

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第5期

Vol.33 No.5

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

区域空气质量模拟中查表法的应用研究	谢旻,王体健,江飞,李树,蔡彦枫,庄炳亮(1409)
长江三角洲地区秸秆露天焚烧大气污染物排放清单及其在空气质量模式中的应用	苏继峰,朱彬,康汉青,王红磊,王体健(1418)
北京及周边城市一元脂肪酸大气颗粒物干沉降通量及来源分析研究	徐小娟,李杏茹,王跃思,刘晨书,潘月鹏,王英锋(1425)
上海大气超细颗粒物和工业纳米颗粒的表征及细胞毒性的比较研究	张睿,吕森林,尚羽,易飞,任晶晶,郝晓洁,安静,吴明红(1431)
青岛市大气 PM _{2.5} 元素组成及来源研究	李秀镇,盛立芳,徐华,屈文军(1438)
冬季天津家庭室内空气颗粒物中邻苯二甲酸酯污染研究	王夫美,陈丽,焦姣,张雷波,姬亚芹,白志鹏,张利文,孙增荣,张星梅(1446)
再悬浮装置在大气 PM _{2.5} 源谱分析中的应用	段恒轶,钱冉冉,吴水平,印红玲(1452)
黔西南煤燃烧产物微量元素分布特征及富集规律研究	魏晓飞,张国平,李玲,项萌,蔡永兵(1457)
三峡水库不同运行状态下支流澎溪河水-气界面温室气体通量特征初探	蒋滔,郭劲松,李哲,方芳,白镭,刘静(1463)
香溪河库湾夏季温室气体通量及影响因素分析	王亮,肖尚斌,刘德富,陈文重,王雨春,陈小燕,段玉杰(1471)
臭氧浓度升高与土壤湿度对农田土壤微生物呼吸温度敏感性的影响	陈书涛,张勇,胡正华,史艳妹,沈小帅(1476)
托木尔峰青冰滩 72 号冰川径流水化学特征初步研究	赵爱芳,张明军,李忠勤,王飞腾,王圣杰(1484)
五大连池水溶性有机磷矿化特性的研究	张斌,席北斗,赵越,魏自民,白雪,王曼林(1491)
7 条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律	卢少勇,远野,金相灿,焦伟,吴瑶洁,任德有,周羽化,陈雷(1497)
巢湖十五里河沉积物氮磷形态分布及生物有效性	李如忠,李峰,周爱佳,童芳,钱家忠(1503)
北运河系地表水近 10 年来水质变化及影响因素分析	郭婧,荆红卫,李金香,李令军(1511)
东莞运河排涝对东江河网水质影响分析	孙磊,毛献忠,黄旻旻(1519)
北京平原区地下水污染源识别与危害性分级	陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮(1526)
地下水曝气修复过程的三维数值模拟	李恒震,胡黎明,王建,武晓峰,刘培斌(1532)
垂向水动力扰动机的蓝藻控制效应数值实验研究	邹锐,周璟,孙永健,嵇晓燕,岳佳,刘永(1540)
新型生物岛栅中污染物去除的微生物机制研究	高明瑜,谢慧君,王文兴(1550)
营养盐水平对念珠藻胞外有机物产生的影响	齐飞,刘晓媛,徐冰冰,黄岳,封莉,张立秋(1556)
水网藻种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用研究	傅海燕,柴天,赵坤,刘智峰,张明真,侯明,许鹏成(1564)
酞酸酯在模拟海河菹草微宇宙中的消减和分布特征	迟杰,杨青(1570)
电子束辐射对铜绿微囊藻毒素产生和释放的抑制作用研究	刘书宇,吴明红,姜钦鹏(1575)
青铜峡灌区典型排水沟水污特征解析	李强坤,胡亚伟,罗良国(1579)
四溴双酚 A 的辐射降解研究	李杰,徐殿斗,徐刚,马玲玲,吴明红(1587)
污泥基活性炭催化臭氧氧化降解水中微量布洛芬的效能研究	王红娟,齐飞,封莉,张立秋(1591)
高水力负荷对人工湿地处理精养虾塘排水效果的影响	李怀正,章星异,陈卫兵,叶剑峰(1597)
城市污水生物脱氮系统出水经氯胺消毒形成 NDMA 的影响因素研究	尚晓玲,李咏梅(1604)
利用淀粉基共混物作为反硝化固体碳源的研究	沈志强,吴为中,杨春平,陈佳利,王建龙(1609)
好氧污泥颗粒化过程中 Zeta 电位与 EPS 的变化特性	王浩宇,苏本生,黄丹,崔晓姣,竺建荣(1614)
活性污泥对病毒的生物吸附特性	周玉芬,郑祥,雷洋,陈迪(1621)
阴离子型聚丙烯酰胺在离子交换膜上的吸附规律	邓梦洁,于水利,时文歆,衣雪松(1625)
两性修饰膨润土对苯酚的吸附及热力学特征	李婷,孟昭福,张斌(1632)
表面活性剂对苯并[a]芘在黑炭表面吸附解吸的影响	张景环,陈春溶,张玮航,栗桂州(1639)
南京市 4 个污水处理厂的活性污泥中细菌的分离鉴定和抗生素耐药性分析	葛峰,郭坤,周广灿,张会娟,刘济宁,戴亦军(1646)
焦化废水中苯酚降解菌筛选及其降解性能	陈春,李文英,吴静文,李静(1652)
Xanthobacter flavus DT8 降解二噁英的特性研究	金小君,陈东之,朱润晔,陈静,陈建孟(1657)
未开发油气田地地表炔氧化菌空间定量分布	满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(1663)
矿化垃圾中氧化甲烷兼性营养菌的筛选与生物特性研究	赵天涛,项锦欣,张丽杰,全学军,赵由才(1670)
长江中游干流及 22 条支流表层水中多氯联苯的分布特征及其潜在风险	李昆,赵高峰,周怀东,曾敏,廖柏寒,吴正勇,张盼伟,郝红(1676)
典型血吸虫病区表层水中酚类化合物的污染特征及潜在风险	吴正勇,赵高峰,周怀东,李科林,曾敏,李昆,张盼伟,郝红(1682)
闽江福州段沉积物中多环芳烃的空间分布异质性研究	陈卫锋,倪进治,杨红玉,魏然,杨玉盛(1687)
三峡库区蓄水运用期表层沉积物重金属污染及其潜在生态风险评价	王健康,高博,周怀东,陆瑾,王雨春,殷淑华,郝红,袁浩(1693)
典型电器工业区河涌沉积物中重金属的分布和潜在生态风险	邓代永,孙国萍,郭俊,张宏涛,张琴,许政英(1700)
密云水库上游金属矿区土壤中重金属形态分布及风险评价	高彦鑫,冯金国,唐磊,朱先芳,刘文清,李宏兵(1707)
湘西花垣矿区土壤重金属污染及其生物有效性	杨胜香,袁志忠,李朝阳,龙华,唐文杰(1718)
基于 GIS 的某训练场土壤重金属污染评价	刘玉通,方振东,杨琴,谢朝新,王大勇,毛华军(1725)
土壤质地和湿度对 SVE 技术修复苯污染土壤的影响	刘少卿,姜林,姚玉君,李艳霞,刘希涛,林春野(1731)
蒙脱土、高岭土和针铁矿对 DNA 吸附与解吸特征	王慎阳,饶伟,王代长,张亚楠,李腾,唐冰培,杨世杰(1736)
LNAPL 在砂质含水层中动态迁移的电阻率法监测试验研究	潘玉英,贾永刚,郭磊,李进军,单红仙(1744)
亚临界水解预处理稻草秸秆制备活性炭及表征	董宇,申哲民,雷阳明,王茜,刘婷婷(1753)
蓝藻好氧堆肥及其氮素损失控制的研究	任云,崔春红,刘奋武,占新华,周立祥(1760)
固定化微生物技术修复 PAHs 污染土壤的研究进展	钱林波,元妙新,陈宝梁(1767)
《环境科学》征订启事(1483)	《环境科学》征稿简则(1620)
信息(1490,1496,1586,1743)	

青铜峡灌区典型排水沟水污特征解析

李强坤^{1,2}, 胡亚伟¹, 罗良国³

(1. 黄河水利科学研究院, 郑州 450003; 2. 黄河水利科学研究院节水与农业生态实验室, 新乡 453003; 3. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘要:以2009年青铜峡灌区排水沟实测流量和污染物浓度为基础,结合典型排水沟纳污现状调查及灌区灌溉与排水特点,对比点源污染和非点源污染的浓度和负荷特征,对典型排水沟污染物来源进行解析。结果表明,青铜峡灌区典型排水沟农田排水期盐分、氨氮、总磷月平均浓度依次为1 124、8.59、0.48 mg·L⁻¹,非农田排水期盐分、氨氮、总磷月平均浓度分别为1 952、18.13、4.15 mg·L⁻¹,农田排水期月平均输出盐分、氨氮、总磷负荷为20 896、90.35、5.80 t,非农田排水期月平均输出盐分、氨氮、总磷负荷分别为7 842、67.81、21.38 t。其中,第一排水沟水污过程与农田灌溉排水周期具有很好的一致性,表明第一排水沟以农田灌溉排水和农业非点源污染为主;第三排水沟、银新沟等则在承接农田灌溉排水的基础上,接纳了较多的点源污染,表现出点源与非点源综合污染并以点源污染为主导的污染特征。

关键词:青铜峡灌区;排水沟渠;水污染;农业非点源污染;污染负荷

中图分类号: X592 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)05-1579-08

Source Characteristics Analysis of Discharge and Pollutants in Typical Drainage Ditch of Qingtongxia Irrigation District

LI Qiang-kun^{1,2}, HU Ya-wei¹, LUO Liang-guo³

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China; 2. Laboratory of Water-saving and Agricultural Ecology, Yellow River Institute of Hydraulic Research, Xinxing 453003, China; 3. Institute of Agricultural Environment & Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the discharge and pollutants of drainage ditch in Qingtongxia Irrigation District at the Yellow River upstream in 2009. Source characteristics of discharge and pollutants in typical drainage ditch were analyzed by combined pollution survey of typical drainage ditch and characteristics of irrigation and drainage in Qingtongxia Irrigation District. Comparative analysis the pollution characteristics of point source pollution and non-point source pollution. The results showed, the monthly mean concentration of salinity, ammonia nitrogen, total phosphorus was 1 124, 8.59, 0.48 mg·L⁻¹, the monthly mean load was 20 896, 90.35, 5.80 t, respectively in farmland drainage period. The monthly mean concentration of salinity, ammonia nitrogen, total phosphorus was 1 952, 18.13, 4.15 mg·L⁻¹, the monthly mean load was 7 842, 67.81, 21.38 t in non-farmland drainage period. Meanwhile, the drainage and pollutants in Diyi drainage ditch is mainly composed of irrigation drainage and agricultural non-point source pollution, and the process of drainage and pollutants has a good correspondence with farmland irrigation interval. In contrary, Disan drainage ditch and Yinxin drainage ditch etc, due to irrigation drainage and agricultural non-point source pollutants was drained into, and a large amount of sewage above the standards was drain into, too, the drainage and pollutants showed comprehensive pollution characteristics of point source pollution and agricultural non-point source pollution, which point source pollution was the dominant factors.

Key words: Qingtongxia irrigation district; drainage ditch; water pollution; agricultural non-point source pollution; pollution loads

水环境恶化是点源污染和非点源污染共同作用的结果。点源污染物种类、数量相对稳定,而非点源污染物则来源广泛,没有固定的迁移路径,具有很大的不确定性^[1~4]。由于非点源污染形成机制和输移过程的复杂性,在多个环节与点源污染相互交叉作用,使得人们对非点源污染负荷以及其对区域水环境的影响程度难以做出有效的量化评估^[5~8]。近年来,随着水环境问题的突出以及点源污染治理水平的相对提高,非点源污染尤其是化肥、农药的大量使用而引起的农业源污染问题日益引起人们的关注和重视^[9,10]。2010年2月,国家环境保护部、统计局、

农业部三部委联合发布的《第一次全国污染源普查公报》指出:我国农业污染源排放化学需氧量1 324.09万t,总氮270.46万t,总磷28.47万t,分别占全国污染物总排放量的43.7%、57.2%、64.9%,农业源已成为主要污染源^[11]。农业非点源污染是指农业生产活动中所引起的各种污染物从土

收稿日期: 2011-07-08; 修订日期: 2011-10-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(50879027); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2011CB403303); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07212-004-01-7)

作者简介: 李强坤(1968~),男,博士,高级工程师,主要研究方向为生态水文与环境水文、农业水土环境等, E-mail: liqiangk@126.com

壤圈向水圈扩散的过程,这一过程可概化为田间产污的“源”环节和沟渠输污的“汇”环节。“汇”环节中,农田排水沟渠系统是农业非点源污染物迁移输送的重要通道^[12~15],然而,随着社会经济的发展以及区域产业结构的调整,灌区排水沟渠内水污组成也呈现多元化“转型”趋势,个别排水沟接纳大量点源污染,成为工矿企业以及邻近乡镇工业、生活废污水的排污通道,从而使农田排水沟渠系统的水污组成更加复杂,农业和农村的水环境治理日益困难。“源头减量”是水环境治理的根本,污染源解析则是“源头减量”的基础和前提.本研究以黄河上游青铜峡灌区典型排水沟为例,以2009年排水沟实测流量和污染物浓度监测为基础,结合典型排水沟纳污现状调查及灌区灌溉与排水特点,对比点源污染和农业非点源污染的浓度和负荷变化特征,对典型排水沟渠中水量和污染物组成进行解析,以期为区域水环境治理提供指导和参考.

1 研究区概况

青铜峡灌区是我国古老的特大型灌区之一,位于宁夏回族自治区北部,黄河上游下段,介于东经105°37′~106°39′,北纬37°49′~39°23′之间,属黄河河套(前套)平原的重要组成部分.灌区地处干旱地带,年均降水量180~220 mm,年均蒸发量1 000~1 550 mm(E601),是一个没有灌溉就没有农业的地区.1964年,黄河干流兴建的青铜峡水利枢纽极大地改善了当地水资源供给条件,也促进了灌区的发展.现状灌区总土地面积6 239 km²,灌溉面积33.75×10⁴ hm²,占总土地面积的54%,并以黄河为界分为河东灌区、河西灌区,涉及宁夏的3个地级市及11个县(市、区).区内农业种植以稻旱轮作为主,粮食作物包括:春小麦、水稻、玉米;经济作物主要为油料、甜菜等.

青铜峡灌区排水主要以明渠沟道排水为主,干沟、支沟、斗沟、农沟组成排水系统.灌区骨干排水沟道共有20余条,长660 km,排水能力600 m³·s⁻¹,控制排水面积47.0×10⁴ hm².青铜峡灌区具有得天独厚的地理优势和引排条件,多年来灌区排引比(排水量占引水量的比例)高达0.50以上,年均30余亿m³农田排水携带氮、磷等多种污染物直接或间接排入黄河,对黄河干流水质影响较大^[16,17].

2 材料与方法

2.1 典型排水沟选取

黄河自中卫(下河沿)进入宁夏境内,青铜峡水库以下至麻黄沟出境275 km河道为青铜峡灌区排水段,占黄河宁夏段全长的69.3%.为控制宁夏段黄河干流水质,在青铜峡水库以下黄河干流河段依次设置了金沙滩、叶盛公路桥、银古公路桥、陶乐渡口及麻黄沟出境5个控污断面,各断面间骨干排水沟分布见图1.



图1 青铜峡灌区典型排水沟分布

Fig. 1 Distribution map of typical drainage ditch in Qingtongxia irrigation district

为便于分析,依据各断面间排水沟布设现状及其排水量、污染物代表性等原则,在各断面间分别选择典型排水沟见表1.

表1 青铜峡灌区典型排水沟选取

Table 1 Chosen typical drainage ditch

序号	断面区间	典型排水沟
1	金沙滩-叶盛公路桥	清水沟
2	叶盛公路桥-银古公路桥	第一排水沟,东排水沟,中干沟
3	银古公路桥-陶乐渡口	银新沟,第二排水沟,第四排水沟
4	陶乐渡口-麻黄沟	第五排水沟,第三排水沟

其中金沙滩-叶盛公路桥位于该段河道上段,属于青铜峡灌区上游,排水量较小,排水沟渠数量也相对较少,仅选择清水沟一条,其它各段为灌区排水相对集中河段,各选择典型排水沟2~3条.

2.2 资料获取

本研究在上述各典型排水沟末端入黄口均布有监测站监测入黄水量,同时监测排水沟水质状况,流量监测按照国家水文测验规范进行,取月平均流量、水量进行分析;水质监测频率为每月一次,监测主要项目包括盐分、氨氮、硝氮、总磷、化学需氧量等. 本项研究以 2009 年实际监测资料为基础,结合区域污染特征及以往研究结

果^[18,19],典型污染物分别选取盐分(矿化度)、氨氮、总磷进行分析,实验室分析方法参照文献[20]中相关规定执行.

3 结果与分析

3.1 青铜峡灌区排水特征分析

图 2 为 2009 年青铜峡灌区各典型排水沟年内排水过程与青铜峡灌区引水过程对照.

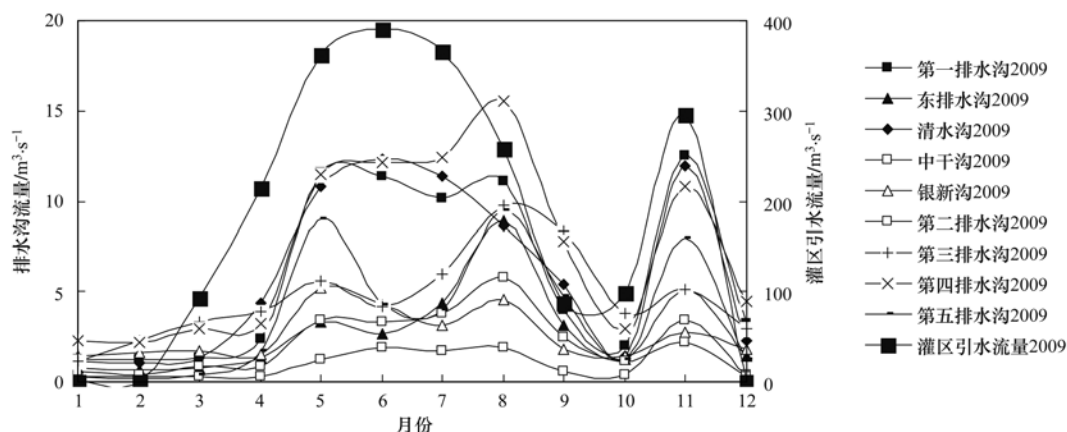


图 2 灌区引水过程与典型排水沟排水过程

Fig. 2 Process of diversion and drainage water

从图 2 中可以看出,青铜峡灌区排水过程与年内引水过程具有很好的适应性,年内流量过程呈现出典型的“双峰”特征. 青铜峡灌区地处干旱地带,农业发展主要依靠引黄灌溉. 年内第一个峰值出现在 4~9 月,这一时期是灌区农作物生长期,也是农田灌溉排水期,由于整个灌区作物种植结构较为复杂,农田灌溉持续时间较长,从图 2 中看第一个峰形过程较为矮胖. 另一个峰值出现在 11 月,也就是冬灌期,冬灌作用一是靠水分的冲洗降低土壤耕作层的盐分,二是为翌年作物播种保墒. 由于冬灌仅为一次灌溉过程,且以大水漫灌为主,速灌速排,所以灌排过程峰形较为尖瘦. 结合灌区灌排特征,进入排水沟中的水量包括两部分,一是由于灌溉水量管理不善,直接从灌溉渠道或田间以地表径流形式进入排水沟的水量;二是水分进入土壤后以侧向渗漏的形式进入排水沟的水量,这 2 种排水方式贯穿农作物生长灌溉期和冬灌期.

除去 2 个农田排水高峰期,其他时期可以称为灌区排水沟的非农田排水期或“枯水期”,由每年的 12 月至翌年的 3 月组成. 这一时期排水沟渠中的水量可以称为排水沟中的“基流”,也由两部分水量组成,一是农田灌溉过程结束后,在田间水位下降过程中以侧渗形式进入排水沟中的农田深层排水;二是

排水沟两侧村庄、城镇的生活废水以及个别养殖场、工矿企业的废水等也进入排水沟,这一部分水量是常年进入排水沟的,只是由于在农田灌溉排水期由于农田排水量较大,特征不够明显,而在排水沟的非农田排水期则比较突出,可以说是非农田排水期排水沟中水量的主要组成部分.

3.2 排水沟中盐分变化特征

青铜峡灌区降水稀少,蒸发强烈,在潜水蒸发过程中大量盐分上升聚集在土壤表层,灌溉排水期在水动力作用下进入排水沟渠,“盐污染”是该地区农田排水主要污染特征之一.

青铜峡灌区典型排水沟农田排水中盐分浓度过程见图 3,盐分负荷过程见图 4.

图 3 中可以看出,青铜峡灌区农田灌溉期排水中盐分浓度多在 $1\,000 \sim 2\,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,而在非农田排水期由于水量较小,盐分浓度可达到 $2\,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上. 各典型排水沟农田排水期盐分月平均浓度为 $1\,124 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,非农田排水期盐分月平均浓度为 $1\,952 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 较为突出的如清水沟,发源于吴忠市高闸镇,本是一条区域排盐通道,经改造后兼有农田排水功能,其中盐分浓度大幅高于其它排水沟. 进一步结合图 4 中盐分负荷过程分析,各典型排水沟农田排水期月平均输出盐分 $20\,896 \text{ t}$,非农田排水

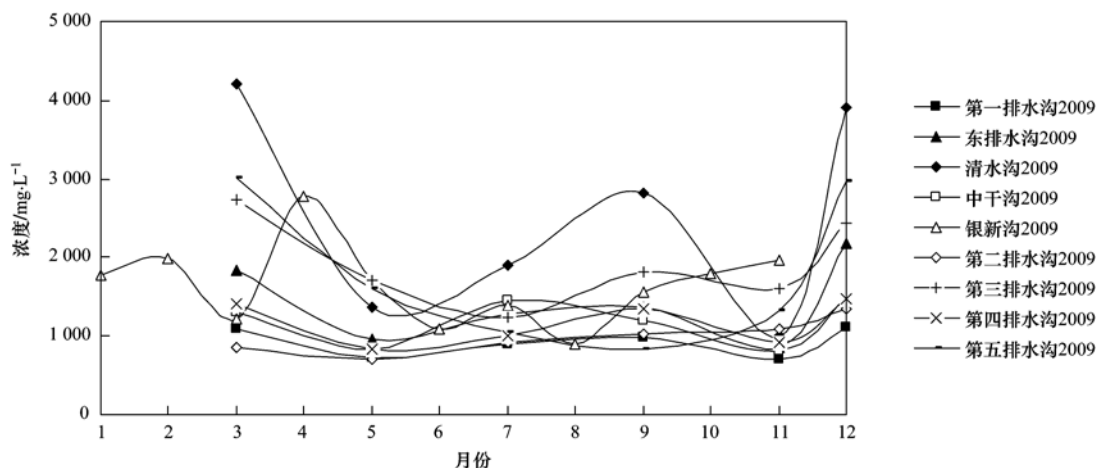


图3 典型排水沟盐分浓度过程

Fig. 3 Process of salt concentration in typical drainage ditch

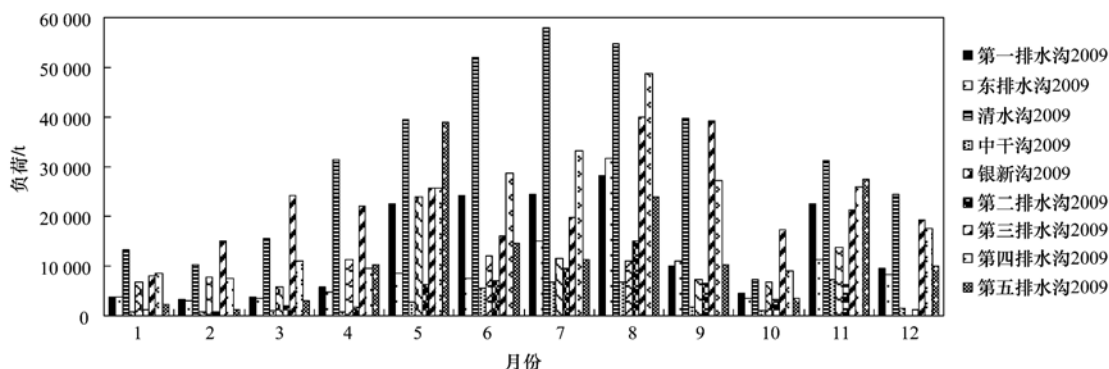


图4 典型排水沟盐分负荷过程

Fig. 4 Process of salt load in typical drainage ditch

期月平均输出盐分7 842 t. 其次,年内分布过程看,典型排水沟盐分负荷过程同排水沟中的排水过程具有相似特征. 土壤耕作层中盐分淋洗排出是排水沟中盐分的主要来源,4~9月是作物生长灌溉排水期,频繁的农田灌溉加之该时期气温较高,蒸发能力强,土壤深层盐分向表层不断输送,导致农田排水中盐分负荷较大;冬灌期,作物生长期结束,地下水位下降,盐分在土壤表层聚集,为洗盐保墒,该地区素有大定额冬灌的习惯,大引大排,水分冲洗能力增

强,土壤中盐分析出. 同4~9月作物生长灌溉排水期相比,由于非农田排水期排水沟中的水量主要来源于农田深层排水和其它排入排水沟中的废污水,相对排水量较小,盐分负荷也较小.

3.3 排水沟中氨氮变化特征分析

各典型排水沟2009年氨氮浓度及输出氨氮负荷分别见图5和图6.

从图5中可以看出,灌区典型排水沟中氨氮浓度最高值为2009年9月中干沟的 $43.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,为

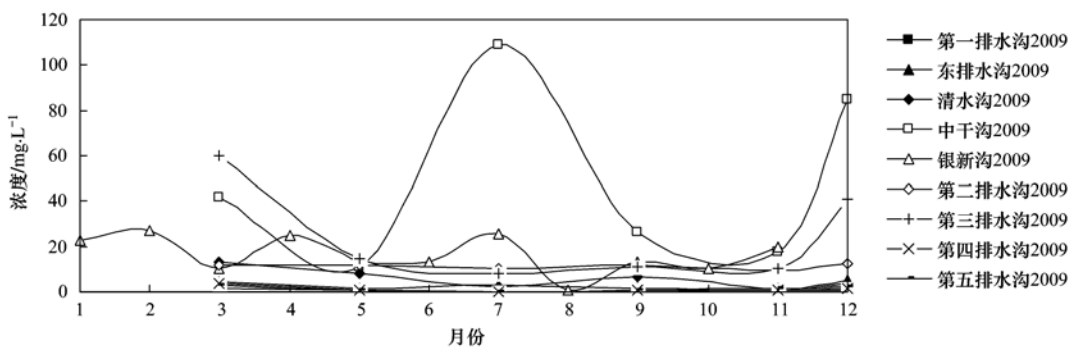


图5 典型排水沟氨氮浓度过程

Fig. 5 Process of ammonia nitrogen concentration in typical drainage ditch

《地表水环境质量标准 2002》中 V 类水限值 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 20 余倍. 从年内过程看, 非农田排水期的 3 月、12 月和农田排水期的 9 月氨氮浓度值较大. 其中中干沟、银新(干)沟、第二排水沟、第三排水沟等较为明显. 各典型排水沟农田排水期氨氮月平均浓度为 $8.59 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 非农田排水期氨氮月平均浓度为 $18.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 排水沟中非农田排水期氨氮浓度大于农田排水期的氨氮浓度.

结合图 6 中各排水沟氨氮输出负荷过程看, 各典型排水沟农田排水期月平均输出氨氮负荷 90.35

t, 非农田排水期月平均输出 67.81 t. 其中, 第三排水沟、银新沟等几乎全年都维持较高的氨氮输出水平, 月输出负荷都在 100 t 以上, 尤以 3、7、11 和 12 月较为突出, 其中第三排水沟 3 月输出氨氮负荷达到 346 t, 而此时并非农田灌溉排水期, 以农田灌溉排水为主要产移动力的农业非点源污染过程还很弱小, 因此, 这些排水沟中的氨氮污染主要来源于生活污水、工矿企业废水等点源污染. 与此相对应的如第一排水沟、第四排水沟、第五排水沟, 不仅图 5 中氨氮浓度较低, 图 6 中输出的氨氮负荷也较少.

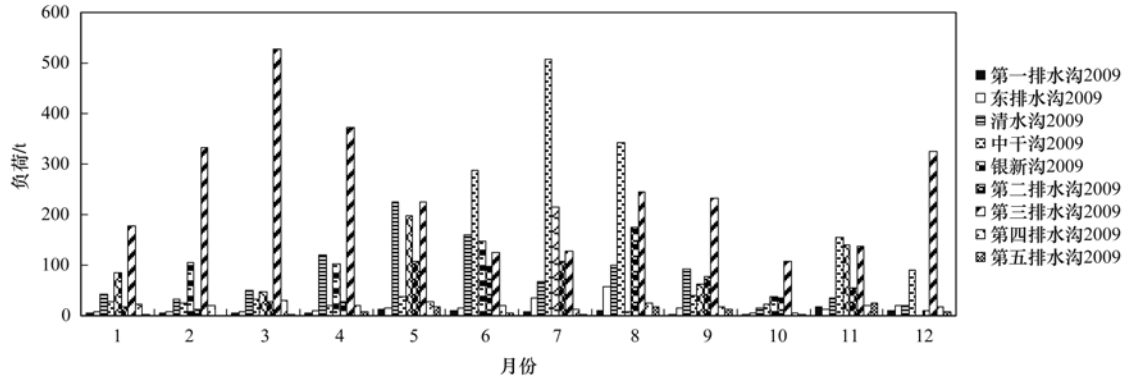


图 6 典型排水沟氨氮负荷过程
Fig. 6 Process of ammonia nitrogen load in typical drainage ditch

以第一排水沟、第三排水沟为例, 分析排水沟氨氮输出负荷与排水流量之间的关系, 分别见图 7 和图 8.

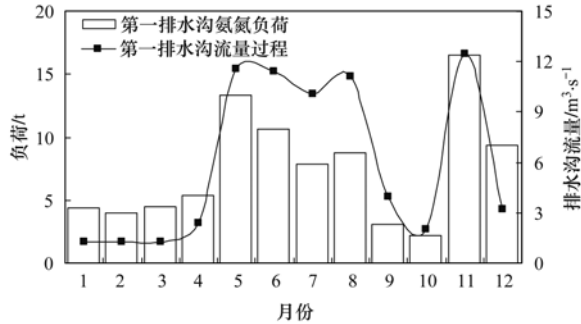


图 7 第一排水沟氨氮负荷与排水过程比较
Fig. 7 Comparison of ammonia nitrogen load and drainage water in Diyi drainage ditch

第一排水沟位于宁夏永宁县, 是青铜峡灌区最早开挖的排水干沟之一, 排水沟现状全长 26.4 km, 控制农田排水面积 $2.06 \times 10^4 \text{ hm}^2$. 图 7 中可以看出, 第一排水沟输出的氨氮污染负荷与排水沟流量过程具有较好的一致性. 每年的 4 月, 随着农作活动开始, 田间灌溉和施肥过程逐渐频繁, 排水沟中流量和氨氮负荷也几乎同步增加, 一直持续至 8 月底或 9 月初, 由于农作物收割, 灌溉施肥过程停止, 排水

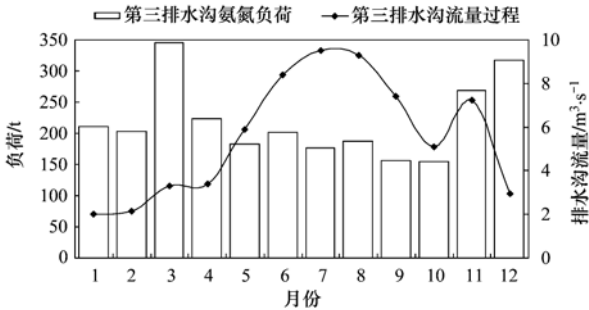


图 8 第三排水沟氨氮负荷与排水过程比较
Fig. 8 Comparison of ammonia nitrogen load and drainage water in Disan drainage ditch

沟中的水量和污染负荷同期也开始降低, 11 月随着冬灌开始, 排水沟中水量和氨氮负荷再度上升, 而在非农田灌溉施肥的 1~3 月, 第一排水沟中的氨氮污染负荷和排水流量不仅输出量小而且比较稳定. 可以说, 第一排水沟中的氨氮污染负荷变化与农田的灌溉施肥周期具有较好的适应性. 农业非点源污染负荷随农业生产活动的周期性变化是农业非点源污染的重要特征, 也是区别农业非点源污染与其他污染源的主要因子. 因此, 第一排水沟是以接纳农田灌溉排水为主、水体污染以农业非点源污染为主的代表性排水沟.

与此相反,图8中第三排水沟输出的氨氮污染负荷与农田排水过程不一致.在农田灌溉施肥周期尚未开始的1~3月,第三排水沟中的氨氮负荷就是一个上升的过程,之后随着排水沟中排水流量的增加氨氮污染负荷则不同程度降低,12月,随着排水沟中流量的减少污染负荷再度增加.这种水污过程不随农业生产活动的周期而变化,表明农业非点源污染不是影响第三排水沟水体环境质量的因子.现场调查确实如此,第三排水沟起始于银川市,全长88 km,纵贯银川市贺兰县、石嘴山市平罗县和惠农区.第三排水沟不仅承担着沿途 $9.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 农田的排水任务,而且近年来,随着沿途工业园区的相继建立,第三排水沟也逐步“转型”,变成接纳沿途工(企)业废水、生活污水的排污通道,常年水质恶化,是一条典型的以点源污染为主的代表性排水沟.5~10月排水沟中氨氮负荷降低,考虑是由于排水沟渠中流量增加,水体对氨氮污染的净化能力增强,另外随着气温升高,氨氮挥发、水生植物吸收、沟

渠湿地净化等多因素综合作用共同影响的结果.

3.4 排水沟中磷污染变化特征分析

磷是农业非点源污染的又一个主要污染因子,灌区典型排水沟2009年总磷浓度和负荷年内变化过程见图9、图10.

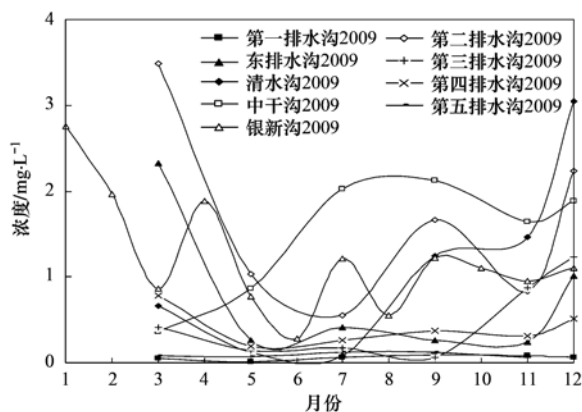


图9 典型排水沟总磷浓度过程

Fig. 9 Process of total phosphorus concentration in typical drainage ditch

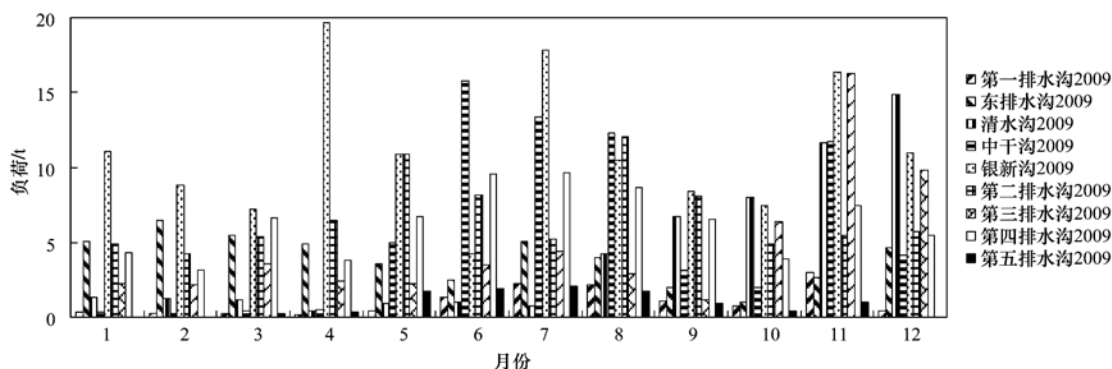


图10 典型排水沟中总磷负荷过程

Fig. 10 Process of total phosphorus load in typical drainage ditch

图9中可以看出,典型排水沟中总磷浓度最高的是2009年3月第二排水沟,达到 $3.49 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,接近《地表水环境质量标准2002》中V类水限值 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的9倍,其它如中干沟、银新(干)沟、东排水沟、清水沟等排水沟中总磷浓度都较高.从浓度变化过程看,各典型排水沟农田排水期总磷月平均浓度为 $0.48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,非农田排水期氨氮月平均浓度为 $4.15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,非农田排水期总磷浓度远高于农田灌溉排水期总磷浓度.

由图10中各典型排水沟总磷负荷过程可看出,各典型排水沟农田排水期月平均输出总磷污染负荷 5.80 t ,非农田排水期月平均输出 21.38 t .另外,不同排水沟月输出总磷负荷差别较大,4月银新(干)沟输出总磷负荷近 20 t ,而第一排水沟仅输出 0.2 t ,

11月银新(干)沟、第三排水沟分别输出总磷 16.4 t 、 16.3 t ,而同期第一排水沟输出总磷为 3.0 t .中干沟、银新(干)沟、东排水沟、清水沟等排水沟中总磷浓度、负荷过程也与农田灌溉排水过程差别较大,反映出各排水沟中由于污染来源不同,其浓度和负荷变化过程的复杂性.

与氨氮变化特征分析类似,分别以第一排水沟、银新(干)沟为例,点绘2009年排水沟流量过程和总磷负荷过程见图11.

银新(干)沟于1970年开挖,起始于银川市金凤区,流经贺兰县城区段,经立岗镇龙王庙进入黄河,全长 33.8 km ,控制农田排水面积 $4.20 \times 10^4 \text{ hm}^2$.类似于第三排水沟,银新(干)沟不仅接纳农田灌溉排水,沿途也接纳了大量城镇生活和工企业废

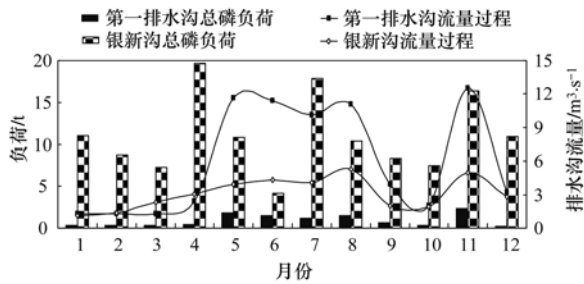


图 11 第一排水沟、银新(干)沟排水流量和总磷负荷过程比较
Fig. 11 Comparison of total phosphorus load and drainage water in Disan drainage ditch and Yinxin drainage ditch

污水. 图 11 中可明显看出, 相比于第一排水沟, 银新(干)沟年内排水过程相对平缓, 与农田灌溉排水的周期性变化有较大差别, 年内很多月份银新(干)沟的排水流量都小于第一排水沟, 而其总磷负荷却是第一排水沟的数倍, 说明有小流量高浓度的污染源进入. 农业非点源污染物主要来源于田间流失的氮磷等, 浓度低、影响面广是非点源污染的主要特征, 类似于银新(干)沟这种小流量、高浓度污染是点源污染的显著特征.

从农业与农村水环境治理方面看, 应坚持点源污染与非点源污染并重、点源治理为基础、非点源污染为根本的原则. 点源污染由于排放集中, 便于处理, 如利用污水处理厂集中处理等; 非点源污染则由于其本身的一些特征决定其难以控制和管理, 往往需要采取一些综合控制措施, 如美国国家环保局 (USEPA) 提出的最佳管理实践 (best management practices, BMPs) 就是一个融源头减量、过程截留与末端治理为一体的综合控制体系^[21,22]. 鉴于农业生产需求和粮食安全压力以及农业非点源污染的治理难度, 农业非点源污染短时间内很难从根本上扭转. 结合目前研究现状, 关于农业非点源污染形成机制、负荷及其对外界水环境影响程度的量化评价等应是现阶段农业非点源污染防治工作中的难点和重点.

4 结论

(1) 青铜峡灌区典型排水沟渠系统在接纳农田灌溉排水的同时, 部分排水沟渠还承接了大量企业及乡镇生活排污, 成为区域排污通道, 水体及污染物组成复杂.

(2) 2009 年典型排水沟渠水污实测资料分析表明, 青铜峡灌区典型排水沟农田排水期盐分、氨氮、总磷月平均浓度依次为 1 124、8.59、0.48 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 非农田排水期盐分、氨氮、总磷月平均浓度分别为 1 952、18.13、4.15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 农田排水期月平均输

出盐分、氨氮、总磷负荷为 20 896、90.35、5.80 t, 非农田排水期月平均输出盐分、氨氮、总磷负荷分别为 7 842、67.81、21.38 t.

(3) 青铜峡灌区第一排水沟水污过程与农田灌溉排水周期具有很好的一致性, 以农田灌溉排水和农业非点源污染为主; 第三排水沟、银新沟等则接纳了较多的点源污染, 表现出点源与非点源综合污染并以点源污染为主导的污染特征.

(4) 区域农业和农村水环境治理应坚持点源污染与非点源污染并重的原则, 在污染源分析的基础上, 结合点源与非点源污染各自不同特征, 采取相应治理对策.

参考文献:

- [1] 李强坤, 李怀恩. 农业非点源污染数学模型及控制措施研究 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010. 5-15.
- [2] 陈丁江, 吕军, 金培坚, 等. 非点源污染河流水环境容量的不确定性分析 [J]. 环境科学, 2010, 31(5): 1215-1219.
- [3] 周慧平, 高超. 巢湖流域非点源磷流失关键源区识别 [J]. 环境科学, 2008, 29(10): 2696-2702.
- [4] Novotny V. Diffuse pollution from agriculture — A worldwide outlook [J]. Water Science and Technology, 1999, 39(3): 1-13.
- [5] 王少丽, 王兴奎, 许迪. 农业非点源污染预测模型研究进展 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 265-271.
- [6] 郑丽波, 桂新安, 王少平, 等. 非点源污染模型参数数字化及不确定性研究进展 [J]. 环境污染与防治, 2008, 30(5): 69-73.
- [7] 李瑞玲, 张永春, 刘庄, 等. 太湖缓坡丘陵地区雨强对农业非点源污染物随地表径流迁移的影响 [J]. 环境科学, 2010, 31(5): 1220-1226.
- [8] 田耀武, 黄志霖, 肖文发. 三峡库区黑沟小流域非点源污染物输出的动态变化 [J]. 环境科学, 2011, 32(2): 423-427.
- [9] Ongley E D, Zhang X L, Yu T. Current status of agricultural and rural non-point source pollution assessment in China [J]. Environmental Pollution, 2010, 158(5): 1159-1168.
- [10] 张维理, 徐爱国, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策: III. 中国农业面源污染控制中存在问题分析 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1026-1033.
- [11] 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国国家统计局, 中华人民共和国农业部. 第一次全国污染源普查公报 [R]. 2010. 1-5.
- [12] 李强坤, 胡亚伟, 李怀恩. 农业非点源污染物在排水沟渠中的模拟与应用 [J]. 环境科学, 2011, 32(5): 1273-1278.
- [13] 李强坤, 胡亚伟, 孙娟. 农业非点源污染物在排水沟渠中的迁移转化研究进展 [J]. 中国农业生态学报, 2010, 18(1): 210-214.
- [14] 卫新锋, 欧阳威, 郝芳华, 等. 河套灌区沟渠表层沉积物对磷的吸附 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 94-100.
- [15] Wang X H, Yin C Q, Shan B Q. The role of diversified

- landscape buffer structures for water quality improvement in an agricultural watershed, North China [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, **107**(4): 381-396.
- [16] 张爱平, 杨世琦, 易军, 等. 宁夏引黄灌区水体污染现状及污染源解析[J]. 中国生态农业学报 2010, **18**(6): 1295-1301.
- [17] 闫莉, 黄锦辉, 张建军, 等. 宁夏农灌退水对黄河水质的影响研究[J]. 人民黄河, 2007, **29**(3): 35-36.
- [18] 李强坤, 李怀恩, 胡亚伟, 等. 青铜峡灌区氮素流失试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, **27**(2): 683-686.
- [19] 张学军, 陈晓群, 刘宏斌, 等. 宁夏引黄灌区稻田氮磷流失特征初探[J]. 生态环境学报, 2010, **19**(5): 1202-1209.
- [20] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版) 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [21] 唐浩. 农业面源污染控制最佳管理措施体系研究[J]. 人民长江, 2010, (17): 54-57.
- [22] 章茹. 流域综合管理之面源污染控制措施(BMPs)研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2008.

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2011年12月2日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了2010年度中国科技论文统计结果.统计结果显示2010年度《环境科学》多项引证指标位居环境科学技术、安全科学技术类科技期刊前列.

综合评价总分86.5,排名第一(排名前三名的期刊分别是《环境科学》86.5,《中国环境科学》77.9,《环境科学学报》77.3).

总被引频次5 197,排名第一(排名前三名的期刊分别是《环境科学》5 197,《环境科学学报》3 914,《农业环境科学学报》3 700).

影响因子1.125,排名第三(排名前三名的期刊分别是《环境科学研究》1.531,《中国环境科学》1.457,《环境科学》1.125).

综合评价总分是根据中国科技期刊综合评价指标体系,计算多项科学计量指标(总被引频次、影响因子、他引率、基金论文比、引文率等),采用层次分析法确定重要指标的权重,分学科对每种期刊进行综合评定,计算出每个期刊的综合评价总分.这项指标屏蔽了各个学科之间总体指标背景值的差异,使科技期刊可以进行跨学科比较.根据发布的统计结果,2010年度《环境科学》综合评价总分86.5,在被统计的1998种核心期刊中名列第27位,在被统计的36种环境科学技术、安全科学技术类期刊中名列第一.

CONTENTS

Using Look-up Table Method in the Simulation of Regional Atmospheric Environment	XIE Min, WANG Ti-jian, JIANG Fei, <i>et al.</i> (1409)
Applications of Pollutants Released from Crop Residues at Open Burning in Yangtze River Delta Region in Air Quality Model	SU Ji-feng, ZHU Bin, KANG Han-qing, <i>et al.</i> (1418)
Atmospheric Dry Deposition Flux and Sources of Monocarboxylic Acids in Beijing and Surrounding Cities	XU Xiao-juan, LI Xing-ru, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (1425)
Comparison of Physicochemical Characterization of Shanghai Ambient Ultrafine Particles and Engineered Nano Particles and Their Cytotoxicity	ZHANG Rui, LÜ Sen-lin, SHANG Yu, <i>et al.</i> (1431)
Element Compositions and Source of PM _{2.5} Aerosols in Qingdao	LI Xiu-zhen, SHENG Li-fang, XU Hua, <i>et al.</i> (1438)
Phthalate Esters Pollution in Household Indoor Air Particles of Tianjin in Winter	WANG Fu-mei, CHEN Li, JIAO Jiao, <i>et al.</i> (1446)
Application of a Resuspension Test Chamber in PM _{2.5} Source Profile Analysis	DUAN Heng-yi, QIAN Ran-ran, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1452)
Distribution and Enrichment of Trace Elements in Coal Combustion Products from Southwestern Guizhou	WEI Xiao-fei, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (1457)
Air-Water Surface Greenhouse Gas Flux in Pengxi River at Different Operational Stages of the Three Gorges Reservoir	JIANG Tao, GUO Jing-song, LI Zhe, <i>et al.</i> (1463)
Fluxes of Greenhouse Gases from Xiangxi River in Summer and Their Influencing Factors	WANG Liang, XIAO Shang-bin, LIU De-fu, <i>et al.</i> (1471)
Effects of Elevated Ozone Concentration and Soil Moisture on Temperature Sensitivity of Soil Microbial Respiration in a Cropland	CHEN Shu-tao, ZHANG Yong, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1476)
Hydrochemical Characteristics in the Glacier No. 72 of Qinghingtian, Tomur Peak	ZHAO Ai-fang, ZHANG Ming-jun, LI Zhong-qin, <i>et al.</i> (1484)
Mineralization Characteristics of Dissolved Organic Phosphorus in Wudalianchi Lake, China	ZHANG Bin, XI Bei-dou, ZHAO Yue, <i>et al.</i> (1491)
Speciation Distribution of Nitrogen in Sediments of 7 Rivers around Taihu Lake	LU Shao-yong, YUAN Ye, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (1497)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Sediments from Shiuli Stream in Lake Chaohu	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia, <i>et al.</i> (1503)
Surface Water Quality of Beiyun Rivers Basin and the Analysis of Acting Factors for the Recent Ten Years	GUO Jing, JING Hong-wei, LI Jin-xiang, <i>et al.</i> (1511)
Water Quality Impact of Dongjiang River Network Caused by Dongguan Canal Drainage	SUN Lei, MAO Xian-zhong, HUANG Min-min (1519)
Groundwater Pollution Sources Identification and Grading in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (1526)
3D Numerical Simulation of Air Sparging Remediation Process	LI Heng-zhen, HU Li-ming, WANG Jian, <i>et al.</i> (1532)
Numerical Experiment Study on the Algae Suppression Effect of Vertical Hydrodynamic Mixers	ZOU Rui, ZHOU Jing, SUN Yong-jian, <i>et al.</i> (1540)
Microbial Mechanism of Pollutants Removal in New Biological Island Grid	GAO Ming-yu, XIE Hui-jun, WANG Wen-xing (1550)
Effect of Nutrition Level of Phosphorus and Nitrogen on the Metabolism of the Extracellular Organic Matter of <i>Nostoc flagelliforme</i>	QI Fei, LIU Xiao-yuan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1556)
Inhibitory Effects of Liquor Cultured with <i>Hydrodictyon reticulatum</i> on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i>	FU Hai-yan, CHAI Tian, ZHAO Kun, <i>et al.</i> (1564)
Removal and Distribution of Phthalate Acid Esters in <i>Potamogeton crispus</i> L. Microcosm of Haihe River	CHI Jie, YANG Qing (1570)
Control and Removal of Microcystin Production of <i>Microcystis aeruginosa</i> by Irradiation of Electron Beam	LIU Shu-yu, WU Ming-hong, JIANG Qin-peng (1575)
Source Characteristics Analysis of Discharge and Pollutants in Typical Drainage Ditch of Qingtongxia Irrigation District	LI Qiang-kun, HU Ya-wei, LUO Liang-guo (1579)
Degradation of TBBPA by Electron Beam Radiolysis	LI Jie, XU Dian-dou, XU Gang, <i>et al.</i> (1587)
Catalytic Ozonation of Ibuprofen in Aqueous Solution by Activated Carbon Made from Sludge and Corn Cob	WANG Hong-juan, QI Fei, FENG Li, <i>et al.</i> (1591)
Effect of High Hydraulic Loading on Intensive Shrimp Aquaculture Wastewater Treatment Performance in Constructed Wetland	LI Huai-zheng, ZHANG Xing-yi, CHEN Wei-bing, <i>et al.</i> (1597)
Factors Influencing the Formation of NDMA During Chloramination Disinfection of Effluent from Biological Nitrogen Removal System for the Treatment of Municipal Sewage	SHANG Xiao-ling, LI Yong-mei (1604)
Denitrification Using Starch/PCL Blends as Solid Carbon Source	SHEN Zhi-qiang, WU Wei-zhong, YANG Chun-ping, <i>et al.</i> (1609)
Profiles of Zeta Potential and EPS in Granulation Process of Aerobic Sludge	WANG Hao-yu, SU Ben-sheng, HUANG Dan, <i>et al.</i> (1614)
Biosorption Characteristics of f2 Bacteriophage onto Activated Sludge	ZHOU Yu-fen, ZHENG Xiang, LEI Yang, <i>et al.</i> (1621)
Adsorption of Anionic Polyacrylamide on the Surface of Ion Exchange Membranes	DENG Meng-jie, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1625)
Adsorption of Amphoteric Modified Bentonites to Phenol and Its Thermodynamics	LI Ting, MENG Zhao-fu, ZHANG Bin (1632)
Effect of Surfactants on Sorption and Desorption of Benzo[a]pyrene onto Black Carbon	ZHANG Jing-huan, CHEN Chun-rong, ZHANG Wei-hang, <i>et al.</i> (1639)
Isolation and Identification of Bacteria in the Activated Sludge from Four Sewage Treatment Plants in Nanjing City and Its Antibiotic Resistance Analysis	GE Feng, GUO Kun, ZHOU Guang-can, <i>et al.</i> (1646)
Screening and Characterization of Phenol Degrading Bacteria for the Coking Wastewater Treatment	CHEN Chun, LI Wen-ying, WU Jing-wen, <i>et al.</i> (1652)
Characteristics of 1,4-Dioxane Degradation by <i>Xanthobacter flavus</i> DT8	JIN Xiao-jun, CHEN Dong-zhi, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (1657)
Spatial Quantitative Distribution of Hydrocarbon-Oxidizing Bacteria of Unexploited Oil and Gas Fields	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (1663)
Screening and Biological Characteristics of Amphitrophic Methane-Oxidizing Bacteria from Aged-Refuse	ZHAO Tian-tao, XIANG Jin-xin, ZHANG Li-jie, <i>et al.</i> (1670)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from 22 Tributaries and Mainstream in Middle Reaches of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1676)
Pollution Characteristics and Potential Risks of Phenolic Compounds in Schistosomiasis Epidemic Areas	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1682)
Spatial Heterogeneity and Autocorrelation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediment of Minjiang River in Fuzhou City	CHEN Wei-feng, NI Jin-zhi, YANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1687)
Heavy Metals Pollution and Its Potential Ecological Risk of the Sediments in Three Gorges Reservoir During Its Impounding Period	WANG Jian-kang, GAO Bo, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1693)
Investigation on the Distribution and Potential Ecological Risk of Heavy Metal in the Sediments from Typical Electrical Industrial Zone	DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, GUO Ju, <i>et al.</i> (1700)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Iron and Gold Mine Soil of Miyun Reservoir Upstream	GAO Yan-xin, FENG Jin-guo, TANG Lei, <i>et al.</i> (1707)
Heavy Metal Contamination and Bioavailability in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi	YANG Sheng-xiang, YUAN Zhi-zhong, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (1718)
Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soils from a Training Ground Based on GIS	LIU Yu-tong, FANG Zhen-dong, YANG Qin, <i>et al.</i> (1725)
Effects of Soil Texture and Water Content on Remediation of SVE on Soils Contaminated by Benzene	LIU Shao-qing, JIANG Lin, YAO Yu-jun, <i>et al.</i> (1731)
Characteristics of DNA Adsorption and Desorption in Montmorillonite, Kaoline and Goethite	WANG Shen-yang, RAO Wei, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (1736)
LNAPL Migration Monitoring in Simulated Sand Aquifer Using Resistivity Method	PAN Yu-ying, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (1744)
Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rice Straw Pre-treated by the Subcritical Hydrolysis	DONG Yu, SHEN Zhe-min, LEI Yang-ming, <i>et al.</i> (1753)
Study on Composting of Cyanobacteria Amended with Different N Loss Inhibitor	REN Yun, CUI Chun-hong, LIU Fen-wu, <i>et al.</i> (1760)
Research Progress About Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contaminated Soil with Immobilized Microorganism Technique	QIAN Lin-bo, YUAN Miao-xin, CHEN Bao-liang (1767)

《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 汤鸿霄 陈吉宁 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)

2012年5月15日 33卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 5 May 15, 2012

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. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. 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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人