

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

李杏茹, 何孟常*, 孙艳, 夏星辉, 云影

(北京师范大学环境学院水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 研究了黄河中下游小浪底-花园口-高村河段表层水、悬浮颗粒物和沉积物中 10 种硝基苯类有机污染物的含量。结果表明, 水样中检测到 8 种硝基苯类有机污染物, 其中孟州一干渠中硝基苯浓度最高, 为 $8.4268 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 但都没有超过国家标准 (GB3838—2002)。伊洛河的悬浮颗粒物中硝基苯类有机物的总浓度达 $164.382 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。洛阳石化沉积物中硝基苯类有机物的总浓度最高, 为 $14.718 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在三相(表层水、悬浮颗粒物和沉积物)中, 硝基苯的含量最高。硝基苯类有机物在水、沉积物和悬浮颗粒物中的大体分布趋势为悬浮颗粒物 > 沉积物 > 表层水, 沉积物中的污染物有再次释放到水体中的趋势。

关键词: 硝基苯类污染物; 浓度分布; 黄河; 水体; 悬浮颗粒物; 沉积物

中图分类号: X131.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)03-0513-06

Distribution of Nitrobenzenes in the Yellow River from Xiaolangdi to Gaocun Reach

LI Xing-ru, HE Meng-chang, SUN Yan, XIA Xing-hui, YUN Ying

(State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The work presents preliminary study on the organic contaminants of ten nitrobenzenes in the water, suspended solids and sediment samples collected from eleven sampling sites in the middle and downstream of the Yellow River (from Xiaolangdi to Gaocun reach). The results indicated that eight kinds of nitrobenzenes were detected in water samples except 4-nitrotoluene and 2,6-dinitrotoluene. The high concentration of Nitrobenzene in the water from Mengzhouyiganqu site was detected, it was up to $8.4268 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, but they were all below the national standard (GB3838—2002). The total concentration of Nitrobenzenes in the suspended solids of Yiluo river is the highest, it is up to $164.382 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. The high concentration of nitrobenzenes in the sediment from Luoyangshihua site is detected. It is up to $14.718 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. The concentration of nitrobenzene in three phases is highest. The distribution of nitrobenzenes in three phases showed following order: suspended solids > sediment > surface water. From the results, we can also conclude that the contaminations in sediment samples have a trend to release into water again.

Key words: nitrobenzenes contaminants; distribution; Yellow River; surface water; suspended solids; sediment

硝基苯类有机物是一种重要的化工原料或中间体, 广泛地应用于燃料、医药、炸药、农药及高分子化学工业中^[1,2]。这类有机物及其在环境中转化的产物大多是国际公认的危险化学品, 它们对生物体有可疑致突变性和致癌性, 能够引起神经系统症状、贫血、肝脏疾病等^[3]。早在上个世纪 80 年代, 日本和美国的研究者先后从地表水体中检出过硝基苯类有机污染物^[4,5]。其后, 有人从北海海水中检测到了微量的硝基苯类有机污染物^[6]。在国内, 郎佩珍等人在 1983~1990 年间 6 次对松花江中游水体中的有毒有机物污染物进行测定, 其中硝基苯的测出率为 100%, 其它单硝基苯类有机污染物的测出率也在 90% 以上^[7]。吉林省环境保护研究所对松花江鱼体中的有机物含量进行研究, 发现银鲑鱼中硝基芳烃的含量高达 $7.6 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而硝基氯苯的含量也高

达 $1.6 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[8]。康跃惠^[9]等对官厅水库及永定河水中的挥发性有机物进行研究, 检测到硝基苯浓度在 $12.32 \sim 17.824 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。同样, 在淮河、海河、黄河、长江中都检测到了硝基苯类有机污染物^[10~13]。这些研究表明, 硝基苯类有机污染物对地表水体的污染是广泛存在且不可忽视的。

黄河是我国华北地区的主要水源。近年来由于中下游河段沿岸城市工业化的出现, 每年有大量的废水排入黄河或其支流。需要特别引起注意的是一些化工、造纸、皮革等工业排放的废水, 这些废水中

收稿日期: 2005-01-19; 修订日期: 2005-05-07

基金项目: 国家自然科学基金委员会和水利部黄河水利委员会联合研究基金项目 (50239010); 国家重点基础研究专项 (2003CB415002); 国家自然科学基金项目 (20277002)

作者简介: 李杏茹 (1979~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境有机化学。

* 通讯联系人, E-mail: heme@bnu.edu.cn

含有大量的苯、氯苯、硝基苯和硝基氯苯等污染物,使得近年来黄河中下游水体的硝基苯类有机物的污染较为突出,已对流域所在地区的生态环境造成危害,应引起高度重视. 本文研究了黄河中下游水体中表层水、悬浮颗粒物和沉积物中硝基苯类有机污染物的含量及其浓度分布规律.

1 材料与方法

1.1 采样站位及样品采集

在黄河中下游自小浪底至东明桥河段共 11 个断面采集水样和沉积物样品,同时,在焦巩桥、伊洛河、花园口、开封桥和东明桥 5 个断面采集了悬浮颗粒物样品,采样断面(点)分布见图 1. 在同一站位同时采集表层水和沉积物样品,其中伊洛河(左)、开封桥(左)、焦巩桥(右)、东明桥(左)表层水样现场经过 0.45μm 滤膜后得过滤水样和悬浮颗粒物样. 其余站点各采集原水 2L. 沉积物采用抓泥斗采样器,每个点采集约 2kg 样品,装入铝盒,带回实验室在自然条件下风干,过 100 目,冷冻保存.

在现场可以观察到小浪底、孟津大桥下水样较清,泥沙较少;孟州一干渠、新蟒河和蟒沁河水样都呈现黑褐色、发臭难闻,水面泛起大量泡沫,蟒沁河汇入黄河处有明显的污染带;伊洛河水水质呈黄绿色;洛阳石化总厂的污水处理后直接排入黄河,污水颜

色较清,但是水质排放不稳定;花园口水样较清,呈现土黄色,泥沙含量较大.

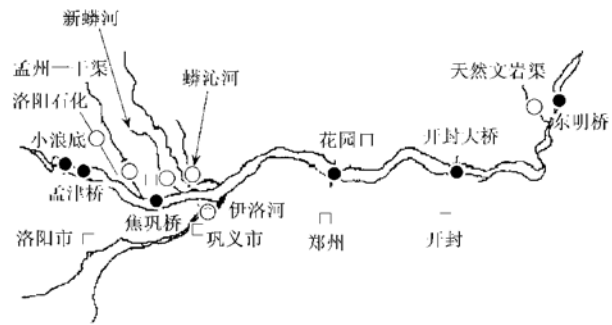


图 1 采样站位示意

Fig. 1 Distribution of sampling sites

1.2 样品的理化性质分析

现场测定水样的 pH 值、水温、氧化还原电位. 水样的 pH 值在 7.70~ 8.91 之间,呈中偏碱性. 氧化-还原电位在 - 0.42~ - 0.91mV 之间,变化不大. 水温 12.3~ 24℃,干流要低于支流的水温. 参考文献[14]测定了所有风干后的沉积物及悬浮颗粒物样品的 pH 值(电位法)、TOC(重铬酸钾-油预热法)、CEC(EDTA-铵盐浸提法)和机械组成(比重计法). 沉积物及悬浮颗粒物的理化性质见表 1、表 2 所示. 悬浮颗粒物的有机碳含量要比相应采样点沉积物的高. 与其他河流相比^[15],有机碳含量比较低.

表 1 沉积物物理化学特征

Table 1 Physical and chemical characters of the sediment samples

采样点	pH	TOC/%	CEC / cmol•kg ⁻¹	机械组成分析/%					
				> 0.25	0.25~ 0.05	0.05~ 0.01	0.01~ 0.005	0.005~ 0.001	< 0.001
				mm	mm	mm	mm	mm	mm
小浪底坝下	8.18	0.71	10.31	0.18	20.82	30.00	14.00	8.00	27.00
孟津大桥下	8.80	0.08	4.17	0.10	66.90	14.00	2.00	0	17.00
孟州一干渠	8.83	0.12	3.64	0.16	52.84	30.00	1.00	0	16.00
焦巩桥下(中)	8.86	0.081	3.78	0.18	52.82	28.00	2.00	2.00	15.00
焦巩桥下(左)	8.97	0.01	2.19	9.70	75.30	1.00	0	0	14.00
伊洛河	8.80	0.08	2.30	73.20	11.80	0	0	0	15.00
新蟒河	7.76	1.05	4.12	54.20	22.80	4.00	3.00	0	16.00
蟒沁河	8.04	1.41	12.13	3.62	16.18	20.48	6.83	20.48	32.42
花园口桥(中)	8.96	0.033	3.98	0.04	32.96	50.00	2.00	0	15.00
开封桥桥(中)	8.80	0.14	3.65	2.76	10.24	50.00	4.00	10.00	23.00
天然文岩渠	8.52	0.37	8.98	0.02	24.98	28.00	14.00	6.00	27.00
东明桥下(左)	8.83	0.084	4.61	0.06	10.94	72.00	1.00	0	16.00
东明桥下(中)	8.92	0.01	2.40	28.60	54.40	2.00	0	0	15.00

1.3 硝基苯类化合物分析方法

1.3.1 实验仪器及试剂

气相色谱仪[Varian CP-3800 型, ECD 检测器. 石英毛细管柱 CP-Sil 5C(25m×0.32mm×0.25μm)].

色谱条件为: 柱温 45℃保持 1min, 10℃/min 升温到 70℃保持 1min; 2℃/min 升温到 150℃; 45℃/min 升温到 250℃保持 10min. 检测室温度 250℃. 载气为氮气, 流速 1mL/min, 进样量为 1μL. 进样方式为无分流进样.

表 2 悬浮颗粒物理化学特征

Table 2 Physical and chemical characters of the suspended solids

采样点	pH	TOC/ %	CEC / cmol·kg ⁻¹	机械组成分析/ %					
				> 0.25	0.25~ 0.05	0.05~ 0.01	0.01~ 0.005	0.005~ 0.001	< 0.001
				mm	mm	mm	mm	mm	mm
焦巩桥	8.47	0.28	7.01	0.01	31.94	34.56	2.16	7.56	23.76
花园口桥下	8.47	0.17	6.85	0.02	12.98	50.00	6.00	9.00	22.00
开封桥下	8.45	0.17	7.26	0.02	12.98	51.00	7.00	6.00	23.00
东明桥下	8.57	0.24	7.79	0.02	12.98	54.00	6.00	4.00	23.00

硝基苯类有机物标样购自美国百灵威公司, 分别为硝基苯, 邻(间、对)硝基甲(氯)苯, 2, 6-二硝基甲苯, 2, 4-二硝基甲(氯)苯共 10 种. 试剂苯和正己烷均为色谱纯. 佛罗里硅土购自北京化学试剂公司, 在马弗炉中保持 130℃ 的温度过夜, 并用正己烷浸泡 24h 备用.

1.3.2 水样的采集和前处理

分离富集采用液-液萃取的方法^[16], 萃取剂为苯. 在采样现场用量筒量取 1L 水样, 倒入 1L 的分液漏斗中分别用 80mL、50mL、50mL 的苯萃取 3 次, 萃取液装入棕色玻璃瓶中带回实验室进行分析, 每个采样点萃取 2L 水. 由于孟州一干渠污染比较严重, 只萃取 1L 水. 分离富集后的黄河水样带回实验室, 经旋转蒸发至 5mL, 预处理后进行气相色谱分析.

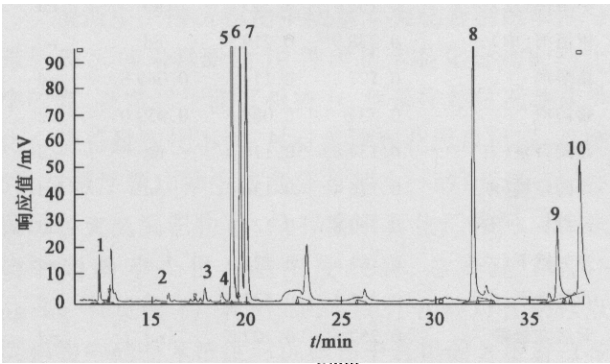
1.3.3 沉积物的前处理

沉积物和悬浮颗粒物中硝基苯类化合物的分离富集采用蒸馏法^[17]. 准确称取风干样品 20.00g 置于 100mL 三角瓶中, 加 300mL 去离子水, 搅拌几 min, 将泥水混合物移入圆底烧瓶中, 置于电炉上蒸馏, 冷凝管的出口插入接收蒸馏液的三角瓶的底部, 为防止硝基苯类有机物的挥发, 将三角瓶置于冰水中, 直到收集到 200mL 馏出液, 馏出液用 20mL 的正己烷萃取 2 次, 萃取液旋转蒸发定容至 5mL, 然后过佛罗里硅土净化柱, 先用 30mL 正己烷苯 (50: 50) 洗脱, 再用 100mL 苯洗脱, 洗脱液用氮气吹至 1mL, 进气相色谱分析. 保留时间定性, 峰高定量, 采用外标法. 10 种硝基苯类有机物的标准色谱图见图 2.

2 结果与讨论

2.1 表层水中硝基苯类化合物的分布

黄河中下游表层水中 10 种硝基苯类化合物的含量见表 3. 可以看出, 黄河水体受到不同程度的硝基苯类化合物的污染, 在各采样站位, 主要以硝基苯



1. 硝基苯; 2. 邻硝基甲苯; 3. 间硝基甲苯; 4. 对硝基甲苯; 5. 间硝基氯苯; 6. 对硝基氯苯; 7. 邻硝基氯苯; 8. 2, 6-二硝基甲苯; 9. 2, 4-二硝基甲苯; 10. 2, 4-二硝基氯苯

图 2 10 种硝基苯类有机物的标准色谱图

Fig. 2 Scan GC-ECD chromatogram of nitrobenzenes

为主, 其次是邻硝基甲苯、间硝基氯苯、对硝基氯苯和邻硝基氯苯. 对硝基甲苯和 2, 6-二硝基甲苯未检出.

在黄河干流各采样站位, 小浪底坝下表层水污染物浓度较高, 孟津桥较低, 随后, 自焦巩桥至东明桥逐渐升高(见图 3). 主要原因可能是: ①在花园口上游接纳了污染较为严重的支流, 使得在花园口以下硝基苯类有机物与焦拱桥相比浓度较高; ②沉积物的再次释放, 在花园口沉积物中测到了比较高浓度的污染物, 而在开封桥和东明桥沉积物中的硝基苯类有机物浓度有所下降, 这可能是沉积物所吸附的硝基苯类有机物再次释放到水中, 使得表层水体自花园口至东明桥浓度逐渐升高. 与黄河干流相比, 各支流中硝基苯类化合物浓度较高, 特别是孟州一干渠和伊洛河污染比较严重(见图 4). 孟州一干渠中硝基苯类污染物种类较少, 只测到 5 种, 但浓度都比较高, 其中硝基苯浓度达到 $8.4268 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 邻硝基甲苯达到 $0.4833 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 在所有河段中是最高的. 间硝基氯苯和对硝基氯苯在小浪底到焦巩桥河段中的浓度都较低, 但是伊洛河中这 2 种有机物的浓度都很高, 使得在下游的干流花园口、开封桥以

表 3 黄河水体中硝基苯类有机污染物含量¹⁾/μg·L⁻¹

Table 3 Concentrations of ten nitrobenzenes contaminants in water samples from Yellow River/μg·L⁻¹

采样点	硝基苯	邻硝基 甲苯	间硝基 甲苯	对硝基 甲苯	间硝基 氯苯	对硝基 氯苯	邻硝基 氯苯	2,6-二硝 基甲苯	2,4-二硝 基甲苯	2,4-二硝 基氯苯
小浪底坝下	0.648 1	0.071 8	0.089 2	nd	0.058 9	0.051 4	0.019 8	nd	nd	nd
孟津桥	0.128 9	0.082 1	nd	nd	0.005 5	0.026 1	0.026 1	nd	nd	nd
洛阳石化	0.482 6	0.292 0	0.146 2	nd	0.004 5	0.004 8	0.000 0	nd	nd	nd
孟州一干渠	8.426 8	0.483 3	0.092 8	nd	0.023 1	0.000 0	0.000 0	nd	nd	0.0262
焦巩桥下(右)	0.242 7	0.104 0	nd	nd	0.000 6	0.025 8	0.022 2	nd	0.010 9	nd
焦巩桥下(中)	0.145 9	0.128 2	nd	nd	0.000 3	0.031 7	0.0236	nd	0.009 8	nd
伊洛河(左)	0.166 9	0.213 0	nd	nd	0.119 5	3.552 3	3.819 1	nd	nd	nd
伊洛河(中)	0.238 9	0.219 9	nd	nd	0.109 4	1.325 0	1.216 4	nd	nd	nd
新蟒河	0.127 5	0.114 1	0.069 8	nd	0.014 3	0.045 6	0.055 3	nd	nd	0.005 0
蟒沁河	0.531	0.089 1	0.059 0	nd	0.009 7	0.002 8	nd	nd	0.008 4	0.004 8
花园口桥(右)	0.134 8	0.118 4	nd	nd	0.006 9	0.144 1	0.153 5	nd	nd	nd
花园口桥(中)	0.176 4	0.136 4	nd	nd	0.006 0	0.155 8	0.151 6	nd	nd	nd
开封桥下(右)	0.362 8	0.124 4	nd	nd	0.004 9	0.122 3	0.149 8	nd	nd	nd
开封桥下(左)	0.181 6	0.121 0	nd	nd	0.005 1	0.129 3	0.133 5	nd	nd	nd
开封桥下(中)	0.361 3	0.125 1	nd	nd	0.007 0	0.143 2	0.144 9	nd	nd	nd
天然文岩渠	0.257 3	0.107 5	nd	nd	0.001 6	0.014 2	0.044 3	nd	nd	nd
东明桥下(中)	0.388 1	0.119 6	nd	nd	0.005 7	0.123 0	0.162 5	nd	nd	nd
东明桥下(左)	0.334 7	0.152 5	nd	nd	0.004 5	0.133 0	0.168 5	nd	nd	nd
东明桥下(右)	0.297 8	0.255 1	nd	nd	0.008 8	0.143 0	0.113 8	nd	nd	nd

1) nd 表示未检出,下同

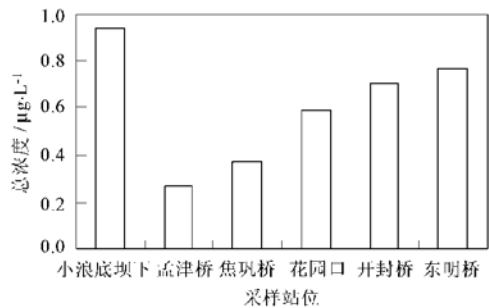


图 3 黄河干流表层水中硝基苯类化合物总浓度分布

Fig. 3 Total concentrations of ten nitrobenzenes contaminants in water samples from main stream of Yellow River

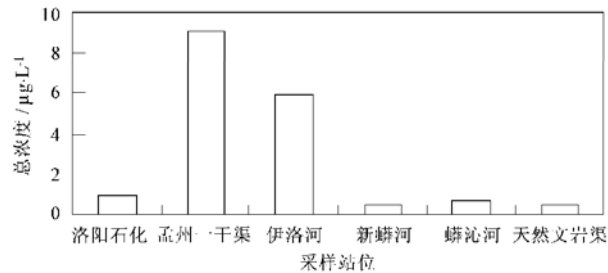


图 4 黄河支流表层水中硝基苯类化合物总浓度分布

Fig. 4 Total concentrations of ten nitrobenzenes contaminants in water samples from branch of Yellow River

至东明桥段也都检测出了浓度很高的间硝基氯苯和对硝基氯苯.这可能与位于巩义市的某化工厂所排放的废水中含有较高的硝基苯、对硝基氯苯、邻硝基氯苯有关,它们排放的废水从伊洛河进入黄河.据调查,伊洛河上游以接纳造纸、印染、淀粉、水泥、化工、化肥等行业及城镇生活污水为主;新蟒河、蟒沁河(老蟒河、沁河在下游汇合)以接纳造纸行业废水为主.总之,伊洛河、新蟒河、蟒沁河这些支流在花园口上进入,直接影响到花园口及以下河段中硝基苯类有机污染物的浓度.但总体来说,所测到的硝基苯类有机污染物浓度都低于 GB3838—2002(2002-04-28 发布,2002-06-01 实施)中的关于集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值.

2.2 悬浮颗粒物中硝基苯类化合物的分布

在 5 个站点采集悬浮颗粒物测定硝基苯类化合物的浓度,结果见表 4.伊洛河悬浮颗粒物中硝基苯类化合物的浓度相当高,达到了 164μg·kg⁻¹.黄河下游的花园口、开封桥和东明桥的颗粒物中也含有比表层水高的硝基苯类化合物(图 5).说明来自黄河各支流的污染物有向下游迁移的潜力.与对应采样点的沉积物相比,悬浮颗粒物中的浓度要高,这可能跟悬浮颗粒物中的有机碳含量较高有关.

表 4 悬浮颗粒物中硝基苯类化合物的分布特征/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
Table 4 Concentrations of ten nitrobenzenes contaminants in suspended solids from Yellow River/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

采样点	硝基苯	邻硝基 甲苯	间硝基 甲苯	对硝基 甲苯	间硝基 氯苯	对硝基 氯苯	邻硝基 氯苯	2,6-二硝 基甲苯	2,4-二硝 基甲苯	2,4-二硝 基氯苯
焦巩桥	nd	nd	0.350	nd	0.221	0.435	2.846	0.234	1.508	0.166
伊洛河	51.51	0.900	25.07	69.63	2.256	3.022	11.61	nd	nd	0.397
花园口桥下	1.266	nd	nd	nd	0.086	0.101	0.791	nd	0.470	0.202
开封桥下	2.241	nd	1.437	nd	0.056	0.104	0.393	0.014	0.856	0.576
东明桥下	2.771	0.393	nd	nd	0.065	0.210	0.566	nd	0.674	0.368

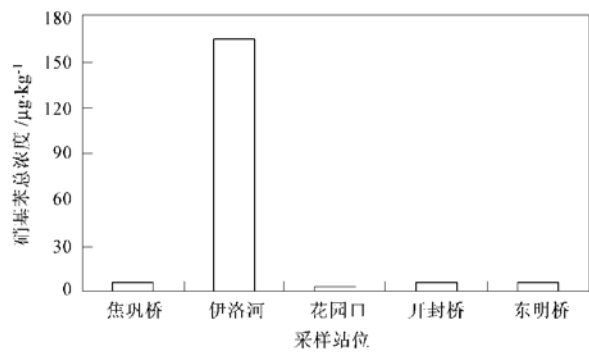


图 5 黄河悬浮颗粒物中硝基苯类化合物总浓度分布
Fig. 5 Total concentrations of ten nitrobenzenes contaminants in suspended solids from Yellow River

2.3 沉积物中硝基苯类化合物的分布

黄河中下游沉积物中硝基苯类化合物的浓度分布见表 5. 各采样断面 10 种硝基苯类化合物的检出率较高, 在黄河干流沉积物中, 各采样站位硝基苯类化合物总量变化不大, 只有孟津和花园口稍高(见图 6), 与悬浮颗粒物中浓度分布基本一致(见图 5). 在黄河各支流沉积物中, 只有洛阳石化厂排污口沉积物中硝基苯类化合物浓度较高, 总量达 $14.718\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (见图 7). 利用 SPSS 统计软件对各采样点沉积物中硝基苯浓度与沉积物中有机碳含量进行相关分析, 二者之间没有相关性.

从表 3~ 表 5 可以看出, 硝基苯类有机物在水、

表 5 硝基苯类有机物在沉积物中的分布特征/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
Table 5 Concentrations of ten nitrobenzenes contaminations in sediment samples from Yellow River/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

采样点	硝基苯	邻硝基 甲苯	间硝基 甲苯	对硝基 甲苯	间硝基 氯苯	对硝基 氯苯	邻硝基 氯苯	2,6-二硝 基甲苯	2,4-二硝 基甲苯	2,4-二硝 基氯苯
小浪底坝下	0.515	nd	0.480	nd	0.085	0.116	0.519	0.014	0.221	0.189
孟津桥	0.477	1.138	0.272	nd	0.056	0.094	0.548	nd	0.166	1.233
洛阳石化	6.022	nd	nd	3.981	0.145	0.284	1.956	0.644	0.714	0.972
孟州一干渠	0.481	nd	1.480	1.604	0.058	0.091	0.583	0.000	0.310	1.612
焦巩桥下(左)	nd	nd	0.766	0.756	0.090	0.134	0.607	0.140	0.262	0.154
焦巩桥下(中)	nd	nd	0.514	0.348	0.088	0.115	0.734	0.002	0.198	0.124
伊洛河	0.979	2.246	0.796	nd	0.065	0.088	0.369	0.007	0.247	0.434
新鳞河	0.221	nd	nd	1.196	0.086	0.112	0.623	nd	0.467	0.518
鳞沁河	0.367	0.779	nd	2.272	0.053	0.084	0.506	nd	0.320	0.589
花园口桥下(中)	1.212	nd	0.512	nd	0.112	0.135	0.870	0.164	0.257	0.393
花园口桥下(左)	1.916	nd	0.337	nd	0.120	0.174	0.605	0.222	0.426	0.292
开封桥下(中)	0.326	nd	nd	nd	0.034	0.039	0.201	0.072	0.161	0.011
开封桥下(右)	0.268	nd	nd	nd	0.057	0.129	0.581	0.198	0.294	0.153
天然文岩渠	0.440	nd	0.071	nd	0.060	0.113	0.857	0.000	0.208	1.307
东明桥下(右)	0.074	0.112	0.408	nd	0.032	0.040	0.160	0.067	0.114	0.088
东明桥下(中)	0.051	nd	0.148	nd	0.032	0.047	0.079	0.017	0.264	0.192
东明桥下(左)	0.082	nd	0.261	nd	0.037	0.070	0.218	0.074	0.125	0.071

沉积物和悬浮颗粒物中的大体分布趋势为悬浮颗粒物> 沉积物> 表层水. 表 6 是根据文献得到的部分水域中硝基苯有机物的成分和含量. 与其他河流相比, 水样中所测到的硝基苯浓度均低于淮河中硝基苯浓度($2.2\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)^[10], 与松花江中所测到的硝基苯类有机物浓度(硝基苯: $0.453\sim 3.107\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; 对

硝基甲苯: $0.072\sim 1.659\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)相当^[18].

3 结论

采自小浪底至东明桥河段的黄河水样、悬浮颗粒物及沉积物测定硝基苯类有机污染物的含量, 其中硝基苯的总浓度最高. 水样中检测到 8 种硝基苯

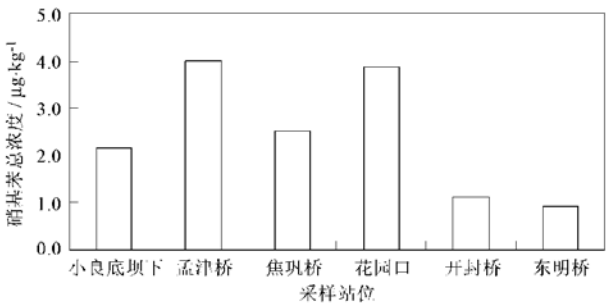


图 6 黄河干流沉积物中硝基苯类有机污染物总浓度分布
Fig. 6 Total concentrations of ten nitrobenzenes contaminations in sediment samples from main streams of Yellow River

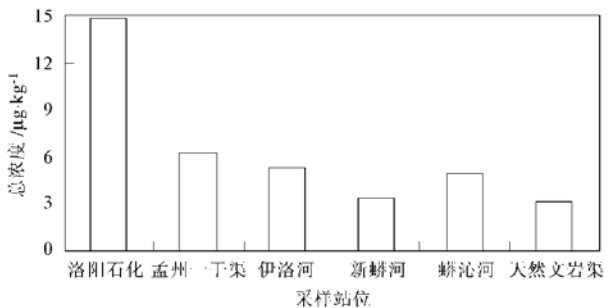


图 7 黄河支流沉积物中硝基苯类有机污染物总浓度分布
Fig. 7 Total concentrations of ten nitrobenzenes contaminants in sediment samples from branches of Yellow River

表 6 国内部分河流中硝基苯类污染物的含量¹⁾/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
Table 6 Reported concentrations of nitrobenzenes contaminants of several rivers in China/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

硝基苯类有机物	官厅 ^[9]	淮河 ^[10]	松花江 ^[18]	海河 ^[11]
硝基苯	12.32~ 17.824	2.2	0.453~ 3.107	17.82
对硝基甲苯			0.072~ 1.659	
对硝基氯苯			0.23~ 0.80	
2,6-二硝基甲苯		16.5(淮南)	0.10~ 0.16	
2,4-二硝基甲苯		22.6(淮南)	0.16~ 0.39	
2,4-二硝基氯苯			0.361~ 1.239	

1)表中空白为无数据

类有机污染物,但是浓度都低于 GB3838—2002 中关于集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值.与国内其它河流相比,其污染程度低于淮河和海河,高于长江.悬浮颗粒物和沉积物中 10 种硝基苯类有机物都有检出,浓度较水样高.由于沉积物及悬浮颗粒物中有机碳含量较低,所测到的硝基苯类有机物的浓度与有机碳含量没有明显的相关性,但是硝基苯类有机物在水、沉积物和悬浮颗粒物中的大体分布趋势为悬浮颗粒物>沉积物>水体,这与悬浮颗粒物有机碳含量>沉积物>水体是一致的.

参考文献:

[1] Hartter D R. The use and importance of nitroaromatic chemicals in the chemical industry[A]. In: Rickert D(Ed). Toxicity of nitroaromatic compounds[C], Washington, DC: Hemisphere, 1985. 1~ 3.

[2] Rosenblatt D H, Burrows E P, Mitchell W R, *et al.* Organic explosives and related compounds[A]. In: Hutzinger O (Ed). The Handbook of Environmental Chemistry —Anthropogenic Compounds[C]. Berlin: Spinger Verlag, 1991. 195~ 237.

[3] Adkins R L. Nitrobenzene and nitrotoluene[A]. In: Grant M H(Ed). Kirk Othmer encyclopedia of chemical technology 4ed [C], New York: Wiley Interscience, 1994. 133~ 152.

[4] Yamagishi T, Miyazaki T, Horii S, *et al.* Identification of musk xylene and musk ketone in fresh water fish collected from the Tama River Tokyo[J]. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 1981, **26**(10): 656~ 662.

[5] Yurawecz M P, Puma B J. Nitro musks fragrances as potential contaminants in pesticide residue analysis[J]. J. Ass. Off. Analyst. Chem., 1983, **66**(4): 241~ 247.

[6] Gatermann R, Huhnerfuss H, Rimkus G, *et al.* The distribution of nitrobenzene and other nitroaromatic compounds in the North Sea[J]. Marine Pollution Bulletin, 1994, **30**(3): 221~ 227.

[7] 郎佩珍, 龙凤山, 袁星, 等. 松花江中游(哨口-松花江村段)水中有毒有机物污染研究[J]. 环境科学进展, 1993, **1**(6): 47~ 55.

[8] 于常荣, 曹 巍, 王伟, 等. 松花江鱼类有机污染物的研究[J]. 中国环境科学, 1994, **14**(4): 283~ 287.

[9] 康跃惠, 宫正宇, 王子健, 等. 官厅水库及永定河水库中挥发性有机物分布规律研究[J]. 环境科学学报, 2001, **21**(3): 338~ 343.

[10] 王子健, 吕怡兵, 王毅, 等. 淮河水取代苯类污染物及其生态风险[J]. 环境科学学报, 2002, **22**(3): 300~ 304.

[11] 王宏, 杨霓云, 沈英娃, 等. 海河流域几种典型有机污染物环境安全性评价[J]. 环境科学研究, 2003, **16**(6): 35~ 36.

[12] 胡国华, 赵沛伦. 黄河孟津—花园口区间有机污染分析及防治对策[J]. 人民黄河, 1995, (11): 6~ 9.

[13] 田怀军, 舒为群, 张学奎, 等. 长江、嘉陵江(重庆段)源水有机污染物的研究[J]. 长江流域资源与环境, 2003, **12**(2): 118~ 123.

[14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.

[15] 金相灿. 沉积物污染化学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992. 72~ 73.

[16] 魏复盛. 水和废水监测分析方法指南(中册)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997. 259.

[17] Yoshinori N, Tameo O. Determination of nitrobenzenes in river water, sediment and fish samples by gas chromatography-mass spectrometry[J]. Analytica Chimica Acta, 1995, **312**(1): 45~ 55.

[18] 金子, 李善日, 李青山. 松花江水中有机污染物的 GC/MS 定性定量分析[J]. 质谱学报, 1998, **19**(1): 33~ 42.