

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第4期

Vol.33 No.4

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

碳同位素比技术定量估算城市大气 CO ₂ 的来源	刘卫, 位楠楠, 王广华, 姚剑, 曾友石, 范雪波, 耿彦红, 李燕 (1041)
广州大气降水中稳定同位素对 2008 年初华南地区冰雪灾害期间水汽来源的反映	廖聪云, 钟巍, 马巧红, 薛积彬, 尹焕玲, 龙昆 (1050)
北京雾霾天气期间气溶胶光学特性	于兴娜, 李新妹, 登增然登, 德庆央宗, 袁帅 (1057)
白马泉风景区夏季大气 PM _{2.5} 中二次有机物的初步研究	代东决, 李黎, 刘子芳, 赵敏, 冯加良, 赖玮, 曾燕梅, 周宇, 刘露云, 邓仕槐 (1063)
机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性	乔月珍, 王红丽, 黄成, 陈长虹, 苏雷燕, 周敏, 徐骅, 张钢锋, 陈宜然, 李莉, 陈明华, 黄海英 (1071)
法国梧桐叶片氮含量及氮同位素对城市大气湿沉降氮的响应研究	王燕丽, 肖化云, 肖红伟 (1080)
胶州湾及邻近海域表层海水中一氧化氮浓度分布及其影响因素探讨	薛超, 刘春颖, 杨桂朋, 祝陈坚, 张洪海 (1086)
基于不确定性分析的太湖水体多环芳烃的生态风险评价	郭广慧, 吴丰昌, 何宏平, 冯承莲, 张瑞卿, 李会仙 (1091)
流域水质时空分布特征及其影响因素初析	黄金良, 黄亚玲, 李青生, 周增荣, 冯媛, 张祯宇 (1098)
潮白河周丛生物群落元素组成与水质变化的生态计量学关系研究	崔经国, 单保庆, 王帅 (1108)
春季盘溪水质日变化规律及水质评价	张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强 (1114)
西南喀斯特流域风化作用季节性变化研究	肖琼, 沈立成, 杨雷, 伍坤宇, 陈展图 (1122)
三峡水库开县消落区水域冬季蓄水期间藻类群落结构与水质评价	郭劲松, 谢丹, 李哲, 陈园, 孙志禹, 陈永柏, 龙曼 (1129)
淀山湖水华高发期浮游植物群落变化特征研究	徐春燕, 杨洁, 马明睿, 胡雪芹, 由文辉 (1136)
三峡库区典型消落带草本植物氮磷养分浸泡释放实验	王建超, 朱波, 汪涛, 易礼军 (1144)
沂蒙山区典型小流域特殊降雨的磷素输出特征	李振伟, 于兴修, 刘前进, 井光花 (1152)
合肥城区地表灰尘氮磷形态分布及生物有效性	李如忠, 周爱佳, 童芳, 李峰, 钱家忠 (1159)
鹤地水库沉积物营养盐及重金属分布和污染特征分析	张华俊, 陈修康, 韩博平, 罗勇, 杨浩文, 曾艳, 陈敬安 (1167)
三门峡库区河流湿地沉积物重金属赋存形态和风险评价	敖亮, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (1176)
黄河三角洲滨海湿地表层沉积物重金属区域分布及生态风险评价	刘志杰, 李培英, 张晓龙, 李萍, 朱龙海 (1182)
竺山湾重金属污染底泥环保疏浚深度的推算	姜霞, 王雯雯, 王书航, 金相灿 (1189)
雷州近海、流沙湾和深圳湾沉积物 PAHs 污染特征分析	赵利容, 孙省利, 柯盛 (1198)
中国与印度典型城市道路街尘中多环芳烃与黑碳的对比研究	潘苏红, 张千, 孙亚莉, 解启来 (1204)
三江平原典型灌区井灌地下水中铁的随水迁移特征	邹元春, 于晓菲, 霍莉莉, 吕宪国, 姜明 (1209)
海水淡化水在既有管网输配的铁释放控制研究	田一梅, 刘扬, 赵鹏, 单金林, 杨所印, 刘伟 (1216)
新生态铁的混凝作用探索	杨雪, 张景成, 关小红 (1221)
饮用水中甲羟孕酮的臭氧氧化降解研究	岳婵媛, 缪恒峰, 任洪艳, 阮文权 (1227)
核壳式磁性碳纳米吸附剂的制备及其对水环境中金霉素的吸附研究	王懿萱, 张娣, 牛红云, 孟昭福, 蔡亚岐 (1234)
络合-超滤耦合工艺去除水中镍离子的研究	秦妹, 邵嘉慧, 何义亮, 李雯玺 (1241)
赤铁矿光助类 Fenton 降解有毒有机污染物	张钰, 顾彦, 杨慧, 何燕, 李瑞萍, 黄应平, 张爱清 (1247)
掺氮 Ta ₂ O ₅ 诱发可见光-类 Fenton 体系降解阿特拉津研究	赵璐, 邓一荣, 杜瑛珣, 傅翔 (1252)
O ₃ /H ₂ O ₂ 降解水中扑灭通效能研究	李绍峰, 孙楚 (1260)
Pr-N 共掺杂 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿动力学	沙爽, 周少奇, 张小娜, 周晓 (1267)
铜陵相思谷尾矿用于处理酸性矿山排水的实验研究	张楠, 陈天虎, 周跃飞, 黎少杰, 金杰, 王延明 (1272)
聚合铝铁对 A ² /O 系统 EPS 及生物絮凝性能的影响	温沁雪, 刘爱翠, 陈志强, 施汉昌, 吕炳南 (1278)
温度对污水脱氮系统污染物去除效果及氧化亚氮释放的影响	张婷婷, 张建, 杨芳, 谢慧君, 胡振, 李一冉 (1283)
温度对厌氧氨氧化反应器脱氮效能稳定性的影响	李祥, 黄勇, 郑宇慧, 袁怡, 李大鹏, 潘杨, 张春蕾 (1288)
好氧颗粒污泥处理制糖工业废水厌氧出水的除磷特性研究	王硕, 于水利, 时文歆, 暴瑞玲, 衣雪松, 李建政 (1293)
除磷颗粒污泥系统中不同粒径颗粒的理化特性分析	李志华, 张玉蓉, 杨帆, 李胜, 姬晓琴 (1299)
利用氧化亚氮还原酶基因 (nosZ) 评价人工湿地系统中的反硝化菌	王晓君, 陈少华, 张兆基, 肖俊超 (1306)
紫外诱变法提高好氧反硝化菌降解性能的研究	于佳佳, 陈浚, 杨宣, 陈建孟 (1313)
1 株异养硝化菌胞外聚合物的研究	陈哲, 张斌, 湛志强, 邱志刚, 郭迎庆, 李君文, 王景峰 (1318)
氨氮对稀有鮟鮓胚胎及卵黄囊期仔鱼的毒性效应研究	王志坚, 鲁增辉, 石萍 (1323)
多年蔬菜连作对土壤氨氧化微生物群落组成的影响	孟德龙, 杨扬, 伍延正, 吴敏娜, 秦红灵, 朱亦君, 魏文学 (1331)
生物质炭施用对土壤中氯虫苯甲酰胺吸附及消解行为的影响	王廷廷, 余向阳, 沈燕, 张超兰, 刘贤进 (1339)
水稻光合同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C连续标记法	聂三安, 周萍, 葛体达, 童成立, 肖和艾, 吴金水, 张杨珠 (1346)
油田污染土壤残油组成与特征参数分析	王坚, 张旭, 李广贺 (1352)
挥发性氯代烃在湿润土壤中的平衡吸附研究	孟凡勇, 刘锐, 小林刚, 万梅, 余素林, 陈吕军 (1361)
田间土壤外源铜镍在小麦中的累积及其毒害研究	黄锦孙, 韦东普, 郭雪雁, 马义兵 (1369)
中国磷消费结构的变化特征及其对环境磷负荷的影响	马敦超, 胡山鹰, 陈定江, 李有润 (1376)
基于 3MRA 模型的填埋场安全填埋废物污染物阈值评估方法与应用研究	袁英, 席北斗, 何小松, 魏自民, 李鸣晓, 姜永海, 苏婧, 安达 (1383)
填埋垃圾初始含水率对渗滤液产量的影响及修正渗滤液产量计算公式	兰吉武, 詹良通, 李育超, 陈云敏 (1389)
生物反应器填埋场中邻苯二甲酸二丁酯的迁移转化	方程冉, 龙於洋, 沈东升 (1397)
岩溶区峰丛洼地植被指数的克里格分析	杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 曹建华, 罗为群, 李文军, 段晓芳 (1404)
《环境科学》征订启事 (1062) 《环境科学》征稿简则 (1107) 信息 (1135, 1215, 1396)	

1 株异养硝化菌胞外聚合物的研究

陈哲^{1,2}, 张斌², 谌志强², 邱志刚², 郭迎庆¹, 李君文², 王景峰^{2*}

(1. 常州大学安全与环境工程学院, 常州 213164; 2. 军事医学科学院卫生学环境医学研究所, 天津 300050)

摘要: 研究异养硝化菌(*Acinetobacter* sp. YY-5)在不同生长时期胞外聚合物(EPS)组成成分及其变化规律. 利用热处理提取YY-5菌的EPS, 分析该菌株在不同生长时期EPS组分, 包括蛋白质、总糖、核酸和游离氨基酸等. 并进一步把蛋白质水解成氨基酸, 分析其氨基酸的变化规律及其对蛋白质理化性质的影响. 结果表明, 该菌株具有较高含量的EPS, 且其在稳定期时EPS含量最高. 在不同时期分泌的EPS组分均以蛋白质为主. EPS中各组分含量及其变化规律与该菌生长状态密切相关, 在该菌株生长过程中, EPS中各组分的变化情况: 蛋白质从14.599 mg·g⁻¹增加到28.489 mg·g⁻¹后减少为15.139 mg·g⁻¹; 总糖从6.757 mg·g⁻¹增加到10.199 mg·g⁻¹后减少为7.857 mg·g⁻¹. 核酸从1.56 mg·g⁻¹一直增加到6.287 mg·g⁻¹; 游离氨基酸从3.713 mg·g⁻¹增加到4.374 mg·g⁻¹后减少为1.299 mg·g⁻¹. 蛋白质水解后, 其中极性氨基酸呈先增加后减少的趋势, 非极性氨基酸一直呈增加趋势; 在生长过程中一直以带负电的氨基酸占优.

关键词: 胞外聚合物; 异养硝化菌; 生长时期; 蛋白质; 游离氨基酸

中图分类号: X172; X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)04-1318-05

Characteristics of the Extracellular Polymeric Substances of a Heterotrophic Nitrifying Bacterium Strain

CHEN Zhe^{1,2}, ZHANG Bin², SEN Zhi-qiang², QIU Zhi-gang², GUO Yin-qing¹, LI Jun-wen², WANG Jing-feng²

(1. School of Environmental and Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China; 2. Institute of Hygiene and Environmental Medicine Academy of Military Medical Sciences, Tianjin 300050, China)

Abstract: To study the variation of extracellular polymers substances (EPS) composition of the heterotrophic denitrifying bacteria (*Acinetobacter* sp. YY-5) at different growth stages, The EPS of YY-5 was extracted by thermal, and the composition of protein, polysaccharides, nucleic acid and free amino acids were analyzed at different growth stages. Subsequently, the proteins in extracts were hydrolyzed into amino acids, the amino acid's changes and effect on physical and chemical properties of proteins were investigated. The results showed the strain has a high EPS contents which mainly consist of proteins, and the EPS content achieved the highest value at stable stage. The amount of proteins increased from 14.599 mg·g⁻¹ to 28.489 mg·g⁻¹, then declined to 15.139 mg·g⁻¹. Polysaccharides content increased from 6.757 mg·g⁻¹ to 10.199 mg·g⁻¹, then declined to 7.857 mg·g⁻¹. The nucleic acid contents increased from 1.56 mg·g⁻¹ to 6.287 mg·g⁻¹ in the whole growth stages. The free amino acids contents increased from 3.713 mg·g⁻¹ to 4.374 mg·g⁻¹, then obviously declined to 1.299 mg·g⁻¹. After the proteins were hydrolyzed into amino acids, the amount of polar amino acids showed the trend that increased earlier and declined later, the contents of nonpolar amino acids increased at all growth stages. The amino acids with negative charges were more than that with the positive.

Key words: extracellular polymeric substances(EPS); heterotrophic denitrifying bacteria; growth periods; proteins; free amino acids

废水生物脱氮是目前水污染控制领域的研究热点之一, 其中对异养硝化菌作用的研究, 是对传统硝化/反硝化理论的丰富与突破. 异养硝化菌生长速率快, 通常对氨氮去除效率较高, 并且对环境适应能力较强, 这些使异养硝化作用日益受到关注^[1~3]. 1998年Richardson等^[4]就对异养硝化菌脱氮途径做了深入探讨, 认为异养硝化菌可以利用相应的酶作用将氨氮转换为亚硝酸盐, 同时异养硝化菌还有一定的反硝化能力, 可以将硝酸盐在周质硝酸盐还原酶(NAP)作用下还原为亚硝酸盐, 亚硝酸盐再通过一系列好养反硝化酶的作用最终转换成N₂.

胞外聚合物(EPS)是细菌分泌的、广泛分布于

细胞表面的高分子物质, 作为细胞荚膜和细胞周围黏液物质的主要成分, 其有利于微生物絮凝. EPS的主要成分可以改变微生物细胞表面特性, 且对活性污泥的形成和微生物聚集体形态特征有着至关重要的影响作用^[5~8]. 目前对于微生物聚集体EPS的研究报道较多, 然而针对异养硝化菌EPS分泌特征研究很少, 而EPS特点往往是异养硝化菌能否形成絮体的制约条件; 不仅如此, 对于异养硝化菌EPS的研究对深入认知菌株的生长特点也具有非常重要的

收稿日期: 2011-06-26; 修订日期: 2011-08-31

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2009AA06Z312)

作者简介: 陈哲(1983~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水污染控制.

* 通讯联系人, E-mail: wangjingfeng0116@163.com

意义. 因此, 本文在前期研究的基础上^[9~11], 对实验室已经分离、鉴定的 1 株典型异养硝化菌的 EPS 组分和特征进行深入研究, 并探讨该菌株在不同生长时期下 EPS 的变化规律.

1 材料与方法

1.1 异养硝化菌的来源

选取实验室保存的 YY-5 菌株, 将该菌株接种于经高压灭菌的肉汤培养基中, 在 $120 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 37°C 的条件下培养, 从培养 12 h 后开始取样, 取样 6 次, 每次间隔 12 h.

1.2 EPS 的提取

选取生长状态良好的细菌, 用 0.85% 的生理盐水洗涤 3 次. 分别在 60、70、80 及 90°C 下提取, 研究温度及时间对 EPS 提取效果的影响, EPS 提取效果以多糖和蛋白质的含量表征, 提取方法对细胞的破坏程度以核酸含量表征^[12,13].

1.3 分析项目及方法

细菌的干重 (MLVSS) 采用重量法^[14]; 蛋白质

采用修正的 Lowry 法; 总糖采用蒽酮法; 核酸采用二苯胺显色法^[15]; 总氨基酸和游离的氨基酸采用 L-8800 型氨基酸自动分析仪分析^[16].

2 结果与讨论

2.1 温度对 EPS 提取效果的影响

温度对 EPS 提取效果如图 1 所示. 随着提取温度升高和时间延长, EPS 中多糖及核酸含量均逐渐增大. 前 20 min 蛋白质含量都呈增加的趋势, 20 min 后呈减少的趋势. 这主要是由于总糖及核酸热稳定性较强, 而蛋白质在热处理过程中随着时间的延长和温度的升高, 有部分凝固变性^[17]. 在 80、 90°C 时提取的 EPS 中核酸含量过高, 主要是由于细胞的破坏较严重而造成胞内物质溶出; 在 60°C 时提取的 EPS 含量较低, EPS 的提取不完全; 在 70°C , 20 min 的条件下, 提取 EPS 中蛋白质、总糖及核酸含量分别为 25.018 、 8.746 和 $1.854 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 其中核酸占 EPS 提取量的 5.2%, 可以认为细菌没有明显的破裂且 EPS 能被较完全地提取.

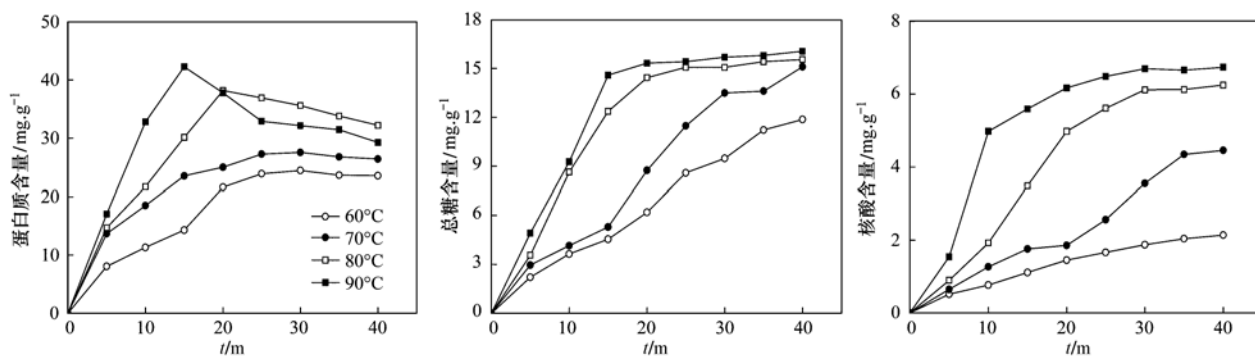


图 1 不同温度对提取 EPS 各组分的影响

Fig. 1 Effect of different temperatures on extraction EPS

2.2 不同生长时期 EPS 变化的规律

如图 2 所示, YY-5 菌在 0~8 h 细菌的干重维持在 $450 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (适应期), 8~20 h 快速增加至 $1790 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (对数期), 20~48 h 细菌的干重基本维持不变 (稳定期), 48~72 h 呈减少的趋势 (衰退期). 如图 3 所示, EPS 中蛋白质在 12~36 h 从 $14.599 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 增加到 $28.489 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 随后开始降低, 在 72 h 减少到 $15.139 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 总糖在 12~36 h 从 $6.757 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 增加到 $10.199 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 到 72 h 减少到 $7.857 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. 可能是 YY-5 菌在对数期和稳定期时生命活动旺盛, 导致总糖和蛋白质的分泌量增加; 在生长后期生命代谢减慢, 导致总糖和蛋白质的分泌减少^[18,19]. 另外生长过程中分泌的核酸呈

逐渐增加的趋势, 核酸的含量从 $1.56 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 增加到 $6.287 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. 该菌株在生长过程中分泌的 EPS 中主要成分是蛋白质, 这与刘燕等^[20]研究的细菌在以蛋白胨为底物时 EPS 中蛋白质的含量最多一致.

2.3 EPS 中氨基酸的特征

2.3.1 EPS 中游离氨基酸

游离氨基酸是能被细菌直接利用的小分子物质, 而且一些氨基酸还对维持细菌的生命活动有重要的意义^[21]. 如表 1 所示, YY-5 菌分泌游离氨基酸大部分在生长初期呈增加或维持稳定的趋势, 在生长后期急剧减少. 说明当培养基中营养物质不足时, 大部分游离氨基酸能够被直接吸收利用. 如图 4 所示, 不同电性的氨基酸在不同生长时期有所变化,

EPS 中游离氨基酸在 12 h 时带负电的氨基酸占优势,但在 24 h 后带正电的氨基酸要占优势,而且其比例在逐渐增加.这会使 EPS 在生长中后期负电性减弱.另外极性氨基酸一直都占优势,且在稳定期是所占比例最大,这可能是细菌在稳定期生命活动旺盛所致.

2.3.2 EPS 中蛋白质水解后氨基酸的特征

氨基酸是蛋白质的基本组成单位,蛋白质的一级结构是由基因的序列所规定,但氨基酸的各种理化性质对蛋白质高级结构及生理功能具有重要的影响^[22~24].如表 2 所示. YY-5 菌在不同生长时期 EPS 的蛋白质水解成 17 种氨基酸后,以门冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸、赖氨酸为主要成分.苏氨酸一直呈减少趋势;甘氨酸、丙氨酸和脯氨酸一直呈增加

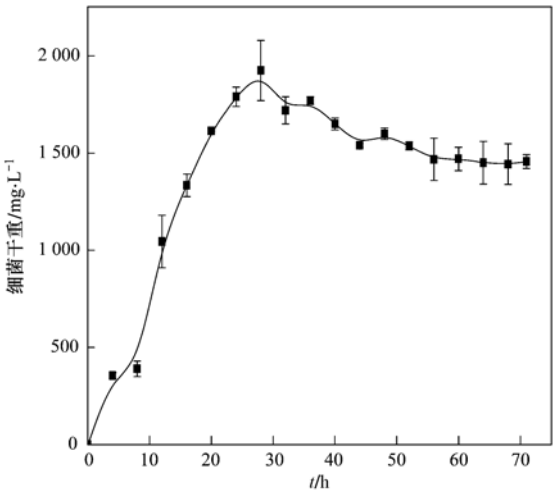


图 2 细菌在不同生长时期的干重($n=3$)

Fig. 2 Dry weight of bacterium in different growth periods($n=3$)

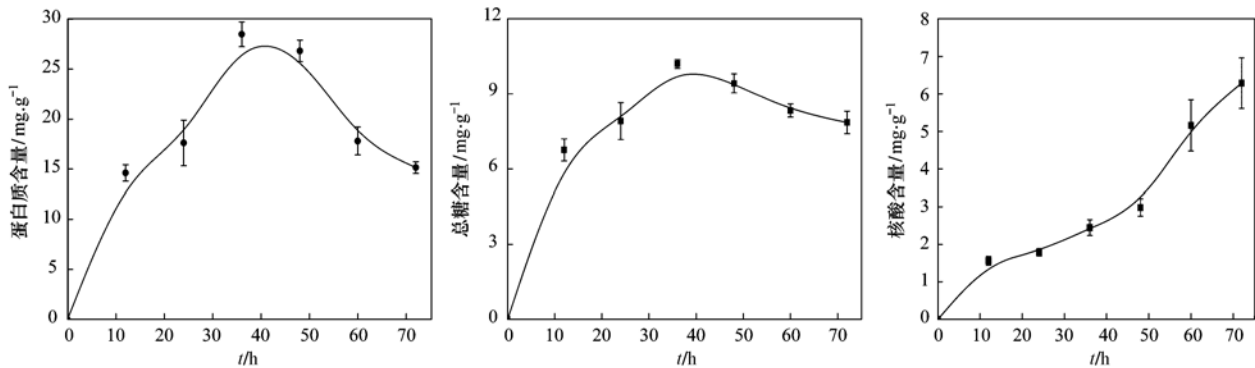


图 3 在不同生长时期 EPS 各组分的变化($n=3$)

Fig. 3 Changes of EPS in different growth periods($n=3$)

表 1 不同生长时期 EPS 中游离氨基酸的含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$

Table 1 Content of free amino acids about EPS in different growth periods/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$

氨基酸	12 h 含量	24 h 含量	36 h 含量	48 h 含量	60 h 含量	72 h 含量
门冬氨酸(Asp)	0.440	0.492	0.537	0.900	0.137	0.082
苏氨酸(Thr)	0.038	0.078	0.085	0.163	0.116	0.041
丝氨酸(Ser)	0.086	0.156	0.266	0.100	0.055	0.027
谷氨酸(Glu)	0.794	0.615	0.847	0.050	0.164	0.054
甘氨酸(Gly)	0.077	0.045	0.028	0.075	0.274	0.027
丙氨酸(Ala)	0.287	0.151	0.164	0.363	0.116	0.122
胱氨酸(Cys)	0.287	0.190	0.102	0.250	0.130	0.034
缬氨酸(Val)	0.077	0.313	0.249	0.288	0.130	0.061
蛋氨酸(Met)	0.057	0.050	0.107	0.144	0.068	0.048
异亮氨酸(Ile)	0.096	0.067	0.079	0.094	0.144	0.041
亮氨酸(Leu)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
酪氨酸(Tyr)	0.163	0.112	0.119	0.144	0.112	0.102
苯丙氨酸(Phe)	0.287	0.151	0.153	0.213	0.226	0.184
赖氨酸(Lys)	0.383	1.268	1.469	1.150	0.959	0.408
组氨酸(His)	0.029	0.022	0.028	0.031	0.062	0.020
精氨酸(Arg)	0.086	0.056	0.051	0.069	0.137	0.034
脯氨酸(Pro)	0.526	0.229	0.090	0.050	0.062	0.014

的趋势,其余的氨基酸都呈先增加后减少的趋势.说明在不同生长时期,EPS 中蛋白质种类和数量都有较大的变化.

非极性氨基酸含有非极性侧链,为疏水型氨基酸,通常会形成蛋白质的疏水内核,对维持蛋白质结构稳定有重要作用^[25,26].如图 5 所示,EPS 中蛋白

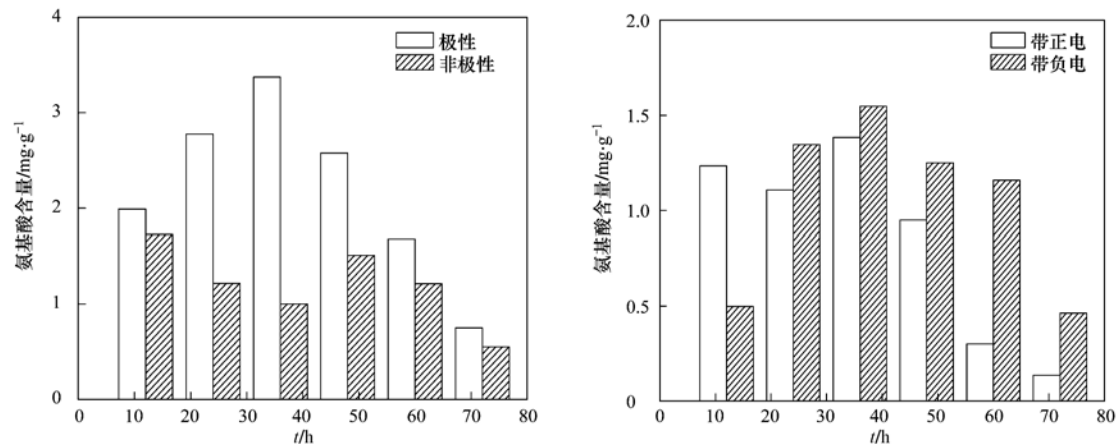


图 4 EPS 中游离氨基酸特征

Fig.4 Property of free amino acids in EPS

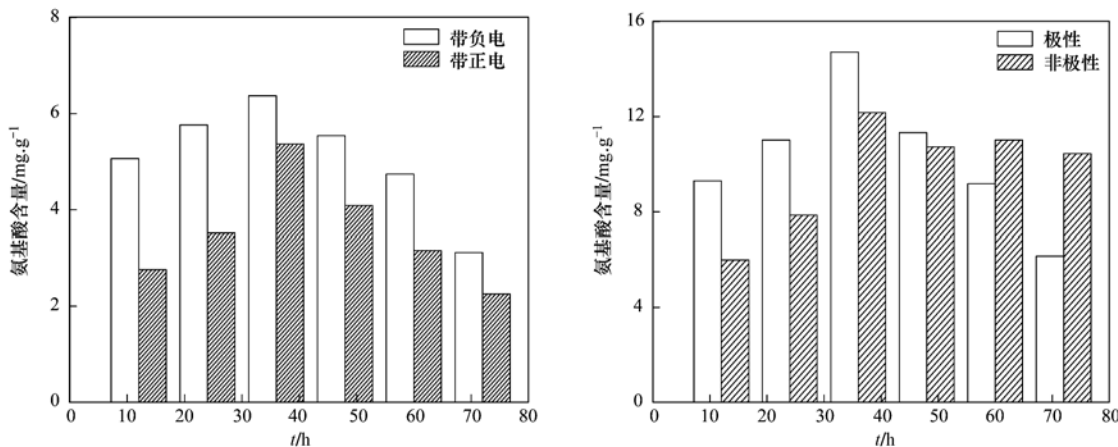


图 5 EPS 中蛋白质水解后氨基酸特征

Fig.5 Property of amino acids hydrolyzed by protein in EPS

表 2 不同时期提取 EPS 中蛋白质水解后总氨基酸含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$

Table 2 Amino acids hydrolyzed by protein of the EPS in different growth periods/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$

氨基酸	12 h 含量	24 h 含量	36 h 含量	48 h 含量	60 h 含量	72 h 含量
门冬氨酸(Asp)	1.608	1.668	2.637	2.062	1.581	1.247
苏氨酸(Thr)	0.718	0.845	0.821	0.684	0.414	0.347
丝氨酸(Ser)	0.545	0.716	1.872	0.989	0.859	0.718
谷氨酸(Glu)	3.455	4.097	3.732	3.475	3.157	2.571
甘氨酸(Gly)	2.268	3.237	3.291	4.480	4.581	3.894
丙氨酸(Ala)	0.880	1.043	3.810	1.593	2.490	2.094
胱氨酸(Cys)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
缬氨酸(Val)	0.823	1.051	1.436	1.237	0.889	0.671
蛋氨酸(Met)	0.163	0.160	0.140	0.136	0.111	0.106
异亮氨酸(Ile)	0.488	0.548	0.760	0.701	0.485	0.388
亮氨酸(Leu)	0.651	0.876	1.341	1.198	0.879	0.659
酪氨酸(Tyr)	0.354	0.381	0.587	0.299	0.202	0.159
苯丙氨酸(Phe)	0.488	0.617	0.961	0.678	0.576	0.506
赖氨酸(Lys)	1.933	2.521	3.816	2.746	2.045	1.453
组氨酸(His)	0.134	0.206	0.302	0.266	0.192	0.141
精氨酸(Arg)	0.689	0.784	1.246	1.073	0.919	0.659
脯氨酸(Pro)	0.096	0.114	0.128	0.435	0.807	0.982

质中的非极性氨基酸从 12 ~ 36 h 一直呈增加的趋势,在 36 h 后基本维持稳定;而极性氨基酸呈先增加后减少的趋势. 在 12 ~ 48 h 时极性氨基酸占优势,但是在 48 h 后非极性氨基酸占优势. 说明该 EPS 中蛋白质一部分能被分解利用,且蛋白质的稳定性在后期也比初期要高. 蛋白质中氨基酸的带电性质决定了蛋白质的带电性,而 EPS 中蛋白质水解后以带负电氨基酸占优势,说明该菌株不同生长时期 EPS 中的蛋白质都带负电.

3 结论

(1)在 70℃ 下加热 20 min,能较完全的提取出异养硝化细菌的 EPS.

(2)YY-5 菌株分泌的 EPS 中各组分含量及其变化规律与该菌生长状态密切相关,且 EPS 在稳定期含量最丰富. EPS 主要成分是蛋白质、总糖及少量的核酸和游离氨基酸.

(3)在不同时期 EPS 中游离氨基酸的种类和数量都有较大的变化,其中大部分氨基酸都在生长过程中能被细菌直接吸收利用.

(4)EPS 中蛋白质水解后的总氨基酸中,以门冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸等为主要成分. 该菌株分泌的 EPS 中蛋白质部分不稳定易分解,后期蛋白质的稳定性更高;且在不同的生长时期都带负电.

参考文献:

- [1] 温东辉,唐孝炎. 异养硝化及其在污水脱氮中的作用 [J]. 环境污染与防治, 2003, **25**(5): 283-285.
- [2] 林燕,孔海南,何义亮,等. 异养硝化细菌的分离及其硝化特性实验研究 [J]. 环境科学, 2006, **27**(2): 324-328.
- [3] Brierley E D R, Wood M. Heterotrophic nitrification in an acid forest soil: isolation and characterisation of a nitrifying bacterium [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, **33**(10): 1403-1409.
- [4] Richardson D J, Wehrfritz J M, Keech A, et al. The diversity of redox proteins involved in bacterial heterotrophic nitrification and aerobic denitrification [J]. Biochemical Society Transactions, 1998, **26**(3): 401-408.
- [5] 张丽丽,陈效,陈建孟,等. 胞外多聚物在好氧颗粒污泥形成中的作用机制 [J]. 环境科学, 2007, **28**(4): 796-799.
- [6] Liu Y Q, Liu Y, Tay J H. The effects of extracellular polymeric substances on the formation and stability of biogranules [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2004, **65**(2): 143-148.
- [7] Laspidou G S, Rittmann B E. A unified theory for extracellular polymeric substances, soluble microbial products, and active and inert biomass [J]. Water Research, 2002, **36**(11): 2711-2720.
- [8] Ni B J, Rittmann B E, Fang F, et al. Long-term formation of microbial products in a sequencing batch reactor [J]. Water Research, 2010, **44**(13): 3787-3796.
- [9] 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.
- [10] 孔庆鑫,李君文,王新为,等. 一种新的好氧反硝化菌筛选方法的建立及新菌株的发现 [J]. 应用与环境生物学报, 2005, **11**(2): 222-225.
- [11] 王景峰,金敏,湛志强,等. 1 株好氧脱氮菌的筛选与脱氮特性研究 [J]. 环境科学, 2011, **32**(8): 2409-2413.
- [12] D'Abzac P, Bordas F, Van Hullebusch E, et al. Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) from anaerobic granular sludges: comparison of chemical and physical extraction protocols [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2010, **85**(5): 1589-1599.
- [13] 方亮,张丽丽,蔡伟民. 活性污泥胞外多聚物提取方法的比较 [J]. 环境科学与技术, 2006, **29**(3): 46-48.
- [14] 马歇克 D R, 门永 J T, 布格斯 R R, 等. 蛋白质纯化与鉴定实验指南 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [15] 宁正祥. 食品成分分析手册 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [16] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法 [M]. (第三版). 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [17] 王暄,季民,王景峰,等. 好氧颗粒污泥胞外聚合物提取方法研究 [J]. 中国给水排水, 2005, **21**(8): 91-93.
- [18] 张丽丽,陈效,陈建孟,等. 胞外多聚物在好氧颗粒污泥形成中的作用机制 [J]. 环境科学, 2007, **28**(4): 795-799.
- [19] 张云霞,季民,李超,等. 好氧颗粒污泥胞外聚合物 (EPS) 的生化性研究 [J]. 环境科学, 2008, **29**(11): 3126-3129.
- [20] 刘燕,王越兴,莫华娟,等. 有机底物对活性污泥胞外聚合物的影响 [J]. 环境化学, 2004, **23**(3): 252-257.
- [21] 史春云,田晶,高鹏,等. 嗜碱微生物细胞内氨基酸的高效液相色谱测定及代谢途径分析 [J]. 分析化学, 2007, **35**(7): 1008-1010.
- [22] 易旭,王和. 沙门菌 CWDMs 氨基酸代谢的检测 [J]. 中国微生物学杂志, 2000, **12**(3): 142-144.
- [23] 史晓红,刘向荣,罗亮,等. 基于氨基酸分类的基本氨基酸秩序的研究 [J]. 生物数学学报, 2005, **20**(4): 491-495.
- [24] 阎隆飞,孙之荣. 蛋白质分子结构 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [25] 李伟伟,侯若冰,孙彦丽. 气相中疏水氨基酸的单电子氧化还原性质 [J]. 物理化学学报, 2010, **26**(10): 2771-2778.
- [26] 陈泽宪,徐辉碧. 蛋白质水解阶段对氨基酸组成分析的影响 [J]. 分析科学学报, 2002, **18**(1): 80-84.

CONTENTS

Quantitative Estimation Source of Urban Atmospheric CO ₂ by Carbon Isotope Composition	LIU Wei, WEI Nan-nan, WANG Guang-hua, <i>et al.</i> (1041)
Moisture Sources of Guangzhou During the Freezing Disaster Period in 2008 Indicated by the Stable Isotopes of Precipitation	LIAO Cong-yun, ZHONG Wei, MA Qiao-hong, <i>et al.</i> (1050)
Optical Properties of Aerosol During Haze-Fog Episodes in Beijing	YU Xing-na, LI Xin-mei, DENG Zen-grandeng, <i>et al.</i> (1057)
Secondary Organic Tracers in Summer PM _{2.5} Aerosols from Baima Spring Scenic Area, Yaan, Sichuan Province	DAI Dong-jue, LI Li, LIU Zi-fang, <i>et al.</i> (1063)
Source Profile and Chemical Reactivity of Volatile Organic Compounds from Vehicle Exhaust	QIAO Yue-zhen, WANG Hong-li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1071)
<i>Platanus orientalis</i> Foliar N% and δ ¹⁵ N Responses to Nitrogen of Atmospheric Wet Deposition in Urban Area	WANG Yan-li, XIAO Hua-yun, XIAO Hong-wei (1080)
Distribution and Controlling Factors of Nitric Oxide Concentrations in Surface Seawater of Jiaozhou Bay and Adjacent Waters	XUE Chao, LIU Chun-ying, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (1086)
Uncertainty Characterization Approaches for Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Taihu Lake	GUO Guang-hui, WU Feng-chang, HE Hong-ping, <i>et al.</i> (1091)
Preliminary Analysis of Spatiotemporal Variation of Water Quality and Its Influencing Factors in the Jiulong River Watershed	HUANG Jin-liang, HUANG Ya-ling, LI Qing-sheng, <i>et al.</i> (1098)
Ecological Stoichiometric Relationships of Periphyton Community Elemental Composition and Variations of Water Quality in the Chaobai River	CUI Jing-guo, SHAN Bao-qing, WANG Shuai (1108)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality of Panxi River in Spring	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (1114)
Weathering Seasonal Variations in Karst Valley in Southwest China	XIAO Qiong, SHEN Li-cheng, YANG Lei, <i>et al.</i> (1122)
Algal Community Structure and Water Quality Assessment on Drawdown Area of Kaixian Waters in Three Gorges Reservoir During Winter Storage Period	GUO Jing-song, XIE Dan, LI Zhe, <i>et al.</i> (1129)
Characteristics of Phytoplankton Community Changes in Dianshan Lake During Peak Period of Algal Blooms	XU Chun-yan, YANG Jie, MA Ming-rui, <i>et al.</i> (1136)
Nitrogen and Phosphorus Release from Herbaceous Vegetation Under Simulated Inundation Experiment of Water-Level Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir Area	WANG Jian-chao, ZHU Bo, WANG Tao, <i>et al.</i> (1144)
Output Characteristics of Non-point Phosphorus from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area Under the Special Rainfall	LI Zhen-wei, YU Xing-xiu, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (1152)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Urban Dusts from Hefei City	LI Ru-zhong, ZHOU Ai-jia, TONG Fang, <i>et al.</i> (1159)
Distribution and Pollution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Hedi Reservoir	ZHANG Hua-jun, CHEN Xiu-kang, HAN Bo-ping, <i>et al.</i> (1167)
Heavy Metals Distribution and Risk Assessment of Sediments in the Riverine Wetland of Sanmenxia Reservoir	AO Liang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1176)
Regional Distribution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in Surface Sediments from Coastal Wetlands of the Yellow River Delta	LIU Zhi-jie, LI Pei-ying, ZHANG Xiao-long, <i>et al.</i> (1182)
Calculation of Environmental Dredging Depth of Heavy Metal Polluted Sediments in Zhushan Bay of Taihu Lake	JIANG Xia, WANG Wen-wen, WANG Shu-hang, <i>et al.</i> (1189)
Characteristics of PAHs Pollution in Sediments from Leizhou Coastal Marine Area, Liusha Bay and Shenzhen Bay	ZHAO Li-rong, SUN Sheng-li, KE Sheng (1198)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Black Carbon in Road Dusts from Typical Cities of China and India	PAN Su-hong, ZHANG Gan, SUN Ya-li, <i>et al.</i> (1204)
Waterborne Iron Migration by Groundwater Irrigation Pumping in a Typical Irrigation District of Sanjiang Plain	ZOU Yuan-chun, YU Xiao-fei, HUO Li-li, <i>et al.</i> (1209)
Research on Controlling Iron Release of Desalted Water Transmitted in Existing Water Distribution System	TIAN Yi-mei, LIU Yang, ZHAO Peng, <i>et al.</i> (1216)
Exploration of Newly-Formed Ferric as the Coagulant	YANG Xue, ZHANG Jing-cheng, GUAN Xiao-hong (1221)
Degradation of Medroxyprogesterone in Drinking Water by Ozone Oxidation	YUE Chan-yuan, MIAO Heng-feng, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (1227)
Synthesis of Core/Shell Structured Magnetic Carbon Nanoparticles and Its Adsorption Ability to Chlortetracycline in Aquatic Environment	WANG Yi-xuan, ZHANG Di, NIU Hong-yun, <i>et al.</i> (1234)
Removal of Nickel from Aqueous Solutions Using Complexation-Ultrafiltration Process	QIN Shu, SHAO Jia-hui, HE Yi-liang, <i>et al.</i> (1241)
Degradation of Organic Pollutants by Photo-Fenton-Like System with Hematite	ZHANG Yu, GU Yan, YANG Hui, <i>et al.</i> (1247)
Study on the Degradation of Atrazine in Photo-Fenton-Like System Under Visible Light Irradiation Promoted by N-doped Ta ₂ O ₅	ZHAO Lu, DENG Yi-rong, DU Ying-xun, <i>et al.</i> (1252)
Degradation of Prometon by O ₃ /H ₂ O ₂	LI Shao-feng, SUN Chu (1260)
Photoelectrocatalytic Degradation Kinetics of Malachite Green by Pr-N Co-doped TiO ₂ Photocatalyst	SHA Shuang, ZHOU Shao-qi, ZHANG Xiao-na, <i>et al.</i> (1267)
Experimental Study on Acid Mine Drainage Treatment Using Mine Tailings of Xiangsi Valley, Tongling, China	ZHANG Nan, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (1272)
Effect of Polymeric Aluminum-iron on EPS and Bio-flocculation in A ² /O System	WEN Qin-xue, LIU Ai-cui, CHEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1278)
Effect of Temperature on Pollutant Removal and Nitrous Oxide Emission of Wastewater Nitrogen Removal System	ZHANG Ting-ting, ZHANG Jian, YANG Fang, <i>et al.</i> (1283)
Effect of Temperature on Stability of Nitrogen Removal in the ANAMMOX Reactor	LI Xiang, HUANG Yong, ZHENG Yu-hui, <i>et al.</i> (1288)
Phosphorus Removal Characteristics by Aerobic Granules in Normal Molasses Wastewater After Anaerobic Treatment	WANG Shuo, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1293)
Physicochemical Characteristics of Granules with Different Size in a Granular Sludge System for Phosphorus Removal	LI Zhi-hua, ZHANG Yu-rong, YANG Fan, <i>et al.</i> (1299)
Denitrifying Bacteria of Constructed Wetland System Based on Nitrous Oxide Reductase Gene (<i>nosZ</i>)	WANG Xiao-jun, CHEN Shao-hua, ZHANG Zhao-ji, <i>et al.</i> (1306)
Improving Degradation Ability of an Aerobic Denitrifier by Ultraviolet Mutagenesis	YU Jia-jia, CHEN Jun, YANG Xuan, <i>et al.</i> (1313)
Characteristics of the Extracellular Polymeric Substances of a Heterotrophic Nitrifying Bacterium Strain	CHEN Zhe, ZHANG Bin, SEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1318)
Study on Toxic Effects of Ammonia on Embryonic and Yolk-sac Stage Larvae of Rare minnow	WANG Zhi-jian, LU Zeng-hui, SHI Ping (1323)
Effects of Continuous Cropping of Vegetables on Ammonia Oxidizers Community Structure	MENG De-long, YANG Yang, WU Yan-zheng, <i>et al.</i> (1331)
Impact of Biochar Amendment on the Sorption and Dissipation of Chlorantraniliprole in Soils	WANG Ting-ting, YU Xiang-yang, SHEN Yan, <i>et al.</i> (1339)
Quantifying Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Photo-assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	NIE San-an, ZHOU Ping, GE Ti-da, <i>et al.</i> (1346)
Compositions and Diagnostic Ratios of Heavily Degraded Crude Oil Residues in Contaminated Soil in Oilfields	WANG Jian, ZHANG Xu, LI Guang-he (1352)
Study on Equilibrium Adsorption of Volatile Chlorinated Hydrocarbons on Humid Soils	MENG Fan-yong, LIU Rui, Kobayashi Takeshi, <i>et al.</i> (1361)
Toxicity and Accumulation of Copper and Nickel in Wheat Plants Cropped on Alkaline and Acidic Field Soils	HUANG Jin-sun, WEI Dong-pu, GUO Xue-yan, <i>et al.</i> (1369)
Change Traits of Phosphorous Consumption Structure in China and Their Effects on Environmental Phosphorous Loads	MA Dun-chao, HU Shan-ying, CHEN Ding-jiang, <i>et al.</i> (1376)
Research Based on 3MRA Model About the Risk Assessment Methods and Applications of the Landfill Waste	YUAN Ying, XI Bei-dou, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (1383)
Impacts of Initial Moisture Content of MSW Waste on Leachate Generation and Modified Formula for Predicting Leachate Generation	LAN Ji-wu, ZHAN Liang-tong, LI Yu-chao, <i>et al.</i> (1389)
Transformation of Dibutyl Phthalate in Bioreactor Landfill	FANG Cheng-ran, LONG Yu-yang, SHEN Dong-sheng (1397)
Kriging Analysis of Vegetation Index Depression in Peak Cluster Karst Area	YANG Qi-yong, JIANG Zhong-cheng, MA Zu-lu, <i>et al.</i> (1404)

《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4月15日 33卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 4 Apr. 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

国内外公开发行人