

应用自动识别与定量分析数据库筛查黄河和长江水中有机污染物

李维美¹, 李雪花¹, 蔡喜运¹, 陈景文¹, 乔显亮^{1*}, Kiwao Kadokami², Daisuke Jinya², Toyomi Iwamura²

(1. 大连理工大学环境学院, 工业生态与环境工程教育部重点实验室, 大连 116024; 2. 北九州市立大学国际环境工学部, 北九州市, 日本)

摘要:采用气质联用分析, 并应用自动识别与定量分析数据库(AIQS-DB)对黄河下游和长江下游水样中近1 000种有机污染物进行了筛查. 结果表明, 黄河下游山东段和长江下游江苏段水样分别检出95种和121种化合物, 主要包括正构烷烃、多环芳烃、酚类、硝基化合物、酞酸酯类、农药和药物等. 其中, 黄河和长江水样中正构烷烃平均浓度分别为1 806 ng/L和720 ng/L; 16种优控PAHs平均浓度分别为27 ng/L和30 ng/L; 6种优控PAEs的平均浓度分别为77 ng/L和2 166 ng/L; 黄河和长江水样分别检出9种和17种农药. 黄河各采样点间污染物浓度差别较大, 而长江采样点间浓度相差较小. 研究表明, 气质联用结合AIQS-DB可有效用于区域性污染物的筛查.

关键词:自动识别与定量分析系统; 地表水; 筛查; 有机污染物

中图分类号: X832 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)11-2627-06

Application of Automated Identification and Quantification System with a Database (AIQS-DB) to Screen Organic Pollutants in Surface Waters from Yellow River and Yangtze River

LI Wei-mei¹, LI Xue-hua¹, CAI Xi-yun¹, CHEN Jing-wen¹, QIAO Xian-liang¹, Kiwao Kadokami², Daisuke Jinya², Toyomi Iwamura²

(1. Key Laboratory of Industrial Ecology and Environmental Engineering (Ministry of Education), School of Environmental Science and Technology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2. Faculty of Environmental Engineering, The University of Kitakyushu, Kitakyushu, Japan)

Abstract: Approximately 1 000 chemicals were screened in surface waters from downstreams of Yellow River and Yangtze River using GC-MS coupled with Automated Identification and Quantification System with a Database (AIQS-DB). 95 pollutants were detected in water samples from Yellow River in Shandong Province and 121 in those from Yangtze River in Jiangsu Province. The pollutants involved *n*-alkanes, PAHs, phenols, nitro compounds, phthalates esters (PAEs), pesticides and pharmaceuticals, etc. The average concentrations of *n*-alkanes, 16 priority PAHs and 6 priority PAEs were 1 806 ng/L, 27 ng/L, 77 ng/L in water samples from Yellow River and 720 ng/L, 30 ng/L, 2 166 ng/L in water samples from Yangtze River respectively. Besides, 9 and 11 pesticides were detected in water samples from Yellow River and Yangtze River respectively. The levels of pollutants showed stronger site dependence in samples from Yellow River than those from Yangtze River. Combination of GC-MS and AIQS-DB shows high efficiency in regional pollutants survey.

Key words: automated identification and quantification system; surface waters; screen; organic pollutants

对于区域性的污染物普查, 一般需要根据化合物的种类和特性, 采取相应的提取、富集和分析方法. 通常需消耗大量的试剂、人力、经费和时间. 急需一种较通用的分析技术, 快速、高效地筛查环境中各种污染物, 为生态风险评价提供基础资料.

有关有机污染物的环境监测研究, 我国已有较多报道, 但大多针对某一类化合物, 如多环芳烃(PAHs)^[1-3]、有机氯农药^[4]、多氯联苯(PCBs)^[5,6]、酞酸酯类(PAEs)^[7]等. 仅有少数报道

对多类化合物开展了同时分析的研究^[8-10], 如姜福欣^[9]、刘征涛等^[10]采用气质联用分别对黄河和长江河口水样中的PAHs、酚类、烷烃、卤代烃类、农药等200多种污染物进行了同时分析, 在一定程度上提

收稿日期: 2009-12-07; 修订日期: 2010-04-09

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2006CB403302); 国家自然科学基金项目(20877014); 长江学者和创新团队发展计划项目(IRT0813)

作者简介: 李维美(1985~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为有机污染物的分析测定. E-mail: weimeili@mail.dlut.edu.cn

* 通讯联系人. E-mail: xlqiao@dlut.edu.cn

高了分析的效率,符合区域污染全面普查的需求. 2005年,Kadokami等^[11]基于气质联用建立了一种适用于挥发性和半挥发性有机物的自动识别与定量分析数据库(Automated Identification and Quantification System with a Database, AIQS-DB),已成功应用于环境样品中微量有机污染物的快速定量分析. 样品一次进样,气质联用以全扫描模式分析约1 h,不需标准样品,采用AIQS-DB(包含气相色谱保留时间库、标准曲线库和质谱图库)解析谱图,即可同时获得近千种化合物的定性定量结果. 该数据库包含脂肪烃类、PAHs、PCBs、醚类、酚类、PAEs、芳香胺类、硝基化合物、药物类和农药类等888种化合物. 其中包含57种US EPA列出的优先控制污染物^[12]、22种我国水中优先控制污染物^[13],还可以根据需要在AIQS-DB中补充新的化合物.

本研究采集了黄河下游和长江下游水样,采用气质联用并结合AIQS-DB对样品中近千种有机污染物进行了快速筛查.

1 材料与方 法

1.1 样品采集

黄河采样点位于下游段山东省境内黄河沿线的大桥或浮桥上,采样时间为2008年8月21~22日,具体位置是济南城东浮桥(YR1: 36°51'44.55"N, 117°9'45.22"E),利津黄河大桥(YR2:

37°29'0.62"N, 118°15'58.83"E),垦利浮桥(YR3: 37°36'8.70"N, 118°31'38.11"E). 长江采样点位于下游江苏省南京市建邺区红卫渡口附近,采样时间为2008年9月23日,具体位置如下:YZ1(32°03'37.6"N, 118°43'10.3"E),YZ2(32°03'49.0"N, 118°43'14.4"E),YZ3(32°04'00.1"N, 118°43'18.4"E). 以下黄河和长江采样点分别用YR1、YR2、YR3和YZ1、YZ2、YZ3表示.

采集表层水(0.5 m),采样瓶为带聚四氟乙烯垫的棕色玻璃瓶,用采样点的河水清洗3次后,采集约2 L水样,避免混入水面漂浮杂物. 样品冷藏运回实验室,4℃下冷藏保存.

1.2 实验仪器和材料

GC-MS: Shimadzu QP-2010 GC-MS (Shimadzu公司);氮吹仪: HGC-12 (天津恒奥科技发展有限公司);旋转蒸发仪: Laborata4003 (Heidolph公司). 玻璃纤维滤膜: GF/F,孔径0.7 μm (Whatman);二氯甲烷、正己烷均为农残级(Tedia公司);无水硫酸钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠和氯化钠为分析纯;实验采用高纯水.

内标含有4-氯甲苯-d₄、1,4-二氯苯-d₄、萘-d₈、菲-d₁₀、蒽-d₁₀、荧蒽-d₁₀、-d₁₂和芘-d₁₂ (Restek公司);性能检查标准溶液(performance check standards, PCS)用于检测GC-MS的性能,具体所含化合物种类和检查项目见表1^[11],各化合物浓度均为1 μg/mL.

表1 用于GC-MS性能检查的标准溶液

Table 1 PCS for GC-MS performance check

化合物	性能检查项目	准则
十氯三苯基磷(DFTPP),反-壬氯	质谱丰度	DFTPP和反-壬氯的质谱满足US EPA Method 1625的质谱丰度标准
联苯胺,五氯酚	色谱柱和进样系统的情性	联苯胺,五氯酚和2,4-二硝基苯胺响应正常,且没有明显拖尾
25种正构烷烃(<i>n</i> -C ₉ H ₂₀ 到 <i>n</i> -C ₃₃ H ₆₈),正辛醇,2,4-二氯苯胺,2,6-二氯苯胺,磷酸三(2-氯乙基)酯,DFTPP,苯并噻唑,2,4-二硝基苯胺,联苯胺,反-壬氯,4,4'-DDT,五氯酚,2,4,6-三硝基甲苯	进样系统的情性和响应的稳定性	DDT转化为DDD的转化率≤20%;化合物的检出量在平均值的95%的置信区间内

1.3 样品前处理程序

水样经过0.7 μm玻璃纤维滤膜过滤,将水中悬浮颗粒物分离. 过滤后的1 L水样,加入50 g氯化钠和1 mol/L的pH为7的磷酸盐缓冲溶液2 mL,采用液液萃取方法,分别用50 mL二氯甲烷萃取2次,合并萃取液,过无水硫酸钠柱脱水,将萃取液旋转蒸发浓缩至约1 mL,加入5 mL正己烷,温和氮气吹扫至1 mL,加入内标待测.

1.4 仪器分析条件及参数

色谱柱型号为J&W DB-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm),载气为高纯氦气,恒流模式运行,载气线速度为40 cm/s. 进样口温度设定为250℃,升温程序如下:70℃(2 min)~25℃/min→150℃(0 min)~3℃/min→200℃(0 min)→8℃/min→280℃(10 min)→20℃/min→300℃(0 min),post-run保持300℃下5 min. GC-MS连接口温度为

280℃,质谱采用 EI 源,离子源温度设为 230℃,四级杆温度设为 150℃,采用全扫描模式,扫描质量范围:35~550 u.

1.5 应用 AIQS-DB 对污染物的快速筛查

采用全扫描方式分析性能检查标准溶液(PCS),用于检测和调整 GC-MS 系统的性能和适用性.通过 PCS 中包含的 25 种正构烷烃($n-C_9H_{20}$ ~ $n-C_{33}H_{68}$)的保留时间可预测得到待分析化合物的保留时间,其预测值与实际值的差别 < 3 s,这与传统的分析标准样品方法的精确性相当^[11].AIQS-DB 包含 3 个子库:气相色谱保留时间库、标准曲线库和质谱图库.通过预测的保留时间可以得到包含待测化合物保留时间、标准曲线和质谱图的定性和定量文件,无需使用标准样品,即可实现对数据库中近千种化合物的自动定性和定量.AIQS-DB 将保留时间与质谱图同时应用于定性分析,减少了假阴性的出现,其定性结果优于自动质谱退卷积定性系统(AMDIS)^[11].AIQS-DB 的定量方法有较好的精确度,定量结果与传统内标法相近^[11].数据库所登记的化合物中的 86% 检出限低于 0.01 mg/L,满足常规环境监测精度^[11].

2 结果与讨论

应用 AIQS-DB 对采集的黄河和长江水样进行有机污染物筛查.黄河和长江水体中检出的化合物种类相似,分布和含量有所不同,黄河 3 个采样点间污染物浓度差别较大,而长江采样点间浓度相差较小.检出的化合物包括:正构烷烃类、PAHs、酚类、硝基化合物、PAEs、农药类、药物类、取代苯类、有机酸酯类、醇类、苯胺类等.未检测到的化合物,说明其污染较轻,样品中浓度低于本方法的检出限,包括 PCBs、有机磷农药、菊酯类杀虫剂、一些药物、部分卤代 PAHs、卤代酚类和硝基取代化合物等.下面重点介绍样品中检出的主要污染物情况.

2.1 正构烷烃

正构烷烃普遍存在于环境中,是碳循环的重要组成部分,被广泛用作环境有机质来源和归趋的指示指标^[14,15].采集黄河和长江水样中正构烷烃的浓度峰群分布如图 1 所示.黄河和长江水样中分别检出 20 种和 13 种正构烷烃,总浓度分别为 558~1 049 ng/L 和 331~1 267 ng/L,平均值分别是 1 806 ng/L 和 720 ng/L.总体来看,所采集样点的正构烷烃有 2 种分布特征:①双峰型奇碳优势:代表性样点是 YR1 和 YR3,低碳数主峰为 $n-C_{17}$,高碳数主峰为

$n-C_{27}$ 、 $n-C_{29}$ 和 $n-C_{31}$,具有奇碳优势.正构烷烃浓度分布呈双峰型,表明水生生物和陆源生物是正构烷烃的共同来源^[14].②单峰型高碳优势:YR2、YZ1、YZ2 和 YZ3 都属于此类型.浓度高的正构烷烃集中在高碳数区域,主峰碳为 $n-C_{27}$ 、 $n-C_{29}$ 或 $n-C_{31}$,具有奇碳优势.碳优势指数(CPI)可指示陆源有机质的贡献,上述采样点 CPI 均大于 1,表明其有机质主要来源于陆源高等植物的输入^[14].主峰为 $n-C_{15}$ 、 $n-C_{17}$ 和 $n-C_{21}$ 的短链正构烷烃主要来源有 2 个:具有奇碳优势的浮游和底栖藻类衍生脂类的输入;不具有明显的奇偶优势的原油、汽车尾气或化石燃料的不完全燃烧产物^[15].本研究中 YR2 正构烷烃浓度水平最高,且低碳奇碳优势不明显,表明原油、汽车尾气或化石燃料的不完全燃烧的贡献较大.

2.2 多环芳烃

多环芳烃(PAHs)主要来源于化石燃料的不完全燃烧和石油类产品的污染等,具有“三致”效应和长距离迁移性.表 2 列出了本研究水样中检出的主要 PAHs 的含量水平.黄河和长江水样中 16 种优控 PAHs 的浓度分别为 17~37 ng/L 和 26~32 ng/L,平均值分别为 27 ng/L 和 30 ng/L.长江水量丰富,水中的污染物稀释与混匀较充分,3 个采样点距离较近,样品中 PAHs 的浓度差别不大.Li 等^[16]报道了黄河干流水中 15 种优控 PAHs 总浓度为 179~369 ng/L,平均值为 248 ng/L,比本研究黄河水样中 PAHs 浓度高一个数量级,这可能是由于其采样的黄河河南段石化企业、冶炼、采矿等工业分布密集^[16],而本研究的黄河下游山东段支流和污染源较少.Sun 等^[17]研究发现黄河枯水期(11 月) PAHs 浓度明显高于丰水期(8 月).因此,采样区域、采样季节等会对结果产生显著影响.

2.3 酚类和硝基化合物

酚类化合物和硝基苯广泛应用于石化、印染、农药等行业,是环境中的重要污染物^[18,19].表 3 列出了水样中部分酚类化合物和硝基化合物的含量水平.其中,长江水样的酚类和硝基化合物浓度和检出率均高于黄河水样.李杏茹等^[19]报道了黄河中下游小浪底至高村河段水体中 10 种硝基苯类化合物的含量,发现分布趋势为悬浮颗粒物 > 沉积物 > 表层水,水样中检出 8 种硝基苯类化合物,以硝基苯的含量最高.刘征涛等^[10]报道了长江河口区域的有机污染物,检出苯酚、2,4,6-三氯苯酚、硝基苯和 2-硝基苯酚,浓度分别为 31、50、30 和 10 ng/L.本研究中黄河水样硝基苯类化合物只检出 4-硝基氯苯,长江

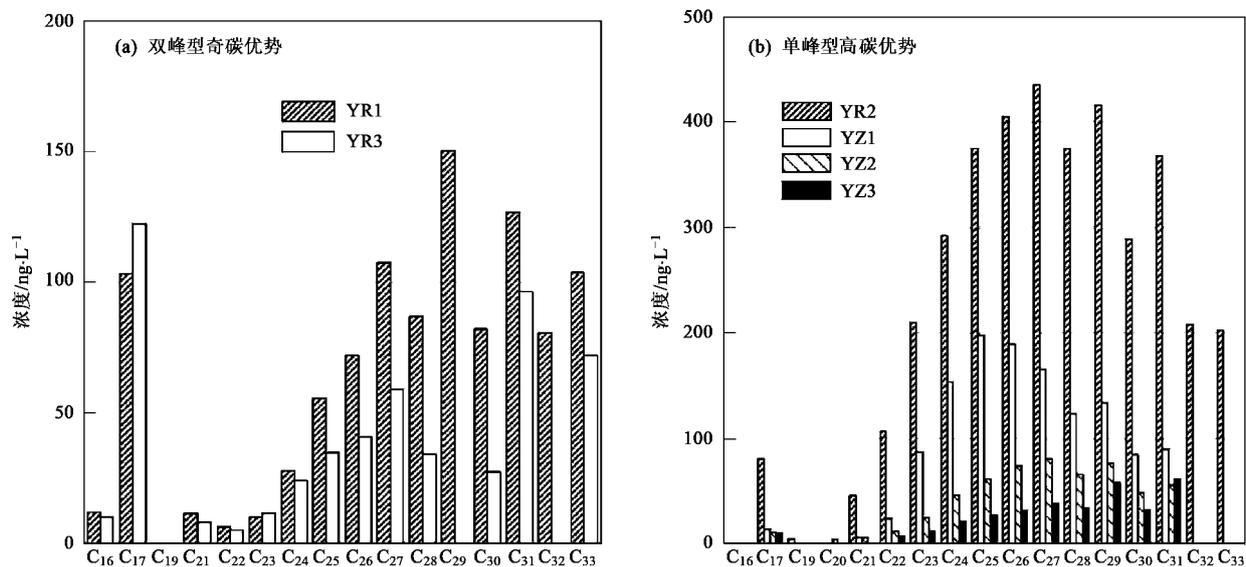


图1 水样中正构烷烃浓度峰群分布

Fig.1 Characteristics of *n*-alkanes distribution pattern in water samples表2 水样中 PAHs 的含量水平¹⁾ / ng·L⁻¹Table 2 Levels of PAHs in water samples / ng·L⁻¹

化合物	黄河水样	长江水样
萘 ^{a, b}	nd ~ 3.3	nd
芴 ^a	nd ~ 1.0	0.7 ~ 1.2
芘 ^a	nd ~ 0.2	0.1 ~ 0.2
菲 ^a	0.4 ~ 3.1	0.3 ~ 0.4
蒽 ^a	nd	0.5 ~ 0.9
荧蒽 ^{a, b}	3.6 ~ 8.2	3.5 ~ 5.3
芘 ^a	3.8 ~ 24.0	11.9 ~ 13.6
苯并(a)蒽 ^a	nd ~ 1.7	nd
蒽 ^a 和 9,10-苯并菲	nd ~ 2.3	1.0 ~ 1.7
苯并(b)荧蒽 ^{a, b} 和苯并(j)荧蒽	nd	1.5 ~ 1.7
苯并(k)荧蒽 ^{a, b}	nd	0.1 ~ 0.7
苯并(e)芘	1.6 ~ 6.0	3.4 ~ 5.2
苯并(a)芘 ^{a, b}	0.6 ~ 1.2	0.9 ~ 1.5
芘	3.3 ~ 8.2	2.2 ~ 2.7
茚并(1,2,3-c,d)芘 ^{a, b}	nd	0.7 ~ 1.3
∑ ₁₆ PAHs ^c	16.9 ~ 36.8	25.6 ~ 31.9

1) a 指 US EPA 所列优先控制污染物; b 指属于我国水中优先控制污染物名单; c 指 US EPA 所列的 16 种优先控制 PAHs 的浓度之和; nd 表示未检出

表3 水样中部分酚类、硝基化合物及 PAEs 的含量水平¹⁾ / ng·L⁻¹Table 3 Levels of some phenols, nitro compounds and PAEs in water samples / ng·L⁻¹

化合物	黄河水样	长江水样
苯酚 ^{a, b}	nd ~ 16.4	nd ~ 7.0
壬基酚	nd	5.4 ~ 7.0
双酚 A	nd ~ 1974	3.4 ~ 8.1
2,4-二氯苯酚 ^{a, b}	nd	48.6 ~ 58.8
2,4,6-三氯苯酚 ^b	nd	16.3 ~ 17.4
硝基苯 ^{a, b}	nd	12.6 ~ 13.8
2-硝基苯酚 ^a	nd	nd ~ 49.2
4-硝基氯苯 ^b	nd ~ 42.6	12.9 ~ 13.8
邻苯二甲酸二甲酯 ^b	28.6 ~ 35.9	13.4 ~ 20.0
邻苯二甲酸二乙酯	16.8 ~ 66.4	12.6 ~ 19.3
邻苯二甲酸二丁酯 ^b	nd	nd ~ 102
邻苯二甲酸丁苄酯	nd	1.8 ~ 2.7
邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯 ^b	nd	1 193 ~ 2 778
邻苯二甲酸正辛酯	3.9 ~ 11.2	nd ~ 2.8
∑ ₆ PAEs	49.3 ~ 111.3	1 337 ~ 2 806

1) a 指 US EPA 所列优先控制污染物; b 指属于我国水中优先控制污染物名单; nd 表示未检出

水样酚类和硝基化合物的水平与刘征涛等的报道相近. 不同研究结果的差异可能与采样时间、采样区域、分析方法等不同有关.

2.4 酞酸酯类

酞酸酯类 (PAEs) 常用做塑料制品的增塑剂, 其中部分 PAEs 具有内分泌干扰作用^[20]. 6 种被 US EPA 列为优先控制污染物的 PAEs 含量水平如表 3 所示. 黄河和长江水样的 PAEs 浓度分别为 49 ~ 111

ng/L和1 337 ~ 2 806 ng/L,平均值分别是 77 ng/L和 2 166 ng/L. 沙玉娟等^[21]报道了黄河下游小浪底和东明桥之间河段 PAEs 污染水平,干流水相 5 种 PAEs(不含邻苯二甲酸丁苄酯)浓度为 3.99 ~ 45.5 $\mu\text{g/L}$,显著高于本研究中黄河下游山东段水样中 PAEs 的浓度. 王凡等^[20]报道了长江武汉段水体 PAEs 的污染情况,得出丰水期干流水相 5 种 PAEs(不含邻苯二甲酸丁苄酯)浓度范围为 0.034 ~ 0.456 $\mu\text{g/L}$,低于本研究长江水样中以上 5 种 PAEs 的浓度(1.334 ~ 2.804 $\mu\text{g/L}$). 由于 PAEs 污染物排放缺乏规律性,且江河水流动性强,水中污染物的浓度随时空变异大,因此,不同研究的结果存在较大差异.

2.5 农药类及药物类

黄河和长江水样分别检出 9 种和 17 种农药化合物. 黄河水样检出的杀虫剂有 3 种:仲丁威、氟虫脞、啶虫脒;除草剂有 3 种:阿特拉津、乙草胺、丁草胺;杀菌剂有 3 种:异稻瘟净、精甲霜灵、灭多威脞. 长江水样检出的杀虫剂有 6 种:异丙威、仲丁威、毒死蜱、噻虫嗪、噻嗪酮、三唑磷;除草剂有 6 种:苯胺灵、阿特拉津、乙草胺、丁草胺、扑草净、异丙甲草胺;杀菌剂有 4 种:异稻瘟净、甲霜灵、三唑醇、稻瘟灵;还有生长调节剂多效唑. 除异稻瘟净为剧毒和毒死蜱为高毒性农药外,其他有 10 种为中等毒性,有 8 种为低毒农药. 各种农药的水平大多低于 100 ng/L. 采样地区位于黄河和长江下游,采样点所在的山东省和江苏省是我国 2 个农药生产和使用大省^[22]. 有些采样点水中农药浓度较高,如 YR2 和 YR3 采样点丁草胺的浓度高达 2.10 和 2.29 $\mu\text{g/L}$,在 YR1 其浓度为 0.268 $\mu\text{g/L}$;长江水样中三唑醇的浓度在 126 ~ 164 ng/L 之间.

水样中药物检出 7 种,包括咖啡因、卡马西平、克罗米通、避蚊胺、百里酚、酚嗪,浓度一般低于 100 ng/L. 胆固醇、豆固醇、胆甾烷、L-薄荷醇等在水样中也有检出.

3 结论

(1)通过 GC-MS 结合自动识别与定量数据库(AIQS-DB)分析,黄河下游山东段和长江下游江苏段水样分别检出 95 种和 121 种化合物,主要包括正构烷烃、PAHs、酚类、硝基化合物、PAEs、药物和农药等.

(2)黄河和长江水样中检出主要的化合物中,正构烷烃平均浓度分别为 1 806 ng/L 和 720 ng/L;16

种优控 PAHs 平均浓度分别为 27 ng/L 和 30 ng/L;6 种优控 PAEs 的平均浓度分别为 77 ng/L 和 2 166 ng/L;黄河和长江水样分别检出 9 种和 17 种农药.

(3)本研究表明,GC-MS 结合 AIQS-DB 分析可有效用于区域污染物的快速筛查.

参考文献:

- [1] 李恭臣,夏星辉,王然,等. 黄河中下游水体中多环芳烃的分布及来源[J]. 环境科学,2006,27(9): 1738-1743.
- [2] 欧冬妮,刘敏,许世远,等. 长江口滨岸水和沉积物中多环芳烃分布特征与生态风险评价[J]. 环境科学,2009,30(10): 3043-3049.
- [3] Yang Z, Wang L, Niu J, et al. Pollution assessment and source identifications of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Yellow River Delta, a newly born wetland in China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 158(1-4): 561-571.
- [4] 肖春艳,郇超,赵同谦,等. 黄河湿地孟津段水体及沉积物中有机氯农药的分布特征[J]. 环境科学,2009,30(6): 1614-1620.
- [5] 孙艳,何孟常,杨志峰,等. 黄河中下游表层沉积物中多氯联苯的污染特征[J]. 环境化学,2005,24(5): 590-594.
- [6] Yang Z, Shen Z, Gao F, et al. Occurrence and possible sources of polychlorinated biphenyls in surface sediments from the Wuhan reach of the Yangtze River, China [J]. Chemosphere, 2009, 74(11): 1522-1530.
- [7] 迟杰,郑岩. 酞酸酯在海河干流水体和菹草中的分布[J]. 环境科学,2009,30(11): 3283-3287.
- [8] Müller B, Berg M, Yao Z, et al. How polluted is the Yangtze river? Water quality downstream from the Three Gorges Dam [J]. Science of the Total Environment, 2008, 402(2-3): 232-247.
- [9] 姜福欣,刘征涛,冯流,等. 黄河河口区域有机污染物的特征分析[J]. 环境科学研究,2006,19(2): 6-10.
- [10] 刘征涛,姜福欣,王婉华,等. 长江河口区域有机污染物的特征分析[J]. 环境科学研究,2006,19(2): 1-5.
- [11] Kadokami K, Tanada K, Taneda K, et al. Novel gas chromatography-mass spectrometry database for automatic identification and quantification of micropollutants [J]. Journal of Chromatography A, 2005, 1089(1-2): 219-226.
- [12] Keith L H, Telliard W A. ES & T Special Report: Priority pollutants: I—a perspective view [J]. Environmental Science and Technology, 1979, 13(4): 416-423.
- [13] 周文敏,傅德黔,孙宗光. 水中优先控制污染物名单[J]. 中国环境监测,1990,6(4): 1-3.
- [14] 戚艳平,吴莹,张经,等. 夏季长江口中颗粒态及溶解态正构烷烃组成和迁移[J]. 环境科学学报,2006,26(8): 1354-1361.
- [15] 吕晓霞,翟世奎. 长江口沉积物中正构烷烃的分布特征及其环境指示意义[J]. 环境科学学报,2008,28(6): 1221-1226.
- [16] Li G, Xia X, Yang Z, et al. Distribution and sources of

- polycyclic aromatic hydrocarbons in the middle and lower reaches of the Yellow River, China [J]. *Environmental Pollution*, 2006, **144**: 985-993.
- [17] Sun J, Wang G, Chai Y, *et al.* Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Henan Reach of the Yellow River, Middle China [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2009, **72**: 1614-1624.
- [18] 张海平, 朱宜平, 陈玲, 等. 悬浮泥沙对酚类化合物的吸附特性研究[J]. *环境科学*, 2008, **29**(1): 71-76.
- [19] 李杏茹, 何孟常, 孙艳, 等. 硝基苯类化合物在黄河小浪底至高村河段水体中的分布特征[J]. *环境科学*, 2006, **27**(3): 513-518.
- [20] 王凡, 沙玉娟, 夏星辉, 等. 长江武汉段水体邻苯二甲酸酯分布特征研究[J]. *环境科学*, 2008, **29**(5): 1163-1169.
- [21] 沙玉娟, 夏星辉, 肖翔群. 黄河中下游水体中邻苯二甲酸酯的分布特征[J]. *中国环境科学*, 2006, **26**(1): 120-124.
- [22] 华晓梅, 单正军. 我国农药生产、使用状况及环境影响因子分析[J]. *安徽化工*, 1999, **6**: 6-10.

《环境科学》荣获“新中国 60 年有影响力的期刊”称号

2009年12月22日“第四届中国期刊创新年会”公布了“新中国60年有影响力的期刊”评选结果,《环境科学》荣获“新中国60年有影响力的期刊”称号.此次评选,全国共有9000多种参评期刊,最终有161种期刊入选.该评选活动是中国期刊协会、中国出版科学研究所为纪念新中国成立60周年,表彰和鼓励在政治、经济、文化、科技和社会发展领域中起到重要作用的期刊而举办的.