ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第3期

Vol.33 No.3

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第33卷 第3期
2012年3月15日

目 次

典型排放源黑碳的稳定碳同位素组成研究 …… 陈颖军,蔡伟伟,黄国培,李军,张干(673)
天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究 …… 王圣杰,张明军,王飞腾,李忠勤(679)
兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究 …… 赵素平,余晔,陈晋北,刘娜,何建军(687)
不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征 …… 杨柳,吴烨,宋少洁,郝吉明(694)
南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析 …… 王红磊,朱彬,沈利娟,康汉青,刁一伟(701)
西北干旱区降水中 $\delta^{18}O$ 变化特征及其水汽输送 …… 李小飞,张明军,李亚举,王圣杰,黄小燕,马潜,马雪宁(711)
海南东部河口和近岸海域总溶解态无机砷的分布及季节变化 …… 曹秀红,任景玲,张桂玲,张金娥,杜金洲,朱德弟(720)
大辽河口痕量元素砷的河口混合行为 …… 简慧敏,姚庆祯,于立霞,田琳(727)
渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价 …… 徐亚岩,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁(732)
青岛近岸表层海水中 PAHs 的分布特征及物源初步解析 …… 李先国,邓伟,周晓,唐旭利,虢新运,王岩(741)
广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降 …… 孔祥胜,祁士华,黄保健,张原,李杰(746)
上海宝山区城市土壤铅污染来源的同位素判别 …… 董辰寅,张卫国,王冠,马鸿磊,刘圆,刘莹,叶雷平,俞立中(754)
溶质迁移模型在地下水有机污染源识别中的应用 …… 王树芳,王丽亚,王晓红,林沛,刘久荣,辛宝东,贺国平(760)
地下水污染风险评价中特征污染物量化方法探讨 …… 王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(771)
用于地下水回灌的再生水预处理工艺研究 …… 高淯湍,张薛,赵璇,赵刚(777)
菲律宾蛤仔养殖对胶州湾沉积物-水界面生源要素迁移的影响 …… 邓可,刘素美,张桂玲,陆小兰,张经(782)
南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响 …… 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,安静(794)
上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征 …… 王楠,毛亮,黄海波,张进忠,周培(802)
不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化 …… 何小艳,赵洪涛,李叙勇,连宾,王小梅(810)
新型人工湿地对工业区降雨径流的净化研究 …… 何丽君,马邕文,万金泉,李东亚,王艳(817)
改性膨润土应急截留液态有机物的性能及机制 …… 李宇,刘贤君,张兴旺,雷乐成(825)
卵圆卡盾藻香港株过氧化氢产生的影响因素研究 …… 江涛,吴霓,钟艳,江天久(832)
芽孢杆菌 B1 胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究 …… 李蔷,赵玲,尹平河(838)
底泥对洋河水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究 …… 储昭升,张玉宝,金相灿,徐颖,杨红君(844)
新型无极准分子光源深度处理水相中含 N-杂环化合物 …… 叶招莲,汪斌,路娟娟,李峰,张仁熙(849)
La/Ce 掺杂钛基二氧化铅电极的制备及电催化性能研究 …… 郑辉,戴启洲,王家德,陈建孟(857)
DTT 对三苯基甲烷染料脱色的研究 …… 潘涛,刘大伟,任随周,郭俊,孙国萍(866)
pH 及络合剂对亚铁活化 $S_2O_8^{2-}$ 氧化去除活性艳蓝的影响研究 …… 张成,万金泉,马邕文,王艳,黄明智,兰明(871)
臭氧降解高浓度腐殖酸动力学 …… 郑可,周少奇,杨梅梅(879)
采用体积信息熵表征颗粒污泥系统稳定性及其稳定机制 …… 李志华,姬晓琴,李胜,谢磊,赵海龙,王晓昌(885)
活性污泥的理化性质与絮凝调理投药量的关系 …… 李婷,王毅力,冯晶,徐萌(889)
不同颗粒龄的好氧颗粒污泥性能的研究 …… 周曼,杨昌柱,濮文虹,罗应东,龚建宇(896)
颗粒粒径与数量对硝化与反硝化过程的影响 …… 李志华,曾金锋,李胜,姬晓琴,王晓昌(903)
氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较 …… 郭昌梓,彭党聪,陈雪梅,王丹(910)
生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响 …… 朱海凤,周立祥,王电站(916)
2 种不同生物接触氧化工艺性能差异的微生态研究 …… 钱殷,全向春,裴元生,马景赟,陶锟(922)
微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响 …… 范分良,黄平容,唐勇军,李兆君,梁永超(932)
干旱沙区人工固沙植被演变过程中土壤有机碳氮储量及其分布特征 …… 贾晓红,李新荣,周玉燕,李元寿(938)
密云水库上游流域土壤有机碳和全氮密度影响因素研究 …… 王淑芳,王效科,欧阳志云(946)
外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响 …… 莫艳华,汤佳,张仁铎,李方舟(952)
低分子量腐殖酸改性蒙脱土对黄曲霉素的吸附作用 …… 姚佳佳,康福星,高彦征(958)
液固比对土壤洗涤去除多环芳烃效果的影响 …… 吴威,姜林,陈家军,彭胜(965)
基于 PPI 的土地利用优化研究 …… 武晓峰,李婷(971)
若尔盖高原湿地藻类多样性研究 …… 陈曦,刘如钢,王艳芬,张洪勋(979)
3 种杀真菌剂对 AM 真菌侵染和黄芩生长的影响 …… 贺学礼,王平,马丽,孟静静(987)
崇明东滩夏季沉积物厌氧氨氧化菌群落结构与空间分布特征 …… 郑艳玲,侯立军,陆敏,谢冰,刘敏,李勇,赵慧(992)
厌氧条件下 2,2′,4,4′-四溴联苯醚的微生物降解 …… 卢晓霞,陈超琪,张姝,欧阳,尹力,吴蔚(1000)
重金属对白腐菌降解十溴联苯醚的影响 …… 熊士昌,尹华,彭辉,何宝燕,龙焰,叶锦韶,张娜,彭素芬(1008)
有机农药滴滴涕和毒死蜱生物降解机制的分子模拟研究 …… 林玉珍,曾光明,张娱,陈明,蒋敏,张嘉超,鲁伦慧,刘利锋(1015)
高效木薯渣分解复合菌群 RXS 的构建及其发酵特性研究 …… 何江,毛忠贵,张庆华,张建华,唐蕾,张宏建(1020)
四环素类抗生素污染畜禽粪便的厌氧消化特征 …… 童子林,刘元璐,胡真虎,袁守军(1028)
上推流厌氧反应器连续干发酵猪粪产沼气试验研究 …… 陈闯,邓良伟,信欣,郑丹,刘刈,孔垂雪(1033)
《环境科学》征稿简则(878) 《环境科学》征订启事(1007) 信息(759, 770, 870, 1027)

上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征

王楠[1,2],毛亮[2],黄海波[1,2],张进忠[1*],周培[2,3]
(1. 西南大学资源环境学院,重庆 400716; 2. 上海交通大学农业与生物学院,农业部都市农业(南方)重点实验室,上海 200240; 3. 上海交通大学陆伯勋食品安全研究中心,上海 200240)

摘要: 为研究平原地区都市农业区域地表水非点源氮素的时空分异特征,揭示非点源氮污染对地表水环境的影响,连续监测了上海南汇新场镇果园村地表水中总氮和无机"三氮"(硝态氮、铵态氮和亚硝态氮)的含量. 结果表明:①水文期和土地利用类型共同影响地表水中氮素的空间分布. 受果园影响的地表水中硝态氮(NN)浓度较高,铵态氮(AN)浓度较低,各监测点氮素浓度在多雨期差异较大,在少雨期差异较小; 受居民区和工厂影响的地表水中 NN 和 AN 浓度相差不大,各监测点氮素浓度在多雨期和少雨期差异都较大. ②冬、夏季风风向可能影响果园村地表水中氮素的空间分布. ③春雨期总氮(TN)、NN 和 AN 的空间变异大,梅雨期和冬季少雨期略大于秋雨期和盛夏少雨期; 亚硝态氮(SNN)与之相反. ④ 5 月溶解性有机氮(DON)是果园区地表水中氮素的主要存在形式,占 TN 的质量分数达到 76.1%; 其它季节则以溶解性无机氮(DIN)为主,占 TN 的质量分数平均达到 83.2%. ⑤果园区 NN 的季节变异比居民区大,居民区 AN 和 TN 的季节变异比果园区大.

关键词:都市农业; 非点源污染; 氮素; 时空分异特征; 土地利用类型
中图分类号: X52 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2012)03-0802-08

Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai

WANG Nan[1,2], MAO Liang[2], HUANG Hai-bo[1,2], ZHANG Jin-zhong[1], ZHOU Pei[2,3]
(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Key Laboratory of Urban Agriculture (South), Ministry of Agriculture, School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 3. Bor. S. Luh Food Safety Research Center, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: To know the temporal and spatial variation characteristics of non-point source nitrogen in surface water in urban agricultural region, and reveal the effect of non-point source nitrogen pollution on the quality of surface water, the contents of total nitrogen and inorganic nitrogen species in surface water were continuously monitored in Orchard Village, Nanhui District, Shanghai. The results were obtained as follows: ① Spatial distribution of nitrogen in surface water is affected by hydrological periods and land use type. Mass concentration of nitrate nitrogen (NN) is high and that of ammonium nitrogen (AN) is low in surface water affected by the orchard, and the discrepancy of nitrogen concentration is high in wet season and low in dry season. Mass concentrations of NN and AN in surface water affected by residential region and factories show little difference, and the discrepancy of nitrogen concentration is high both in wet season and in dry season. ② Winter and summer monsoons may affect the spatial distribution of nitrogen in surface water in the studied area. ③ Spatial variation of total nitrogen (TN), NN and AN is the highest in spring rain period, and it is higher in plum rain period and winter brief rain period than that in autumn rain period and summer brief rain period. Nitrite nitrogen (SNN) shows contrary spatial variation. ④ Dissolved organic nitrogen (DON, mass fraction in TN is 76.1%) is the main species in surface water in orchard region in May, while the dissolved inorganic nitrogen (DIN, mass fraction in TN is 83.2%) in other months. ⑤ The temporal variation of NN in orchard region is higher than that in residential region, while that of AN and TN in residential region is higher than that in orchard region.

Key words: urban agriculture; non-point source pollution; nitrogen; spatial and temporal variation; land use type

在点源污染得到有效控制后,农业非点源污染物逐渐成为水环境中的主要污染源[1~6]. 氮是作物生长必需的营养元素,施用氮肥是补充土壤营养的重要手段. 土壤中未被利用的氮素可通过土壤渗滤、干湿沉降和径流等过程进入水环境,成为农业非点源氮污染的重要来源,由此对水环境产生不利的影响. 国内外的大量研究表明,农业非点源氮素排放对水体污染的贡献日趋增大[7~11],严重影响水环境功能和人体健康. 因此,在农业生产中如何控制氮肥的合理施用,保证氮素被作物有效利用,在源头上实现

收稿日期: 2011-05-12; **修订日期**: 2011-09-07
基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903056); 国家自然科学基金项目(31071860); 上海市重大科技攻关项目(08DZ1900404); 上海崇明科技攻关专项(10DZ1960103); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2007AA10Z441)
作者简介: 王楠(1987~),男,硕士研究生,主要研究方向为环境污染化学,E-mail: wangnan19870102@163.com
* 通讯联系人,E-mail: jzhzhang@swu.edu.cn

非点源氮素的减量排放是农业科学和环境科学工作者共同关注的课题.

都市农业是指在城市空间地域范围内(含功能辐射区域)具有一定生态空间格局,以可持续发展为核心,服务于城市功能,体现城乡融合,具有多功能、高科技、高度产业化和市场化的生态农业系统[12]. 作为城郊农业的高级形式和主要发展方向,都市农业具有产业结构市场化、生产方式集约化、经营形式产业化、生产手段高科技化等特征[13],在现代农业生产中发挥着日益重要的作用. 目前,我国都市农业的研究尚处于起步阶段,主要集中在发展理论和发展模式等方面[12~15],对都市农业所带来的环境问题,特别是对都市农业区域非点源污染的研究还少见报道. 为此,本研究通过连续监测上海南汇新场镇果园村地表水中的氮素含量,探讨平原地区都市农业典型村域地表水中氮素的时空分异特征,在宏观上把握都市农业生产对地表水环境质量的影响,以期为农业生产中农化物的减量施用提供科学依据.

1　材料与方法

1.1　研究区域概况

研究区域为上海南汇新场镇果园村,地处黄浦江东岸(31°03′N, 121°39′E). 该村地形为冲积平原,地势平坦,面积约 80 hm^2. 村内河流和人工挖掘的沟渠纵横密布,隶属于黄浦江水系. 该村农业土地利用方式以桃园为主,种植面积约 34 hm^2,其水网分布、施肥和降雨情况都具有很好的典型性和代表性. 该村域年均降雨量约为1 000 mm,年均降雨日约为 130 d,冬夏季风交替,降雨频度和雨量具有明显的季节变化特征,全年出现 3 个多雨期,即 4 月中旬~5 月中旬的春雨期、6 月中旬~7 月上旬的梅雨期和 9 月上旬~9 月中旬的秋雨期. 果园施肥期为每年 1 月和 5 月, 1 月施用化肥 750 $kg\cdot hm^{-2}$(N∶P∶K = 15%∶15%∶15%); 5 月施用化肥 600 $kg\cdot hm^{-2}$(N∶P∶K = 20%∶6%∶13%),同时在桃树根际堆施有机肥.

前期研究表明,果园村在梅雨季节的典型次降雨事件中,监测点总氮(TN)的平均事件浓度(EMC)达到 20.01~22.83 $mg\cdot L^{-1}$,远超过国家地表水环境质量 V 类水质标准(2 $mg\cdot L^{-1}$)[16]; 该期果园氮素流失使得果园旁和河道旁地下水质受到严重污染[17].

1.2　研究方法

1.2.1　监测点的布设

地表水监测点的布设如图 1 所示. 根据地表水的类型和功能,将研究区域监测点的布设分为两类: ① 河流地表水,隶属黄浦江水系,经几次汇流后注入大治河. 河流主要流经建设用地,为居民和工厂提供生产生活用水. 在沿河石桥上布设 7 个监测点(B1~B7). ② 沟渠地表水,沟渠为人工挖掘,与河流相通,密布于果园区内部和周围,主要为农业灌溉用水,按"均匀布点、局部加密"的原则在沟渠上布设 18 个监测点(A1~A18). A1~A2 为横贯果园的主沟渠; A3~A12 为纵向沟渠,均汇入主沟渠; A13~A18 为环沟渠,围绕在果园周围. 地表水流向随季节发生变化,其主导流向如图 1 中箭头所示.

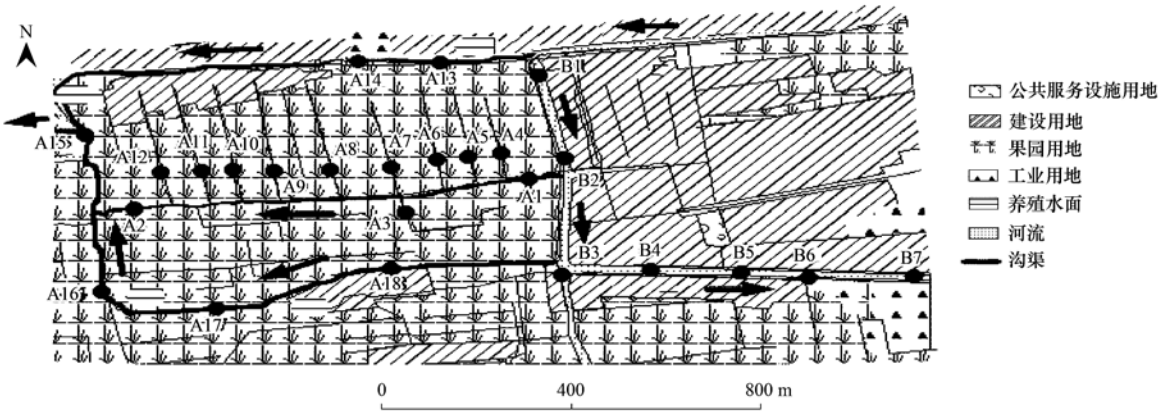

图 1　研究区土地利用类型和监测点分布

Fig. 1　Land use type and distribution of sampling sites in the studied area

1.2.2　水样的采集和分析

采样时间为 2009 年 9 月~2010 年 8 月,每月 20 日用聚乙烯塑料桶采样,采样深度约为 25 cm. 水样用 250 mL 聚乙烯瓶冷冻保存,运回实验室后立即

分析.

氮素分析指标包括总氮(TN)、硝态氮(NN)、铵态氮(AN)和亚硝态氮(SNN),均采用 AA3 连续流动注射分析仪(BRAN + LUEBBE 公司,德国)进行测定.

1.2.3 数据处理和分析方法

氮素的空间变异和季节变异系数分别用公式(1)和(2)计算:

$$PV_{it} = \frac{1}{\overline{c_{ij}}}\sqrt{\sum_{j=1}^{m}(c_{ij}-\overline{c_{ij}})^2/(m-1)} \quad (1)$$

$$SV_{ij} = \frac{1}{\overline{c_{it}}}\sqrt{\sum_{t=1}^{l}(c_{it}-\overline{c_{it}})^2/(l-1)} \quad (2)$$

式中:PV_{it}为氮素形态 i 在水文期 t 时的空间变异系数; c_{ij} 为氮素形态 i 在监测点 j 的质量浓度($mg \cdot L^{-1}$); $\overline{c_{ij}}$为氮素形态 i 在所有监测点的平均质量浓度; m 为监测点数. SV_{ij}为氮素形态 i 在监测点 j 上的季节变异系数; c_{it}为氮素形态 i 在水文期 t 的质量浓度($mg \cdot L^{-1}$); $\overline{c_{it}}$为氮素形态 i 在所有水文期的平均质量浓度; l 为水文期数.

采用统计产品与服务解决方案(SPSS 软件)进行聚类分析和方差分析,Excel 和 Origin 软件进行图形绘制.

2 结果与讨论

2.1 果园村地表水非点源氮素的空间分异特征

2.1.1 非点源氮素的空间分布特征及其影响因素

由于降雨对地表水氮素浓度具有较大影响,为准确了解研究区域氮素的空间分布特征,选取降雨具有代表性的 6 月(多雨期)和 1 月(少雨期)进行分析,结果见图 2.

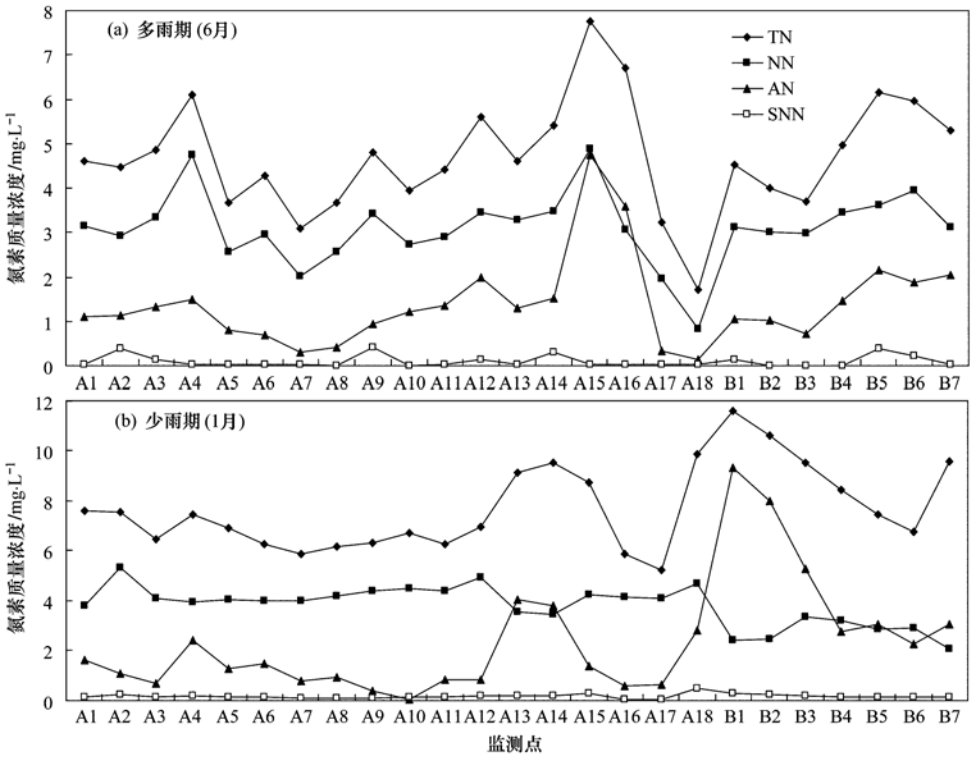

图 2 不同水文期各监测点氮素的质量浓度

Fig. 2 Mass concentration of nitrogen at different hydrological periods

从图 2(a)可以看出,在多雨期氮素形态的质量浓度范围:TN 为 1.72 ~ 7.77 $mg \cdot L^{-1}$、NN 为 0.83 ~ 4.74 $mg \cdot L^{-1}$、AN 为 0.14 ~ 4.74 $mg \cdot L^{-1}$; 各监测点之间氮素浓度变化幅度较大,各氮素形态浓度的最大值均出现在 A15; NN 的质量浓度大于 AN,两者的空间分布特征相似. 从图 2(b)可以看出,少雨期氮素形态的质量浓度范围: TN 为 5.85 ~ 11.58 $mg \cdot L^{-1}$、NN 为 2.07 ~ 4.94 $mg \cdot L^{-1}$、AN 为 0.07 ~ 9.32 $mg \cdot L^{-1}$; 监测点 A1 ~ A12 之间氮素浓度变化幅度较小,A13 ~ A18 和 B1 ~ B7 之间 TN 和 AN 的变化幅度大,NN 的变化幅度小; TN 和 AN 的最大值出现在 B1; 沟渠监测点 NN 的质量浓度大于 AN,河流监测点 AN 的质量浓度大于 NN. 从 2 个时期氮素的分布特征来看,影响氮素空间分布的因素主要

有以下 3 个方面.

(1)水文期

总体来看,果园内部各监测点(A1 ~ A12)之间氮素浓度差异在多雨的 6 月较大,在少雨的 1 月较小,表明果园内部非点源氮素输出对附近地表水氮素浓度有明显影响. 前期研究发现,研究区域果园土壤中氮素含量变异程度大,其中 TN 和 AN 含量属强变异性,NN 属中等变异性[18]. 加之地形、地貌引起的随机差异,导致降雨时果园土壤产流强度有较大不同,因而迁移进入地表水中的氮素浓度变化较大. 在少雨期,降雨产流和地表渗漏对地表水氮素的影响小,在扩散作用下果园内部地表水中氮素浓度趋于一致.

围绕果园的环沟渠监测点(A13 ~ A18)和河流监测点(B1 ~ B7)的氮素浓度在多雨期和少雨期均有较大的差异,其中环沟渠监测点差异更大,表明土地利用方式对果园村地表水中氮素的分布产生了一定影响. 河流监测点多分布在居民聚居地和工业用地,其附近地表水中氮素一方面来源于生产生活垃圾随地表径流迁移引起的非点源污染,另一方面来源于居民和工厂管道排污所产生的点源污染. 受这种氮素输出方式影响的区域往往表现出较大的空间变异[19]. 环沟渠地表水的影响因素更为复杂,有些沟段主要受内部果园的非点源污染,有些沟段主要受外部居民区和工厂的影响,另外环沟渠一些水域还存在网箱养鱼等活动,加大了监测点之间氮素浓度的差异.

(2)季风

从图 2 可以看出, 6 月沿 A13→A15、A18→A15、B1→B7 氮素质量浓度基本呈现升高的趋势,在 A15 达到最大值; 1 月沿 A13→A15、A18→A15、B1→B7 氮素浓度则基本呈现降低的趋势,TN 和 AN 浓度在 B1 达到最大值. 说明这 2 个季节氮素的空间分布呈现出相反的特征,可能是由于地表水流向的差异导致了上述结果.

研究区域地处长三角平原区,加之水网多由沟渠组成,地表水的流动非常缓慢. 研究中发现,在无风时几乎观察不到地表水的流动; 在有风和降雨时可观测到表层水随风向流动,其全年的主导流向如图 1 中箭头所示,但在冬季干燥少雨时流向发生变化,甚至出现相反趋势. 研究区域呈现明显的亚热带季风气候,冬、夏季季风反向运行,冬季盛行偏北风,夏季盛行偏南风,季风可能会通过影响表层地表水的流动,进而在一定程度上影响地表水中氮素的空间分布.

(3)土地利用类型

值得注意的是,AN 和 NN 的浓度在沟渠监测点和河流监测点表现出较大的差异,在冬季少雨期更加明显. 河流监测点的 NN 明显小于沟渠监测点,而 AN 明显高于沟渠监测点,进一步表明土地利用类型对地表水中氮素的分布具有较大影响. 为了明确土地利用类型对地表水中氮素分布的影响程度,以 NN、AN、SNN 与 TN 的年均质量浓度比(质量分数)为变量对所有监测点进行聚类分析,获得如表 1 所示的结果,据此获得如图 3 所示的聚类分析树形图.

表 1　各监测点氮形态占总氮的质量分数/%

Table 1　Mass fraction of nitrogen species in TN/%

监测点	NN/TN	AN/TN	SNN/TN	所属类别
A1	51.8	18.4	3.0	1
A2	59.2	22.5	3.1	1
A3	48.7	9.1	1.9	1
A4	61.5	12.2	3.5	1
A5	37.5	6.3	1.3	1
A6	51.7	7.4	1.1	1
A7	54.8	13.1	1.9	1
A8	43.4	9.6	1.8	1
A9	43.2	10.7	1.9	1
A10	52.4	9.3	2.4	1
A11	59.5	19.1	2.3	1
A12	65.8	21.6	3.3	1
A13	53.3	20.4	2.2	1
A14	46.2	30.4	2.9	2
A15	48.5	26.6	1.7	2
A16	67.6	21.1	3.8	1
A17	62.1	6.8	1.9	1
A18	44.5	29.3	2.6	2
B1	35.5	25.8	2.5	2
B2	51.5	39.8	2.8	2
B3	42.2	20.0	2.7	2
B4	45.1	27.3	2.3	2
B5	32.2	37.9	3.1	2
B6	56.8	34.2	2.4	2
B7	41.2	45.9	2.9	2

聚类分析将所有监测点分为 2 组,居民区代表河流各监测点和沟渠 A14、A15、A18 监测点,果园区代表沟渠的其它监测点. 2 组监测点氮素形态的平均质量浓度及其所占质量分数如表 2 所示.

从表 2 可以看出,地表水中溶解性无机氮(DIN)的质量分数较高,果园区和居民区的平均值分别为 70.4% 和 78.7%,表明 DIN 是该村域地表水中氮素的主要存在形式,与许多类似研究结果一致[18]. 尽管 2 组监测点 DIN 的质量分数差别不大,但 NN 和 AN 却差异明显. 果园区 NN 的质量分数超

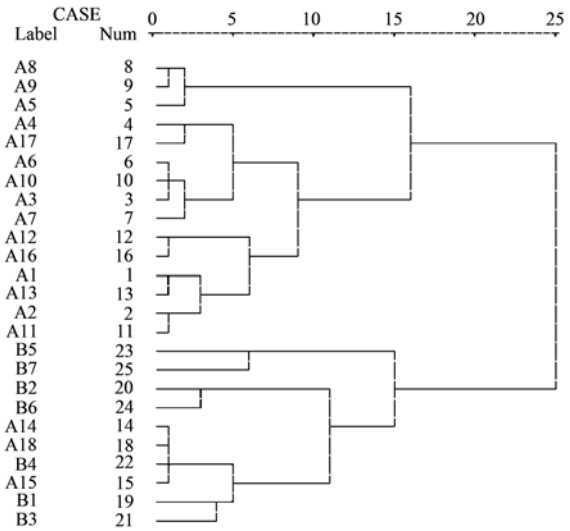

图 3 基于氮素质量分数的聚类分析树形图

Fig. 3 Cluster dendrogram based on the mass fractions of nitrogen

过 50%,明显高于 AN; 居民区 NN 和 AN 的质量分数均较高,两者相差不大. 作为硝化作用的中间产物,SNN 的质量分数很小,果园区和居民区差异不大.

聚类分析获得的分组和 A、B 两组监测点类似. 从图 1 可以发现,A15、A18 附近有少量的居民聚居,而 A14 处于工厂所在地,这 3 个监测点受居民生活污水和工业废水的影响较大,可以并入居民区监测点. 研究表明,土地利用类型对过境地表水中的氮素含量和组成产生了较大影响,与许多相关报道一致[20~23]. 无机"三氮"中,AN是氮素的还原形态,

表 2 氮素形态的平均质量浓度和质量分数

Table 2 Average mass concentration of nitrogen species and mass fraction in TN

氮素形态	果园区		居民区	
	质量浓度 /mg·L^{-1}	质量分数 /%	质量浓度 /mg·L^{-1}	质量分数 /%
TN	6.08		6.51	
NN	3.23	54.2	2.86	44.4
AN	0.83	13.8	2.01	31.7
SNN	0.14	2.4	0.17	2.6
DIN		70.4		78.7

NN 是氮素的稳定形态. 施入果园土壤的氮肥经过硝化作用,AN 多被氧化为 SNN,最终转化为稳定的 NN,NN 易随降雨发生迁移进入水体,AN 则易被土壤胶体吸附,造成果园附近地表水中 NN 的质量浓度较高,而 AN 的质量浓度较低. 相关研究也证实,地表径流下 AN 的流失量及其对输入水体的氮素影响较小[24],施氮后田间流失的 NN(包括土壤结合态氮)对水体的影响较大[21, 25]. 居民区监测点地表水中的 AN 主要来源于工厂和居民管道排污、居民区随处堆放的垃圾随地表径流迁移引起的非点源污染,同时在富营养条件和水体处于缺氧的环境中,抑制了 AN 的硝化,造成居民区地表水中 AN 的质量浓度较高.

2.1.2 地表水氮素的空间变异特征分析

研究区域降雨受季风影响强烈,分布较为特殊. 根据《上海气象志》和监测记录,可将监测期划分为 5 个水文期,即秋雨期、冬季少雨期、春雨期、梅雨期和盛夏少雨期,其对应月份见表 3.

表 3 2009-09 ~ 2010-08 研究区域的降雨量

Table 3 Rainfall of the studied area from September 2009 to August 2010

项目	水文期				
	秋雨期	冬季少雨期	春雨期	梅雨期	盛夏少雨期
对应月份	2009-09 ~ 2009-10	2009-11 ~ 2010-03	2010-04 ~ 2010-05	2010-06 ~ 2010-07	2010-08
总降雨量/mm	150.2	350.0	158.9	352.2	47.7

表 4 给出了研究区各水文期氮素形态的空间变异系数. 可以看出,除 SNN 外,同一氮素形态在春雨期的空间变异性高于其它水文期,秋雨期和冬季少雨期略高于梅雨期和盛夏少雨期. 研究区春雨期多出现在 5 月上中旬,雨日多、雨量小,以夜雨、小雨和中雨为主,大雨和暴雨少见,此时正值果农施入花前肥,当期施入的氮肥和冬季少雨期未被利用的氮肥随降雨迁移进入地表水,造成桃园附近地表水中的氮素浓度高于其它水域,使得氮素的空间变异大. 梅雨期多发生在 6 月下旬 ~ 7 月上旬,为多连续性降雨,暴雨频繁、雨量大、水位高; 盛夏少雨期虽然整体雨量小,此时却是台风高发季节,干旱和暴雨交替出现. 梅雨期和盛夏少雨期易发生农化物的非点源污染,但由于大雨和暴雨的高强度稀释作用,加之大部分易被淋溶的氮素已被春雨期的连续降雨带走,造成此时地表水中氮素浓度大幅度降低,各监测点之间的空间变异也较小. 冬季少雨期为 11 月至来年 3 月,气温低、历时长,降雨的稀释作用弱,地表水水位降低,冬季施入的氮肥、居民生活污水和工业废水中的氮素成为地表水中氮素的主要来源,使得氮素

的排放和迁移具有不稳定、地区差异大的特点，因而空间变异较大. 秋雨期多发生在 9 月上旬，雨量大、历时短，虽然也易发生非点源污染，但由于雨日过短，加之秋雨后进入少雨期，因而降雨对地表水中氮素的稀释作用不如梅雨期和盛夏少雨期明显，各监测点空间变异介于梅雨期、盛夏少雨期和冬季少雨期之间. SNN 呈现与其它氮素形态完全相反的变异特征，可能与降雨对地表水的扰动有关. 在大雨和暴雨条件下，地表水环境的温度、流速、溶解氧变化比小雨或少雨时大得多，而硝化作用动力学常数（K_N）的稳定性在很大程度上受这些因素的影响[26]，因而 SNN 的空间变异呈现出多雨季高于少雨季的特征.

表 4　氮素形态的空间变异系数

Table 4　Spatial variation of nitrogen species

水文期	TN	NN	AN	SNN
秋雨期	0.33	0.28	0.91	0.95
冬季少雨期	0.34	0.30	1.06	0.56
春雨期	0.62	0.40	1.14	0.35
梅雨期	0.27	0.24	0.75	1.98
盛夏少雨期	0.23	0.25	0.55	1.34

2.2　果园村地表水非点源氮素的季节分异特征

2.2.1　非点源氮素的季节分布特征及其影响因素

由于居民区地表水氮素污染的点源性较强，主要针对果园区探讨非点源氮素的季节分布特征. 图 4 表示果园区监测点氮素形态的季节变化，基于不同水文期氮素质量浓度的平均值，进行方差分析和最小显著差（LSD）多重比较. 从图 4 可以看出，果园区 TN 的质量浓度顺序为春雨期 > 冬季少雨期 > 梅雨期 > 盛夏少雨期 = 秋雨期，春雨期、冬季少雨期和其它水文期之间均达到显著性差异（$P < 0.05$）；NN 和 AN 为冬季少雨期 > 梅雨期 > 春雨期 > 盛夏少雨期 = 秋雨期. 出现这种特征主要受降雨特点和施肥季节的影响. 春雨期雨量小、雨日多，加之与果园施肥期耦合，氮肥流失使得地表水中 TN 的质量浓度平均达到 15.93 $mg \cdot L^{-1}$，远远超过国家地表水环境质量 V 类水质标准（2 $mg \cdot L^{-1}$）；冬季少雨期降雨少、水位低，使得地表水中 TN 的质量浓度也较高. 梅雨期雨量大、水位高，尽管易发生非点源污染，但由于雨水和地表径流对水中的氮素具有强烈的稀释作用[27]，加之此时并非施肥期，因而地表水中 TN 的质量浓度反而较低.

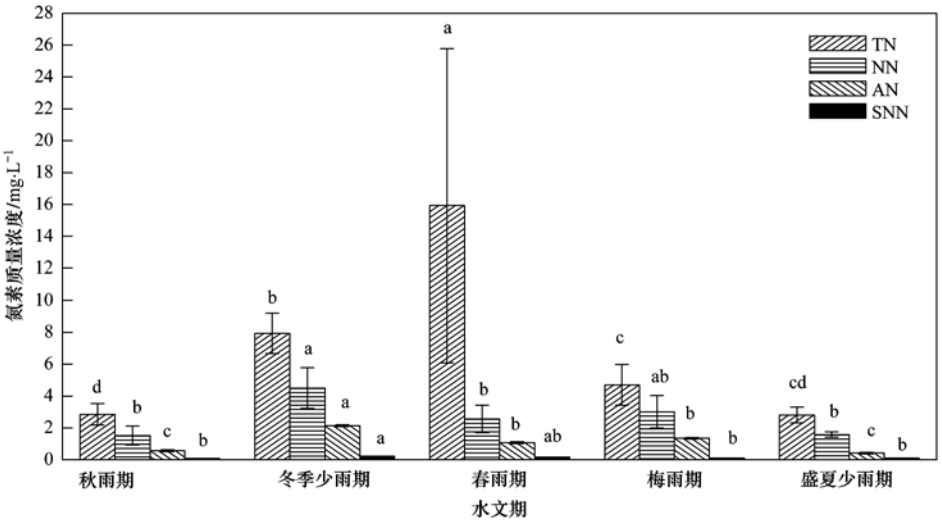

图 4　氮素形态的季节分布

Fig. 4　Temporal distribution of nitrogen species

NN 和 AN 的最高浓度出现的时间与 TN 不同，说明春雨期发生非点源污染时 DIN 不是果园区氮素迁移的主要形态，因此进一步分析果园区地表水中溶解态有机氮（DON，$c_{DON} = c_{TN} - c_{DIN}$）的变化，获得如表 5 所示的结果.

从表 5 可以看出，春雨期 DON 的质量分数明显较高，达到 76.1%；其它水文期较低，平均为 16.8%. 结果表明，春雨期 DON 是果园区地表水中氮素的主要存在形式；其它水文期 DIN 是地表水中氮素的主要存在形式，其平均质量分数达到 83.2%. 这是由施肥期和春雨期的降雨特点共同决定的. 调查发现，5 月果农施肥以尿素为主，同时在

表 5 果园区 DON 在各水文期的质量分数

Table 5 Mass fractions of DON at different hydrological periods in orchard region

项目	水文期				
	秋雨期	冬季少雨期	春雨期	梅雨期	夏季少雨期
平均质量浓度/mg·L^{-1}	0.68	1.07	12.13	0.23	0.70
质量分数/%	23.8	13.5	76.1	4.9	24.9

桃树根部堆施有机肥,在连绵细雨的作用下,大量 DON 随地表径流和土壤渗漏进入地表水,土壤中 NN 的含量远小于 DON,而 AN 本身的迁移性小,加之春雨期地表径流小,使得进入地表水的 AN 量更少.

2.2.2 非点源氮素的季节变异特征分析

表 6 给出了研究区各监测点非点源氮素的季节变异系数. 由于土地利用类型对氮素的形态组成有较大影响,根据聚类分析的结果,将监测点按土地利用类型分为果园区和居民区,获得 2 类监测点的季节变异系数平均值(表 7).

表 6 各监测点氮素形态的季节变异系数

Table 6 Seasonal variation of nitrogen species

监测点	TN	NN	AN
A1	0.83	0.40	0.64
A2	0.44	0.39	0.70
A3	0.45	0.56	0.74
A4	0.50	0.65	0.67
A5	0.80	0.57	0.62
A6	0.75	0.72	0.58
A7	0.65	0.63	1.09
A8	0.67	0.62	0.81
A9	0.97	0.93	0.66
A10	0.91	0.70	0.58
A11	0.57	0.64	0.67
A12	0.47	0.56	0.68
A13	0.73	0.29	0.81
A14	0.84	0.39	1.08
A15	0.48	0.39	0.76
A16	0.37	0.50	1.21
A17	0.40	0.80	0.46
A18	0.99	0.66	1.65
B1	1.30	0.28	1.13
B2	0.49	0.27	1.22
B3	1.18	0.32	0.98
B4	0.80	0.41	0.70
B5	1.14	0.51	0.92
B6	1.45	0.53	1.13
B7	1.65	0.53	1.20

表 7 两类监测点的平均季节变异系数

Table 7 Seasonal variation of the two kinds of monitoring sites

监测点类别	氮素平均季节变异系数			包含的监测点
	TN	NN	AN	
果园区	0.63	0.60	0.73	A1 ~ A13、A16、A17
居民区	1.03	0.43	1.08	A14、A15、A18、B1 ~ B7

从表 7 可以看出, 2 类监测点表现出不同的季节变异特征.

(1)主要受果园区氮素污染的监测点 NN 的季节变异比居民区大. 这是因为果园区地表水明显受园内氮素流失的影响,而通过非点源污染输出的无机氮素主要是 NN,造成果园区 NN 的季节变异较居民区大. 果园区氮素形态的季节变异顺序为 AN > TN > NN,这与非点源氮素污染过程中的降雨强度有关. 在雨强较小时,地表不易形成径流,进入地表水的氮素形态主要是易被淋溶的 DON 和 NN,AN 的迁移量小; 雨强较大时,与土壤结合的氮素随地表径流大量迁移进入地表水,使得 AN 的迁移量大.

(2)主要受居民区氮素污染的监测点 AN 和 TN 的季节变异比果园区大. 居民区氮素形态的季节变异顺序为 AN > TN > NN,这是因为居民区主要受生活污水和工业废水的影响,在一定程度上点源污染特征强,污染物排放不稳定,其中的主要污染物是 AN 和 DON,使得居民区监测点 AN 和 TN 的季节变异较大.

3 结论

(1)水文期和土地利用类型共同影响果园村地表水中氮素的空间分布,冬、夏季风风向可能影响地表水中氮素的空间分布.

(2)春雨期 NN、AN 和 TN 的空间变异大,梅雨期和冬季少雨期略大于秋雨期和盛夏少雨期; SNN 与之相反. 5 月 DON 是果园区地表水中氮素的主要存在形式,其它季节则以 DIN 为主.

(3)果园区 NN 的季节变异比居民区大,居民区 AN 和 TN 的季节变异比果园区大.

参考文献:

[1] 郭鸿鹏, 朱静雅, 杨印生. 农业非点源污染防治技术的研究现状及进展[J]. 农业工程学报, 2008, **24**(4): 290-295.

[2] 樊娟, 刘春光, 石静, 等. 非点源污染研究进展及趋势分析[J]. 农业环境科学学报, 2008, **27**(4): 1306-1311.

[3] 李强坤, 李怀恩, 胡亚伟, 等. 农业非点源污染田间模型及其应用[J]. 环境科学, 2009, **30**(12): 3509-3513.

[4] 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]. 中国生态农业学报, 2010, **18**(1): 210-214.

[5] 高扬，朱波，汪涛，等. 估算紫色土流域地下水非点源污染负荷的降雨量参数法[J]. 农业环境科学学报，2010，**29**(2)：352-356.

[6] 邓雄. 农业非点源污染的研究进展、存在的问题及发展[J]. 中山大学学报（自然科学版），2007，**46**(S2)：244-247.

[7] 陈志凡，赵烨. 基于氮素流失对非点源污染研究的述评[J]. 水土保持研究，2006，**13**(4)：49-53.

[8] Kronvang B，Graesboll P，Larsen S E，*et al*. Diffuse nutrient losses in Denmark[J]. Water Science and Technology，1996，**33**(4-5)：81-88.

[9] 段永惠，张乃明. 滇池流域农村面源污染状况分析[J]. 环境保护，2003，(7)：28-30.

[10] 黄生斌，刘宝元，刘晓霞，等. 密云水库流域农业非点源污染基本特征分析[J]. 农业环境科学学报，2007，**26**(4)：1219-1223.

[11] 邢可霞，郭怀成，孙延枫，等. 基于HSPF模型的滇池流域非点源污染模拟[J]. 中国环境科学，2004，**24**(2)：229-232.

[12] 张禄祥. 论都市农业与生态城市建设[J]. 农业现代化研究，2003，**24**(2)：155-158.

[13] 曹林奎，方志权，虞冠军. 创建都市农业[M]. 上海：上海教育出版社，2004. 12-17.

[14] 曹林奎，陆贻通，李亚红. 都市农业的基本特征与功能开发[J]. 农业现代化研究，2002，**23**(4)：270-273.

[15] 方志权，吴方卫，王威. 中国都市农业理论研究若干争议问题综述[J]. 中国农学通报，2008，**24**(8)：521-525.

[16] 曹杰君，高扬，黄海波，等. 长三角典型村域次降雨条件下氮素非点源输出特征[J]. 环境科学，2010，**31**(11)：2587-2593.

[17] 黄海波，高扬，曹杰君，等. 都市农业村域地下水非点源氮污染及其风险评估[J]. 水土保持学报，2010，**24**(3)：56-59，70.

[18] 黄海波，张进忠，高扬，等. 都市农业区域村级果园土壤氮素的空间分布特征——以上海南汇新场镇果园村为例[J]. 环境科学学报，2011，**31**(4)：832-838.

[19] 陈利顶，丘君，张淑荣，等. 复杂景观中营养型非点源污染物时空变异特征分析[J]. 环境科学，2004，**24**(3)：85-90.

[20] 郑丙辉，曹承进，秦延文，等. 三峡水库主要入库河流氮营养盐特征及其来源分析[J]. 环境科学，2008，**29**(1)：1-6.

[21] 许海，刘兆普，焦佳国，等. 太湖上游不同类型过境水氮素污染状况[J]. 生态学杂志，2008，**27**(1)：43-49.

[22] 冯明磊，胡荣桂，许克翠，等. 三峡小流域水体硝态氮含量变化特征及其影响因素研究[J]. 环境科学，2008，**29**(1)：13-18.

[23] 罗璇，史志华，尹炜，等. 小流域土地利用结构对氮素输出的影响[J]. 环境科学，2010，**31**(1)：58-62.

[24] Sharpley A N，Simth S J，Naney J W. Environmental impact of agricultural nitrogen and phosphorus use [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，1987，**35**(5)：812-817.

[25] David M B，Gentry L E，Kovacic D A，*et al*. Nitrogen balance in and export from an agricultural watershed [J]. Journal of Environmental Quality，1997，**26**(4)：1038-1048.

[26] 杨天行，王运国. 水环境中三氮转化的化学动力学规律及其在环境评价中的应用[J]. 吉林地质，1990，(2)：13-28.

[27] Jones J G. Denitrification in freshwater[M]. New York：Plenum Press，1985. 225-239.

HUANJING KEXUE Vol. 33 No. 3
Environmental Science (monthly) Mar. 15, 2012

CONTENTS

Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China ····· CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-pei, *et al.* (673)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers in Tianshan Mountains ····· WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, *et al.* (679)
Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou ····· ZHAO Su-ping, YU Ye, CHEN Jin-bei, *et al.* (687)
Particle Number Size Distribution near a Major Road with Different Traffic Conditions ····· YANG Liu, WU Ye, SONG Shao-jie, *et al.* (694)
Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010 ····· WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, *et al.* (701)
Characteristics of $\delta^{18}O$ in Precipitation and Moisture Transports over the Arid Region in Northwest China ····· LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, LI Ya-ju, *et al.* (711)
Distributions and Seasonal Variations of Total Dissolved Inorganic Arsenic in the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan ····· CAO Xiu-hong, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, *et al.* (720)
Mixing Behavior of Arsenic in the Daliaohe Estuary ····· JIAN Hui-min, YAO Qing-zheng, YU Li-xia, *et al.* (727)
Variation Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay ····· XU Ya-yan, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, *et al.* (732)
Distribution of PAHs in Surface Seawater of Qingdao Coast Area and Their Preliminary Apportionment ····· LI Xian-guo, DENG Wei, ZHOU Xiao, *et al.* (741)
Atmospheric Deposition of PAHs in Dashiwei Karst Tiankeng Group in Leye, Guangxi ····· KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, HUANG Bao-jian, *et al.* (746)
Lead Isotope Signatures and Source Identification in Urban Soil of Baoshan District, Shanghai ····· DONG Chen-yin, ZHANG Wei-guo, WANG Guan, *et al.* (754)
Solute Transport Modeling Application in Groundwater Organic Contaminant Source Identification ····· WANG Shu-fang, WANG Li-ya, WANG Xiao-hong, *et al.* (760)
Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment ····· WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, *et al.* (771)
Study on the Advanced Pre-treatments of Reclaimed Water Used for Groundwater Recharge ····· GAO Yu-tuan, ZHANG Xue, ZHAO Xuan, *et al.* (777)
Influence of *Ruditapes philippinarum* Aquaculture on Benthic Fluxes of Biogenic Elements in Jiaozhou Bay ····· DENG Ke, LIU Su-mei, ZHANG Gui-ling, *et al.* (782)
Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing ····· HU He-bing, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, *et al.* (794)
Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai ····· WANG Nan, MAO Liang, HUANG Hai-bo, *et al.* (802)
Migration and Transformation of Heavy Metals in Street Dusts with Different Particle Sizes During Urban Runoff ····· HE Xiao-yan, ZHAO Hong-tao, LI Xu-yong, *et al.* (810)
Treatment Studies of Industrial Rainoff With a New Type of Constructed Wetland ····· HE Li-jun, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, *et al.* (817)
Emergent Retention of Organic Liquid by Modified Bentonites: Property and Mechanism ····· LI Yu, LIU Xian-jun, ZHANG Xing-wang, *et al.* (825)
Production of Peroxide Hydrogen in *Chattonella ovata* Hong Kong Strain ····· JIANG Tao, WU Ni, ZHONG Yan, *et al.* (832)
Characteristics Study of Extracellular Active Substance of *Bacillus* sp. B1 on *Phaeocystis globosa* ····· LI Qiang, ZHAO Ling, YIN Ping-he (838)
Effects of Sediment on the Growth of *Microcystis* and *Anabaena* in Yanghe Reservoir ····· CHU Zhao-sheng, ZHANG Yu-bao, JIN Xiang-can, *et al.* (844)
New-Type Electrodeless Excilamp for Advanced Treatment on Nitrogen-Heterocyclic Compounds (NHCs) in Aqueous Solution ····· YE Zhao-lian, WANG Bin, LU Juan-juan, *et al.* (849)
Preparation and Electro-catalytic Characterization on La/Ce Doped Ti-base Lead Dioxide Electrodes ····· ZHENG Hui, DAI Qi-zhou, WANG Jia-de, *et al.* (857)
Study on Decolorization of Triphenylmethane Dyes by DTT ····· PAN Tao, LIU Da-wei, REN Sui-zhou, *et al.* (866)
Influences of pH and Complexing Agents on Degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by Ferrous Activated Persulfate ····· ZHANG Cheng, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, *et al.* (871)
Degradation Kinetics of Ozone Oxidation on High Concentration of Humic Substances ····· ZHENG Ke, ZHOU Shao-qi, YANG Mei-mei (879)
Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy ····· LI Zhi-hua, JI Xiao-qin, LI Sheng, *et al.* (885)
Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage ····· LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, *et al.* (889)
Research of Aerobic Granule Characteristics with Different Granule Age ····· ZHOU Man, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, *et al.* (896)
Effect of Size and Number of Aerobic Granules on Nitrification and Denitrification ····· LI Zhi-hua, ZENG Jin-feng, LI Sheng, *et al.* (903)
Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch ····· GUO Chang-zi, PENG Dang-cong, CHENG Xue-mei, *et al.* (910)
Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching ····· ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan (916)
Microbial Ecology Analysis of the Biofilm from Two Biological Contact Oxidation Processes with Different Performance ····· QIAN Yin, QUAN Xiang-chun, PEI Yuan-sheng, *et al.* (922)
Altered Microbial Communities Change Soil Respiration Rates and Their Temperature Sensitivity ····· FAN Fen-liang, HUANG Ping-rong, TANG Yong-jun, *et al.* (932)
Storages and Distributed Patterns of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen During the Succession of Artificial Sand-Binding Vegetation in Arid Desert Ecosystem ····· JIA Xiao-hong, LI Xin-rong, ZHOU Yu-yan, *et al.* (938)
Factors Controlling Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Densities in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China ····· WANG Shu-fang, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun (946)
Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients ··· MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, *et al.* (952)
Adsorption of Aflatoxin on Montmorillonite Modified by Low-Molecular-Weight Humic Acids ····· YAO Jia-jia, KANG Fu-xing, GAO Yan-zheng (958)
Influence of Operating Parameters on Surfactant-enhanced Washing to Remedy PAHs Contaminated Soil ····· WU Wei, JIANG Lin, CHEN Jia-jun, *et al.* (965)
Study on the Land Use Optimization Based on PPI ····· WU Xiao-feng, LI Ting (971)
Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland ····· CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, *et al.* (979)
Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of *Scutellaria baicalensis* Georgi ····· HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, *et al.* (987)
Community Structure and Spatial Distribution of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria in the Sediments of Chongming Eastern Tidal Flat in Summer ····· ZHENG Yan-ling, HOU Li-jun, LU Min, *et al.* (992)
Microbial Degradation of 2,2′,4,4′-Tetrabrominated Diphenyl Ether Under Anaerobic Condition ····· LU Xiao-xia, CHEN Chao-qi, ZHANG Shu, *et al.* (1000)
Effect of Heavy Metals on Degradation of BDE-209 by White-rot Fungus ····· XIONG Shi-chang, YIN Hua, PENG Hui, *et al.* (1008)
Biodegradation Mechanism of DDT and Chlorpyrifos Using Molecular Simulation ····· LIN Yu-zhen, ZENG Guang-ming, ZHANG Yu, *et al.* (1015)
Construction of a Microbial Consortium RXS with High Degradation Ability for Cassava Residues and Studies on Its Fermentative Characteristics ····· HE Jiang, MAO Zhong-gui, ZHANG Qing-hua, *et al.* (1020)
Anaerobic Digestion of Animal Manure Contaminated by Tetracyclines ····· TONG Zi-lin, LIU Yuan-lu, HU Zhen-hu, *et al.* (1028)
Continuous Dry Fermentation of Pig Manure Using Up Plug-Flow Type Anaerobic Reactor ····· CHEN Chuang, DENG Liang-wei, XIN Xin, *et al.* (1033)

《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 3 月 15 日　33 卷　第 3 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 33　No. 3　Mar. 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