

西安市秋季大气细粒子(PM_{2.5})中化学元素的浓度特征和来源

甘小凤^{1,2}, 曹军骥^{2,3}, 王启元⁴, 沈振兴⁴, 徐红梅²

(1. 西安交通大学环境科学与技术系, 陕西西安 710049; 2. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西西安 710075; 3. 西安交通大学全球环境变化研究院, 陕西西安 710049; 4. 西安交通大学环境工程系, 陕西西安 710049)

摘要 [目的]研究西安市秋季大气细粒子(PM_{2.5})中化学元素的浓度特征及来源。[方法]于2009年10月利用微流量采样器采集西安大气中PM_{2.5}样品,分析其元素浓度特征及来源。[结果]西安市秋季大气中PM_{2.5}质量浓度的平均值为168.44 μg/m³,最小值为53.29 μg/m³,最大值为358.16 μg/m³,高于北京、珠江三角洲;PM_{2.5}中S、Zn、K、Cl、Ca、Fe的质量浓度均超过1.0 μg/m³,处于较高污染水平;PM_{2.5}中K与有机碳(OC)、元素碳(EC)的相关性较高,相关系数分别为0.76和0.75(P<0.0001),说明OC、EC与K具有相同的来源,生物质燃烧对OC、EC有一定的贡献;元素的富集因子分析表明K、Ca、Fe、Ti、Mn和Cr主要来源于地壳或岩石风化等自然源,而S、Zn、Cl、Pb、Br、Mo、Cd和As主要受人为污染源的影响,而受土壤扬尘等自然源的影响较小,其中Cd的富集因子最大,主要来源于金属冶炼等人为污染;燃煤、生物质燃烧、机动车尾气排放、冶金化工、扬尘等是该区秋季PM_{2.5}的主要来源。[结论]该研究为城市环境污染治理提供了理论依据。

关键词 大气细粒子; 化学元素; 富集因子; 因子分析

中图分类号 P435+.1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2011)19-11692-03

Concentration Characteristics and Sources of Chemical Elements in Atmospheric Fine Particles (PM_{2.5}) in Autumn in Xi'an City

GAN Xiao-feng et al (Department of Environmental Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710049)

Abstract [Objective] The aim was to study the concentration characteristics and sources of chemical elements in atmospheric fine particles (PM_{2.5}) in autumn in Xi'an City. [Method] By means of min-volume sampler, PM_{2.5} samples in atmosphere in Xi'an were collected in October 2009, and the concentration characteristics and sources of elements in PM_{2.5} were analyzed. [Result] The average mass concentration of PM_{2.5} in atmosphere in autumn in Xi'an City was 168.44 μg/m³ which was higher than that of Beijing and Pearl River Delta area, and the minimum and maximum value were 53.29 and 358.16 μg/m³, respectively. The mass concentration of S, Zn, K, Cl, Ca and Fe in PM_{2.5} was above 1.0 μg/m³, with high pollution level. In addition, K had obvious correlation with organic carbon (OC) and element carbon (EC), with the correlation coefficients of 0.76 and 0.75 (P<0.0001) respectively, and it showed that OC and EC had the same source as K, namely biomass burning had certain contribution on OC and EC. Enrichment factors analysis revealed that K, Ca, Fe, Ti, Mn and Cr came from earth crust, rock weathering and other natural sources, while anthropogenic pollution sources had great effects on S, Zn, Cl, Pb, Br, Mo, Cd and As which were affected by soil dust and other natural sources slightly, among them, Cd had the highest enrichment factor and mainly came from metal smelting. Besides, coal combustion, biomass burning, vehicle emissions, metallurgical and chemical industry and dust were the main sources of PM_{2.5} in autumn in Xi'an. [Conclusion] The study could provide theoretical foundation for the control of urban environmental pollution.

Key words Atmospheric fine particles; Chemical element; Enrichment factor; Factor analysis

大气细粒子不仅给人们的身体健康带来了严重的危害,而且还对城市能见度产生巨大的影响,并通过吸收和散射太阳辐射,直接改变地气系统的能量收支状况^[1]。另外,大气细粒子还可以通过水平输送传输到其他地区,进而影响区域大气环境^[2]。目前,有关西安市大气细粒子中化学元素含量的研究较少。因此,笔者对西安市秋季大气细粒子(PM_{2.5})中化学元素的浓度特征和来源进行分析,以期为城市环境污染治理提供理论依据。

1 研究方法

1.1 样品采集 PM_{2.5}采样点位于西安市(34°16'N, 108°54'E)西南的高新区,采样仪安置于中国科学院地球环境研究所楼顶,采样头距离地面10m,周围没有明显污染源,能较好地代表西安市大气状况。采用配有2.5 μm切割头的便携式微流量采样器(Min-vol Sampler, Airmetrics, USA)于2009年10月1日~31日采集大气中PM_{2.5}样品,共采集31个样品,采样器流量为5 L/min,所用石英滤膜直径为47 mm。

1.2 样品分析 元素组分分析采用XRF即X射线荧光光谱分析仪。有机碳(OC)、元素碳(EC)分析采用DRI Model 2001热光碳分析仪和IMPROVE(Interagency Monitoring of

Protected Visual Environments)热光反射方法。OC、EC数据质量控制采用美国沙漠所(DRI)质量控制标准,每10个样品中随机选择1个样品进行复检,如果OC、EC的偏差在10%以内,则说明该样品的分析结果是有效的。

1.3 无机元素的来源分析

1.3.1 富集因子分析。取Fe作为参比元素,西安市PM_{2.5}中元素富集因子(EF)的计算公式为^[3]:

$$EF = \frac{(C_{\text{元素}}/C_{\text{Fe}})_{\text{PM}_{2.5}}}{(C_{\text{元素}}/C_{\text{Fe}})_{\text{地壳}}}$$

式中C_{元素}/C_{Fe}为PM_{2.5}或地壳中某一元素与Fe浓度的比值。各元素浓度背景值取陕西省平均土壤背景值^[4],只有S、Cl取土壤丰度值^[5]。当EF<10时,则可认为该元素是非富集的,主要来源于地壳或岩石风化等自然源;当EF>10时,则认为该元素被富集了,主要来源于人为污染^[6]。

1.3.2 最大方差旋转因子分析。受体模型是解析大气颗粒物中化学组分来源的一种重要方法,被广泛应用于粒子源解析研究^[7]。应用SPSS软件对西安市秋季PM_{2.5}中化学元素的浓度进行最大方差旋转因子分析。

2 结果与分析

2.1 PM_{2.5}中化学元素的组成特征 表1表明,2009年秋季西安市大气中PM_{2.5}的平均质量浓度为168.44±79.48 μg/m³,最小值为53.29 μg/m³,最大值为358.16 μg/m³。西

基金项目 中国科学院西部之光联合学者项目(0929011018)。
作者简介 甘小凤(1984-),女,四川邻水人,硕士研究生,研究方向:大气环境, E-mail: yolandxf@163.com。
收稿日期 2011-04-18

安市 PM_{2.5} 的平均质量浓度是美国 PM_{2.5} 日均质量浓度标准 (35.00 μg/m³) 的 4.8 倍; 与国内其他城市相比, 远高于北京 (64.05 μg/m³)^[8]、珠江三角洲 (41.30 μg/m³)^[9] 表明西安市大气细粒子污染比较严重。

表 1 西安市秋季 PM_{2.5} 中化学元素及 OC、EC 质量浓度

质量浓度 Mass concentration	PM _{2.5}	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Zn	As	Br	Mo	Cd	Pb	OC	EC
平均值 Average	168.44	3.65	1.45	1.68	1.41	0.09	0.01	0.09	1.07	2.51	0.02	0.05	0.05	0.03	0.35	30.38	10.44
标准偏差 Standard deviation	79.48	2.11	1.43	3.78	0.89	0.12	0.01	0.07	1.43	2.12	0.01	0.03	0.02	0.02	0.21	10.68	5.47
最小值 Minimum	53.29	1.13	0.15	0.31	14.71	0.02	0.04	0.02	0.14	0.24	0.01	0.01	0.10	0.07	0.08	12.86	2.39
最大值 Maximum	358.16	9.47	5.62	4.26	0.01	0.65	0.01	0.33	7.93	9.05	0.06	0.12	0.03	0.01	0.98	55.27	23.38

由表 1 可见, 西安市秋季 PM_{2.5} 中 14 种元素的日平均质量浓度为 12.46 μg/m³, 占 PM_{2.5} 的 7.4%。其中 S、K、Cl、Ca、Zn、Fe 的质量浓度均超过 1.0 μg/m³, 分别为 3.65 ± 2.11、1.68 ± 1.43、1.45 ± 1.43、1.41 ± 0.89、2.51 ± 2.12、1.07 ± 1.43 μg/m³, 处于较高污染水平, 占总化学元素的 97.3%。从各元素所占比例来看 S 是最主要的元素成分, 主要来源于化石燃料燃烧所产生的单质硫以及 SO₂ 经还原反应产生的二次硫颗粒。可见, 燃煤仍然是西安市大气污染物的主要排放源; Zn 和 Pb 所占比例也较大, 说明机动车尾气排放对大气细粒子的影响也非常重要; K 对 PM_{2.5} 的贡献仅次于 S 和 Zn, 占总化学元素的 13.5%, 细粒子中 K 的主要来源为生物质燃烧, 说明秋季西安市周边的生物质燃烧对污染物的贡献也较大, 而采样点周围则没有明显的燃烧源, 主要与区域生物质燃烧引起的 K 输送有关; Ca 和 Fe 在总化学元素中也占一定比例, 说明地面扬尘、道路灰尘等粉尘源对大气颗粒物的贡

献较大。

2.2 PM_{2.5} 中 OC 与 EC 的质量浓度特征 由表 1 可见, OC 和 EC 的平均质量浓度分别为 30.38 ± 10.68 和 10.44 ± 5.47 μg/m³, 分别占 PM_{2.5} 的 18.0% 和 6.2%, 表明 OC 和 EC 是 PM_{2.5} 的重要组成成分。另外, 利用 OC、EC 的相关性分析可在一定程度上对大气碳气溶胶的来源进行定性分析^[10], 若 OC 和 EC 的相关性好, 则表明 OC、EC 来自于相同的污染源。由图 1 可知, 西安市秋季 PM_{2.5} 中 OC 和 EC 的相关性较好 (R = 0.88, N = 31, P < 0.000 1), 这表明秋季 PM_{2.5} 中 OC 和 EC 的来源相对简单, 主要来源于燃煤和机动车尾气的排放。K 与 OC (R = 0.76, N = 30, P < 0.000 1)、EC (R = 0.75, N = 30, P < 0.000 1) 的相关性也较好, 这说明 OC、EC 与 K 有相同的来源, 由于大气细粒子中 K 主要来源于生物质燃烧, 表明秋季生物质燃烧对 OC、EC 也有一定的贡献。

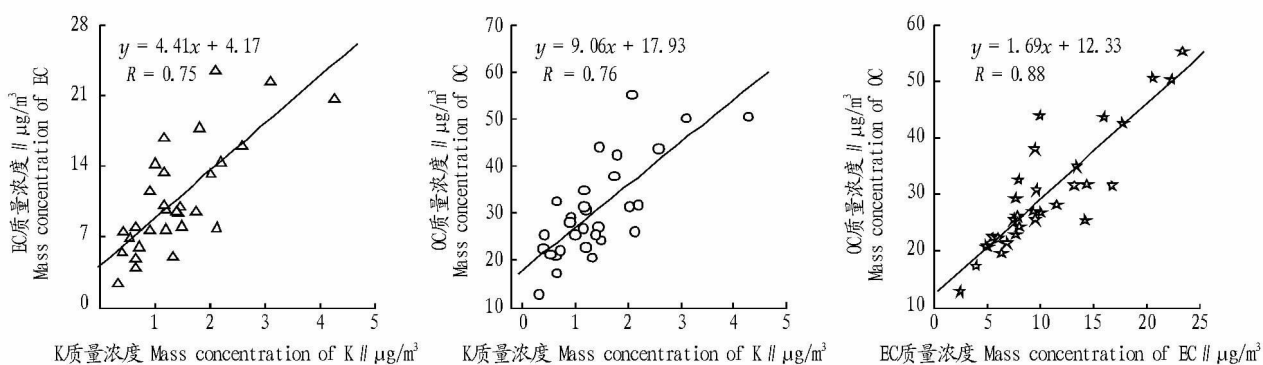


图 1 西安市秋季 PM_{2.5} 中 OC、EC、K 之间的相关性

Fig. 1 Correlation among OC, EC and K in PM_{2.5} in autumn in Xi'an City

2.3 无机元素的来源分析

2.3.1 富集因子分析。由图 2 可见, 各元素的富集因子变化范围较大 (0.70 ~ 9 395.51), 其中 Cd 的 EF 值最高, Ti 的 EF 值最低。富集因子主要是用来判断元素是地壳来源还是人为来源^[6], K、Ca、Fe、Ti、Mn 和 Cr 的富集因子小于 10, 说明这些元素是非富集的, 主要来源于地壳或岩石风化等自然源; S、Zn、Cl、Pb、Br、Mo、Cd 和 As 的富集因子大于 10, 表明这些元素已被富集, 主要受人为污染源的影响, 而受土壤扬尘等自然源的影响较小, 其中 Cd 的富集因子最大, 主要来源于金属冶炼等人为污染。

2.3.2 最大方差旋转因子分析。表 2 表明, 第 1 ~ 4 个因子

的累积方差贡献率为 87.30%, F1 中 Cl、K、Ca、Ti、Cr、Mn、Fe、Br 的相关系数较高, 方差贡献率为 44.52%, 主要代表了生物质燃烧、土壤及地面扬尘来源, 主要包括秸秆燃烧、交通运输引起的道路扬尘、裸露土壤扬尘和建筑扬尘等; F2 与 S、Zn、As、Pb 的相关性较高, 方差贡献率为 22.15%, 可能与燃煤、机动车尾气排放、冶金化工等有关, 主要代表了人为来源; F3 中具有较高相关系数的元素是 Cd, 可能与金属冶炼有关; F4 与 Mo 有较高的相关性。

为了进一步了解秋季 PM_{2.5} 中各元素的关系和来源, 对其相关性进行了统计分析 (表 3)。相关分析表明, 地壳元素 Mn、Ca、Fe、Ti 的相关性较好, 说明这些元素主要来源于地面

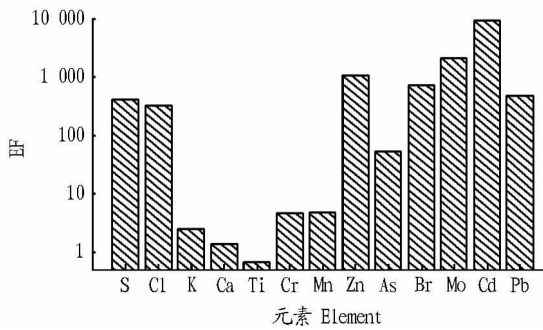


图2 西安市秋季 PM_{2.5} 中各元素的富集因子

Fig.2 Enrichment factors of various elements in PM_{2.5} in autumn in Xi'an City

表2 西安市秋季 PM_{2.5} 中元素与各因子间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between elements and factors in autumn in Xi'an City

元素 Element	F1	F2	F3	F4
S	0.28	0.81	0.32	-0.30
Cl	0.70	-0.05	-0.51	0.41
K	0.85	0.06	0.20	-0.44
Ca	0.85	-0.48	0.04	-0.08
Ti	0.86	-0.46	0.09	-0.09
Cr	0.86	-0.30	-0.08	0.01
Mn	0.94	0.09	-0.12	0.04
Fe	0.90	-0.38	0.10	-0.10
Zn	0.36	0.61	-0.55	0.18
As	0.42	0.73	0.46	0.06
Br	0.73	0.25	0.11	0.12
Mo	0.26	0.08	0.42	0.81
Cd	-0.05	-0.13	0.71	0.18
Pb	0.40	0.87	-0.20	-0.06
特征值 Eigenvalue	6.23	3.10	1.67	1.22
方差贡献率 Variance contribution rate//%	44.52	22.15	11.94	8.69

表3 西安市秋季 PM_{2.5} 中各化学元素间的相关系数矩阵

Table 3 Correlation coefficient matrix among various elements in autumn in Xi'an City

元素 Element	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Zn	As	Br	Mo	Cd	Pb
S	1													
Cl	0.05	1												
K	0.46*	0.59**	1											
Ca	-0.10	0.56*	0.72**	1										
Ti	0.03	0.65**	0.76	0.99**	1									
Cr	0.06	0.62**	0.62**	0.82**	0.74**	1								
Mn	0.33	0.84**	0.84**	0.76**	0.78**	0.66**	1							
Fe	0.12	0.66**	0.80**	0.99**	0.99**	0.74**	0.83**	1						
Zn	0.37	0.72**	0.48**	0.03	0.26	0.28	0.69**	0.31	1					
As	0.76**	0.25	0.57**	0.01	0.21	0.16	0.50**	0.29	0.43*	1				
Br	0.46*	0.64**	0.67**	0.42	0.53**	0.65**	0.73**	0.59**	0.52**	0.58**	1			
Mo	-0.08	0.04	-0.12	0.18	0.02	0.19	0.00	0.02	-0.07	0.16	0.00	1		
Cd	-0.15	-0.31	-0.21	0.03	-0.09	-0.09	-0.26	-0.12	-0.31	-0.13	-0.19	0.39**	1	
Pb	0.73**	0.54**	0.62**	-0.05	0.21	0.21	0.65**	0.29	0.83**	0.77**	0.63**	-0.04	-0.32	1

注: **和* 分别表示在 0.01 和 0.05 水平上显著。

Note: ** and * stand for significant correlation at 0.01 and 0.05 level, respectively.

参考文献

[1] 李学彬, 宫纯文, 徐青山, 等. 气溶胶细粒子与能见度的相关性[J]. 光学精密工程 2008, 16(7): 1177-1180.
 [2] ALLEN A G, NEMITZ J P, HARRISON J C. Size distributions of trace metals in atmospheric aerosols in the United Kingdom [J]. Atmospheric Environment 2001, 35(27): 4581-4591.
 [3] HUANG H, LEE S C, CAO J J, et al. Characteristics of indoor/outdoor PM_{2.5} and elemental components in generic urban, roadside and industrial plant areas of Guangzhou City, China [J]. Journal of Environmental Sciences 2009, 19: 35-43.
 [4] 国家环境保护局. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社 1990: 347-379.

[5] 迟清华, 鄯明才. 应用地球化学元素风度数据手册[M]. 北京: 地质出版社 2007: 101-102.
 [6] TAYOR S R, MCLENNAN S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. Uxford: Blackwell Scientific 1985.
 [7] CAO J J, LEE S C, ZHENG X D, et al. Characterization of dust storms to Hong Kong in April 1998 [J]. Water, Air and Soil Pollution Focus 2003, 3: 213-229.
 [8] 王京丽, 刘旭林. 北京市大气细粒子质量浓度与能见度定量关系初探[J]. 气象学报 2006, 64(2): 221-228.

(下转第 11697 页)

化和厌氧氨氧化时 *Nitrosomonas* sp. 为优势菌种。

3.2.5 SND 工艺。广义上讲,同时硝化和反硝化(Simultaneous Nitrification and Denitrification, SND)是指硝化与反硝化反应同时发生在同一反应器中实现。很多研究报道证实了同时硝化反硝化伴随着异养硝化和好氧反硝化。刘强等^[23]采用 DGGE 技术研究了随有机碳与无机氮(C/N)的升高自养硝化膜上微生物群落结构的变化,结果表明随 C/N 比的升高,微生物菌群从以硝化菌为主导变为以反硝化菌为主导,反应器内也发生了同时硝化反硝化,主要的硝化菌是 *Nitrosomonas europaea* 和 *Nitrobacter* sp.;主要的反硝化菌是 *Pseudomonas* sp.、*Acidovorax* sp. 和 *Comamonas*。Xia 等^[24]采用 DGGE 研究了在不同 C/N(10:1 5:1 3:1)比条件下,生物膜反应器的处理效果及同时硝化反硝化系统中微生物群落的变化,结果表明在接种污泥中优势菌种为 *uncultured β-proteobacteria* C/N 比为 10:1 时优势菌种为 *Comamonas*, C/N 比为 5:1 时反应器内出现了与 *Nitrosomonas* 和 *Comamonas* 相似性较高的菌种, C/N 为 3:1 时除有与 *Nitrosomonas* 和 *Comamonas* 相似度高的菌种外,反应器内还出现了属于 *Methylophilus* 的菌种。

4 展望

在脱氮微生物学研究方面,未来异养硝化菌、好氧反硝化菌、自养反硝化菌和厌氧氨氧化菌等是研究热点,对上述种类菌群的研究将会极大地推动脱氮技术的发展。为了能够更好地反映微生物群落结构、功能和动态变化,可将 DGGE 技术与其他技术(如与激光共聚焦扫描显微镜、显微放射自显影等技术)相结合,形成分子联用技术,这方面将是今后 DGGE 应用的研究方向。

参考文献

- [1] MUYZER G, WAAL E C, UJTERLINDEN A G. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA [J]. *Applied and Environmental Microbiology* 1993, 59(3): 695–700.
- [2] 李军, 杨秀山, 彭永臻. 微生物与水处理工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 378–379.
- [3] ROBERTSON L A, KUENEN J G. Aerobic denitrification: a controversy revived [J]. *Arch Microbiol* 1984, 139(5): 351–354.
- [4] 尹明锐, 汪苹, 刘建楠, 等. 具有 N₂O 控逸能力的异养硝化-好氧反硝化菌株的筛选鉴定 [J]. *环境科学研究* 2010, 23(4): 515–520.
- [5] 王海燕, 周岳溪, 刘海涛, 等. 亚硝化/电化学生物反硝化全自养脱氮工艺细菌形态及多样性研究 [J]. *环境科学学报* 2010, 30(2): 327–339.
- [6] STROUS M, KUENEN J G, JETTEN M S M. Key physiology of anaerobic ammonium oxidation [J]. *Applied and Environmental Microbiology* 1999, 65(7): 3248–3250.
- [7] 秦玉洁, 周少奇. 厌氧氨氧化菌的研究进展 [J]. *生态学杂志* 2007, 26(11): 1867–1872.
- [8] SCHMID M C, MAAS B, JAPENA A, et al. Biomarkers for in situ detection of anaerobic Ammonium-oxidizing (anammox) bacteria [J]. *Applied and Environmental Microbiology* 2005, 71(4): 1677–1684.

- [9] KARTAL A B, RATTRAY J, VAN NIFTRIKA L A, et al. Candidatus “*Anammoxoglobus propionicus*” a new propionate oxidizing species of anaerobic ammonium oxidizing bacteria [J]. *Systematic and Applied Microbiology* 2007, 30(1): 39–49.
- [10] LIU X C, ZHANG Y, YANG M, et al. Analysis of bacterial community structures in two sewage treatment plants with different sludge properties and treatment performance by nested PCR-DGGE method [J]. *Journal of Environmental Sciences* 2007, 4(19): 60–66.
- [11] 陶芳, 黄燕, 高尚, 等. PCR-DGGE 技术分析温度对 A₂/O 系统硝化菌群结果的影响 [J]. *华东师范大学学报* 2009, 9(5): 53–62.
- [12] REN L J, WU Y N, REN N Q, et al. Microbial community structure in an integrated A/O reactor treating diluted livestock wastewater during start-up period [J]. *Journal of Environmental Sciences* 2010, 22(5): 656–662.
- [13] HELLINGA C, SCHELLEN A J, MULDER J W, et al. The SHARON Process: an innovative method for nitrogen removal from and ammonium-rich wastewater [J]. *Water Sci Technol* 1998, 37(9): 135–142.
- [14] SEN QIAO RYUICHI, KANDA T, KASHI NISHIYAMA, et al. Partial nitrification treatment for high ammonium wastewater from magnesium ammonium phosphate process of methane fermentation digester liquor [J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 2010, 109(2): 124–129.
- [15] 董远湘. SHARON 生物膜中微生物的多样性的研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- [16] HONGKEUN PARK, ALEX ROSENTHAL, ROLAND JEZEK, et al. Impact of inocula and growth mode on the molecular microbial ecology of anaerobic ammonia oxidation (anammox) bioreactor communities [J]. *Water-research* 2010, 44: 5005–5013.
- [17] YANG J C, ZHANG L, FUKUZAKI Y, et al. High-rate nitrogen removal by the Anammox process with a sufficient inorganic carbon source [J]. *Biore-source Technology* 2010, 101: 9471–9478.
- [18] 宫正. 膜曝气生物膜反应器单级自养脱氮研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- [19] ZHANG D, ZHANG D M, LIU Y P. Community analysis of ammonia oxidizer in the oxygen limited nitrification stage of OLAND system by DGGE of PCR amplified 16S rDNA fragments and FISH [J]. *Journal of Environmental Science* 2004, 16(5): 834–842.
- [20] 董远湘, 李小明, 尹疆, 等. 溶解氧对 OLAND 生物膜反应器硝化性能的影响及其微生物种群动态研究 [J]. *环境污染与防治* 2005, 27(8): 561–563.
- [21] GONG Z, LIU S T, YANG F L, et al. Characterization of functional microbial community in a membrane-aerated biofilm reactor operated for completely autotrophic nitrogen removal [J]. *Bioresource Technology* 2008, 99: 2749–2756.
- [22] SUNJA CHO, NAOKI FUJII, TAEHO LEE, et al. Development of a simultaneous partial nitrification and anaerobic ammonia oxidation process in a single reactor [J]. *Bioresource Technology* 2011, 102: 652–659.
- [23] 刘强, 李大平, 胡杰, 等. 不同有机碳与无机氮比(C/N)下自养硝化生物膜上微生物菌群的变化 [J]. *四川大学学报* 2008, 45(3): 663–668.
- [24] XIA S Q, LI J X, WANG R C, et al. Tracking composition and dynamics of nitrification and denitrification microbial community in a biofilm reactor by PCR-DGGE and combining FISH with flow cytometry [J]. *Biochemical Engineering Journal* 2010, 49: 370–378.
- [25] 曹娴, 王国成. EM 技术在工业废水治理上的应用 [J]. *内蒙古农业科技* 2007, 4(4): 111–113.
- [26] 刘晖, 孙彦富, 周康群, 等. 厌氧除磷菌的富集及功能菌组成研究 [J]. *安徽农业科学* 2011, 29(10): 5976–5980.
- [27] 高慧琴, 刘凌. PCR-DGGE 技术中不同 DNA 提取方法综述 [J]. *安徽农业科学* 2011, 39(1): 52–102.
- [28] 詹婧, 孙庆业. 铜陵铜尾矿废弃地细菌多样性研究 [J]. *安徽农业科学* 2011, 39(4): 1660–1663, 1692.

(上接第 11694 页)

- [9] CHEUNG H C, WANG T, BAUMANN K, et al. Influence of regional pollution outflow on the concentrations of fine particulate matter and visibility in the coastal area of southern China [J]. *Atmospheric Environment* 2005,

39: 6463–6474.

- [10] TUPIN B J, CARY R A, HUNTZICKER J J. An in-situ time resolved analyzed for aerosol organic and elemental carbon [J]. *Aerosol Science Technology* 1990, 12: 161–171.