

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第1期

Vol.36 No.1

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2013年夏季典型光化学污染过程中长三角典型城市O ₃ 来源识别	李浩, 李莉, 黄成, 安静宇, 严茹莎, 黄海英, 王杨君, 卢清, 王倩, 楼晟荣, 王红丽, 周敏, 陶士康, 乔利平, 陈明华(1)
厦门冬春季大气VOCs的污染特征及臭氧生成潜势	徐慧, 张晗, 邢振雨, 邓君俊(11)
近10年海南岛大气NO ₂ 的时空变化及污染物来源解析	符传博, 陈有龙, 丹利, 唐家翔(18)
稻草烟尘中有机碳/元素碳及水溶性离子的组成	洪蕾, 刘刚, 杨孟, 徐慧, 李久海, 陈惠雨, 黄柯, 杨伟宗, 吴丹(25)
气相色谱-脉冲氦离子化检测法(GC-PDHID)分析大气中分子氢(H ₂)浓度	栾天, 方双喜, 周凌晔, 王红阳, 张根(34)
小浪底水库影响下的黄河花园口站和小浪底站pCO ₂ 特征及扩散通量	张永领, 杨小林, 张东(40)
夏季中国东海生源有机硫化物的分布及其影响因素研究	李江萍, 张洪海, 杨桂朋(49)
基于Landsat 8影像估算新安江水库总悬浮物浓度	张毅博, 张运林, 查勇, 施坤, 周永强, 王明珠(56)
温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别	马小雪, 王腊春, 廖玲玲(64)
人类活动影响下水化学特征的影响: 以西江中上游流域为例	于爽, 孙平安, 杜文越, 何师意, 李瑞(72)
太湖梅梁湾不同形态磷周年变化规律及藻类响应研究	汪明, 武晓飞, 李大鹏, 李祥, 黄勇(80)
鄱阳湖沉积物可转化态氮分布特征及其对江湖关系变化的响应	沈洪艳, 张绵绵, 倪兆奎, 王圣瑞(87)
影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析	李艳利, 李艳粉, 徐宗学(94)
水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响	刁晓君, 李一葳, 王曙光(107)
蓝藻水华聚集对水葫芦生理生态的影响	吴婷婷, 刘国锋, 韩士群, 周庆, 唐婉莹(114)
汞在小浪底水库的赋存形态及其时空变化	程柳, 毛宇翔, 麻冰涓, 王梅(121)
三峡库区典型农田小流域土壤汞的空间分布特征	王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇, 余亚伟(130)
三峡库区农林复合小流域水体汞的时空变化特征	赵铮, 王娅, 木志坚, 王定勇(136)
环境条件对三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸二丁酯向上覆水静态迁移释放的影响	宋娇艳, 木志坚, 王强, 杨志丹, 王法(143)
三峡库区消落带土壤中溶解性有机质(DOM)吸收及荧光光谱特征	高洁, 江韬, 李璐璐, 陈雪霜, 魏世强, 王定勇, 闫金龙, 赵铮(151)
舟山渔场有色溶解有机物(CDOM)的三维荧光-平行因子分析	周倩倩, 苏荣国, 白莹, 张传松, 石晓勇(163)
太原市小店污灌区地下水中多环芳烃与有机氯农药污染特征及分布规律	李佳乐, 张彩香, 王焰新, 廖小平, 姚林林, 刘敏, 徐亮(172)
厦门杏林湾水系表层沉积物中PAHs分析与风险评估	程启明, 黄青, 廖祯妮, 苏丽, 刘兴强, 唐剑锋(179)
两种不同的地下水污染风险评价体系对比分析: 以北京市平原区为例	王红娜, 何江涛, 马文洁, 许真(186)
大冶湖滨岸带重金属水-土迁移特征与风险评价	张家泉, 李秀, 张全发, 李琼, 肖文胜, 王永奎, 张建春, 盖希光(194)
铁盐絮凝法从阳宗海湖水中除砷研究与现场扩大试验	陈景, 张曙, 杨项军, 黄章杰, 王世雄, 王莞, 韦群燕, 张艮林, 肖军(202)
铋银氧化物混合物高效氧化降解四溴双酚A的研究	陈满堂, 宋洲, 王楠, 丁耀彬, 廖海星, 朱丽华(209)
一种纳米级不定形碳对水中四环素的吸附研究	吴亦潇, 李爱民, 汪的华, 张维昊(215)
磁性壳聚糖衍生物对阴离子染料的吸附行为	张聪璐, 胡筱敏, 赵研, 苏雷(221)
腐殖酸-高岭土复合体形成机制及对三氯乙烯的吸附	朱晓婧, 何江涛, 苏思慧(227)
降温过程对ANAMMOX工艺城市污水处理系统中微生物群落的影响	赵志瑞, 苗志加, 李铎, 崔丙健, 万敬敏, 马斌, 白志辉, 张洪勋(237)
FISH-NanoSIMS技术在环境微生物生态学上的应用研究	陈晨, 柏耀辉, 梁金松, 袁林江(244)
微囊藻毒素-LR对恶臭假单胞菌细胞活性和表面特性的影响	邓庭进, 叶锦韶, 彭辉, 刘芷辰, 刘则华, 尹华, 陈烁娜(252)
微生物除臭剂的筛选、复配及其除臭条件的优化	曾苏, 李南华, 盛洪产, 贺琨, 胡子全(259)
舟山青浜岛水体及海产品中有机氯农药的分布和富集特征	张泽洲, 邢新丽, 顾延生, 桂福坤, 祁士华, 黄焕芳, 瞿程凯, 张莉(266)
四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究	周莹, 孙一鸣, 金军, 雷建容, 秦贵平, 何雪珠, 林尤静(274)
铜、毒死蜱单一与复合暴露对蚯蚓的毒性作用	徐冬梅, 王彦华, 王楠, 饶桂维(280)
外源硒对黄瓜抗性、镉积累及镉化学形态的影响	熊仕娟, 刘俊, 徐卫红, 谢文文, 陈蓉, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体(286)
厦门市道路灰尘中铂族元素的污染特征	洪振宇, 洪有为, 尹丽倩, 陈进生, 陈衍婷, 徐玲玲(295)
洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素	商靖敏, 罗维, 吴光红, 徐兰, 高佳佳, 孔佩儒, 毕翔, 程志刚(301)
不同钝化剂对重金属污染土壤稳定化效应的研究	吴烈善, 曾东梅, 莫小荣, 吕宏虹, 苏翠翠, 孔德超(309)
畜禽粪便有机肥中Cu、Zn在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化	商和平, 李洋, 张涛, 苏德纯(314)
华南某市生活垃圾组成特征分析	张海龙, 李祥平, 齐剑英, 陈永亨, 方建德(325)
生物沥浸耦合类Fenton氧化调理城市污泥	刘昌庚, 张盼月, 蒋娇娇, 曾成华, 黄毅, 徐国印(333)
基于平面波导型荧光免疫传感器的双酚A检测适用性研究	徐玮琦, 张永明, 周小红, 施汉昌(338)
一种新型“Turn-on”荧光探针用于硫化氢可视化检测	刘春霞, 马兴, 魏国华, 杜宇国(343)
典型黄土区油松树干液流变化特征分析	张涵丹, 卫伟, 陈利顶, 于洋, 杨磊, 贾福岩(349)
利用巨藻发酵产氢气与挥发性有机酸的研究	赵晓娟, 范晓蕾, 郭荣波, 薛志欣, 杨智满, 袁宪正, 邱艳玲(357)
人工纳米颗粒在水体中的行为及其对浮游植物的影响	李曼璐, 姜玥璐(365)
《环境科学》征订启事(251) 《环境科学》征稿简则(294) 信息(236, 243, 273, 300)	

温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别

马小雪^{1,2}, 王腊春^{1*}, 廖玲玲²

(1. 南京大学地理科学与海洋学院, 南京 210093; 2. 温州医科大学水域科学与环境生态研究所, 温州 325035)

摘要: 不同季节主要污染物的空间分布特征及其潜在的污染源分析对水资源管理与污染控制具有重要意义. 本研究应用GIS、主成分分析方法对2008-09~2009-10温瑞塘河水的温度、DO、电导率、pH、浊度、 NH_4^+-N 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SiO_3^{2-} 、 H_2S 、TOC、TN等水质参数进行时空分异特征分析和潜在污染源的识别. 结果表明流域内丰水期、平水期、枯水期的典型污染物是TN、 NH_4^+-N 、 PO_4^{3-} , 主要来自于工业和生活点源; 空间上水质污染程度是三级河道>二级河道>一级河道, 无论几级河道市区的水质都劣于郊区和湿地; 时间上水质污染程度是枯水期>平水期>丰水期; 另外河道周边人口密度、土地利用类型及其调水对温瑞塘河的水质产生了不同程度的影响.

关键词: 水质评价; 主成分分析; 时空变异特征; 污染源识别; 人类活动

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)01-0064-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.01.009

Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenruitang River Watershed

MA Xiao-xue^{1,2}, WANG La-chun^{1*}, LIAO Ling-ling²

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Institute of Water Science and Environmental Ecology, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325035, China)

Abstract: Identifying the temp-spatial distribution and sources of water pollutants is of great significance for efficient water quality management pollution control in Wenruitang River watershed, China. A total of twelve water quality parameters, including temperature, pH, dissolved oxygen (DO), total nitrogen (TN), ammonia nitrogen (NH_4^+-N), electrical conductivity (EC), turbidity (Turb), nitrite-N (NO_2^-), nitrate-N (NO_3^-), phosphate-P (PO_4^{3-}), total organic carbon (TOC) and silicate (SiO_3^{2-}), were analyzed from September, 2008 to October, 2009. Geographic information system (GIS) and principal component analysis (PCA) were used to determine the spatial distribution and to apportion the sources of pollutants. The results demonstrated that TN, NH_4^+-N , PO_4^{3-} were the main pollutants during flow period, wet period, dry period, respectively, which was mainly caused by urban point sources and agricultural and rural non-point sources. In spatial terms, the order of pollution was tertiary river > secondary river > primary river, while the water quality was worse in city zones than in the suburb and wetland zone regardless of the river classification. In temporal terms, the order of pollution was dry period > wet period > flow period. Population density, land use type and water transfer affected the water quality in Wenruitang River.

Key words: water quality assessment; principal component analysis; temporal and spatial variation characteristics; pollution source apportionment; anthropogenic activities

人类活动和全球气候变化引起了水质恶化、湖泊富营养化、水生态环境破坏等一系列的水环境问题. 如何改善水污染现状已成为区域水环境研究中迫切需要解决的问题. 另外, 河流水质因子众多, 而且受地理环境、气候因素^[1]、土地利用方式^[2~4]、及人类活动^[5]的影响使得流域水质在时空上呈现较大的异质性^[6]. 明晰水质的时空变化规律是评价水环境质量、分析污染来源和改善水环境质量的前提^[7], 也是当今水质监测与评价的重点和难点. 近年来, 相关分析、聚类分析、主成分分析、因子分析、判别分析等多元统计方法^[8~11]已成为反映河流污染时空模式的主流技术, 这些方法被广泛地应用于了解研究区域的水环境状况, 并逐渐成为该领域的研究热点.

温瑞塘河位于瓯江以南、飞云江以北的温瑞平原, 是温州市境内十分重要的河道水系. 水源主要来自瞿溪、雄溪、郭溪 (通称三溪) 以及大罗山和集云山的山涧溪流, 整个流域面积 740 km², 水面面积 22 km², 多年平均降雨量 1 694.8 mm, 年径流量 9.13 亿 m³. 进入 20 世纪 80 年代以后, 温瑞塘河水系的污染问题变得越来越突出, 至 90 年代, 大部分河段的水质恶化为劣 V 类水, 许多河道甚至发黑发臭, 已经严重制约了温州经济发展. 因此, 研究温瑞塘河

收稿日期: 2014-06-27; 修订日期: 2014-07-26

基金项目: 浙江省科技计划项目 (2008C03009); 温州市重大专项 (20082780125)

作者简介: 马小雪 (1986~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为生态水文学, E-mail: maxiaoxue029@126.com

* 通讯联系人, E-mail: 52949028@qq.com

水质时空分布规律,辨别其污染源也成为研究本流域的首要任务. 2010 年, Lu 等^[13] 利用主成分分析、聚类分析、GIS 等方法分析了不同的营养盐成分在 2006 ~ 2007 年不同月份不同地点的分布规律. Yang 等^[14] 利用主成分分析、多元线性回归方法分析了农村、城市、及其过渡区这 3 种不同功能区下的水污染时空分布特征. 2014 年 Ma 等^[15] 利用水质标识指数法对温瑞塘河的有机污染特点进行了时空分析. 然而,以往的这些水质时空评价分析工作往往只关注不同月份之间的水质异质性,忽略了河流处于不同补给时期的水质污染来源和分布特征. 因此,为了探讨不同补给时期的水污染来源及其空间分布特征,本研究针对温瑞塘河水环境问题选取电导(EC)、温度、pH、浊度、溶解氧(DO)、总有机碳(TOC)、总氮(TN)、磷酸盐(PO_4^{3-})、亚硝酸盐(NO_2^-)、硝酸盐(NO_3^-)、氨氮(NH_4^+-N)、硅酸盐(SiO_3^{2-})等 12 种水质理化参数,利用主成分分析和 GIS 的方法分析不同时期的水污染来源及其空间分布特征,以为温瑞塘河的水环境影响评价、水环境治理提供科学依据,同时也为生态塘河建设提供科技支撑.

1 材料与方法

1.1 野外采样点布设

本研究以整个温瑞塘河为研究区域,参照国家标准《水质-采样方案设计技术规程》(HJ 495-2009)^[16] 的同时结合温瑞塘河的河网及地形地貌特征选取具有代表性的 40 个采样点. 在这 40 个采样点中,A 类采样点表示一级河道的监测点(A1 ~ A9 表示顺主河道往下),B 类采样点表示二级河道的监测点,C 类采样点表示三级河道的监测点,N 类采样点表示位于温瑞塘河温州市区段周边的郊区,W 类采样点表示三垟湿地的监测点(图 1).

塘河主河道的两边有许多的支流相连,但 A7 两边支流较少;A5 ~ A7 河段,是塘河市段流入郊区段的过渡地带^[17]. B 类监测点位于市区河段,其中 B1 处有水闸连通勤奋河与瓯江,B7 与瓯江相通,全年较长时间处于开闸状态,所以浊度盐度都很高. C 类点也位于市区,其中 C1、C2 位于生活区内,有大量生活污水直接排入河道,有机质污染非常严重,常年水体成黑色,经常发出浓厚的臭味^[18]. N1、N2 监测点位于温瑞塘河主河道的上游,是其发源区水源汇入塘河的入河口. 相对于周边有大量工厂、居民相对居中的 N1 监测点,N2 的周围是闲置的土

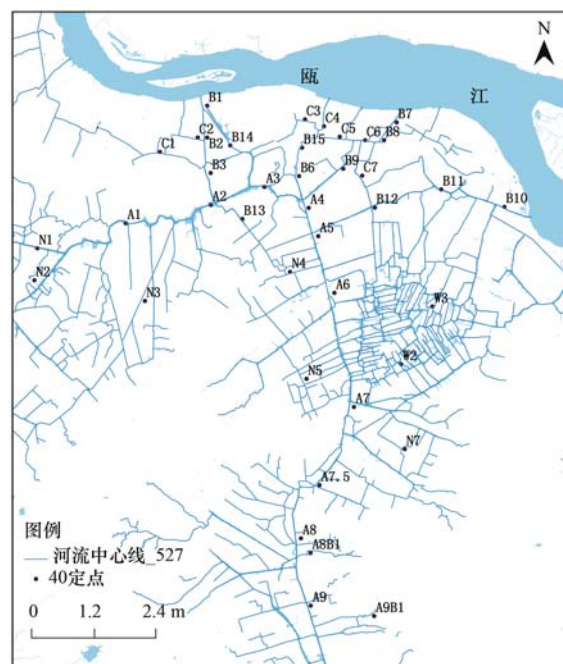


图 1 温瑞塘河流域及其采样点

Fig. 1 Wenruitang River watershed and its sampling sites

地,于 2009 年 9 月至今建造新火车站及桥梁,水体上下游处于半堵截状态,并且几乎没有生活污水及工业废水的排入;W2、W3 位于人口密度较小的三垟湿地,内有桔园、农田、家庭小作坊等污染源,为保护湿地水资源,此处与塘河污染水体几乎处于截断状态,有类似于“湖泊”的独立体;N7 位于温州高教园区内,水的流动性很慢,出河口位于茶山镇上,此处人口密度很大,无工业污染,故兼顾整个水系的同时,其区域具有独特性,可以独立分析. A8B1、A9B1 分别为鱼潭前溪及仙岩风景区的出口,上游无人口居住,A8B1 周围是农田,A9B1 是仙岩水库的出口之一^[19].

1.2 水样的采集与分析

2008 年 9 月 ~ 2009 年 10 月的每月下旬,用 YSI6920 多参数水质监测仪现场测定河道中央(B1 等少数点因地形限制在河道边沿取点)表层水的温度、浊度、DO、pH、电导率和 NH_4^+ ; 现场采用有机玻璃采样器或塑料桶采集表层水样,按《水质采样样品的保存和管理技术规定》(GB 12999-91) 要求固定和保存水样,并带回实验室分析.

带回实验室的水样立即用小孔径筛网过滤除去较大的杂物后用 $0.45 \mu\text{m}$ 孔径的滤膜或三层滤纸过滤,得到约 200 mL 水样,在其中加入 3 滴饱和氯化汞后放于冰箱内(小于 4°C) 冷藏,并尽快在流动式注射分析仪(AA3)上用水杨酸分光光度法测氨氮

(NH_4^+)、用 *N*-(1-萘基)乙二胺盐酸法测 NO_2^- , 用镉柱还原法测 NO_3^- , 用钼锑抗分光光度法测无机磷 (PO_4^{3-}), 用硅钼黄法测硅酸盐 (SiO_3^{2-}); 用亚甲基蓝法测硫化氢 (H_2S), 在 TOC/TN 自动分析仪上用燃烧氧化法测定总溶解有机碳 (TDOC), 气相分子分光光度法测总氮 (TN)。

1.3 数据分析方法和数据处理

河流水质因子众多, 利用所有的因子对水质进行评价有一定的难度, 而主成分分析是利用降维的思想, 把原来具有错综复杂的变量归纳为少数几个综合变量, 其中每个主成分都是原始变量的线性组合, 各主成分之间互不相关, 从而实现以少数几个综合变量反映原始变量的绝大部分信息, 且所含的信息互不重叠^[20]。主成分分析法能够全面反映水体的污染程度、主要污染物的类别、来源、成因、时空分布规律以及变化趋势, 找到优先控制的监测断面和水质指标。其计算步骤主要有: 对原始数据进行标准化处理; 计算相关系数矩阵; 计算特征值和特征向量; 计算对应于特征值的特征向量; 计算主成分贡献率和累计贡献率; 计算主成分载荷; 各主成分得分。

针对定点采样的原始数据, 进行主成分分析之前, 用 Kurtosis 和 Skewness 检验污染指标的分布特征, 其结果分别为: $-0.685 \sim 5.6$ 和 $-0.802 \sim 32.18$ (置信度为 95%), 说明过于偏离正态分布, 进行 BOX-COX 转化之后, 在 $-2 \sim 2$ 之间, 所有污染指标呈正态或接近正态分布。同时, 为了消除单位的影响, 对数据进行标准化, 即均值为 0, 方差为 1。

2 结果与分析

2.1 污染源解析

根据温州的水文特征, 将 1~4 月、12 月定为枯水期, 6~10 月定为丰水期, 5 月、11 月定为平水期。然后将原始数据依据 3 个不同的时期分为 3 组, 所有数据标准化后开展因子分析, 识别不同时期的主要污染因子和污染源, 采用特征值是否大于 0 作为判别依据。Liu 等^[21]认为载荷值大于 0.75 则足以代表原始变量所包含的绝大部分信息, 据此 3 个时期分别提取了 4 个主成分。丰水期期间, ①第一主成分解释了 33.6% 的水质变异, 反映的信息量最大, 与其强关联的主要是 TN 、 NH_4^+-N 、 PO_4^{3-} , 一般关联的是 DO 、 TOC 、 SiO_2^- , 氨氮和磷的贡献率较枯水期时有所上升, TN 、 NH_4^+-N 、 PO_4^{3-} 既是由于生活污水、化学原料及化学制品等的点源污染, 也是

由于该流域内农业生产过程过量使用化肥导致氮、磷营养盐通过径流进入地表水体所致, 因此第一主成分可归类为生活污水等点源和非点源污染的综合影响^[22]; 与 DO 呈负相关, 苏玉等^[23]认为丰水期植物群落生长密度最好, 且 TN 、 NH_4^+-N 加剧了水体富营养化问题, 另外氮、磷的转化等也进一步减少了水体中的氧气。②第二、三主成分的贡献率分别为 16.7%、14.8%, 相关联的主要是 EC 、温度、 pH 、浊度。浊度代表含有泥土、粉砂、微细有机物、无机物、浮游生物等悬浮物和胶体物。 pH 值反映了水体的酸碱度, 它对水体的氧化还原反应起着一定的控制作用, 决定了水体的化学稳定性。电导率则代表了水体中离子的活动程度。自然因素水温则代表了温度对水中藻类等浮游生物的影响。所以第二、第三主成分主要反映的是水体中悬浮物、浮游植物的生长状况和水体的离子属性^[24]; ③第四主成分 PC4 的贡献率为 10.7%, 与其负关联的是 pH 、 NO_2^- , 正关联的是 DO , 反映了 pH 、 DO 对氮循环转化的影响, 可认为 PC4 主要是硝态氮污染。

平水期期间, TOC 、 NH_4^+-N 、 TN 、 PO_4^{3-} 的载荷值大于 0.9, 是第一主成分主要影响因子; EC 和 DO 也是影响第一主成分的因子, 这表明生活污水的排入, 消耗了水中的溶解氧, 导致水中 DO 降低^[25]; 且第一主成分的贡献率是 39.9%, 其贡献值最大, 这表明生活污染是温瑞塘河的主要污染源。第二主成分的贡献率是 15%, 其与温度、 EC 、 NO_3^- 有关, 第三主成分主要反映的是浊度、温度、 EC , 贡献率为 14.6%, 第二、第三主成分可归类为自然因素的影响。第四主成分主要反映的是 NO_2^- 、 NO_3^- , 其贡献率是 10.7%, 可归为氮类污染物。

枯水期期间, 第一主成分的贡献率为 28.8%, 与第一主成分呈强正相关的是 TN 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+-N , 方晓波等^[26]认为枯水期农业面源污染较小, 主要是点源污染, 因此, TN 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+-N 主要来源于生活污水、化学制品制造业、皮革制造业、服装制造业等点源污染; 第一主成分与 TOC 、 SiO_2^- 呈现一般正相关, 与 DO 呈现负相关关系, 可归类为耗氧型有机污染。第二主成分与温度相关系数很高, 与 TOC 、硝酸、亚硝酸一般相关, 赵洁等^[27]认为是由于未经处理的生活污水直接排入河中导致水质下降, 可归类为生活污染的影响。第三主成分主要体现了水环境的自然变化, 其贡献率是与电导率、浊度正相关; 与 pH 负相关, 说明 pH 降低, 有利于水中物质的溶解。

从表 1 可以得知,丰水期,大于 0.9 的参数有 TN、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ -N;平水期,大于 0.9 的参数有 TN、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ -N、TOC;枯水期,大于 0.9 的参数有 TN,说明 TN 是最重要的影响因子. 虽然在不同时期,主要影响因子不一定相同,但总的来说 3 个不同时期的 4 个主成分主要体现了人类活动的影响.

表 1 丰水期、平水期、枯水期 12 个变量的因子载荷矩阵
Table 1 Loadings of 12 selected variables on VARIMAX rotated factor in dry period, wet period, flow period

项目	参数	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分
丰水期	EC	0.493	0.659	0.527	-0.019
	温度	0.171	0.597	-0.716	-0.028
	pH	0.21	0.566	-0.504	0.501
	浊度	-0.021	0.802	0.511	0.009
	DO	-0.536	-0.285	0.337	0.504
	TOC	0.542	-0.327	0.045	0.273
	TN	0.925	-0.167	0.041	0.188
	PO_4^{3-}	0.94	-0.122	-0.037	0.043
	NO_2^-	-0.122	0.007	-0.248	-0.615
	NO_3^-	-0.465	0.32	0.221	0.057
	NH_4^+	0.949	-0.093	0.017	0.055
	SiO_2	0.677	0.004	0.278	-0.42
	贡献率/%	33.6	16.7	14.8	10.7
累计贡献率/%		33.6	50.3	65.1	75.8
平水期	EC	0.561	0.538	0.59	0.057
	温度	-0.035	-0.663	0.534	-0.016
	pH	-0.004	-0.397	0.425	-0.097
	浊度	-0.043	0.322	0.904	-0.107
	DO	-0.536	0.46	0.158	-0.292
	TOC	0.935	0.035	-0.023	-0.126
	TN	0.982	0.047	-0.048	-0.03
	PO_4^{3-}	0.93	-0.175	-0.051	-0.016
	NO_2^-	-0.112	-0.446	0.26	0.776
	NO_3^-	-0.349	0.621	-0.06	0.535
	NH_4^+	0.975	0.021	-0.037	-0.037
	SiO_2	0.652	0.25	-0.041	0.425
	贡献率/%	39.9	15	14.6	10.7
累计贡献率%		39.9	54.9	69.5	80.2
枯水期	EC	0.044	-0.039	0.704	0.46
	温度	0.114	0.784	-0.021	-0.23
	pH	-0.132	0.271	-0.686	0.534
	浊度	-0.065	0.246	0.686	0.394
	DO	-0.675	-0.472	0.069	0.144
	TOC	0.571	0.525	0.323	-0.378
	TN	0.926	-0.236	-0.116	0.191
	PO_4^{3-}	0.863	-0.095	-0.134	0.293
	NO_2^-	0.057	0.689	-0.22	0.099
	NO_3^-	0.047	0.638	0.064	0.352
	NH_4^+	0.84	-0.355	-0.055	0.242
	SiO_2	0.579	-0.216	0.113	-0.415
	贡献率/%	28.8	20.4	18	12.2
累计贡献率/%		28.8	49.2	67.2	79.4

2.2 水质时空分异特征

通过搜集温州市水环境质量状况方面的文献、公报、报道等,发现 2005 年开始出现 50% 左右的监测站点的水环境质量超过劣 V 类,并在 2006 年达到 100%,在之后流域内的水质一直处于劣 V 类的水

平. 具体的年际变化情况如下: 2005 年温州市环境状况公报显示主要污染物是氨氮等有机污染^[28],在 25 个监测站点中,属于 V 类水水质标准和劣 V 类水质标准的站位分别有 10 个和 16 个,占总河段长度的 14.4% 和 46.2%. 2006 年 4 月,浙江省水资源监

测中心温州分中心监测数据,表明市区 28 条内河 37 个断面所有断面水质为劣 V 类,其中氨氮量均超标 14.59 倍^[29], Lu 等^[13]利用温州市规划局提供的 2006-06 ~ 2007-03 间的 30 个站位的水质数据进行分析,结果表明所有站点的 TN ($3.78 \sim 70.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、 NH_4^+ ($2.25 \sim 57.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 浓度都超过 V 类水质标准;赵志旭^[29]在 2008-06 ~ 2008-12 间选取 25 个采样站点分析温瑞塘河的水质情况,结果表明所有站点的 TN ($5.29 \sim 51.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、 NH_4^+ ($3.5 \sim 52.84 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 浓度都超过 V 类水质标准;Ma 等^[15]利用温州市环境保护局提供的 2009-01 ~ 2009-11 间的 16 个采样站点的水质数据进行分析,结果表明 81.3% 的站点的 NH_4^+ (平均 $7.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 浓度都超过 V 类水质标准;崔长远^[19]在 2009-11 ~ 2011-01 间选取 40 个采样点分析温瑞塘河的水质情况,结果表明所有站点的 TN ($5.54 \sim 35.14 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、 NH_4^+ ($3.06 \sim 25.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 浓度都超过 V 类水质标准. 虽然 2006 ~ 2011 年流域内的平均水质处于劣 V 类的水平,但是流域内所选取站点的 TN、 NH_4^+ 最低浓度值呈现缓慢上升的趋势,而最高浓度值呈现逐年降低的趋势. 也就是说流域内的水质在空间上的差异性逐步缩小,主要表现在 TN、 NH_4^+ 最高浓度值的控制上. 造成这种现象的原因可能有两个:一是数据的统计归口单位不一致,造成水质数据、采样点存在一定的差异性;另一个是近几年政府加大了对温瑞塘河的治理力度.

根据主成分得分公式 $W = \sum \lambda_i Y_i$ (λ_i 表示第 i 个因子的特征值, Y_i 表示第 i 个因子的因子权重) 计算各个采样点的综合得分,在本文中综合得分与主要污染因子的特征值与因子权重有关,因此综合得分越大说明污染越严重. 在利用 GIS 制图功能在空间上表示出 3 个不同时期的不同采样点的综合得分(如图 2 ~ 4). 从中可以得知,市区的污染要大于郊区和湿地,上游水质较好,满足地表水三类水标准. 水质污染程度枯水期 > 平水期 > 丰水期. 丰水期间和平水期,由于雨量足、水量大,流速相对大,污染物质不容易聚集,所以靠近塘河主河道中上段污染相对要轻些. 枯水期,雨量减少,流速减缓,污染物质容易聚集,所以在此期间塘河主河道污染严重. 同时也可看出三级河道污染最严重,二级河道和一级河道次之,郊区污染相对较轻. 一级河道上游和中游污染较轻,下游污染严重,过了 A7 点之后,由于水体的自净作用,污染物的浓度降低. 并发

现在枯水期和平水期时,塘河主河道 A7 点的污染最为严重,很可能是上游城市污水聚集在 A7 点或者受两岸农业面源的影响;而在丰水期,塘河主河道 A6 点的污染最为严重. B13 在枯水期间,污染程度比其他两个时期要重. 上游采样点 N1 和 N2,甚至到 A2 点,水质状况较好,周边地势相对较高,受

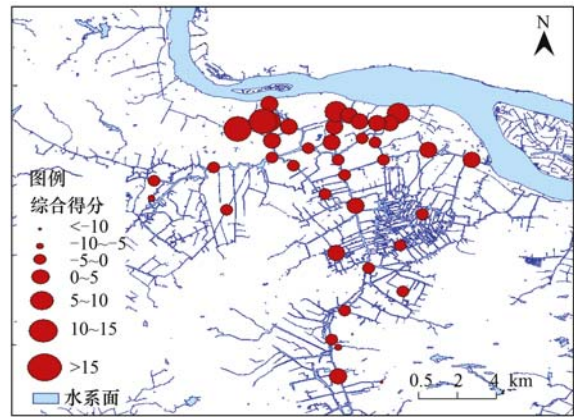


图 2 丰水期定点采样的综合评分

Fig. 2 Comprehensive score of the sampling sites in flow period

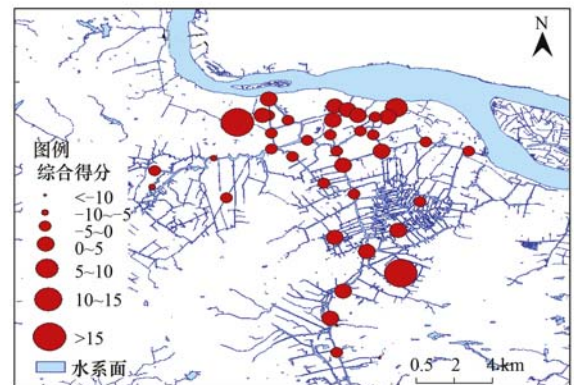


图 3 平水期定点采样的综合评分

Fig. 3 Comprehensive score of the sampling sites in wet period

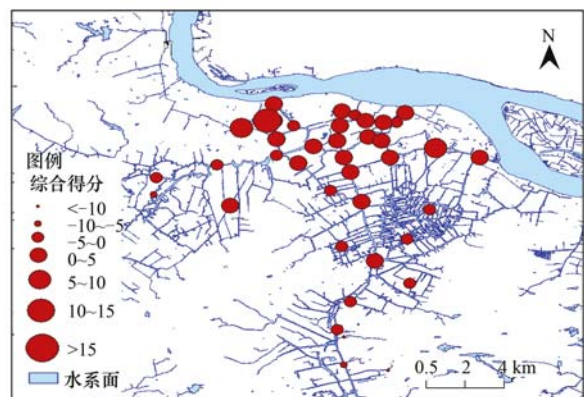


图 4 枯水期定点采样的综合评分

Fig. 4 Comprehensive score of the sampling sites in dry period

外界影响较小. N7 主要是受高教园区大学城的生活污水影响, N5 采样点主要受农村生活污水和畜牧养殖业的影响. 从图 2~4 中还可以得知, 塘河流域污染最严重的区域分布在靠近瓯江的支流上: 这些河段小而窄, 水流几乎常年不流动, 污染物进入这些河流不易扩散; 而且这些地方的生活污水没有完全纳入市污水处理系统, 生活污水的直排是这些地区污染严重的一个主要原因; 加之水闸的关闭, 阻碍了这些河段与外界水的流通, 进一步加重了这些地区的水污染现象; 另外, 温瑞塘河流域的航运船只也是造成污染的一个原因.

3 讨论

3.1 污水排放是水质恶化的主要原因

据 2008 年温州市环境状况公报得知^[30], 每年入塘河废水总量达到 1.46 亿 t, 接近塘河日常蓄水量的 2 倍. 温州市废水排放总量 3.29 亿 t, 其中工业废水 1.06 亿 t, 城镇生活污水 2.23 亿 t. 废水中 COD 排放总量为 11.14 万 t, 其中生活污水中 COD 排放量为 8.47 万 t; 废水中氨氮排放总量为 1.09 万 t, 其中生活污水中氨氮排放量为 0.57 万 t. 可见, 温瑞塘河污染主要是生活污水和工业废水的直排引起的. 同时, 温州市的污水收集系统不够完善, 很多排污管是雨污合流, 加大了污水收集的难度.

3.2 不同土地利用类型对水质的影响

为研究城市河流两岸不同空间范围内土地利用结构和格局对水体质量的影响, 利用 GIS 中的缓冲区空间分析功能, 计算了河流两岸不同距离缓冲区内土地利用结构的组成, 确定本研究缓冲区距离为 300 m, 得到水系缓区分布图, 再运用 GIS 的叠加分析功能, 得到 300 m 缓冲区范围内土地利用图, 最后运用 SPSS 软件统计分析研究区域内河流两岸的土地利用结构^[31,32]. 根据表 2 的水质数据与土地利用结构的相关分析得出, 土地利用结构中的绿化用地与 DO 呈正相关与 EC 呈负相关; 这表明随着绿化用地类型面积的增加, 河流水质有改善的现象. 水域面积与氨氮、pH、电导率呈负相关, 表明在相同排污情况下, 水域面积越大单位体积水域内的污染物浓度就越小, 也就意味着水域面积越大, 纳污能力越强. 城建用地与氨氮、pH 和电导率呈正相关, 与溶解氧呈负相关. 城建用地是土地利用结构中最主要的污染输出土地利用类型, 其商业及工矿用地和居民住宅用地是城市快速发展的产物, 其数量占有绝对优势, 对水质影响最为严重. 农业用地与溶解

氧、电导率分别呈正、负相关, 这与以往的研究不同, 主要原因可能是由于本地区的污染源主要来自于点源污染^[13,14], 而且水体水质常年处于劣五类的状态, 农业用地在一定程度上充当了绿化用地的功能, 缓解了点源污染带来的影响.

表 2 水质参数与土地利用的相关系数 ($N=45, P<0.01$)

Table 2 Correlation coefficients between water quality and land use ($N=45, P<0.01$)				
水质参数	绿化用地	农业用地	水面	城建用地
氨氮			-0.536	0.479
溶解氧	0.416	0.402		-0.439
pH			-0.578	0.384
电导率	-0.466	-0.532	-0.412	0.577

3.3 人口聚集度对水环境的影响

温瑞塘河流域所在地区是温州城市发展的中心地带和活跃区, 由于其强力的集聚效应和经济高速发展对劳动力的需求, 使人口不断向该区域集中, 造成了诸多社会和环境问题, 比如居住空间狭小、城市交通拥挤、环境质量恶化等问题. 利用行政区内采样点的水质参数与相应的人口密度做相关分析, 结果显示人口密度与 pH、氨氮呈正相关, 相关系数分别为 0.443、0.456; 与 DO 呈负相关, 相关系数为 -0.512 ($P<0.05$). 温瑞塘河流域流过的区域正是温州市人口最为集中的区域, 且还在不断增长, 这种现状和趋势给流域内水环境造成了严重的影响.

3.4 调水对水质的影响

温州市近年来大量进行生态调水措施降低塘河的污染负荷, 即打开闸门, 运用上游的清水把塘河冲刷干净. 对 6 月勤奋河调水之后的样品进行水质分析, 把此采样点水质历年平均值当成是生态调水之前的浓度值, 再与调水之后的浓度值进行比较. 从图 5 中可以得到生态调水后的第 3 d, 氨氮浓度值降

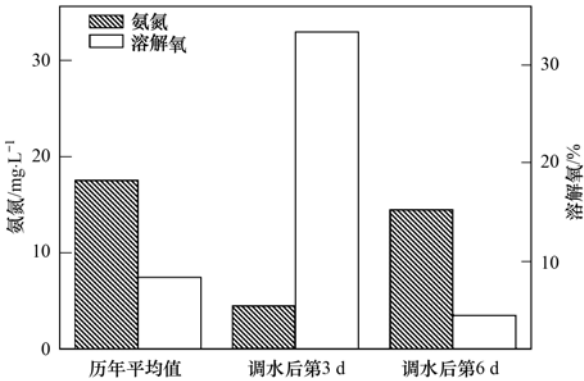


图 5 靠近勤奋水闸处生态调水前后氨氮和溶解氧的变化

Fig. 5 Concentration change of NH_4^+-N and DO before and after water transfer

低,溶解氧百分比含量升高,但是氨氮浓度仍然超过Ⅴ类水环境质量标准(GB 3838-2002)的2倍;调水后第6天氨氮浓度值上升到 $15.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,溶解氧的百分比含量降低到Ⅴ类水标准,水环境质量恢复到原来污染水平。这与王玉铜等^[33]研究得出的结论一致:温瑞塘河进行引瓯江潮水冲污可以短时间内改善区域水环境。可见,调水在一定程度上缓解了水环境恶化的现象。

4 结论

(1)综合主成分分析的结果,丰水期大于0.9的参数有TN、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ -N;平水期大于0.9的参数有TN、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ -N、TOC;枯水期TN、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ -N是主要的污染物。总的来说,TN、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ -N是温瑞塘河流域主要的污染物物质。

(2)温瑞塘河水质在时空分布上具有一定的时空分异性。水质污染程度在时间上是枯水期>平水期>丰水期;污染程度在空间上三级河道>二级河道>一级河道,但是无论几级河道市区的水质都劣于郊区和湿地。

(3)流域内的水环境质量受人类活动的影响较大。工业废水和生活污水的直排是导致河水水质恶化的主要原因。人口的密集度是导致水质恶化的间接原因。另外,绿化用地和调水可改善水质,城建用地可恶化水质。

致谢:感谢水域科学与生态研究所EGIS重点实验室(温州医科大学)对本研究的支持。张明华教授、商栩教授、龙碧波等在硕士研究生期间在采样和实验方面提供的帮助,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] Vega M, Pardo R, Barrado E, *et al.* Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis [J]. *Water Research*, 1998, **32**(12): 3581-3592.
- [2] Alberti M, Booth D, Hill K, *et al.* The impact of urban patterns on aquatic ecosystems: an empirical analysis on Puget lowland sub-basins[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, **80**(4): 345-361.
- [3] Uuemaa E, Roosaare J, Mander Ü. Scale dependence of landscape metrics and their indicator value for nutrient and organic matter losses from catchments[J]. *Ecological Indicators*, 2005, **5**(4): 350-369.
- [4] Lee S W, Hwang S J, Lee S B, *et al.* Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, **92**(2): 80-89.
- [5] Eganhouse R P, Sherblom P M. Anthropogenic organic contaminants in the effluent of a combined sewer overflow: impact on Boston Harbor[J]. *Marine Environmental Research*, 2001, **51**(1): 51-74.
- [6] Singh K P, Malik A, Sinha S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques-a case study [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2005, **538**(1-2): 355-374.
- [7] 王天阳, 王国祥. 昆承湖水水质参数空间分布特征研究[J]. *环境科学学报*, 2007, **27**(8): 1384-1390.
- [8] Noori R, Sabahi M S, Karbassi A R, *et al.* Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set [J]. *Desalination*, 2010, **260**(1-3): 129-136.
- [9] Olsen R L, Chappell R W, Loftis J C. Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis—literature review and Illinois River Watershed case study [J]. *Water Research*, 2012, **46**(9): 3110-3122.
- [10] Sun X Y, Zhou Q X, Ren W J, *et al.* Spatial and temporal distribution of acetochlor in sediments and riparian soils of the Songhua River Basin in northeastern China [J]. *Journal of Environment Science*, 2011, **23**(10): 1684-1690.
- [11] Ouyang Y. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis [J]. *Water Research*, 2005, **39**(12): 2621-2635.
- [12] Vialle C, Sablayrolles C, Lovera M, *et al.* Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis [J]. *Water Research*, 2011, **45**(12): 3765-3775.
- [13] Lu P, Mei K, Zhang Y J, *et al.* Spatial and temporal variations of nitrogen pollution in Wen-Rui Tang River watershed, Zhejiang, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, **180**(1-4): 501-520.
- [14] Yang L P, Mei K, Liu X M, *et al.* Spatial distribution and source apportionment of water pollution in different administrative zones of Wen-Rui-Tang (WRT) river watershed, China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, **20**(8): 5341-5352.
- [15] Ma X X, Shang X, Wang L C, *et al.* Innovative approach for the development of a water quality identification index—a case study from the Wen-Rui Tang River watershed, China [J]. *Desalination and Water Treatment*, 2014, doi: 10.1080/19443994.2014.925829.
- [16] HJ 495-2009, 水质 采样方案设计技术规范[S].
- [17] 沈清基, 方芳. 城市河流地区生态环境规划研究——以温瑞塘河为例[J]. *现代城市研究*, 2004, **19**(9): 42-49.
- [18] 龙碧波. 温瑞塘河氮动力学研究[D]. 温州: 温州医学院, 2010.
- [19] 崔长远. 温瑞塘河流域有机污染综合指标及浮游植物初级生产力现状研究[D]. 温州: 温州医学院, 2011.
- [20] 朱星宇, 陈勇强. SPSS 多元统计分析方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [21] Liu C W, Lin K H, Kuo Y M. Application of factor analysis in

- the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan[J]. *Science of the Total Environment*, 2003, **313**(1-3): 77-89.
- [22] 李文赞, 李叙勇, 王慧亮, 等. 滏阳河主要水环境污染物空间分布特性研究[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(11): 2814-2819.
- [23] 苏玉, 文航, 王东伟, 等. 太湖武进港区域浮游植物群落特征及其主要水质污染影响因子分析[J]. *环境科学*, 2011, **32**(7): 1945-1951.
- [24] 杜耘, 陈萍, Kieko S, 等. 洪湖水环境现状及主导因子分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2005, **14**(4): 481-485.
- [25] Chang H. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea[J]. *Water Research*, 2008, **42**(13): 3285-3304.
- [26] 方晓波, 骆林平, 李松, 等. 钱塘江兰溪段地表水质季节变化特征及源解析[J]. *环境科学学报*, 2013, **33**(7): 1980-1988.
- [27] 赵洁, 徐宗学, 刘星才, 等. 辽河河流水体污染源解析[J]. *中国环境科学*, 2013, **33**(5): 838-842.
- [28] 温州市环保局. 2005 年温州市环境状况公报[R]. 温州: 2005.
- [29] 赵志旭. 温瑞塘河、鳌江富营养化现状研究[D]. 温州: 温州医学院, 2009.
- [30] 温州市环保局. 2008 年温州市环境状况公报[R]. 温州: 2008.
- [31] Hertler H, Boettner A R, Ramírez-Toro G I, *et al.* Spatial variability associated with shifting land use: Water quality and sediment metals in La Parguera, Southwest Puerto Rico [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, **58**(5): 672-678.
- [32] Sliva L, Williams D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality [J]. *Water Research*, 2001, **35**(14): 3462-3472.
- [33] 王玉铜, 陈才明, 曾广恩. 温州市区河道纳潮冲污试验分析[J]. *浙江水利科技*, 2009, (4): 17-19.

CONTENTS

Ozone Source Apportionment at Urban Area during a Typical Photochemical Pollution Episode in the Summer of 2013 in the Yangtze River Delta	LI Hao, LI Li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen	XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, <i>et al.</i> (11)
Temporal and Spatial Characteristics of Atmospheric NO ₂ over Hainan Island and the Pollutant Sources in Recent 10 Years	FU Chuan-bo, CHEN You-long, DAN Li, <i>et al.</i> (18)
Composition of Organic Carbon/Elemental Carbon and Water-soluble Ions in Rice Straw Burning	HONG Lei, LIU Gang, YANG Meng, <i>et al.</i> (25)
Gas Chromatography with a Pulsed Discharge Helium Ionization Detector for Measurement of Molecular Hydrogen(H ₂) in the Atmosphere	LUAN Tian, FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (34)
Partial Pressure of CO ₂ and CO ₂ Degassing Fluxes of Huayankou and Xiaolangdi Station Affected by Xiaolangdi Reservoir	ZHANG Yong-ling, YANG Xiao-lin, ZHANG Dong (40)
Distribution of Biogenic Organic Dimethylated Sulfur Compounds and Its Influencing Factors in the East China Sea in Summer	LI Jiang-ping, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (49)
Remote Sensing Estimation of Total Suspended Matter Concentration in Xin'anjiang Reservoir Using Landsat 8 Data	ZHANG Yi-bo, ZHANG Yun-lin, ZHA Yong, <i>et al.</i> (56)
Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenritang River Watershed	MA Xiao-xue, WANG La-chun, LIAO Ling-ling (64)
Effect of Hydrochemistry Characteristics Under Impact of Human Activity: A Case Study in the upper Reaches of the Xijiang River Basin	YU Shi, SUN Ping-an, DU Wen-yue, <i>et al.</i> (72)
Annual Variation of Different Phosphorus Forms and Response of Algae Growth in Meiliang Bay of Taihu Lake	WANG Ming, WU Xiao-fei, LI Da-peng, <i>et al.</i> (80)
Distribution of Transferable Nitrogen in Poyang Lake Sediments and Its Response to the Variation of River-Lake Relationship	SHEN Hong-yan, ZHANG Mian-mian, NI Zhao-kui, <i>et al.</i> (87)
Effect of Environmental Factors on Macroinvertebrate Community Structure in the Huntai River Basin in the Huntai River Basin	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue (94)
Effects of Outbreak and Extinction of Algal Blooms on the Microbial Community Structure in Sediments of Chaohu Lake	DIAO Xiao-jun, LI Yi-wei, WANG Shu-guang (107)
Impacts of Algal Blooms Accumulation on Physiological Ecology of Water Hyacinth	WU Ting-ting, LIU Guo-feng, HAN Shi-qun, <i>et al.</i> (114)
Speciation and Spatial-temporal Variation of Mercury in the Xiaolangdi Reservoir	CHENG Liu, MAO Yu-xiang, MA Bing-juan, <i>et al.</i> (121)
Spatial Distribution of Mercury in Soils of a Typical Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (130)
Temporal and Spatial Variation of Mercury in Water of Agro-forestry and Livestock Compound Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZHAO Zheng, WANG Ya, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (136)
Effect of External Condition on the Static Migration and Release of Dibutyl-phthalate in the Soil of the Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir to the Overlying Water	SONG Jiao-yan, MU Zhi-jian, WANG Qiang, <i>et al.</i> (143)
Ultraviolet-Visible(UV-Vis) and Fluorescence Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter(DOM) in Soils of Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Region	GAO Jie, JIANG Tao, LI Lu-lu, <i>et al.</i> (151)
Characterization of Chromophoric Dissolved Organic Matter(CDOM) in Zhoushan Fishery Using Excitation-Emission Matrix Spectroscopy(EEMs) and Parallel Factor Analysis(PARAFAC)	ZHOU Qian-qian, SU Rong-guo, BAI Ying, <i>et al.</i> (163)
Pollution Characteristics and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Groundwater at Xiaodian Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LI Jia-le, ZHANG Cai-xiang, WANG Yan-xin, <i>et al.</i> (172)
Risk Assessment and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments of Xinglin Bay Suburb Rivers of Xiamen	CHENG Qi-ming, HUANG Qing, LIAO Zhen-ni, <i>et al.</i> (179)
Comparative Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment of Groundwater Pollution: A Case Study in Beijing Plain	WANG Hong-na, HE Jiang-tao, MA Wen-jie, <i>et al.</i> (186)
Transportation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Water-Soil from the Riparian Zone of Daye Lake, China	ZHANG Jia-quan, LI Xiu, ZHANG Quan-fa, <i>et al.</i> (194)
Arsenic Removal by Coagulation Process and the Field Expanding Experiments for Yangzonghai Lake	CHEN Jing, ZHANG Shu, YANG Xiang-jun, <i>et al.</i> (202)
Efficient Oxidative Degradation of Tetrabromobisphenol A by Silver Bismuth Oxide	CHEN Man-tang, SONG Zhou, WANG Nan, <i>et al.</i> (209)
Removal of Tetracycline by a Kind of Nano-Sized Amorphous Carbon	WU Yi-xiao, LI Ai-min, WANG Di-hua, <i>et al.</i> (215)
Adsorption Behavior of Anionic Dyes onto Magnetic Chitosan Derivatives	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, ZHAO Yan, <i>et al.</i> (221)
Forming Mechanism of Humic Acid-Kaolin Complexes and the Adsorption of Trichloroethylene	ZHU Xiao-jing, HE Jiang-tao, SU Si-hui (227)
Impact on the Microbial Community of Municipal Sewage in the ANAMMOX System During the Cooling Process	ZHAO Zhi-rui, MIAO Zhi-jia, LI Duo, <i>et al.</i> (237)
Application of FISH-NanoSIMS Technique in Environmental Microbial Ecology Study	CHEN Chen, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (244)
Influence of Microcystin-LR on Cell Viability and Surface Characteristics of <i>Pseudomonas putida</i>	DENG Ting-jin, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i> (252)
Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions	ZENG Su, LI Nan-hua, SHENG Hong-chan, <i>et al.</i> (259)
Distribution and Enrichment Characteristics of Organochlorine Pesticides in Water and Halobios from Qingbang Island in Zhoushan, China	ZHANG Ze-zhou, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i> (266)
Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province	ZHOU Ying, SUN Yi-ming, JIN Jun, <i>et al.</i> (274)
Effects of Single and Co-Exposure of Cu and Chlorpyrifos on the Toxicity of Earthworm	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, WANG Nan, <i>et al.</i> (280)
Effect of Exogenous Selenium on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Cucumber(<i>Cucumis sativus</i> L.)	XIONG Shi-juan, LIU Jun, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (286)
Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen	HONG Zhen-yu, HONG You-wei, YIN Li-qian, <i>et al.</i> (295)
Spatial Distribution of Se in Soils from Different Land Use Types and Its Influencing Factors Within the Yanghe Watershed, China	SHANG Jing-min, LUO Wei, WU Guang-hong, <i>et al.</i> (301)
Immobilization Impact of Different Fixatives on Heavy Metals Contaminated Soil	WU Lie-shan, ZENG Dong-mei, MO Xiao-rong, <i>et al.</i> (309)
Form Tendency and Bio-availability Dynamics of Cu and Zn in Different Farm Soils After Application of Organic Fertilizer of Livestock and Poultry Manures	SHANG He-ping, LI Yang, ZHANG Tao, <i>et al.</i> (314)
Analysis of Composition Characteristics of Municipal Solid Waste in South China	ZHANG Hai-long, LI Xiang-ping, QI Jian-ying, <i>et al.</i> (325)
Sewage Sludge Conditioning by Bioleaching Combined with Fenton-like Oxidation	LIU Chang-geng, ZHANG Pan-yue, JIANG Jiao-jiao, <i>et al.</i> (333)
Applicability of Bisphenol A Detection by a Planar Waveguide Fluorescent Biosensor	XU Wei-qi, ZHANG Yong-ming, ZHOU Xiao-hong, <i>et al.</i> (338)
A New "Turn-on" Fluorescent Probe for Visual Detection of Hydrogen Sulfide	LIU Chun-xia, MA Xing, WEI Guo-hua, <i>et al.</i> (343)
Analysis of Sap Flow Characteristics of the Chinese Pine in Typical Loess Plateau Region of China	ZHANG Han-dan, WEI Wei, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (349)
Simultaneous Production of Hydrogen and Volatile Fatty Acid from <i>Macrocystis pyrifera</i>	ZHAO Xiao-xian, FAN Xiao-lei, GUO Rong-bo, <i>et al.</i> (357)
Behaviors of Engineered Nanoparticles in Aquatic Environments and Impacts on Marine Phytoplankton	LI Man-lu, JIANG Yue-lu (365)

《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)

2015年1月15日 第36卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 1 Jan. 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. 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: 120.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行