

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第11期

Vol.36 No.11

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



大辽河主要污染源营养盐输入特征

马迎群^{1,2}, 张雷^{1,2}, 赵艳民^{1,2}, 秦延文^{1,2*}, 潘晓雪³, 曹伟^{1,2}, 刘志超^{1,2}, 杨晨晨^{1,2}

(1. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012; 2. 中国环境科学研究院环境保护河口与海岸带环境重点实验室, 北京 100012; 3. 江南大学环境与土木工程学院, 无锡 214122)

摘要: 为了解大辽河主要污染源包括上游浑河、太子河及其支流海城河和沿程排污口等对大辽河营养盐输入特征, 通过国标测定方法, 于2013年7月对13个采样点各形态N、P质量浓度的变化和百分含量进行研究。结果表明, 大辽河上游来水中浑河DON、太子河NO₃⁻-N、海城河NH₄⁺-N、PO₄³⁻-P、DOP质量浓度较高, 与地表水环境质量标准(GB 3838-2002)相比, 除太子河TP表现为IV类水质外, 其余TN、TP均表现为劣V类水质, 浑河水体中N形态以DON为主, 而太子河和海城河以NO₃⁻-N为主, 除海城河水体P形态以DOP为主外, 其余均以TPP为主。主要排污口中TN均表现为劣V类水质, TP则为IV至劣V类不等, 其中纱厂潮沟、港监潮沟这2个排污口NH₄⁺-N、TN和TP质量浓度均最高, 但主要排污口水体N形态均以DIN为主, 水体P形态则表现不一。而大辽河TN、TP质量浓度较高, 超过地表水环境质量标准的V类限值, 且NO₃⁻-N和TPP分别是其主要形态。总体上, 通过对大辽河上游来水、排污口与大辽河干流营养盐分析表明, 大辽河营养盐受其沿岸主要排污口的影响较为显著, 主要排污口污水排放对大辽河水质的影响不容忽视。

关键词: 大辽河; 上游来水; 排污口; 营养盐; 输入特征

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)11-4013-08 DOI: 10.13227/j.hj.kx.2015.11.010

Input Characteristics and Pollution Assessment of Nutrients Pollution in the Primary Pollution Source of the Daliao River

MA Ying-qun^{1,2}, ZHANG Lei^{1,2}, ZHAO Yan-min^{1,2}, QIN Yan-wen^{1,2*}, PAN Xiao-xue³, CAO Wei^{1,2}, LIU Zhi-chao^{1,2}, YANG Chen-chen^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. State Environmental Protection Key Laboratory of Estuarine and Coastal Environment, Water Research Institute, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. School of Environment and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: A total of 13 surface water samples were collected from sewage outfalls and 3 main tributaries (Hunhe River, Taizi River and Haicheng River) of the Daliao River to clarify the pollution characteristics of various species of nitrogen and phosphorus in July 2013, respectively. The results showed that the concentrations of DON in the Hunhe River, NO₃⁻-N in the Taizi River, NH₄⁺-N, PO₄³⁻-P and DOP in the Haicheng River were higher than others. In water samples from the 3 main tributaries of the Daliao River, the TN and TP contents were above the national environmental quality standards for surface water (GB 3838-2002, grade V) except for the TP that was classified as grade IV in the Taizi River. The percentages of various N species showed that NO₃⁻-N was the major N species in the Taizi River and Haicheng River, meanwhile DON was the major N species in the Hunhe River. The percentages of various P species showed that TPP was the major P species in the Hunhe River and Taizi River, and DOP was the major P species in the Haicheng River. TN content was above the national environmental quality standards for surface water (GB 3838-2002, grade V) in sewage outfalls. But TP content was classified as grade IV to above grade V. And the concentrations of NH₄⁺-N, TN and TP in sewage outfalls of Shachang and Gangjian were higher than those in other sewage outfalls. The percentages of various N species in sewage outfalls showed that DIN was the major N species in sewage outfalls. There were higher level of TN and TP content in the Daliao River than those of tributaries, and NO₃⁻-N and TPP were the major N and P species, respectively. In general, the nutrients analysis of tributaries, sewage outfalls and the Daliao River showed that nutrients of the Daliao River were affected by sewage outfalls. And the effect was significant and non-ignorable.

Key words: Daliao River; tributaries; sewage outfalls; nutrients; input characteristics

近年来,随着我国农业现代化进程的加快,大面积过度使用化肥和农药造成的非点源污染加剧以及工业废水和城镇居民生活污水的排放等,使我国的水环境受到了重大影响,内陆主要河流和近海水域遭受不同程度的污染^[1]。马永星等^[2]根据2012年7

月黄河流域水体和土壤监测数据发现,在黄河沿岸

收稿日期: 2015-04-27; 修订日期: 2015-06-25

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07503-002)

作者简介: 马迎群(1982~),男,博士,助理研究员,主要研究方向为污染物环境化学, E-mail: mayq@craes.org.cn

* 通讯联系人, E-mail: qinyw@craes.org.cn

表层土壤营养盐含量较高的区域,河段内营养盐含量也较高,与1986年资料对比,黄河氮磷比呈上升趋势,且流域人类活动是黄河氮营养盐含量增加的重要因素,焦珂伟等^[3]根据松花江流域2013~2014年的2 a水生态野外全面调查结果,运用综合污染指数法对其营养盐水平进行评价,结果表明,研究区内土地利用类型与营养盐评价结果密切相关,尤其是非点源污染对流域含氮营养盐的影响较为显著,还有学者研究中国云贵高原洱海流域沉积物氮磷的环境风险发现,长时期化肥的使用造成该流域沉积物中氮的埋藏通量不断增加^[4]。

大辽河位于辽东湾北部,由发源于抚顺的浑河和本溪的太子河汇合而成,于辽宁省营口市入海,其多年平均年径流量为 $7.715 \times 10^9 \text{ m}^3$,占辽东湾入海径流量的55.32%^[5]。大辽河流经沈阳、鞍山、铁岭等众多工业城市,沿岸工农业发达,沿途接收了大量的工农业废水、生活污水和垃圾等污染物^[6],辽河流域总氮年均排放量为4318 t,总磷年均排放量为6908 t^[7],有研究表明,辽河是我国污染最为严重的河流之一,而大辽河流域接纳了辽河流域约60%的污染物排放^[8]。

张龙军等^[9]采用综合营养状态指数法对环渤海16条主要入海河流的污染情况进行评价,结果发现,大辽河、黄河等7条河流处于富营养化水平,秦延文等^[10]研究2004~2008年辽东湾水质污染特征,发现辽东湾北部锦州、盘锦和营口海域营养盐和重金属污染最重,2000~2005年《辽宁省海洋环境公报》等的报道表明大辽河的主要污染因子为溶解态无机氮DIN,且有逐年增加的趋势,而 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 在空间上有从上游至下游逐渐加重的趋势,下游 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 达到V类或劣V类水质^[9,11,12],还有学者采用Dual isotopes方法对辽河水体氮形态的来源和转化进行评估,结果表明:在辽河涨落潮期间,DIN中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 占主要部分,但 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 与DIN的比值却是易变的,且部分区域水体中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量较高^[13]。大辽河上游主要汇入河流为浑河、太子河以及太子河支流海城河,浑河、太子河以及海城河水质的好坏可能会引起大辽河水质的变化,胡成等^[14]研究表明浑河营养盐污染较为严重,崔健等^[15]对浑河水及其沿岸地下水污染特征进行研究,结果表明,浑河水质主要受城市工业废水、居民生活污水排放的影响,河水中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 均超过了地表水环境质量Ⅲ类标准,且最大超标倍数分别为15.8、82.4和1.5倍,刘文军^[16]通过采用单因子评价法对

大辽河营口段永远角断面水环境质量进行综合评价,结果显示大辽河营口段水质较差,2002~2006年间多为劣V类水质,2007~2011年呈逐年好转趋势,2011年大辽河营口段整体水质可达到V类标准要求,主要污染因子为 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 。据调查,大辽河沿途存在营口三征有机化工厂和港监潮沟、纱厂潮沟、西潮沟、西部污水处理厂污水排放口等主要点源污染源,大辽河西岸支流劳动河部分承接鞍山市感王镇工业、生活污水和营口市辖大石桥市高坎、旗口等5个乡镇工农业水产废水,于营口市造纸厂处排入大辽河^[17],因此劳动河也可看作大辽河的污染源,这些污染源对大辽河营养盐输入特征及富营养化程度是否产生影响鲜有报道,本研究通过采集2013年7月大辽河上游河流及其大辽河主要污染源水样,揭示其对大辽河营养盐的输入特征,旨在为大辽河的科学管理和富营养化治理方面提供依据,并为国内其他感潮河段、河口区水域的富营养化防治提供经验。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

于2013年7月对大辽河上游来水和大辽河沿途主要排污口进行采样,采样点分布如图1所示,共设置13个采样点,其中大辽河上游主要来水设置3个采样点,其中浑河点位设置在于家房镇的浑河大桥(HH)、太子河点位设置在唐马寨镇的唐马桥(TZ),海城河点位设置在牛庄的牛庄大桥(HC)。大辽河干流设置5个采样点,上游点位设置在三岔河(DL),中游点位设置在田庄台河段(T)和营口三征有机化工厂的上游和下游(HGS和HGX),下游点位设置在辽河公园(LG)。另外,在大辽河营口市区段的主要城市污水排放口设置5个采样点,分别为劳动河感潮河段水闸上(LD)、港监潮沟排污口(GJ)、纱厂潮沟排污口(SC)、西潮沟排污口(XC)以及西部污水处理厂污水排放口(WSTP)。因受潮汐作用影响,为保证结果客观,采样时除西潮沟排污口只采集到低潮水位时的样品外,其余各排污口在涨潮、落潮两个时间段分别进行采样,并以两个时间段的平均值进行数据分析。

1.2 样品采集和预处理

根据水质——河流采样技术指导(HJ/T 52-1999)的原则进行样品采集和预处理,现场采样时利用采水器采集表层水样,采集前用河水冲洗3遍,每个监测断面分左、中、右这3点进行采集,然后将

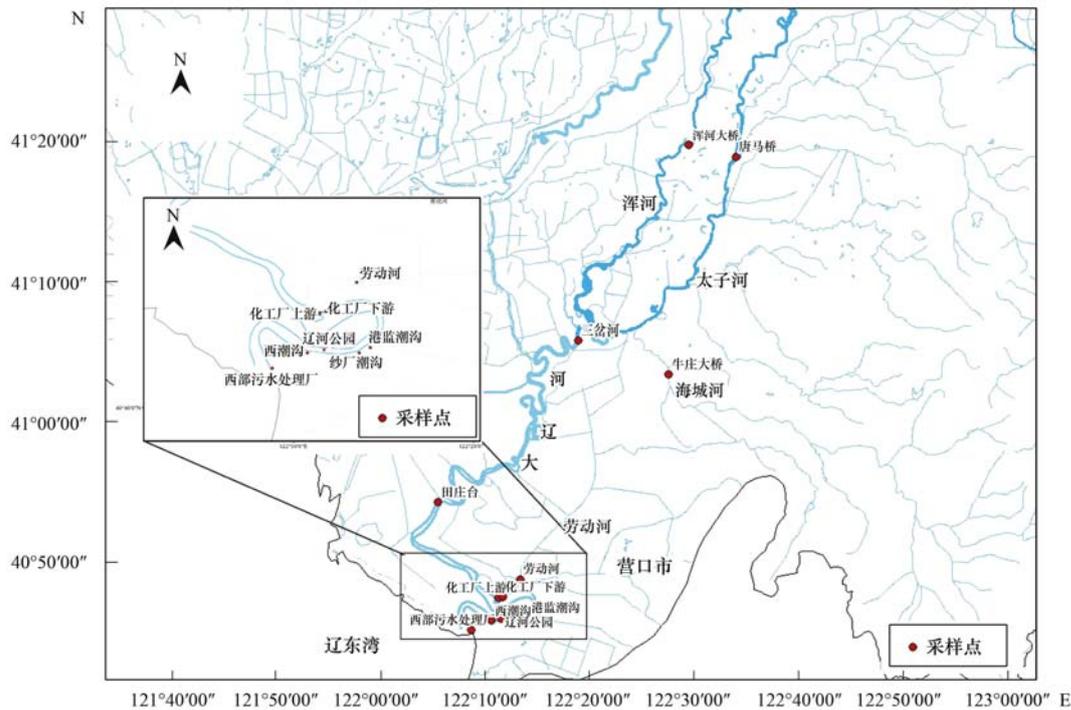


图1 采样点分布示意

Fig. 1 Distribution diagram of sampling sites

加入 1~2 滴氯仿,于 50 mL 干净的塑料瓶中 0~4℃ 冷藏保存,用于测定水体中的 NO_2^- -N、 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N、TDN、 PO_4^{3-} -P 和 TDP 质量浓度。其余水样则储于 500 mL 塑料瓶中 0~4℃ 冷藏保存,用于测定其中的 TN、TP 质量浓度。

1.3 分析方法

水体中 NO_2^- -N、 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N、TDN、TN、 PO_4^{3-} -P、TDP、TP 质量浓度均采用国标方法进行测定^[18~20],具体见表 1。溶解态总有机氮(DON)质量

浓度由溶解态总氮(TDN)质量浓度减去溶解态无机氮(DIN) (NO_2^- -N、 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N)质量浓度;颗粒态总氮(TPN)质量浓度由水体总氮(TN)质量浓度减去溶解态总氮(TDN)质量浓度;溶解态总有机磷(DOP)质量浓度由溶解态总磷(TDP)质量浓度减去水体磷酸盐(PO_4^{3-} -P)质量浓度;颗粒态总磷(TPP)质量浓度由总磷(TP)质量浓度减去溶解态总磷(TDP)质量浓度。实验中测得的所有数据均以 N 或 P 来计。

表 1 水体各形态氮磷的测定方法

Table 1 Detection methods of various N and P species in the water

测定对象	测定方法
NO_2^- -N	N-(1-萘基)-乙二胺分光光度法
NO_3^- -N	经镉柱还原法将水体 NO_3^- -N 还原为 NO_2^- -N 后,采用 N-(1-萘基)-乙二胺分光光度法测定
NH_4^+ -N	纳氏试剂分光光度法
TDN	现场过滤后的水样经过 5% 的碱性过硫酸钾溶液消解后,按照水体 NO_3^- -N 的测定方法测定
TN	原水样经过 5% 的碱性过硫酸钾溶液消解后,按照水体 NO_3^- -N 的测定方法测定
PO_4^{3-} -P	钼锑抗分光光度法
TDP	现场过滤后的水样经过 5% 的过硫酸钾溶液消解后,按照水体 PO_4^{3-} -P 的测定方法测定
TP	原水样经过 5% 的过硫酸钾溶液消解后,按照水体 PO_4^{3-} -P 的测定方法测定

2 结果与讨论

2.1 大辽河主要上游来水特征

2.1.1 大辽河上游来水(浑河、太子河、海城河)中 N 质量浓度特征

大辽河上游来水中 N 质量浓度特征如图 2 所

示。从中可以看出,浑河、太子河及其海城河 NO_2^- -N 均有检出,与大辽河三岔河站点的 NO_2^- -N 质量浓度进行比较,表现为浑河 > 三岔河 > 海城河 > 太子河,浑河水体中较高的 NO_2^- -N 质量浓度说明浑河可能对大辽河有 NO_2^- -N 的输入。

与 NO_2^- -N 相反,太子河水体中 NO_3^- -N 质量浓度

最高,为 $3.215 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,高于三岔河,这与张亚丽等^[21]的研究结果一致,其研究表明,太子河干流水体中的 N 主要以 NO_3^- -N 的形式存在, NO_3^- -N 占 TN 的 78.38%,且根据 $\delta^{15}\text{N}$ 值判断出太子河流域 NO_3^- 的主要来源,本研究中太子河的唐马桥站点位于太子河的中下游, NO_3^- 主要来源于人畜粪便、农业化肥的 N,其 NO_3^- -N 质量浓度是三岔河的 1.09 倍,海城河与三岔河 NO_3^- -N 质量浓度相差不大,浑河 NO_3^- -N 质量浓度最低,为 $1.733 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

浑河、太子河、海城河和三岔河 NH_4^+ -N 质量浓度分别为 0.519 、 0.456 、 1.098 和 $0.679 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,与国家地表水环境质量标准(GB 3838-2002)^[22]相比,分别表现为 III、II、IV 和 III 类水质. 大辽河流域农业生产中化肥施用量逐年上升,且农田灌溉及农业养殖等工农业废水几乎无任何处理就流入大辽河,这可能是大辽河水体中 NH_4^+ -N 的主要来源^[9].

DON 质量浓度除海城河低于检测限外,浑河、太子河、三岔河均有检出,其中浑河 DON 质量浓度最高,为 $3.018 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,太子河 DON 质量浓度最低(未检出除外),为 $0.456 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 有研究指出,浑河多年平均径流量为 $31.36 \times 10^8 \text{ m}^3$,太子河多年平均天然径流量为 $44.96 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[23],海城河近年来平均天然径流量为 $19.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[24],浑河多年平均径流量仅为太子河加海城河的近一半,于三岔河汇合后,太子河和海城河水体中大量低 DON 含量的河水稀释了浑河 DON 的质量浓度,使得大辽河三岔河段水体的 DON 质量浓度降低了约 2.88 倍,仅为 $1.047 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

TPN 质量浓度除浑河低于检测限外,太子河、海城河和三岔河均有检出,且三岔河 > 海城河 > 太子河,三岔河较高的 TPN 质量浓度可能是因为上游

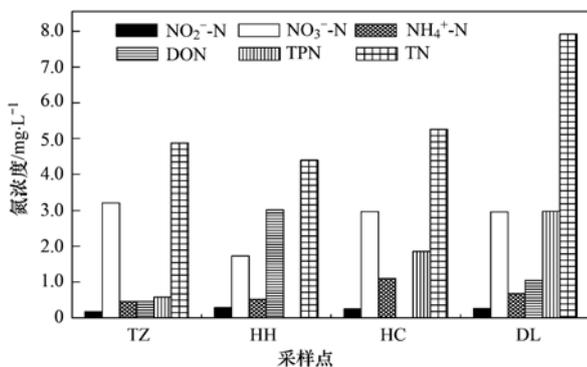


图 2 大辽河上游来水中 N 质量浓度特征

Fig. 2 Characteristics of various N concentrations in upstream water of Daliao River

河水的汇入引起大辽河水体底泥的再悬浮、沉积物中的 N 的吸附/解析等,且采样时期属于丰水期、雨季,丰水期河流沿岸土地受到雨水冲刷作用,大量的土壤颗粒物进入河段,使水体中悬浮颗粒物质量浓度增高^[18].

与国家地表水环境质量标准(GB 3838-2002)^[22]相比,浑河、太子河、海城河、三岔河 TN 质量浓度均表现为劣 V 类水质,三岔河 TN 质量浓度最高,为 $7.924 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,该结果略高于周高煜^[25]研究中大辽河水体中的 TN 质量浓度(介于 $4.80 \sim 7.59 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间). 浑河 TN 质量浓度最低,为 $4.395 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

就形态而言,除浑河 DON 是 TN 的主要赋存形态(DON 占 TN 的 54.37%、 NO_3^- -N 占 31.22%)外,太子河、海城河及三岔河 NO_3^- -N 是 TN 的主要赋存形态,其百分含量分别为 65.98%、48.15% 和 37.38% (图 3),但三岔河 TPN 百分含量为 37.57%,与 NO_3^- -N 共同成为三岔河 N 的主要形态.

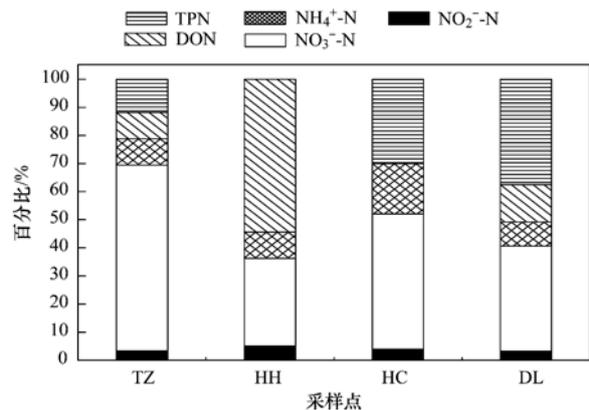


图 3 大辽河上游来水中 N 百分含量特征

Fig. 3 Characteristics of various N percentages in upstream water of Daliao River

2.1.2 大辽河上游来水(浑河、太子河、海城河)中 P 质量浓度特征

大辽河上游来水中 P 质量浓度特征如图 4 所示. 从中可以看出,海城河 PO_4^{3-} -P 质量浓度最高,为 $0.123 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其次是三岔河的 $0.069 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,浑河 PO_4^{3-} -P 质量浓度为 $0.063 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,与三岔河相差不大,太子河 PO_4^{3-} -P 质量浓度最低,仅为 $0.032 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 与 PO_4^{3-} -P 相同,海城河 DOP 质量浓度最高,为 $0.315 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,而浑河、太子河和三岔河相差不大,仅为海城河的 0.3 ~ 0.5 倍. TPP 质量浓度除海城河低于检测限外,在浑河、太子河和三岔河均有检出,且三岔河 TPP 质量浓度明显高于浑河和太

子河,为 $0.831 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,可能受河流汇合后水体扰动所致,另外由于采样时期处于丰水期,上游来水携带了较多的悬浮颗粒物,且水生生物生长旺盛,生物体对 P 的吸附也可转化为 TPP,以上均可能造成三岔河 TPP 质量浓度较高。

三岔河 TP 质量浓度显著高于其他三条河流,与国家地表水环境质量标准(GB 3838-2002)^[22]相比,太子河 TP 质量浓度达到Ⅳ类水质标准,而浑河、海城河、三岔河均表现为劣Ⅴ类水质,劣于张鸿龄等^[26]的研究结果,其于 2009 年 8 月研究表明,受市区和沿岸城镇工业废水和生活污水的点源污染影响,浑河流域于家房牛庄大桥站点的 TP 质量浓度为Ⅳ类水质。

就各形态百分含量来看,除海城河 DOP 是 TP 的主要赋存形态(DOP 占 TP 的 71.94%)外,浑河、太子河及三岔河水体中 TPP 均是 TP 的主要赋存形态,其百分含量分别为 62.51%、64.89% 和 81.38%(图 5),这与韩超南^[19]的研究结果一致,即 2013 年丰水期大辽河感潮河段水体 TP 以 TPP 为主。另有研究表明,河流湖泊等水体中的 P 主要以悬浮颗粒物为媒介进行输送,TPP 是水体 P 的主要存在形式^[27],TPP 主要是含有机 P 和无机 P 的生物体碎屑以及磷酸盐矿物颗粒吸附 P,它不仅对水体可溶性的活性 P 有积极影响^[28],而且一些颗粒态 P 所包含的 P 形态具有直接或潜在生物可利用性,影响着水体初级生产力的大小,与沉积物-悬浮颗粒物-水界面 P 的交换息息相关^[29]。

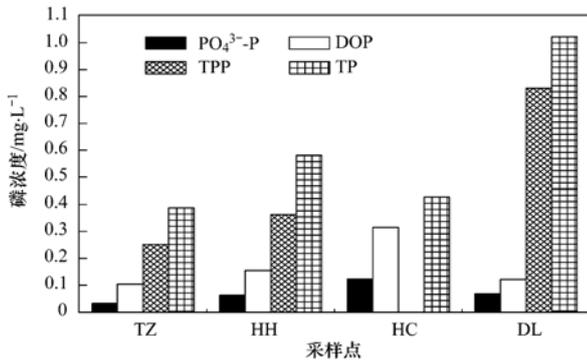


图 4 大辽河上游来水中 P 质量浓度特征
Fig. 4 Characteristics of various P concentrations in upstream water of Daliao River

2.2 大辽河区域内排污口营养盐特征

2.2.1 大辽河主要排污口 N 排放特征

大辽河营口市市区段主要排污口和大辽河干流主要监测点水体 N 质量浓度如图 6 所示。上游来水经

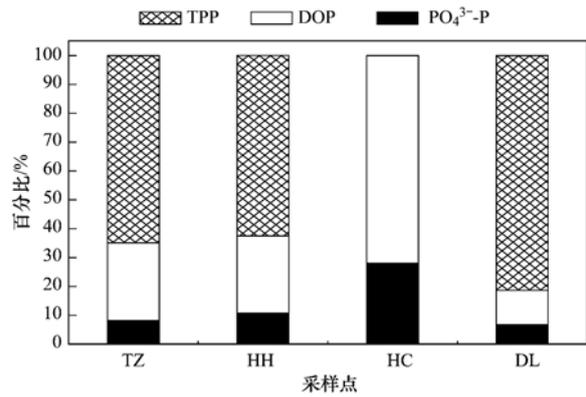


图 5 大辽河上游来水中 P 百分含量特征
Fig. 5 Characteristics of various P percentages in upstream water of Daliao River

三岔河汇入大辽河时的 NO_2^- -N 质量浓度和中游田庄台相差不多,但大辽河干流的化工厂上下游 NO_2^- -N 质量浓度较高,其中化工厂下游 NO_2^- -N 质量浓度最高,为 $0.425 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其次为化工厂上游,而港监潮沟 NO_2^- -N 质量浓度最低,仅为 $0.021 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

各排污口 NO_3^- -N 质量浓度相差较大,由于接纳了大量的工农业和生活污水等,西部污水处理厂 NO_3^- -N 质量浓度显著高于其他排污口,达到 $11.517 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,对大辽河 NO_3^- -N 输入显著,其次为西潮沟和大辽河干流辽河公园站,大辽河干流的化工厂上下游 NO_3^- -N 质量浓度也较田庄台有不同程度的升高,同 NO_2^- -N 表现相似,港监潮沟 NO_3^- -N 质量浓度最低,较西部污水处理厂降低了近 150 倍。

将各排污口和大辽河干流主要监测点的 NH_4^+ -N 质量浓度进行比较,表现为:纱厂潮沟 > 港监潮沟 > 西潮沟 > 化工厂下游 > 化工厂上游 > 劳动河 > 田庄台 > 辽河公园 > 西部污水处理厂,与国家地表水环境质量标准(GB 3838-2002)^[22]相比,辽河

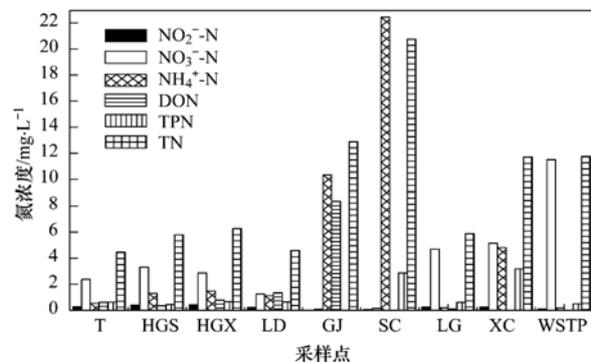


图 6 大辽河主要排污口 N 质量浓度特征
Fig. 6 Characteristics of various N concentrations in the primary sewage outfalls of the Daliao River

公园和西部污水处理厂 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 质量浓度达到 II 类标准(因污水排放标准与地表水环境质量标准存在较大差异,为了更准确直观分析排污口污水排放对大辽河水质的影响,本文将污水口排放水体水质与地表水环境质量标准规定的限值进行比较,以期得到更加准确的结果,下同),田庄台 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 质量浓度表现为 III 类水质,化工厂上下游、劳动河 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 质量浓度表现为 IV 类水质,纱厂潮沟、港监潮沟和西潮沟表现为劣 V 类水质,且纱厂潮沟 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 质量浓度更高达 $22.424 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,纱厂潮沟、港监潮沟是大辽河营口段营口市内最主要的 2 个排污口,大量的城市工业废水和生活污水排入其中,造成其 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 质量浓度最高,对大辽河 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 输入影响显著。

DON 质量浓度除纱厂潮沟、西潮沟和西部污水处理厂未检出外,其余排污口均有检出,且港监潮沟 DON 质量浓度最高,其次为劳动河,由于水体中 DON 主要来源于农业用水排放、细菌代谢产生的可溶性微生物产物、藻类的代谢产物以及土壤中存在的有机 N^[30],劳动河流经营口市内,沿程可能接纳营口市工农业和生活污水,且采样时期是雨季,沿岸土地受到雨水的冲刷,土壤中的有机 N 进入河流,另外水生生物生长旺盛,较强的生物活性也造成劳动河 DON 质量浓度较高。

西潮沟 TPN 质量浓度最高,为 $3.169 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,其次为纱厂潮沟的 $2.862 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,港监潮沟 TPN 质量浓度低于检出限,其余污染源 TPN 质量浓度相差不大,介于 $0.434 \sim 0.669 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间。

与国家地表水环境质量标准 (GB 3838-2002)^[22] 相比,各排污口 TN 质量浓度均表现为劣 V 类水质,且港监潮沟、纱厂潮沟、西潮沟和西部污水处理厂 TN 质量浓度大于 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,是田庄台和辽河公园的约 2 倍,其排水可能对大辽河 TN 质量浓度有一定影响。

从图 7 中可以看出,港监潮沟 DON 百分含量为 44.44%,与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (百分含量为 55.04%) 共同成为港监潮沟 N 的主要形态,田庄台、化工厂上下游、辽河公园和西部污水处理厂 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 是 TN 的主要赋存形态,而纱厂潮沟 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 则是 TN 的主要赋存形态,劳动河和西潮沟 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 共同成为其 N 的主要形态。

2.2.2 大辽河主要排污口 P 排放特征

大辽河各排污口和大辽河干流 4 个采样点 P 质

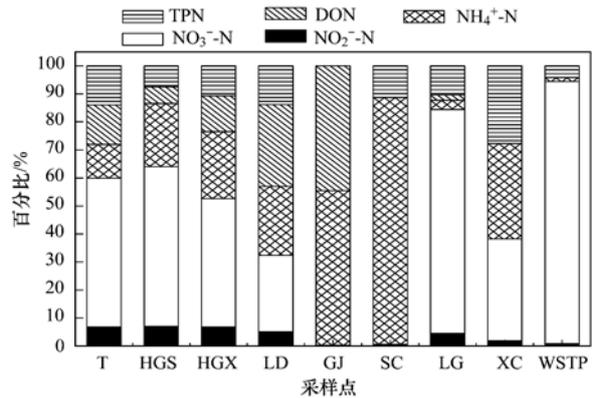


图 7 大辽河主要排污口 N 百分含量特征

Fig. 7 Characteristics of various N percentages in the primary sewage outfalls of the Daliao River

量浓度特征如图 8 所示。 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 质量浓度从中游田庄台的 $0.071 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 逐渐升高至下游纱厂潮沟的 $0.846 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 之后又骤然下降至辽河公园的 $0.094 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 西潮沟、西部污水处理厂和劳动河 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 质量浓度相差不大, 介于 $0.203 \sim 0.234 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间。 纱厂潮沟 DOP 质量浓度最高, 为 $0.665 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 其次为干流的化工厂上下游, 除西潮沟 (DOP 质量浓度最低, 为 $0.001 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 和西部污水处理厂 ($0.020 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 外, 其余各排污口 DOP 质量浓度和大辽河干流田庄台、辽河公园相差不大。 各排污口 TPP 质量浓度与大辽河干流监测点相比, 表现为: 西潮沟 > 田庄台 > 港监潮沟 > 纱厂潮沟 > 辽河公园 > 西部污水处理厂 > 劳动河, 化工厂上下游 TPP 质量浓度低于检测限。

与国家地表水环境质量标准 (GB 3838-2002)^[22] 相比, 田庄台、纱厂潮沟、港监潮沟、辽河公园、西潮沟 TP 质量浓度均表现为劣 V 类水质, 化工厂上游、劳动河、西部污水处理厂 TP 质量浓度表现为 V 类水质, 仅化工厂下游 TP 质量浓度达到

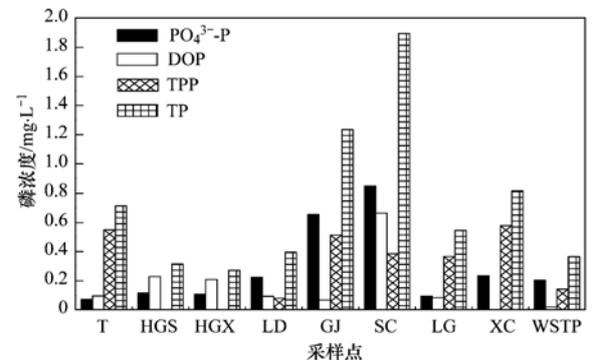


图 8 大辽河主要排污口 P 质量浓度特征

Fig. 8 Characteristics of various P concentrations in the primary sewage outfalls of the Daliao River

IV类标准.

如图9所示,大辽河干流和各排污口P百分含量表现不一,化工厂上下游DOP是TP的主要赋存形态,其百分含量分别为72.18%和76.56%,劳动河、港监潮沟、纱厂潮沟和西部污水处理厂 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 是TP的主要赋存形态,但港监潮沟、西部污水处理厂TPP百分含量也较高,分别为41.65%和38.91%,与 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 共同为主要P形态,另外,纱厂潮沟TPP、DOP也是其主要P形态,田庄台、辽河公园和西潮沟TPP是TP的主要赋存形态,其百分

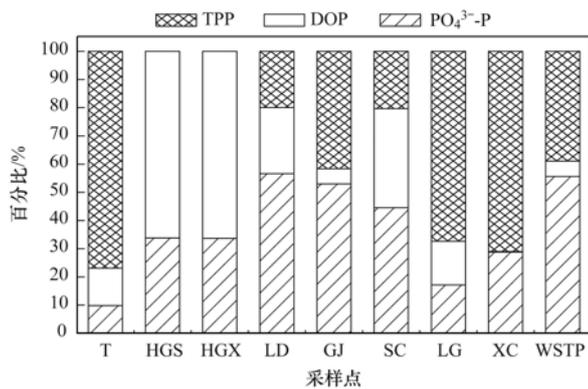


图9 大辽河主要排污口P百分含量特征

Fig. 9 Characteristics of various P percentages in the primary sewage outfalls of the Daliao River

含量介于67.34%~76.89%之间,与三岔河主要P形态相同,说明大辽河各形态P以TPP为主.

如表2所示,选取本研究中大辽河干流的3个采样点上游三岔河、中游田庄台和下游入海口附近的辽河公园的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、TN、 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 、TP质量浓度与大辽河口(大辽河口段属感潮河段,枯水期潮水顺河道逆流而上可至浑河的三界泡及太子河的唐马寨^[31],其水质与大辽河口水质息息相关)、国内外其他河流相比,可以看出,本研究中大辽河 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、TN质量浓度与大辽河口相差不大,但 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度高于北运河下游河网区(该河网区是北运河水系下游典型污灌区之一,主要河流有北运河、凤河、龙河、黄沙河、柳河干渠等,几条主河渠之间由许多纵横交错的灌溉沟渠联通,形成复杂的河网体系)和美国Mississippi River, TN质量浓度低于北运河下游典型河网区,但显著高于瓯江干流丽水段和长江宜宾段挂弓山断面, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 、TP质量浓度显著高于大辽河口,但 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 质量浓度低于北运河下游典型河网区, $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 质量浓度高于美国Mississippi River, TP质量浓度低于北运河下游典型河网区,但显著高于瓯江干流丽水段和长江宜宾段挂弓山断面,总的来说,大辽河营养盐质量浓度较高, TN、TP均达到劣V类水质,富营养化严重.

表2 不同流域营养盐质量浓度

Table 2 Concentrations of nutrients of different watershed

流域	$\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{TN}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{PO}_4^{3-} \text{-P}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{TP}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
三岔河(本研究)	2.962	0.679	7.924	0.069	1.022
田庄台(本研究)	2.371	0.536	4.459	0.071	0.715
辽河公园(本研究)	4.693	0.196	5.878	0.094	0.546
大辽河口 ^[17]	0.524~5.858	0.013~0.115	1.578~7.050	0.002~0.055	0.065~0.159
北运河下游典型河网区 ^[20]	2.100	8.160	12.500		1.450
瓯江干流丽水段 ^[32]		0.277	1.305		0.049
长江宜宾段挂弓山断面 ^[33]			0.968		0.212
Mississippi River ^[34]	1.100			0.050	

3 结论

(1)大辽河上游浑河、太子河及其支流海城河 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 质量浓度为II至IV类不等, TN质量浓度均为劣V类水质,由于人畜粪便和农业化肥的影响,太子河 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度最高,对大辽河有明显输入. 3条河流 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 均是TN的主要赋存形态,但浑河DON也是其主要部分. 3条河流中仅太子河TP质量浓度达到IV类水质,其余均为劣V类. 海城河DOP和 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 是TP的主要赋存形态,浑河、太子河

TPP是TP的主要赋存形态.

(2)位于市区的西部污水处理厂 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度显著高于其他排污口和大辽河, TN均为劣V类,且TDN是TN的主要赋存形态,TP为IV至劣V类不等,但各形态P百分含量表现不一. 接纳了大量的城市工业废水和生活污水的纱厂潮沟、港监潮沟 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、TN和TP质量浓度较高,均为劣V类水质.

(3)大辽河 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、TPP分别是TN、TP的主要赋存形态,且TN、TP质量浓度严重超标, TN平均质量浓度为 $6.087 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TP平均质量浓度为 0.761

mg·L⁻¹,均达到劣V类水质。

(4)大辽河主要污染源中纱厂潮沟、港监潮沟、西潮沟和西部污水处理厂对大辽河营养盐输入较明显,有关部门需加强对这几个污染源的监督和管理,使其水质达标排放。

参考文献:

- [1] 王彦丽,赵敏宁. 大辽河营口段水环境质量综合分析[J]. 安徽农业科学, 2013, **41**(8): 3616-3618.
- [2] 马永星,臧家业,车宏,等. 黄河干流营养盐分布与变化趋势[J]. 海洋与湖沼, 2015, **46**(1): 140-147.
- [3] 焦珂伟,李凤祥,周启星. 松花江流域营养盐的空间分布及污染等级评价[J]. 农业环境科学学报, 2015, **34**(4): 769-775.
- [4] Ni Z K, Wang S R. Historical accumulation and environmental risk of nitrogen and phosphorus in sediments of Erhai Lake, Southwest China [J]. Ecological Engineering, 2015, **79**: 42-53.
- [5] 杨福霞,简慧敏,田琳,等. 大辽河口 COD 与 DO 的分布特征及其影响因素[J]. 环境科学, 2014, **35**(10): 3748-3754.
- [6] 于格,陈静,张学庆,等. 大辽河口水环境污染生态风险评估[J]. 生态学报, 2012, **32**(15): 4651-4660.
- [7] 杨育红,阎百兴. 中国东北地区非点源污染研究进展[J]. 应用生态学报, 2010, **21**(3): 777-784.
- [8] Guo W, He M C, Yang Z F, *et al.* Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in water, suspended particulate matter and sediment from Daliao River watershed, China [J]. Chemosphere, 2007, **68**(1): 93-104.
- [9] 张龙军,夏斌,桂祖胜,等. 2005 年夏季环渤海 16 条主要入海河流的污染状况[J]. 环境科学, 2007, **28**(11): 2409-2415.
- [10] 秦延文,郑丙辉,张雷,等. 2004-2008 年辽东湾水质污染特征分析[J]. 环境科学研究, 2010, **23**(8): 987-992.
- [11] 刘娟,孙茜,莫春波,等. 大辽河口及邻近海域的污染现状和特征[J]. 水产科学, 2008, **27**(6): 286-289.
- [12] 柴宁. 大辽河水系主要污染物特征分析[J]. 环境保护科学, 2006, **32**(3): 19-21.
- [13] Yue F J, Li S L, Liu C Q, *et al.* Using dual isotopes to evaluate sources and transformation of nitrogen in the Liao River, northeast China [J]. Applied Geochemistry, 2013, **36**: 1-9.
- [14] 胡成,苏丹. 综合水质标识指数法在浑河水质评价中的应用[J]. 生态环境学报, 2011, **20**(1): 186-192.
- [15] 崔健,都基众,王晓光. 浑河河水及其沿岸地下水污染特征[J]. 生态学报, 2014, **34**(7): 1860-1869.
- [16] 刘文军. 大辽河营口段水质变化趋势分析[J]. 地下水, 2013, **35**(3): 97-99.
- [17] 张晋华,于立霞,姚庆祯,等. 不同季节辽河口营养盐的河口混合行为[J]. 环境科学, 2014, **35**(2): 569-576.
- [18] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. (第四版,增补版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 271-283.
- [19] 韩超南. 大辽河河口区水体及悬浮颗粒物氮、磷的形态分布与变化特征研究 [D]. 北京: 中国环境科学研究院, 2014. 14-37.
- [20] 单保庆,菅宇翔,唐文忠,等. 北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价[J]. 环境科学, 2012, **33**(2): 352-358.
- [21] 张亚丽,张依章,张远,等. 太子河流域地表水和地下水硝酸盐污染特征及来源分析[J]. 中国生态农业学报, 2014, **22**(8): 980-986.
- [22] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准[S].
- [23] 张远,郑丙辉,王西琴,等. 辽河流域浑河、太子河生态需水量研究[J]. 环境科学学报, 2007, **27**(6): 937-943.
- [24] 张洪义,郭春贵,车延路,等. 水文分析法分析海城河中上游水土流失状况[J]. 东北水利水电, 2004, **22**(9): 41-42.
- [25] 周高煜. 大辽河氮、磷输送平衡研究[D]. 上海: 东华大学, 2013. 5-39.
- [26] 张鸿龄,孙丽娜,罗庆,等. 浑河流域水体污染的季节性变化及来源[J]. 生态学杂志, 2011, **30**(1): 119-125.
- [27] Meybeck M. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers [J]. American Journal of Science, 1982, **282**(4): 401-450.
- [28] Horppila J, Nurminen L. The effect of an emergent macrophyte (*Typha angustifolia*) on sediment resuspension in a shallow north temperate lake [J]. Freshwater Biology, 2001, **46**(11): 1447-1455.
- [29] 赵颖,王国秀,章北平. 典型城内过富营养湖泊沉积物和间隙水中各形态磷的相关性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2006, **15**(4): 490-494.
- [30] 李伟,徐斌,夏圣骥,等. 饮用水中溶解性有机氮类化合物的控制研究进展[J]. 中国给水排水, 2009, **25**(8): 22-26.
- [31] 金鑫,张春洁. 浅析重金属在潮汐河段的变化规律[J]. 地下水, 2008, **30**(1): 70-72.
- [32] 韦肖杭,练青平,原居林,等. 瓯江干流丽水段水体富营养化评价[J]. 生物学杂志, 2012, **29**(2): 47-50.
- [33] Liu Y, Ma J, Li Y. Analysis of eutrophication of Yangtze River Yibin section [J]. Energy Procedia, 2012, **16**(Part A): 203-210.
- [34] Shiller A M. A mixing rate approach to understanding nutrient distributions in the plume of Mississippi River [J]. Marine Chemistry, 1993, **43**(1-4): 211-216.

CONTENTS

Composition and Source Apportionments of Saccharides in Atmospheric Particulate Matter in Beijing	LIANG Lin-lin, Guenter Engling, DUAN Feng-kui, <i>et al.</i>	(3935)
Comparing Cell Toxicity of <i>Schizosaccharomyces pombe</i> Exposure to Airborne PM _{2.5} from Beijing and Inert Particle SiO ₂	LIU Meng-jiao, HUANG Yi, WEN Hang, <i>et al.</i>	(3943)
Analysis on Regional Characteristics of Air Quality Index and Weather Situation in Beijing and Its Surrounding Cities During the APEC	GAO Qing-xian, LIU Jun-rong, WANG Ning, <i>et al.</i>	(3952)
Analysis About Spatial and Temporal Distribution of SO ₂ and An Ambient SO ₂ Pollution Process in Beijing During 2000-2014	CHENG Nian-liang, ZHANG Da-wei, LI Yun-ting, <i>et al.</i>	(3961)
Characteristics and Formation Mechanism of a Multi-Day Haze in the Winter of Shijiazhuang Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)		
.....	ZHOU Jing-bo, REN Yi-bin, HONG Gang, <i>et al.</i>	(3972)
Modeling Study of A Typical Summer Ozone Pollution Event over Yangtze River Delta	ZHANG Liang, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i>	(3981)
Distribution of Regional Pollution and the Characteristics of Vertical Wind Field in the Pearl River Delta	LIU Jian, WU Dui, FAN Shao-jia	(3989)
Distribution Characteristics of Urea and Constitution of Dissolved Nitrogen in the Bohai Sea and the Huanghai Sea in Spring	LI Zhi-lin, SHI Xiao-yong, ZHANG Chuang-song	(3999)
Relationship Between Agricultural Land and Water Quality of Inflow River in Erhai Lake Basin	PANG Yan, XIANG Song, CHU Zhao-sheng, <i>et al.</i>	(4005)
Input Characteristics and Pollution Assessment of Nutrients Pollution in the Primary Pollution Source of the Daliao River	MA Ying-qun, ZHANG Lei, ZHAO Yan-min, <i>et al.</i>	(4013)
Temporal and Spatial Distribution of Nutrients in Daning River Sediments and Their Correlations with Chlorophyll in the Three Gorges Reservoir Area		
.....	ZHANG Yong-sheng, LI Hai-ying, REN Jia-ying, <i>et al.</i>	(4021)
Summer Greenhouse Gases Exchange Flux across Water-air Interface in Three Water Reservoirs Located in Different Geologic Setting in Guangxi, China		
.....	LI Jian-hong, PU Jun-bing, SUN Ping-an, <i>et al.</i>	(4032)
Distribution of Redox Zone at Different Water Layers in the Presence of Periphyton and the Responsible Microorganisms	WANG Feng-wu, LIU Wei, WAN Juan-juan, <i>et al.</i>	(4043)
Distribution Characteristics and Source of Fluoride in Groundwater in Lower Plain Area of North China Plain: A Case Study in Nanpi County		
.....	KONG Xiao-le, WANG Shi-qin, ZHAO Huan, <i>et al.</i>	(4051)
Distribution Characteristics of Fluoroquinolones Antibiotics in Surface Water and Groundwater from Typical Areas in A City	CUI Ya-feng, HE Jiang-tao, SU Si-hui, <i>et al.</i>	(4060)
Distribution of Aerobic Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Sediments from Adjacent Waters of Rushan Bay	HE Hui, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i>	(4068)
Sources, Migration and Conversion of Dissolved Sterols in Qingmuguan Underground River	LIANG Zuo-bing, SHEN Li-cheng, SUN Yu-chuan, <i>et al.</i>	(4074)
Water-Sediment Partition of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Karst Underground River	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, XIAO Shi-zhen	(4081)
Variation Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Karst Subterranean River During Rainfall Events	JIANG Ze-li, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i>	(4088)
Distribution and Transportation Characteristics of Heavy Metals in Nanshan Laolongdong Subterranean River System and Its Capacity of Self-Purification in Chongqing		
.....	REN Kun, LIANG Zuo-bing, YU Zheng-liang, <i>et al.</i>	(4095)
Distribution of Mercury in Plants at Water-Level-Fluctuating Zone in the Three Gorges Reservoir	LIANG Li, WANG Yong-min, LI Xian-yuan, <i>et al.</i>	(4103)
Development of Sediment Micro-Interface Under Physical and <i>Chironomus plumosus</i> Combination Disturbance	WANG Ren, LI Da-peng, HUANG Yong, <i>et al.</i>	(4112)
Norfloxacin Solution Degradation Under Ultrasound, Potassium Persulfate Collaborative System	WEI Hong, SHI Jing-zhuan, LI Jia-lin, <i>et al.</i>	(4121)
Degradation of Acid Orange 7 with Persulfate Activated by Silver Loaded Granular Activated Carbon	WANG Zhong-ming, HUANG Tian-yin, CHEN Jia-bin, <i>et al.</i>	(4127)
Kinetics and Reactive Species Analysis of Dimetridazole Degradation by TiO ₂	CHEN Dong-mei, YU Ze-bin, SUN Lei, <i>et al.</i>	(4135)
Performance and Mechanism of Ferric Tannate in the Removal of Inorganic Nitrogen from Wastewater	ZHANG Rui-na, LI Lin, LIU Jun-xin	(4141)
Performance of an Intermittent Aeration Membrane Bioreactor for Removal of Veterinary Antibiotics from Piggery Wastewater	DING Jia-li, LIU Rui, ZHENG Wei, <i>et al.</i>	(4148)
Advanced Treatment of Incineration Leachate with O ₃ -BAC and Double O ₃ -BAC	DU An-jing, FAN Ju-hong, LIU Rui, <i>et al.</i>	(4154)
Effects of Hydraulic Retention Time and Dissolved Oxygen on a CANON Reactor with Haydite as Carrier	WANG Hui-fang, FU Kun-ming, ZUO Zao-rong, <i>et al.</i>	(4161)
Inhibiting Form of Ammonium to AOB and Inhibiting Rule	CUI Jian-hong, LI Xiang, HUANG Yong, <i>et al.</i>	(4168)
Nitrogen Removal Using ANAMMOX and Denitrification for Treatment of Municipal Sewage	ZHANG Shi-ying, WU Peng, SONG Yin-ling, <i>et al.</i>	(4174)
Rapid Start-up of Simultaneous Nitrification and Denitrification Coupled Phosphorus Removal Process and Its Performing Characteristics	LENG Lu, XIN Xin, LU Hang, <i>et al.</i>	(4180)
Effect of HCO ₃ ⁻ on Nitrogen Removal Efficiency in Partial Nitrification-ANAMMOX Process	LI Xiang, CHENG Zong-heng, HUANG Yong, <i>et al.</i>	(4189)
Research on Cultivation and Stability of Nitrification Granular Sludge in Integrated ABR-CSTR Reactor	WU Kai-cheng, WU Peng, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i>	(4195)
Influence of the Application of Activated Persulfate on Municipal Sludge Conditioning	XU Xin, PU Wen-hong, SHI Ya-fei, <i>et al.</i>	(4202)
Influence of Temperature on the Anaerobic Packed Bed Reactor Performance and Methanogenic Community	XIE Hai-ying, WANG Xin, LI Mu-yuan, <i>et al.</i>	(4208)
Research on the Screening Method of Soil Remediation Technology at Contaminated Sites and Its Application	BAI Li-ping, LUO Yun, LIU Li, <i>et al.</i>	(4218)
Comprehensive Risk Assessment of Soil Heavy Metals Based on Monte Carlo Simulation and Case Study	YANG Yang, DAI Dan, CAI Yi-min, <i>et al.</i>	(4225)
Heavy Metals Pollution in Topsoil from Dagang Industry Area and Its Ecological Risk Assessment	ZHANG Qian, CHEN Zong-juan, PENG Chang-sheng, <i>et al.</i>	(4232)
Effects of Land Use Type on Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen in Water-Stable Aggregates in Jinyun Mountain	LI Zeng-quan, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju	(4241)
Influence of Different Straws Returning with Landfill on Soil Microbial Community Structure Under Dry and Water Farming		
.....	LAN Mu-ling, GAO Ming	(4252)
Carbon Source Utilization Characteristics of Soil Microbial Community for Apple Orchard with Interplanting Herbage	DU Yi-fei, FANG Kai-kai, WANG Zhi-kang, <i>et al.</i>	(4260)
Effects of Different Kinds of Organic Materials on Soil Heavy Metal Phytoremediation Efficiency by <i>Sedum alfredii</i> Hance	YAO Gui-hua, XU Hai-zhou, ZHU Lin-gang, <i>et al.</i>	(4268)
<i>In-situ</i> Study on Effects of Combined Amendment on Translocation Control of Pb and Cd in Soil-Vegetable System	ZHU Wei, LIU Li, WU Yan-ming, <i>et al.</i>	(4277)
Effects of Rice Cultivar and Typical Soil Improvement Measures on the Uptake of Cd in Rice Grains	WANG Mei-e, PENG Chi, CHEN Wei-ping	(4283)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of PAHs in Water and Fishes from Daqing Lakes	WANG Xiao-di, ZANG Shu-ying, ZHANG Yu-hong, <i>et al.</i>	(4291)
Depth Profiles of Methane Oxidation Kinetics and the Related Methanotrophic Community in a Simulated Landfill Cover	XING Zhi-lin, ZHAO Tian-tao, GAO Yan-hui, <i>et al.</i>	(4302)
Enhanced Performance of Rolled Membrane Electrode Assembly by Adding Cation Exchange Resin to Anode in Microbial Fuel Cells	MEI Zhuo, ZHANG Zhe, WANG Xin	(4311)
Development of a Monoclonal Antibody-Based Sensor for Environmental Pyrene and Benzo(a)pyrene Detection	LI Xin, QIAO Yan, ZHONG Guo-zhen	(4319)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2015年11月15日 第36卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 11 Nov. 15, 2015

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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人