

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第7期 Vol.34 No.7 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 7 期

2014 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 青藏高原东北部 5000 年来气候变化与若尔盖湿地历史生态学研究进展 何奕忻, 吴 宁, 朱求安, 等 (1615)
- 天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的分布规律及其影响因素 阿米娜木·艾力, 常顺利, 张毓涛, 等 (1626)

个体与基础生态

- 小兴安岭红松日径向变化及其对气象因子的响应 李兴欢, 刘瑞鹏, 毛子军, 等 (1635)
- 采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响 吴波波, 郭剑芬, 吴君君, 等 (1645)
- 庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征 白秀梅, 韩有志, 郭汉清 (1654)
- 思茅松天然林树冠结构模型 欧光龙, 肖义发, 王俊峰, 等 (1663)
- 镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐, 黄 翼, 彭良志, 等 (1672)
- 斑块生境中食果鸟类对南方红豆杉种子的取食和传播 李 宁, 王 征, 鲁长虎, 等 (1681)
- 重金属铅与两种淡水藻的相互作用 刘 璐, 闫 浩, 李 诚, 等 (1690)
- 刺参养殖池塘初级生产力及其粒级结构周年变化 姜森颖, 周一兵, 唐伯平, 等 (1698)
- 控(微囊)藻鲢、鳙排泄物光能与生长活性 王银平, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等 (1707)
- 五爪金龙中香豆素类物质含量及其对福寿螺、水稻和稗草的影响 犹昌艳, 杨 宇, 胡 飞, 等 (1716)

种群、群落和生态系统

- 西双版纳国家级自然保护区勐腊子保护区亚洲象种群和栖息地评价 林 柳, 金延飞, 陈德坤, 等 (1725)
- 莱州湾鱼类群落同功能种团的季节变化 李 凡, 徐炳庆, 马元庆, 等 (1736)
- 长期不同施肥方式对麦田杂草群落的影响 蒋 敏, 沈明星, 沈新平, 等 (1746)
- 极端干旱条件下燕麦垄沟覆盖系统水生态过程 周 宏, 张恒嘉, 莫 非, 等 (1757)

景观、区域和全球生态

- 流域景观格局变化对洪枯径流影响的 SWAT 模型模拟分析 林炳青, 陈兴伟, 陈 莹, 等 (1772)
- 近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征 徐维新, 辛元春, 张 娟, 等 (1781)
- 丽江城市不同区域景观美学 郭先华, 赵千钧, 崔胜辉, 等 (1794)
- 珠三角河网水域栅藻的时空分布特征 王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (1800)
- 博斯腾湖细菌丰度时空分布及其与环境因子的关系 王博雯, 汤祥明, 高 光, 等 (1812)
- 遗传算法支持下土地利用空间分形特征尺度域的识别 吴 浩, 李 岩, 史文中, 等 (1822)
- 川西亚高山不同海拔岷江冷杉树轮碳稳定同位素对气候的响应 靳 翔, 徐 庆, 刘世荣, 等 (1831)

基于 ESDA 的西北太平洋柔鱼资源空间热点区域及其变动研究 冯永玖,陈新军,杨铭霞,等 (1841)

城乡与社会生态

基于居民生态认知的非使用价值支付意愿空间分异研究——以三江平原湿地为例
..... 高 琴,敖长林,陈红光,等 (1851)

浑河河水及其沿岸地下水污染特征 崔 健,都基众,王晓光 (1860)

社会生态系统及脆弱性驱动机制分析 余中元,李 波,张新时 (1870)

研究简报

等渗 NaCl 和 Ca(NO₃)₂胁迫对黄瓜幼苗生长和生理特性的影响 周 珩,郭世荣,邵慧娟,等 (1880)

专家观点

关于“生态保护和建设”名称和内涵的探讨 沈国舫 (1891)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04



封面图说: 红豆杉人工林——红豆杉为常绿针叶乔木,树高可达 25m,属国家一级保护植物。红豆杉中含有的紫杉醇,具有独特的抗癌机制和较高的抗癌活性,能阻止癌细胞的繁殖、抑制肿瘤细胞的迁移,是世界公认的抗癌药。红豆杉在我国共有 4 个种和 1 个变种,即云南红豆杉、西藏红豆杉、东北红豆杉、中国红豆杉和南方红豆杉(变种)。由于天然红豆杉稀缺,国家严禁采伐利用,因而我国南方很多地方都采取人工种植的方法生产利用。人工种植的南方红豆杉在南方山区多呈斑块状分布,斑块生境中鸟类对红豆杉种子的传播有重要的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201306171723

崔健,都基众,王晓光.浑河河水及其沿岸地下水污染特征.生态学报,2014,34(7):1860-1869.

Cui J, Du J Z, Wang X G. Contamination characteristics in surface water and coastal groundwater of Hunhe River. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1860-1869.

浑河河水及其沿岸地下水污染特征

崔 健*, 都基众, 王晓光

(沈阳地质矿产研究所, 沈阳 110034)

摘要:选择沈阳地区重要河流浑河及其沿岸地下水进行定量分析,研究并探讨了包括无机物和有机物在内的水质综合污染特征。结果表明,浑河河水中氨氮、硝氮、亚硝氮和酚超过了地表水环境质量标准,最大超标倍数分别为 15.8、1.5、82.4 和 1.8 倍,检测出的 11 种卤代烃、氯苯和六六六等有机物均未超标。浑河沿岸地下水中氨氮、硝氮、亚硝氮、化学需氧量、酚和铅超过地下水质量标准,超标率分别为 31.6%、10.5%、26.3%、36.8%、47.4% 和 26.8%,检测出的 4 种卤代烃和六六六等有机物均未超标。河水及其沿岸地下水中的污染物,尤其是有机污染物种类和浓度高值基本出现在城西的谟家—大祝断面之间。浑河水质主要受城市工业废水、居民生活污水排放的影响,沿岸地下水的污染源包括工业生产或农村居民生活造成的地表污染物垂直入渗式的点源污染、浑河水侧向渗透补给式的线源污染以及农药化肥使用产生的面源污染,而有机污染物主要通过点源污染地下水。浑河各区段的使用功能、包气带岩性及沿岸水源地开采井布局等因素都为受污染的河水对沿岸几百米范围内的浅层地下水的补给提供了条件,造成浅层地下水的污染,对当地生态系统及人类健康构成潜在威胁。

关键词:浑河;地下水;无机污染;有机污染

Contamination characteristics in surface water and coastal groundwater of Hunhe River

CUI Jian*, DU Jizhong, WANG Xiaoguang

Shenyang Institute of Geology Mineral Resources, Shenyang 110034, China

Abstract: The pollution characteristics of Hunhe River and its coastal groundwater were investigated which included inorganic and organic index. The results indicate that concentrations of ammonia, nitrate, nitrite and phenol in Hunhe River exceeded the National Environmental Quality Standard for Surface Water, and the maximum exceed multiple was 15.8, 1.5, 82.4 and 1.8, respectively. Ammonia, nitrate, nitrite, COD, Pb and phenol in coastal groundwater of Hunhe River exceeded the Environmental Quality Standard for Groundwater and the exceed ratio were 31.6%, 10.5%, 26.3%, 36.8%, 47.4% and 26.8%, respectively. But organic matters which were detected in the river and coastal groundwater such as chlorobenzene and benzene didn't exceed the standard. The pollutants especially organic pollutants were various and high-concentration from Mo jia-Da zhu section. The surface water quality was mainly affected by the city industrial wastewater and domestic sewage. The pollution in coastal groundwater was due to point source pollution vertical infiltrating caused by industrial production or rural residents activities, line source pollution by lateral infiltration recharged from river and non-point source pollution owing to the use of pesticide and fertilizer. Thereinto, organic pollution of groundwater was mainly on account of point source pollution. Some factors such as river using function, vadose zone lithology and layout of exploitation well along the river made pollutant transportation from the polluted river to shallow coastal groundwater within a few hundred meters which poses a great potential threat to ecosystem and local population.

基金项目:中国地质调查局地质调查资助项目(1212010913004)

收稿日期:2013-06-17; 修订日期:2014-02-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: spidercj@126.com

Key Words: Hunhe River; groundwater; inorganic pollution; organic pollution

近年来,在工业化和城市化进程中,“三废”物质的排放和农药化肥的大量使用,导致地表水和地下水水质恶化,尤其是排入水中的“三致”有机污染物,对人体健康构成严重威胁^[1],已经引起国内外专家学者的广泛关注^[2-5]。

沈阳市作为东北重工业基地龙头城市,地下水是其主要供水水源,而沈阳市地下水的主要补给源自浑河。浑河发源于辽宁省清原县滚马岭,东北向西南流经抚顺,在沈阳市东陵区晓仁镜村入境,经市区后,沿辽中县和辽阳市边界流入辽中,最后在辽中上顶子村出境。浑河在沈阳市境内长 172.6km,多年平均流量 45.60m³/s。沈阳市有 6 个水厂及其部分水源地的 180 眼水源井集中在浑河两岸,年产量 18530.6 万 m³,占市政供水量的 70%。浑河对沈阳市的城区和农村具有地下水补给、景观、纳污、农灌和泄洪等多项功能,特别是对调节城市生态环境有着不可替代的作用^[6]。本文对浑河河水及其沿岸地下水水质污染特征进行调查研究,为保障城市水生态安全,合理开发利用水资源提供科学依据。

1 研究方法

1.1 水文地质条件

浑河沿岸第四系松散堆积物较发育,含水丰富,如图 1 所示,各含水层按成因、结构、物质组成和埋藏条件简述如下^[7]:(1)全新统冲积、冲洪积砂砾石

孔隙潜水含水层,分布于浑河高低漫滩区。岩性为砂砾石、砂卵石,平均厚度 20—40m。地下水位埋深近河地区 5.0—7.0m,市区多为 12.0—22.0m^[8]。含水层渗透系数 50—95m/d,单位涌水量 10.0—30.0 L s⁻¹ m⁻¹。该层位地下水是城市供水的主要开采层位;(2)上更新统冲洪积砂砾石孔隙微承压水含水层,分布于浑河的南、北一级阶地。岩性为砂砾石、砂卵石,厚度 10.0—28.0m 左右。其水位埋深浑河北岸的东部一般为 12.0—16.0m,西部为 8.0—26.0m;南岸为 5.0—9.0m。渗透系数一般大于 80m/d,单位涌水量 10.0—15.0 L s⁻¹ m⁻¹。该含水层与上覆的全新统冲积冲洪积砂砾石孔隙潜有着密切水力联系,均为供水的主要开采层;(3)中、下更新统冰水沉积砂砾、砂卵石孔隙局部承压水含水层,分布于第四系地层最下部,为半胶结砂砾、砂卵石夹粘土层,局部为砂砾石层,厚度 10.0—40.0m。渗透系数 5—10m/d。单位涌水量 1.0—2.0 L s⁻¹ m⁻¹。

1.2 样品采集与保存

采样点布置如图 2 所示,地下水样品沿浑河流向选取 A—F 6 个垂直断面,根据实地情况,每个断面利用当地机井及农户自用井采集 2—4 个地下水样,深度为 10—70m;分别在浑河沈阳市段上、中、下游的 B、D、F 断面处采集地表水样品 1 个,共采集地下水样品 19 个,地表水样品 3 个。样品采集时间为 2010 年 7—9 月份。

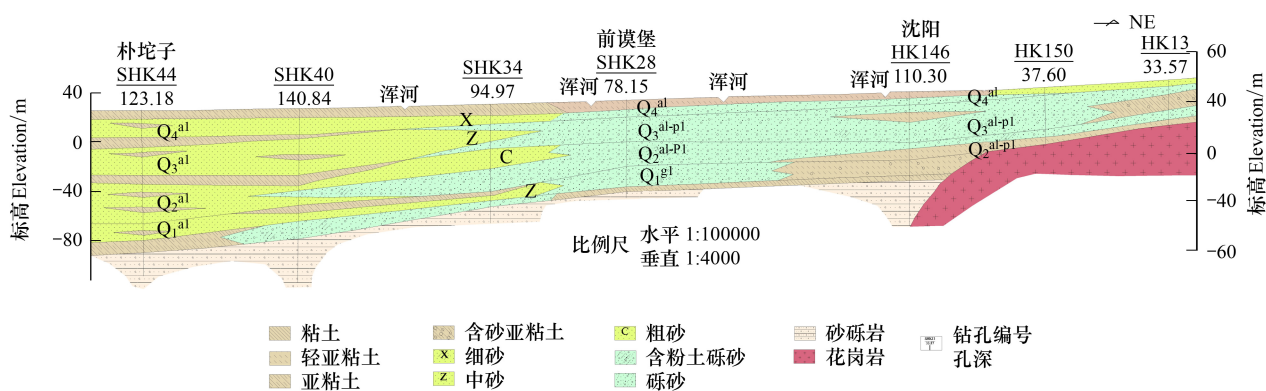


图 1 浑河沿岸水文地质剖面

Fig.1 The hydrogeologic profile along the Hunhe River

Q₄^{al}: 全新统冲积砂砾石含水层; Q₃^{al}: 上更新统冲积砂砾石含水层; Q₂^{al}: 中更新统冲积砂砾石含水层; Q₁^{al}: 下更新统冲积砂砾石含水层;
Q₃^{al-pl}: 上更新统冲洪积砂砾石含水层; Q₂^{al-pl}: 中更新统冲洪积砂砾石含水层; Q₁^{pl}: 下更新统冰积砂砾石含水层

地下水样品采样前进行洗井处理,抽出原井内水的 3 倍以上。有机物样品采集时在井口安装三通和控制出水流量的导管取样器,以保证有机样瓶中不产生气泡。对 VOC 有机样品在采样前加入了 2 滴浓盐酸,VOC 和 SVOC 样瓶封口后倒置于 4℃ 保温

箱中。无机物样品中,在测酚的样品中加入 2—5g 氢氧化钠,测重金属的样品中加入 10mL 浓硝酸(1:1 浓度)保存。运输采用保温箱,低温保存有机水样,5 日内送到国土资源部东北矿产资源监督检测中心分析检测。

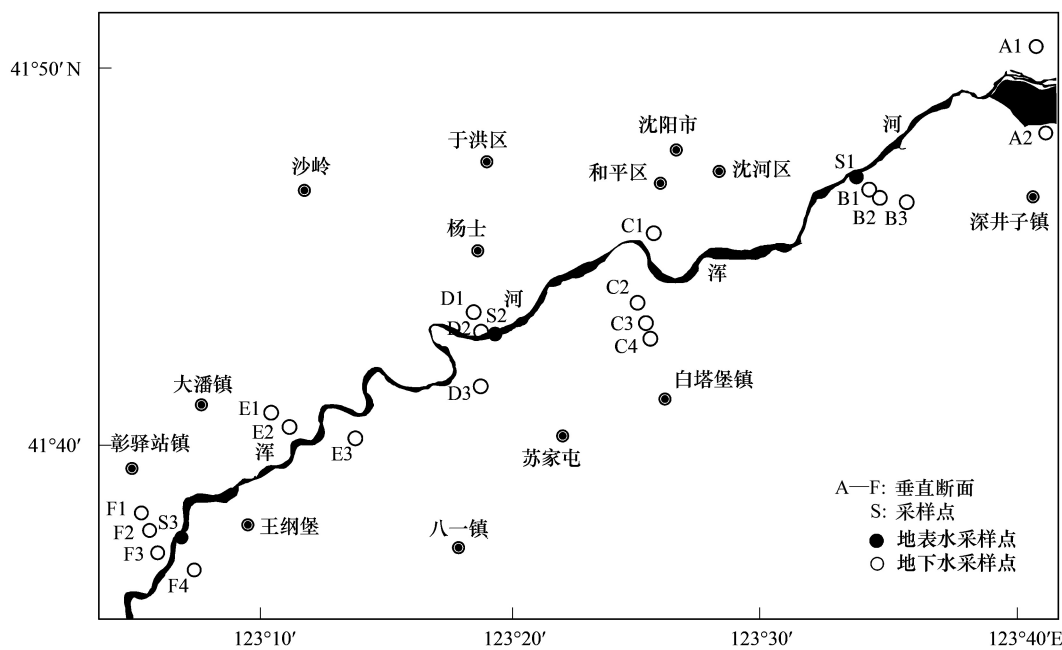


图 2 样品采集分布图

Fig.2 Sampling sites of water samples collected

1.3 实验测试

水样品测试包括无机物测试和有机物测试两部分。无机物测试采用原子吸收法、分光光度法和比色法等传统方法,因此,仅对有机物实验测试详细说明。

1.3.1 仪器与设备

水样有机物测试仪器主要为 DSQ II 型气相色谱-质谱仪(美国热电公司);Tekmar Stratum 型吹扫捕集浓缩仪,配 Aquatek 70 液体自动进样器;5mL 砂芯式吹扫管,3#捕集阱(美国安普公司)^[9],40 mL VOC 棕色样品瓶,内衬有聚四氟乙烯膜的螺旋盖;气密性注射器(规格包括 10 μ L、25 μ L、250 μ L、500 μ L、1 mL,美国安捷伦公司,美国 SGE 公司,美国 Hamilton 公司);经校准的 A 级容量瓶 50 mL;2 mL 棕色样品瓶(美国安捷伦公司);载气为高纯 He,TR-5MS 毛细管色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μ m)。

1.3.2 标准和主要试剂

标准物质:54 种 VOCs 混合标准(美国色谱科公司)2000 μ g/mL;内标和替代物的混合标准:氟苯为

内标,替代物为 4-溴氟苯、1,2-二氯苯-d4(美国迪马公司)2000 μ g/mL;氯乙烯标准溶液:2 000 μ g / mL(美国迪马公司),以上均为甲醇溶液。甲醇(农残级,美国迪马公司),空白试剂水采用娃哈哈纯净水煮沸 30min 后,通高纯氮气流冷却备用。甲醇和空白试剂水应远离其他有机试剂保存,防止实验室内二氯甲烷等常用试剂的污染,使用前进行空白检测。

1.3.3 气相色谱-质谱条件

气相色谱条件:载气为高纯 He,TR-5MS 毛细管色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μ m),汽化室温度 200 $^{\circ}$ C;分流进样,分流比 20:1,载气流速 1 mL / min,柱箱温度:初温 35 $^{\circ}$ C,保持 4 min,以 8 $^{\circ}$ C / min 升至 150 $^{\circ}$ C,柱后温度 200 $^{\circ}$ C,保持 3 min,接口温度 250 $^{\circ}$ C。

质谱条件:电子轰击(EI)源,70 eV,离子源温度 250 $^{\circ}$ C,电子倍增器电压 3.0 kV;扫描范围 45 — 300u / s;选择离子扫描方式,2 min 后切换为全扫描方式,扫描频次为 500 u/s,溶剂延迟时间 1.6 min。

1.4 测试指标

本次研究检测水中 13 种无机物,包括氨氮、硝氮、亚硝氮、硫酸盐、化学需氧量、酚、铬、铜、铅、锌、砷、汞和镉;检测 19 种有机物,包括 13 种卤代烃、4 种氯代苯和 2 种有机氯农药。

2 结果与分析

2.1 浑河河水无机污染特征

浑河沿岸遍布市政集中供水水源及农村分散供水水源,因此河水中无机物参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水标准。浑河水中主要超标的无机物为氨氮、硝氮、亚硝氮和酚,最大超标倍数分别为 15.8、1.5、82.4 和 1.8 倍;硫酸盐、化学需氧量和重金属均未超标(表 1)。

上游的王家湾、中游漠家断面河水中的酚和化学需氧量浓度均远远高于下游朴坨子断面(图 3),煤气、炼焦、造纸、合成氨和化工等工业废水的排放是主要原因,城市中排出的大量粪便污水也是河水中酚污染物的重要来源;而河水中的生物化学氧化、挥发及底泥微生物降解作用在酚和化学需氧量的自净过程中有着重要意义,这也可能是下游朴坨子断面处两者浓度骤然降低的原因。3 个断面的氨氮浓度特征恰恰与硝氮、亚硝氮相反,其原因可能是漠家断面上游 1000m 处为沈阳市仙女河污水处理厂排污口,受工业废水排放的主要影响,氨氮浓度明显偏高;而王家湾和朴坨子断面处河水中的硝氮和亚硝氮,主要来自生活污水排放或农业化肥、粪肥的地表径流。

表 1 浑河各样点无机物浓度

Table 1 Concentration of each individual inorganic matter in the surface water of Hunhe River

采样点 Samples	氨氮 Ammonia/ (mg/L)	硫酸盐 Sulfate/ (mg/L)	硝氮 Nitrate/ (mg/L)	亚硝氮 Nitrite/ (mg/L)	化学 需氧量 COD/ (mg/L)	酚 Phenol/ (mg/L)	铬 Cr/ (mg/L)	铜 Cu/ (mg/L)	铅 Pb/ (mg/L)	锌 Zn/ (mg/L)	砷 As/ (mg/L)	汞 Hg/ (mg/L)	镉 Cd/ (mg/L)
王家湾(S1)	0.51	123.59	10.61	0.544	8.6	0.006	0.012	0.010	0.043	0.012	0.004	0.0000	0.0000
漠家(S2)	15.80	106.31	0.43	0.045	8.5	0.009	0.016	0.002	0.000	0.016	0.007	0.0000	0.0001
朴坨子(S3)	1.23	113.10	15.40	1.648	3.6	0.000	0.003	0.003	0.000	0.009	0.005	0.0000	0.0000
Ⅲ类标准	1	250	10	0.02	20	0.005	0.05	1	0.05	1	0.05	0.0001	0.005

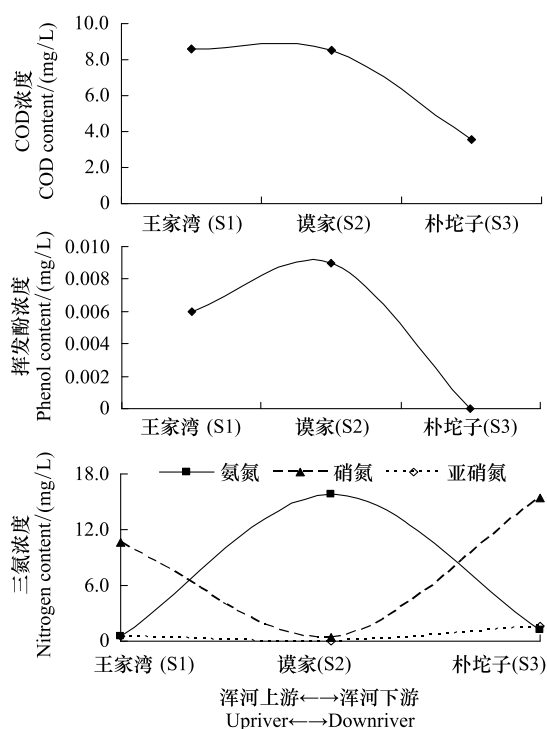


图 3 浑河样品污染物浓度

Fig.3 Contaminant concentration in samples of Hunhe River

2.2 浑河河水有机污染特征

浑河河水中共检测出 19 种有机污染物中的 13 种(表 2),其中卤代烃检测出 13 种中的 11 种,氯代苯类仅检测出氯苯 1 种,有机氯农药仅检测出六六六,各项有机污染物均未超标(《地表水环境质量标准》集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值)。卤代烃和氯代苯类主要来自沈阳市有色金属、制药、钢铁、铸造、洗衣业、皮革鞣制等工业“三废”排放,有机氯农药主要来自农业生产的农药使用。漠家断面河水中检测出 11 种有机污染物,主要与沈阳市仙女河污水处理厂排污口密切相关;而下游朴坨子断面仅检出总六六六,一是说明农药杀虫剂的使用,在雨水或农灌水地表径流作用下污染浑河,二是说明卤代烃和氯代苯类有机物在河水中的迁移能力有限,伴随挥发、水解、沉积等作用过程,存在于下游河水中的浓度极低。

2.3 沿岸地下水无机污染特征

浑河沿岸地下水中氨氮、硝氮、亚硝氮、化学需

氧量、酚和铅超过《地下水质量标准》(GB/T 14848—2008 报批稿)Ⅲ类水质标准,超标率分别为 31.6%、10.5%、26.3%、36.8%、47.4% 和 26.8% (表 3)。

表 2 浑河各样点有机物浓度

Table 2 Concentration of each individual organic matter in the surface water of Hunhe River

分析项目 Test indicators	采样点 Samples site				检出率/%
	王家湾 S1	谟家 S2	朴坨子 S3	标准值	
三氯甲烷/($\mu\text{g/L}$)	—	0.67	—	60	33
四氯化碳/($\mu\text{g/L}$)	—	0.01	—	2	33
1,1,1-三氯乙烷/($\mu\text{g/L}$)	—	0.03	—	2000	33
三氯乙烯/($\mu\text{g/L}$)	—	0.10	—	70	33
四氯乙烯/($\mu\text{g/L}$)	—	0.40	—	40	33
二氯甲烷/($\mu\text{g/L}$)	0.27	1.54	—	20	67
1,2-二氯乙烷/($\mu\text{g/L}$)	—	0.66	—	30	33
1,1,2-三氯乙烷/($\mu\text{g/L}$)	—	0.05	—	5	33
1,2-二氯丙烷/($\mu\text{g/L}$)	—	0.71	—	5	33
溴仿/($\mu\text{g/L}$)	—	—	—	100	0
氯乙烯/($\mu\text{g/L}$)	0.17	—	—	5	33
1,1-二氯乙烯/($\mu\text{g/L}$)	—	0.38	—	30	33
1,2-二氯乙烯/($\mu\text{g/L}$)	—	—	—	50	0
氯苯/($\mu\text{g/L}$)	0.18	0.13	—	300	67
邻二氯苯/($\mu\text{g/L}$)	—	—	—	1000	0
对二氯苯/($\mu\text{g/L}$)	—	—	—	300	0
三氯苯/($\mu\text{g/L}$)	—	—	—	20	0
六六六/($\mu\text{g/L}$)	—	—	0.004	5	33
滴滴涕/($\mu\text{g/L}$)	—	—	—	1	0

—: 低于检出限

通过主要超标无机物平均浓度曲线可以看出(图 4),浑河沿岸各断面地下水中亚硝氮、化学需氧量、酚和铅的平均浓度在谟家和大祝两个断面处均超标,在朴坨子断面均不超标,而在其他断面处仅酚平均浓度超标。谟家断面地下水无机污染原因主要是水平渗透、扩散的线源污染,即该处河水污染严重,下游 100m 处的谟家闸调控浑河流量,长期抬升浑河水位,加之沿岸市政水源地的开采,大大改变了地下水的补给与径流条件,加大了这一地段地下水袭夺河水补给量,进而污染地下水;大祝断面位于沈阳市铁西工业走廊与农业种植区相邻地带,其地下水中无机物污染原因一是上游地下水径流造成,二是工业生产或农村居民生活产生的点源污染,即工业废水和生活污水随降水通过亚砂土为主的包气带,垂向下渗污染浅层地下水,三是农业生产使用的大量化肥粪肥的面源污染,经雨水垂直入渗或随地表径流进入河水后,以垂直与水平渗透混合的方式污染地下水;朴坨子断面处包气带岩性为亚粘土,厚

度一般为 1.5—2.5 m,局部地段大于 3 m,这取决于距河岸的距离,距离越远,粘性土层越厚。由于粘性土层的存在,对地表垂向入渗的污染物有一定阻隔防污作用。

2.4 沿岸地下水有机污染特征

浑河沿岸地下水中检测出 19 种有机污染物中的 5 种,检出卤代烃 4 种,有机氯农药 1 种,均未超过《地下水质量标准》(GB/T 14848—2008 报批稿)Ⅲ类水质标准(表 4)。

检出率较高的有机物是 1,2-二氯丙烷、1,2-二氯乙烷和六六六,检出率分别为 42.1%、26.3% 和 21.1%。有机污染物仅在浑河沈阳城区段沿岸地下水中检出(王家湾至大祝,图 5),且污染物种类、浓度都与相应浑河水检出情况差异较大,由于这一区段地表覆盖层主要为砂或亚砂土,工业废气中有机物的干湿沉降^[10]、工业废渣废水及生活垃圾堆中的污染物,极易随雨水向下迁移,因此垂向入渗的点状污染可能是浑河沿岸地下水有机污染的主要方式。

表 3 浑河沿岸地下水各样点无机物浓度

Table 3 Concentration of each individual inorganic matter in the groundwater along Hunhe River															
采样点 Samples	井深 Well depth /m	氨氮 Ammonia/ (mg/L)	硫酸盐 Sulfate/ (mg/L)	硝氮 Nitrate/ (mg/L)	亚硝氮 Nitrite/ (mg/L)	化学 需氧量 COD/ (mg/L)	酚 Phenol/ (mg/L)	铬 Cr/ (mg/L)	铜 Cu/ (mg/L)	铅 Pb/ (mg/L)	锌 Zn/ (mg/L)	砷 As/ (mg/L)	汞 Hg/ (mg/L)	镉 Cd/ (mg/L)	地下水类型 Groundwater type/ (mg/L)
上伯官	A1	0.10	79.1	19.9	0.002	2.6	0.002	0.010	0.001	0.001	0.012	0.006	0.0000	0.0001	潜水
	A2	0.24	147.9	27.9	0.005	2.6	0.004	0.018	0.003	0.001	0.015	0.004	0.0000	0.0001	潜水
平均值		0.17	113.5	23.9	0.003	2.6	0.003	0.014	0.002	0.001	0.013	0.005	0.0000	0.0001	
王家湾	B1	0.10	124.9	8.8	0.006	1.8	0.002	0.004	0.001	0.001	0.045	0.005	0.0000	0.0000	微承压水
	B2	0.06	120.8	7.1	0.004	2.5	0.003	0.012	0.000	0.006	0.00	0.005	0.0001	0.0040	潜水
	B3	1.02	111.0	1.2	0.024	2.7	0.003	0.023	0.001	0.015	0.006	0.005	0.0000	0.0000	潜水
平均值		0.39	118.9	5.7	0.012	2.3	0.003	0.013	0.001	0.007	0.017	0.005	0.0000	0.0000	
夹河	C1	0.08	173.2	14.0	0.002	2.0	0.002	0.004	0.001	0.001	0.020	0.005	0.0000	0.0000	潜水
	C2	0.05	206.0	9.9	0.005	6.4	0.007	0.006	0.000	0.008	0.002	0.005	0.0001	0.0028	潜水
	C3	0.02	134.8	11.1	0.019	0.8	0.002	0.006	0.001	0.001	0.004	0.005	0.0000	0.0000	微承压水
	C4	0.09	129.3	7.7	0.007	0.6	0	0.006	0.001	0.001	0.005	0.004	0.0000	0.0000	微承压水
平均值		0.06	160.8	10.7	0.008	2.4	0.003	0.005	0.001	0.003	0.008	0.005	0.0000	0.0000	
漠家	D1	0.48	84.7	4.9	0.038	3.6	0	0.014	0.003	0.005	0.020	0.004	0.0000	0.0000	潜水
	D2	0.57	74.0	2.9	0.029	3.4	0.005	0.069	0.024	0.059	0.006	0.004	0.0001	0.0000	潜水
	D3	0.56	140.2	0.0	0.007	4.4	0.007	0.009	0.000	0.002	0.003	0.005	0.0001	0.0014	潜水
平均值		0.54	99.6	2.6	0.025	3.8	0.004	0.031	0.009	0.022	0.009	0.004	0.0001	0.0005	
大祝	E1	0.87	76.1	2.1	0.002	2.8	0.001	0.046	0.026	0.023	0.011	0.005	0.0001	0.0002	潜水
	E2	4.53	201.7	0.0	0.065	11.3	0.008	0.017	0.002	0.014	0.015	0.003	0.0000	0.0001	潜水
	E3	0.18	71.8	0.3	0.009	3.4	0.005	0.007	0.002	0.012	0.002	0.004	0.0001	0.0003	微承压水
平均值		1.86	116.5	0.8	0.025	5.8	0.005	0.024	0.010	0.016	0.009	0.004	0.0001	0.0002	
朴坨子	F1	0.02	140.7	30.8	0.028	3.3	0.004	0.008	0.003	0.002	0.003	0.002	0.0000	0.0001	潜水
	F2	0.79	93.8	2.3	0.009	1.6	0	0.003	0.002	0.001	0.012	0.008	0.0000	0.0000	潜水
	F3	0.39	98.3	0.1	0.020	1.2	0.001	0.007	0.003	0.002	0.012	0.006	0.0000	0.0001	潜水
	F4	0.27	63.5	0.1	0.012	1.6	0.001	0.015	0.002	0.002	0.029	0.005	0.0000	0.0001	潜水
平均值		0.37	99.1	8.3	0.017	1.9	0.002	0.008	0.002	0.002	0.014	0.005	0.0000	0.0001	
Ⅲ类标准	Standard	0.5	250	20	0.02	3	0.002	0.05	1	0.01	1	0.01	0.001	0.005	
超标率	Exceed standard rate/%	31.6	0.0	10.5	26.3	36.8	47.4	0.0	0.0	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0	

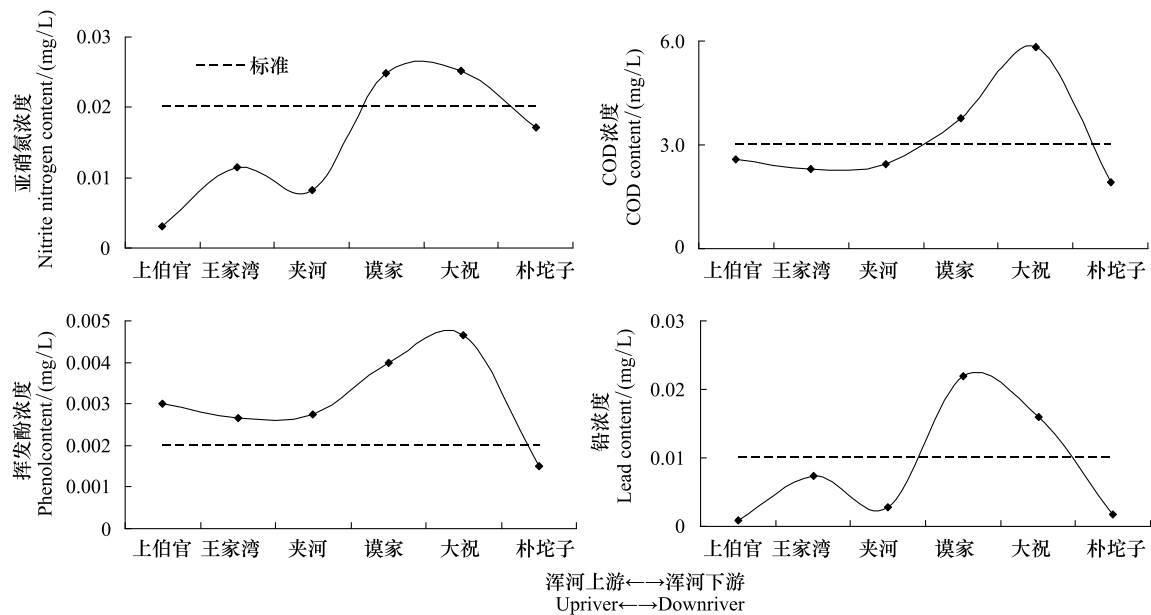


图 4 浑河沿岸地下水污染物平均浓度
Fig.4 Mean concentration of inorganic matter in the groundwater along Hunhe River

表 4 浑河沿岸地下水各样点有机物浓度

Table 4 Concentration of each individual organic matter in the groundwater along Hunhe River

采样点 Samples	井深 Well depth /m	三氯甲烷 Chloroform/ ($\mu\text{g/L}$)	1,2-二氯乙烷 Ethane, 1,2-dichloro-/ ($\mu\text{g/L}$)	1,2-二氯丙烷 Propane, 1,2-dichloro-/ ($\mu\text{g/L}$)	1,1-二氯乙烯 1,1- dichloroethylene/ ($\mu\text{g/L}$)	六六六 Benzex/ ($\mu\text{g/L}$)
上伯官	A1	—	—	—	—	—
	A2	—	—	—	—	—
王家湾	B1	—	—	2.06	—	—
	B2	—	—	0.15	—	—
	B3	—	—	—	—	—
夹河	C1	0.39	—	0.77	0.40	—
	C2	0.50	—	0.46	—	—
	C3	—	—	—	—	—
	C4	—	—	—	—	—
漠家	D1	—	0.15	0.17	—	0.01
	D2	—	0.14	0.18	—	0.01
	D3	—	0.99	—	—	—
大祝	E1	—	0.12	0.15	—	0.02
	E2	—	0.12	0.13	—	0.19
	E3	—	—	—	—	—
朴坨子	F1	—	—	—	—	—
	F2	—	—	—	—	—
	F3	—	—	—	—	—
	F4	—	—	—	—	—
Ⅲ类标准		60.00	30.00	5.00	30.00	5.00
检出率/%		10.5	26.3	42.1	5.3	21.1

A1—F4: 垂直断面; —: 低于检出限

2.5 浑河与沿岸地下水水质关系
近浑河地区含水层主要是亚砂层、粗砂及砂砾石层,局部地段含较薄的粘土夹层。这种类型的水文地质特征,使得地表水侧向渗漏补给地下水成为

沈阳地区的突出特点,因此,浑河的水质对其沿岸地下水水质产生直接影响。如图6—图8所示,污染物的空间变化具有明显的规律性,从中可以定性的判断出王家湾、漠家和朴坨子3个断面处浑河水与沿岸地下水水力密切联系范围分别大约为900、1200m和600m。王家湾至漠家断面处河水对浅层地下水

的影响范围较大,既有该区间内存在橡胶坝、水闸,调控流量抬升水位的原因,又有沿岸市政水源井开采造成地下水袭夺河水补给的原因,这与利用同位素技术定量得出沈阳浑河对地下水的强补给带为1km的结论是基本吻合的^[11]。

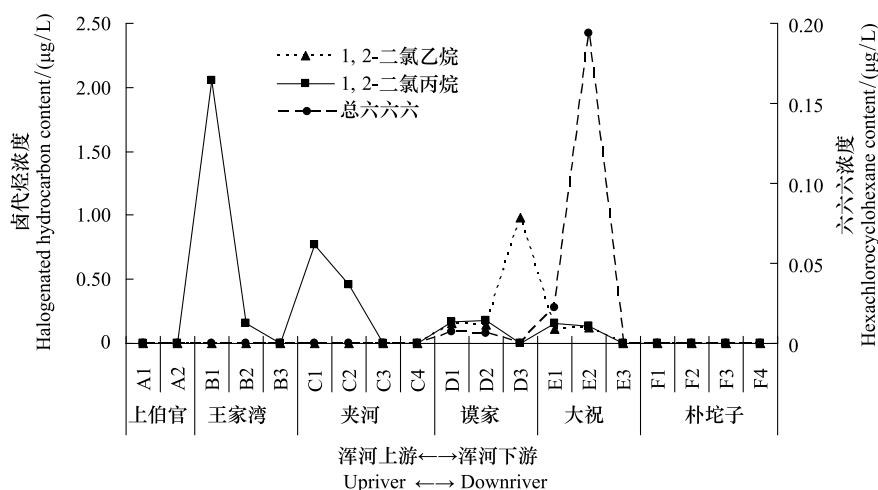


图5 浑河沿岸地下水有机污染物浓度

Fig.5 Concentration of organic matter in the groundwater along Hunhe River

A1—F4: 垂直断面

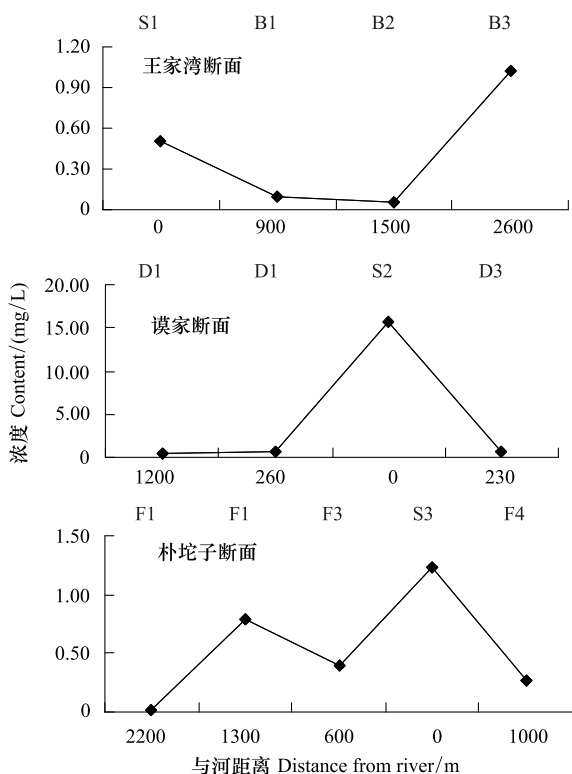


图6 样品氨氮浓度

Fig.6 NH_4^+ content in samples

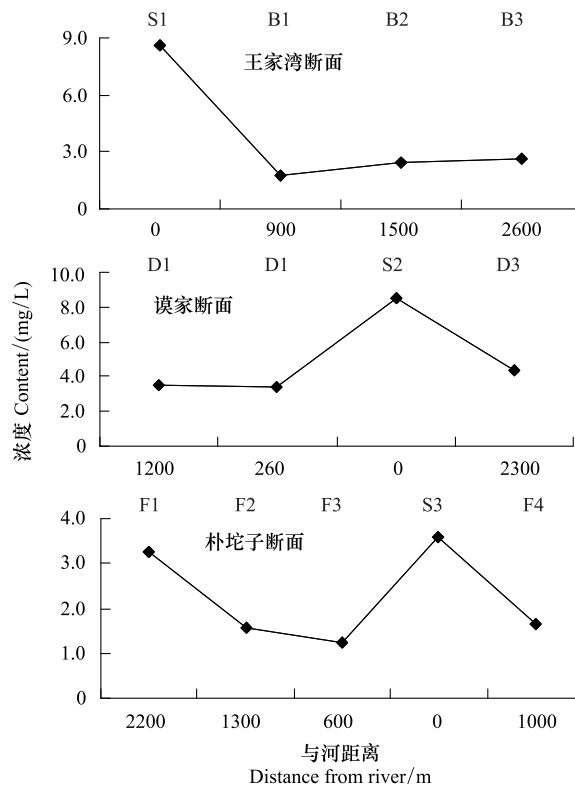


图7 样品化学需氧量浓度

Fig.7 COD content in samples

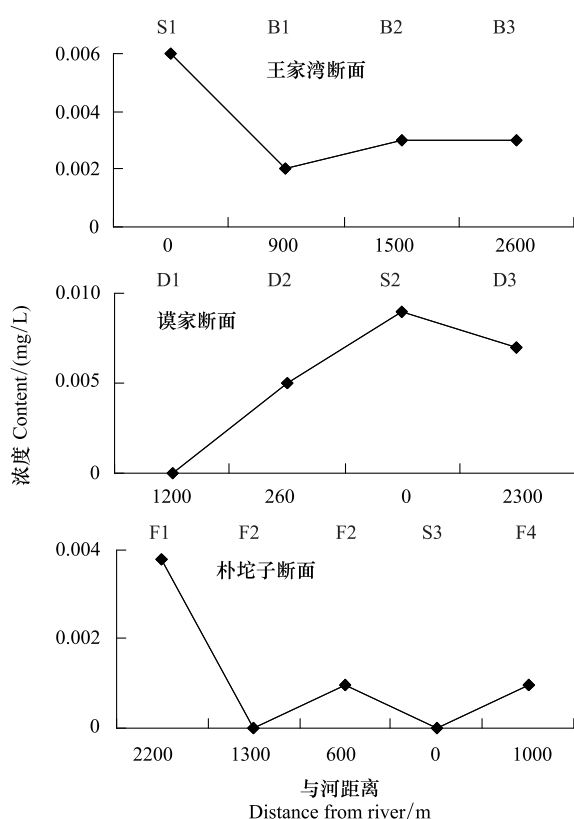


图8 样品挥发酚浓度

Fig.8 Phenol content in samples

3 结论

浑河河水中主要污染物为氨氮、硝氮、亚硝氮、酚、卤代烃、氯苯和六六六,河水3个断面水质检测结果的差异与各流段河水的使用功能密切相关,大部分污染物的高值出现在沈阳城区西部,尤其是浑河纳污区段谟家附近。工业废水、城镇居民生活污水的直接排放以及农药、化肥粪肥的地表径流是浑河污染的主要原因。同时,受温度、流量、河床条件等因素的影响,河水中的生物化学氧化、挥发及底泥微生物降解作用在浑河水自净过程中也有着重要意义。

浑河沿岸地下水中主要污染物为氨氮、硝氮、亚硝氮、化学需氧量、酚、铅、1,2-二氯丙烷、1,2-二氯乙烷和六六六。经调查分析,沿岸地下水的污染源包括工业生产或农村居民生活产生的点源污染、浑河水的线源污染以及农药化肥使用产生的面源污染,有机污染物主要通过点源污染地下水。受与河距离、河水流量、井深、地形坡度、包气带特征、含水层岩性等因素影响,污染物对沿岸地下水存在不同的

污染方式,包括经浑河水间接污染地下水的水平侧向渗透、扩散方式、降水淋滤作用入渗地下水的垂直入渗方式以及两者的混合污染方式。

浑河城区地段是沈阳市城市生活和工农业供水的主要水源地,地下水的集中开采致使地下水位下降,泥沙淤积导致的河床不断抬高和滚水坝、拦河闸的存在抬升河水位,大大改变了近河地下水的补给与径流条件,加大了地下水袭夺河水补给量。比较河水与沿岸地下水检出的污染物浓度,地下水中的浓度均低于河水,河水对沿岸地下水强烈补给范围平均达到几百米,这也是沈阳市近河水源地部分40m深度以内开采井关停或改变供水用途的原因。

References:

- [1] Olivella M A. Polycyclic aromatic hydrocarbons in rainwater and surface waters of Lake Maggiore, a sub alpine lake in Northern Italy. *Chemosphere*, 2006, 63(1): 116-131.
- [2] Cui J, Du J Z, Ma H W, Yang Z, Li X. Distinguishing significant factors for shallow groundwater quality in the Hunhe River alluvial fan based on factor analysis. *China rural water and hydropower*, 2011, 345(7):45-48.
- [3] Guo Y H, Shen Z L, Zhong Z S, Liu S F. The relations between groundwater organic chlorine pollution and groundwater vulnerability in Hebei Plain. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 1996, 1:40-42.
- [4] Li B H, Chen H H, He J T, Liu F. Characteristics and of monocyclic aromatic hydrocarbon contamination in shallow groundwater in an area of the Yangtze Riveer delta. *China Geology*, 2006, 33(5):1124-1130.
- [5] Zhang G, Wang Y P, Qu J. The Security Criteria of Water Quality for the Organic Pollutants in Hunhe River Shenyang Section. *Environmental Monitoring in China*, 2006, 22(2):66-68.
- [6] Wang Z Y. Environmental Protection and Quality Improvement of Groundwater Resource of Hunhe River. *Environmental Protection Science*, 2006, 30(125):28-30.
- [7] Cui J, Yang Z, Du J Z, Li X, Ma H W. Study on Shallow Groundwater Vulnerability Assessment in Shenyang Based on GIS. *Water Saving Irrigation*, 2011, 1:53-57.
- [8] Cui J, Du J Z, Yang Z, Ma H W, Li X. Characteristics of soil organic pollution in Shenyang suburbs of Liaoning Province, Northeast China. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(11): 2472-2477.
- [9] Li L J, Wang Y F, Wang N, Wang H J. Determination of Volatile Organic Compounds in Groundwater by Gas Chromatography-Mass Spectrometry with Purge and Trap Sampling. *Rock and Mineral Analysis*, 2010, 29(5):547-551.

- [10] Cui J, Du J Z, Ma H W, Yang Z, Li X, Wang X G. Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 32(24):7874-7882.
- [11] Wu W Y, Wang E D, Hu C, Ni Q W, Zhu Z F. Study on hydraulic power relationship between the river water and Groundwater in Hunhe river by environmental isotope technology. *Journal of Meteorology and Environment*, 2007, 23(3):19-22.
- 参考文献:**
- [2] 崔健, 都基众, 马宏伟, 杨泽, 李霄. 基于因子分析的浑河冲洪积扇地浅层地下水水质影响因素辨析. *中国农村水利水电*, 2011, 345(7):45-48.
- [3] 郭永海, 沈照理, 钟佐燊, 刘淑芬. 河北平原地下水有机氯污染及其与防污性能的关系. *水文地质工程地质*, 1996, 1:40-42.
- [4] 李炳华, 陈鸿汉, 何江涛, 刘菲. 长江三角洲某地区浅层地下水单环芳烃污染特征及其原因分析. *中国地质*, 2006, 33(5):1124-1130.
- [5] 张革, 王玉平, 曲健. 浑河沈阳段地表水有机污染物对水环境影响的安全性评估. *中国环境监测*, 2006, 22(2):66-68.
- [6] 王振宇. 浑河环境保护与地下水资源质量的改善. *环境保护科学*, 2006, 30(125):28-30.
- [7] 崔健, 杨泽, 都基众, 李霄, 马宏伟. 基于 GIS 的沈阳市浅层地下水脆弱性评价研究. *节水灌溉*, 2011, 1:53-57.
- [8] 崔健, 都基众, 杨泽, 马宏伟, 李霄. 沈阳市城郊土壤有机污染特征. *生态学杂志*, 2011, 30(11):2472-2477.
- [9] 李丽君, 汪寅夫, 王娜, 王海娇. 吹扫捕集-气相色谱/质谱法测定地下水中的挥发性有机物. *岩矿测试*, 2010, 29(5):547-551.
- [10] 崔健, 都基众, 马宏伟, 杨泽, 李霄, 王晓光. 沈阳市城郊表层土壤有机污染评价研究. *生态学报*, 2011, 32(24):7874-7882.
- [11] 吴文业, 王恩德, 胡成, 尼庆伟, 朱志峰. 利用环境同位素技术研究沈阳浑河与地下水的水力联系. *气象与环境学报*, 2007, 23(3):19-22.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.7 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The 5000-year climate change of northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and historical ecology of Zoige wetlands HE Yixin, WU Ning, ZHU Qiu'an, et al (1615)
- Altitudinal distribution rule of *Picea schrenkiana* forest's soil organic carbon and its influencing factors Aminem ELI, CHANG Shunli, ZHANG Yutao, et al (1626)

Autecology & Fundamentals

- Daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in Xiaoxing'an mountain LI Xinghuan, LIU Ruipeng, MAO Zijun, et al (1635)
- Effects of logging residues on surface soil biochemical properties and enzymatic activity WU Bobo, GUO Jianfen, WU Junjun, et al (1645)
- Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve BAI Xiumei, HAN Youzhi, GUO Hanqing (1654)
- Modeling tree crown structure of Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) natural forest OU Guanglong, XIAO Yifa, WANG Junfeng, et al (1663)
- Influence of magnesium deficiency and excess on chlorophyll fluorescence characteristics of Newhall navel orange leaves LING Lili, HUANG Yi, PENG Liangzhi, et al (1672)
- Seed foraging and dispersal of Chinese yew (*Taxus chinensis* var. *mairei*) by frugivorous birds within patchy habitats LI Ning, WANG Zheng, LU Changhu, et al (1681)
- Interactions between heavy metal lead and two freshwater algae LIU Lu, YAN Hao, LI Cheng, et al (1690)
- Annual variations of the primary productivity and its size-fractionated structure in culture ponds of *Apostichopus japonicus* Selenka JIANG Senhao, ZHOU Yibing, TANG Boping, et al (1698)
- Growth and photosynthetic activity of *Microcystis* colonies after gut passage through silver carp and bighead carp WANG Yinping, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (1707)
- Contents of two coumarins in *Ipomoea cairica* and their effects on *Pomacea canaliculata*, *Orzya sativa*, and *Echinochloa crusgalli* YOU Changyan, YANG Yu, HU Fei, et al (1716)

Population, Community and Ecosystem

- Population and habitat status of Asian elephants (*Elephas maximus*) in Mengla Sub-reserve of Xishuangbanna National Nature Reserve, Yunnan of China LIN Liu, JIN Yanfei, CHEN Dekun, et al (1725)
- Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China LI Fan, XU Bingqing, MA Yuanqing, et al (1736)
- Effect of long-term fertilization pattern on weed community diversity in wheat field JIANG Min, SHEN Mingxing, SHEN Xinpeng, et al (1746)
- Ecological process of water transformation in furrow and ridge mulching system in oat field under extreme drought scenario ZHOU Hong, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (1757)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Simulations and analysis on the effects of landscape pattern change on flood and low flow based on SWAT model LIN Bingqing, CHEN Xingwei, CHEN Ying, et al (1772)
- Phenological variation of alpine grasses (Gramineae) in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China during the last 20 years XU Weixin, XIN Yuanchun, ZHANG Juan, et al (1781)
- Landscape aesthetics in different areas of Lijiang City GUO Xianhua, ZHAO Qianjun, CUI Shenghui, et al (1794)
- Temporal and spatial pattern of *Scenedesmus* in the river web of the Pearl River Delta, China WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (1800)

- Spatiotemporal dynamics of bacterial abundance and related environmental parameters in Lake Bosten WANG Bowen, TANG Xiangming, GAO Guang, et al (1812)
- Scale domain recognition for land use spatial fractal feature based on genetic algorithm WU Hao, LI Yan, SHI Wenzhong, et al (1822)
- Relationships of stable carbon isotope of *Abies faxoniana* tree-rings to climate in sub-alpine forest in Western Sichuan JIN Xiang, XU Qing, LIU Shirong, et al (1831)
- An exploratory spatial data analysis-based investigation of the hot spots and variability of *Ommastrephes bartramii* fishery resources in the northwestern Pacific Ocean FENG Yongjiu, CHEN Xinjun, YANG Mingxia, et al (1841)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Spatial differentiation research of non-use value WTP based on the residents' ecological cognition: taking the sanjiang plain as a case GAO Qin, AO Changlin, CHEN Hongguang, et al (1851)
- Contamination characteristics in surface water and coastal groundwater of Hunhe River CUI Jian, DU Jizhong, WANG Xiaoguang (1860)
- Social ecological system and vulnerability driving mechanism analysis YU Zhongyuan, LI Bo, ZHANG Xinshi (1870)
- Research Notes**
- Effects of iso-osmotic $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and NaCl stress on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings ZHOU Heng, GUO Shirong, SHAO Huijuan, et al (1880)
- View Point**
- The discussion about the designation and content of ecological conservation and construction SHEN Guofang (1891)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 魏辅文

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 7 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 7 (April, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元