最长。淡水、河口水和海水等培养体系中微生物分别在生长阶段的稳定期、对数期和延滞期(适应期)(图3)开始快速降解核酸并利用酶水解产物支持自身生长,说明河口淡水/半咸水体系比海水体系存在更多的可以被微生物优先利用的其它物质,如小分子量的营养物质^[13],这与表1所示的长江口营养盐和DOC的赋存特征是一致的。添加核酸发生酶水解时释放出的ATP等能量物质^[8],还能促进微生物对水体中原有

DOM的利用,导致核酸的微生物利用动力学过程中延迟期随盐度增大而缩短。

如图2所示,同一盐度的培养体系,微生物对溶解态DNA和RNA的利用起始时间差异不大,其动力学参数 k 值为酶可水解的溶解态核酸被微生物降解一半时的速率,随着培养体系盐度的增加大体上也呈增加趋势。在培养过程中,河口淡水体系细菌生长的数量高出河口微咸水和近岸海水体系两个数量级(图3)。这表明海水微生物对核酸的利用速率比河口/淡水微生物利用更快,可能海水体系的核酸水解酶更丰富或合成过程更快速。值得一提的是,微咸水体系比淡水体系微生物对DNA的利用速率略慢些,可能与微咸水体系中微生物来源的类蛋白质物质等溶解有机质含量(表1)高于淡水/海水体系有关,这些DOM可能会与DNA结合,使得DNA被利用的速率减缓。

2.3 溶解态核酸的微生物利用性随盐度的变化

随培养体系盐度增加,生物可利用的(自由的/

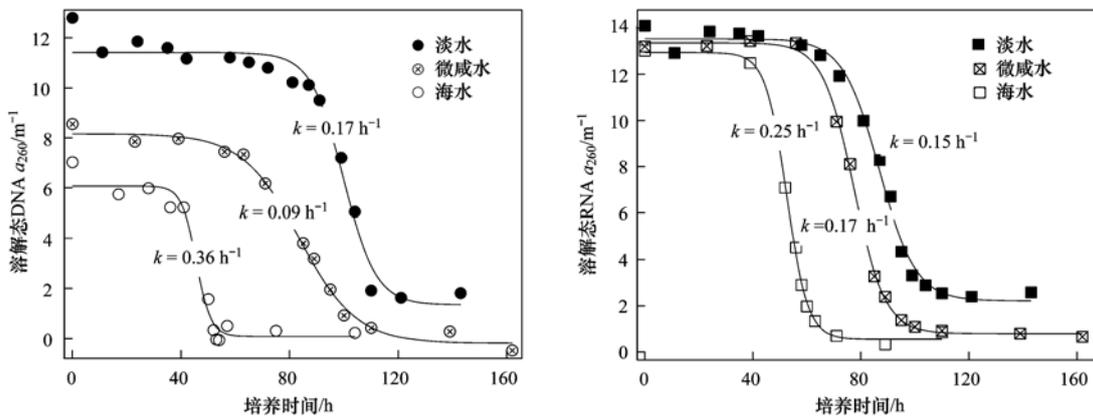


图2 不同盐度培养体系中溶解态核酸的净吸收系数随培养时间的变化

Fig. 2 Net absorption coefficient of dissolved nucleic acid in different cultivation systems

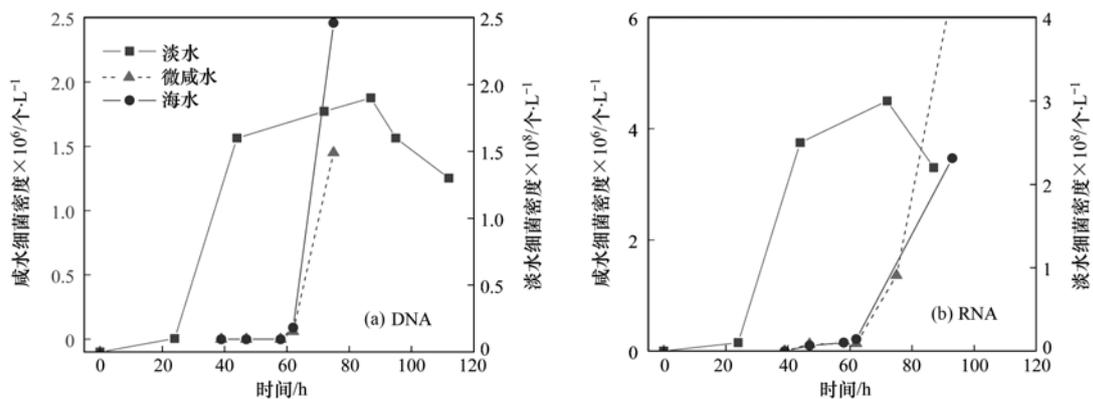
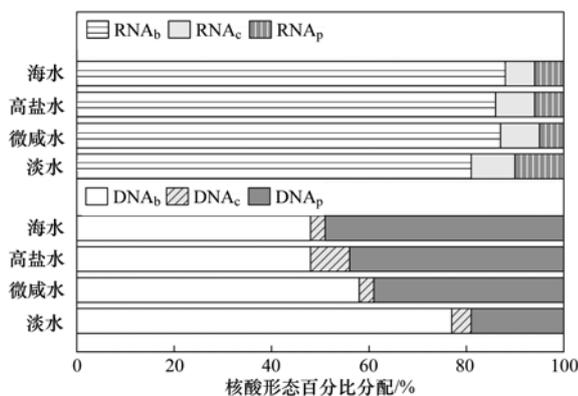


图3 不同培养体系微生物生长曲线

Fig. 3 Bacterial abundance in different cultivation systems

酶可水解的) DNA 含量逐渐减少(图 2), 其占总溶解态 DNA 的比例从 78% (淡水体系) 逐渐降低至 50% (海水体系), 这与各体系营养水平和细菌数量有一致的规律^[6], 在营养水平较高的淡水体系的 DNA 酶促水解对磷的贡献率将高于营养水平较低的海水体系, 进而促进前者支持更多的细菌生长(图 3). 然而, 生物可利用的 RNA 含量随培养体系盐度变化不大, 基本保持在总溶解态 RNA 的 80% ~ 85% 左右, 明显高于生物可利用的 DNA 含量, 导致添加 RNA 的培养体系中微生物多生长数量要多于添加 DNA 的培养体系. 这可能是由于较高 pH 时 RNA 的磷酸酯键比 DNA 的磷酸酯键更容易被水解^[26].

在海水和半咸水体系中, 溶解态 DNA 和 RNA 水解得比较彻底, 实验结束时几乎消耗殆尽, 而在淡水体系中大约有 5% ~ 10% 的溶解态 DNA 和 RNA 难被酶水解而残存下来(图 4). 据报道, 结合态 DNA 较难被酶水解而不被微生物所利用^[6,7,27]. 因此, 推测溶解相中存在少量较难水解的核酸, 可能为胶体结合态, 比如与水合金属氧化物纳米颗粒结合的.



b. 生物可利用的; c. 胶体结合态; p. 颗粒态

图 4 各培养体系核酸的形态百分比分配及其随盐度的变化

Fig. 4 Percentage of different forms of nucleic acids in each cultivation system and their variations with salinity

3 结论

在河口海岸水域中, 营养盐和溶解有机质的存在使得溶解态核酸的微生物利用发生延滞, 而盐度等因素对 DNA 的相态分配与微生物利用性影响显著, 但对 RNA 影响不大. 当自由溶解态核酸(DNA 和 RNA) 进入水体后, 其存在形态百分比分配、微生物可利用性均发生变化. 与 DNA 相比, 更多的 RNA 仍然以自由溶解态存在而可被微生物所利用;

大概还有 5% ~ 10% 以结合态形式仍存在溶解相中, 可能是与生物惰性溶解有机质(例如微生物活动产生的类蛋白质) 相结合而难于被微生物利用.

参考文献:

- [1] Brum J R, Steward G F, Karl D M. A novel method for the measurement of dissolved deoxyribonucleic acid in seawater[J]. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2004, **2**: 248-255.
- [2] Bailiff M D, Karl D M. Dissolved and particulate DNA dynamics during a spring bloom in the Antarctic Peninsula region, 1986-1987[J]. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 1991, **38**(8-9): 1077-1095.
- [3] Paul J H, Jeffrey W H, Cannon J P. Production of dissolved DNA, RNA, and protein by microbial populations in a Florida reservoir[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1990, **56**(10): 2957-2962.
- [4] Karl D M, Bailiff M D. The measurement and distribution of dissolved nucleic acids in aquatic environments[J]. *Limnology and Oceanography*, 1989, **34**(3): 543-558.
- [5] Paul J H, Cazares L H, David A W, et al. The distribution of dissolved DNA in an oligotrophic and a eutrophic river of Southwest Florida[J]. *Hydrobiologia*, 1991, **218**(1): 53-63.
- [6] Siuda W, Chróst R J. Concentration and susceptibility of dissolved DNA for enzyme degradation in lake water-some methodological remarks[J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2000, **21**(2): 195-201.
- [7] Brum J R. Concentration, production and turnover of viruses and dissolved DNA pools at Stn ALOHA, North Pacific subtropical gyre[J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2005, **41**(2): 103-113.
- [8] DeFlaun M F, Paul J H, Davis D. Simplified method for dissolved DNA determination in aquatic environments [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1986, **52**(4): 654-659.
- [9] Meyer J L, Edwards R T, Risley R. Bacterial growth on dissolved organic carbon from a blackwater river[J]. *Microbial Ecology*, 1987, **13**(1): 13-29.
- [10] Tranvik L J. Bacterioplankton growth on fractions of dissolved organic carbon of different molecular weights from humic and clear waters [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1990, **56**(6): 1672-1677.
- [11] Amon R M W, Benner R. Rapid cycling of high-molecular-weight dissolved organic matter in the ocean[J]. *Nature*, 1994, **369**(6481): 549-552.
- [12] Amon R M W, Benner R. Bacterial utilization of different size classes of dissolved organic matter [J]. *Limnology and Oceanography*, 1996, **41**(1): 41-51.
- [13] Jørgensen N G, Jacobsen C S. Bacterial uptake and utilization of dissolved DNA[J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 1996, **11**(3): 263-270.
- [14] 阚金军, 孙军. 河口细菌群落多样性及其控制因素: 以切萨皮克湾为例[J]. *生物多样性*, 2011, **19**(6): 770-778.

- [15] Langenheder S, Kisand V, Wikner J, *et al.* Salinity as a structuring factor for the composition and performance of bacterioplankton degrading riverine DOC [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2003, **45**(2): 189-202.
- [16] Helms J R, Stubbins A, Ritchie J D, *et al.* Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter[J]. *Limnology and Oceanography*, 2008, **53**(3): 955-969.
- [17] 蔡明红, 肖宜华, 王峰, 等. 北极孔斯峡湾表层沉积物中溶解有机质的来源与转化历史[J]. *海洋学报*, 2012, **34**(6): 102-113.
- [18] Stedmon C A, Bro R. Characterizing dissolved organic matter fluorescence with parallel factor analysis: a tutorial [J]. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2008, **6**: 572-579.
- [19] Khanna M, Stotzky G. Transformation of *Bacillus subtilis* by DNA bound on montmorillonite and effect of DNase on the transforming Ability of bound DNA [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1992, **58**(6): 1930-1939.
- [20] Gallori E, Bazzicalupo M, Canto L D, *et al.* Transformation of *Bacillus subtilis* by DNA bound on clay in non-sterile soil[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 1994, **15**(1-2): 119-126.
- [21] Huang Q H, Kaiser K, Benner R. A simple high performance liquid chromatography method for the measurement of nucleobases and the RNA and DNA content of cellular material [J]. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2012, **10**: 608-616.
- [22] Saeki K, Sakai M, Wada S I. DNA adsorption on synthetic and natural allophanes[J]. *Applied Clay Science*, 2010, **50**(4): 493-497.
- [23] Taylor D H, Wilson A T. The adsorption of yeast RNA by allophane[J]. *Clays and Clay Minerals*, 1979, **27**(4): 261-268.
- [24] Greaves M P, Wilson M J. The adsorption of nucleic acids by montmorillonite[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1969, **1**(4): 317-323.
- [25] Paget E, Monrozier L J, Simonet P. Adsorption of DNA on clay minerals; protection against DNase I and influence on gene transfer[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 1992, **97**(1-2): 31-40.
- [26] 王镜岩, 朱圣庾, 徐长法. 生物化学(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [27] Jiang S C, Paul J H. Viral contribution to dissolved DNA in the marine environment as determined by differential centrifugation and kingdom probing [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1995, **61**(1): 317-325.

CONTENTS

Observation of Size Distribution of Atmospheric OC/EC in Tangshan, China	GUO Yu-hong, XIN Jin-yuan, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (2497)
Changing Characteristics of the Main Air Pollutants of the Dongling Mountain in Beijing	YU Yang-chun, HU Bo, WANG Yue-si (2505)
Characteristic Comparative Study of Particulate Matters in Beijing Before and During the Olympics	ZHANG Ju, OUYANG Zhi-yun, MIAO Hong, <i>et al.</i> (2512)
Characteristics and Impact Factors of O ₃ Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin (2519)
Studies on the Size Distribution of Airborne Microbes at Home in Beijing	FANG Zhi-guo, SUN Ping, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (2526)
Emission Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Residential Coal Combustion and Its Influence Factors	HAI Ting-ting, CHEN Ying-jun, WANG Yan, <i>et al.</i> (2533)
Experimental Research on Alcohols, Aldehydes, Aromatic Hydrocarbons and Olefins Emissions from Alcohols Fuelled Vehicles	ZHANG Fan, WANG Jian-hai, WANG Xiao-cheng, <i>et al.</i> (2539)
Combination Process of Microwave Desorption-Catalytic Combustion for Toluene Treatment	CAO Xiao-qiang, ZHANG Hao, HUANG Xue-min (2546)
Removal of BTEX by a Biotrickling Filter and Analysis of Corresponding Bacterial Communities	LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (2552)
Source Profile of Volatile Carbonyl Compounds in Wastewater Treatment Plant of an Oil Refinery	ZHOU Bo-yu, LIU Wang, WANG Bo-guang, <i>et al.</i> (2560)
Distribution and Air-Sea Fluxes of Methane in the Yellow Sea and the East China Sea in the Spring	CAO Xing-peng, ZHANG Gui-ling, MA Xiao, <i>et al.</i> (2565)
Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao	DONG Chun-ying, YU Zuo-ming, WU Zhi-xu, <i>et al.</i> (2574)
Effects of Land Use Structure on Water Quality in Xin'anjiang River	CAO Fang-fang, LI Xue, WANG Dong, <i>et al.</i> (2582)
Canonical Correspondence Analysis Between Phytoplankton Community and Environmental Factors in Macrophytic Lakes of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	MENG Rui, HE Lian-sheng, GUO Long-gen, <i>et al.</i> (2588)
Microbial Bioavailability of Dissolved Nucleic Acids Across the Estuarine Salinity Gradient	YANG Qing-qing, LI Peng-hui, HUANG Qing-hui (2597)
Elementary Quantitative Study on Factors of Phytoplankton Bloom	ZHANG Zhuo, SONG Zhi-yao, HUANG Chang-chun, <i>et al.</i> (2603)
Spatiotemporal Succession of Algae Functional Groups and the Influence of Environment Change in a Deep-water Reservoir	LU Jin-suo, HU Ya-pan (2611)
Hyperspectral Remote Sensing of Total Suspended Matter Concentrations in Lake Taihu Based on Water Optical Classification	ZHOU Xiao-yu, SUN De-yong, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (2618)
Application of Subwet Model in the Design of Constructed Wetland	LI Hui-feng, HUANG Jin-hui, LIN Chao (2628)
Allelopathic Effect of <i>Nelumbo nucifera</i> Stem and Leaf Tissue Extract on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and <i>Scenedesmus quadricauda</i>	HE Lian-sheng, MENG Fan-li, DIAO Xiao-jun, <i>et al.</i> (2637)
Influence of <i>Vallisneria spiralis</i> on the Physicochemical Properties of Black-odor Sediment in Urban Sluggish River	XU Kuan, LIU Bo, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (2642)
Removal of Cr(VI) by Iron Filings with Microorganisms to Recover Iron Reactivity	TANG Jie, WANG Zhuo-xing, XU Xin-hua (2650)
Degradation of Phenol with a Fe/Cu-Catalytic Heterogeneous-Fenton Process	YANG Yue-zhu, LI Yu-ping, YANG Dao-wu, <i>et al.</i> (2658)
Effect of Different Forms of Inorganic Nitrogen on the Photodegradation of Antipyrine in Water	ZHAO Qian, CHEN Chao, FENG Li, <i>et al.</i> (2665)
Degradation Mechanisms of Dimethyl Phthalate in the UV-H ₂ O ₂ System	LIU Qing, CHEN Cheng, CHEN Hong-zhe, <i>et al.</i> (2670)
Adsorption of Cd ²⁺ Ions in Aqueous by Diamine-Modified Ordered Mesoporous SBA-15 Particles	ZHANG Meng, YANG Ya-ti, QIN Rui, <i>et al.</i> (2677)
Surface Organic Modification of Acid Vermiculite and Its Adsorption of Hydrophobic Micro Pollutants in Aqueous Solutions	JIANG Zheng-ming, YU Xu-biao, HU Yun, <i>et al.</i> (2686)
Preparation of Porous Ceramics Based on Waste Ceramics and Its Ni ²⁺ Adsorption Characteristics	ZHANG Yong-li, WANG Cheng-zhi, SHI Ce, <i>et al.</i> (2694)
Perchlorate Removal from Underground Water by Anaerobic Biological Reduction with Bark	WANG Rui, LIU Fei, CHEN Nan, <i>et al.</i> (2704)
Experimental Study on the Remediation of Chromium Contaminated Groundwater with PRB Media	ZHU Wen-hui, DONG Liang-fei, WANG Xing-run, <i>et al.</i> (2711)
Removal of Calcium and High-strength Ammonia Nitrogen from the Wastewater of Rare-earth Elements Hydrometallurgical Process by Chemical Precipitation	WANG Hao, CHENG Guan-wen, SONG Xiao-wei, <i>et al.</i> (2718)
Leaching Kinetics of Josephinite Tailings with Sulfuric Acid	CHEN An-an, ZHOU Shao-qi, HUANG Peng-fei (2729)
Effects of HRT on Fate of Typical Polycyclic Musk by A ² O Process	LIU Peng-cheng, HUANG Man-hong, CHEN Dong-hui, <i>et al.</i> (2735)
Kinetic Simulation of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Fermentation Broth as Carbon Source	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (2741)
Effluent Carbon Source Improvement and Sludge Reduction by Hydrolysis Reactor with Enhanced Sludge Utilization	XIONG Ya, WANG Qiang, SONG Ying-hao, <i>et al.</i> (2748)
Optimization of Extracellular Polymeric Substance Extraction Method and Its Role in the Dewaterability of Sludge	ZHOU Jun, ZHOU Li-xiang, WONG Woo-chung (2752)
Effectiveness of Arsenite Adsorption by Ferric and Alum Water Treatment Residuals with Different Grain Sizes	LIN Lu, XU Jia-rui, WU Hao, <i>et al.</i> (2758)
Regional Differences and Development Tendency of Livestock Manure Pollution in China	QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, <i>et al.</i> (2766)
Quantitative Partitioning of Soil Selenium in the Selenium-Rich Area of Northern Zhejiang Plain	XU Ming-xing, PAN Wei-feng, CENG Jing, <i>et al.</i> (2775)
Effects of Land Use on Manganese Distribution and Fractions in Wetland Soil of Sanjiang Plain, Northeast China	ZHANG Zhong-sheng, LU Xian-guo, SONG Xiao-lin (2782)
Research on Vertical Distribution Pattern and Reserve of Organic Carbon in Paddy Field Soil of Qiangou, Jilin	TANG Jie, ZHANG Wen-hui, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (2788)
Soil Organic Carbon Sequestration Rate and Its Influencing Factors in Farmland of Guanzhong Plain; A Case Study in Wugong County, Shanxi Province	ZHANG Xiao-wei, XU Ming-xiang (2793)
Effects of Biological Regulated Measures on Active Organic Carbon and Erosion-Resistance in the Three Gorges Reservoir Region Soil	HUANG Ru, HUANG Lin, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (2800)
Quantifying Soil Autotrophic Microbes-Assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	SHI Ran, CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, <i>et al.</i> (2809)
Analysis of Soil Respiration and Influence Factors in Wheat Farmland Under Conservation Tillage in Southwest Hilly Region	ZHANG Sai, ZHANG Xiao-yu, WANG Long-chang, <i>et al.</i> (2815)
Distribution Characteristics and Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Soil from Relocation Areas of the Danjiangkou Reservoir	LI Zi-cheng, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2821)
Risk Assessment and Countermeasure of BTEX in Pesticide Factory	PANG Bo, WANG Tie-yu, DU Li-yu, <i>et al.</i> (2829)
Accumulation of S, Fe and Cd in Rhizosphere of Rice and Their Uptake in Rice with Different Water Managements	ZHANG Xue-xia, ZHANG Xiao-xia, ZHENG Yu-ji, <i>et al.</i> (2837)
Effects of Nitrate on Organic Removal and Microbial Community Structure in the Sediments	LIU Jin, DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (2847)
Zero-Valent Iron-Enhanced Azoreduction by the <i>Shewanella decolorationis</i> S12	ZHOU Qing, CHEN Xing-juan, GUO Jun, <i>et al.</i> (2855)
Isolation, Identification of Two Aerobic Denitrifiers and Bioaugmentation for Enhancing Denitrification of Biofilm Under Oligotrophic Conditions	QUAN Xiang-chun, CEN Yan, QIAN Yin (2862)
Rapid Enrichment and Cultivation of Denitrifying Phosphate-Removal Bacteria and Its Identification by Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization Technology	LIU Li, TANG Bing, HUANG Shao-song, <i>et al.</i> (2869)
Identification of a Denitrifying Polyphosphate-accumulating Organism (DPAO) and Study on Its Denitrifying Functional Genes	ZHANG Qian, WANG Hong-yu, SANG Wen-jiao, <i>et al.</i> (2876)
Isolation and Characterization of a Highly Efficient BBP-degrading Bacterium	CHEN Hu-xing, YANG Xue, ZHANG Kai, <i>et al.</i> (2882)
Degradation of Nicosulfuron by Combination Effects of Microorganisms and Chemical Hydrolysis	ZHANG Xiao-lin, LI Yong-mei, YUAN Zhi-wen (2889)
Isolation, Screening and Identification of Prometryne-Degrading Bacteria and Their Degrading Characteristics	ZHOU Ji-hai, SUN Xiang-wu, HU Feng, <i>et al.</i> (2894)
Preparation of PVA-SA-PHB-AC Composite Carrier and <i>m</i> -Cresol Biodegradation by Immobilized <i>Lysinibacillus cresolivorans</i>	LI Ting, REN Yuan, WEI Chao-hai (2899)
Extraction of Surface Active Substance and Analysis of Demulsifying Characteristics for the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, ZHANG Shu-cong, PENG Kai-ming, <i>et al.</i> (2906)
Diversity of Culturable Filamentous Bacteria in the Activated Sludge from A ² O Wastewater Treatment Process	GAO Sha, JIN De-cai, ZHAO Zhi-rui, <i>et al.</i> (2912)
Composition and Transformation of Leachates During Municipal Solid Waste Composting	LI Dan, HE Xiao-song, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (2918)

《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)

2013年7月15日 34卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 7 Jul. 15, 2013

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