宿州市沱河段水质时间变化及影响因素研究

季定民[1]，张 勃[1]，黄淑玲[2]，张建香[1]，杨尚武[1]，周 丹[1]
(1. 西北师范大学 地理与环境科学学院，甘肃 兰州 730070；2. 宿州学院 地球科学与工程学院，安徽 宿州 234000)

摘 要：通过对宿州市沱河段沿岸实地调查，以沱河东关闸断面为采样点，分时段采集样品，并以沱河东关闸断面 2004—2009 年的连续监测资料为基础，对水质污染物主要指标进行了分析。监测的水质指标包括溶解氧(DO)、生化需氧量(BOD)、化学需氧量(COD)、氨氮(NH_3—N)、总氮(TN)、总磷(TP)。采用单因子评价，基于直观图解、线性趋势分析和季节性 Kendall 检验法，探究了沱河水质污染的年内及年际变化趋势，并分析影响水质变化的主要因素，提出了相关保护对策。结果表明：(1) 年内水质变化显著，DO，NH_3—N 和 TP 在冬季含量偏高，TN 和 COD 在春、秋季含量较高，BOD 在夏季含量偏高。(2) 年际变化方面，BOD，NH_3—N 和 TN 均呈显著下降趋势，COD 呈不明显下降趋势，DO 和 TP 无明显变化趋势。总体来说，宿州市沱河段水质状况处于不断改善之中。

关键词：河流污染；水质变化；宿州市沱河段
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2013)06-0308-05 **中图分类号**：X522

Time Variation and Influence Factors of Water Quality of Tuohe River Section in Suzhou City

JI Ding-min[1], ZHANG Bo[1], HUANG Shu-ling[2], ZHANG Jian-xiang[1], YANG Shang-wu[1], ZHOU Dan[1]
(1. *Geography and Environment College, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*; 2. *School of Earth Science and Engineering, Suzhou University, Suzhou, Anhui* 234000, *China*)

Abstract: By investigating Tuohe River section in Suzhou City, this study used the Dongguanzha station as the sampling point to analyze the main index of water quality based on the continuous monitoring data of Tuohe River from 2004 to 2009. The monitored water quality indicators are DO, BOD, COD, NH_3—N, TN and TP. Based on the method of single factor evaluation, the intuitive graphical interpretation, the linear trend analysis and seasonal Kendall test were used to explore the seasonal and interannual trends of water pollution of Tuohe River. The results indicated that: (1) Water quality changed significantly during a year, the content of DO, NH_3—N and TP were higher in winter, while TN and COD were higher in spring and autumn, and the BOD content was higher in summer. (2) The inter-annual variations of BOD, NH_3—N and TN showed significantly downtrend, while there was no obvious change about COD. In general, water quality of Tuohe River section in Suzhou City is becoming better.

Keywords: River pollution; water quality change; Tuohe River section in Suzhou City

进入 21 世纪，水环境问题变得十分严峻，严重制约了区域经济的发展。目前，世界各国都加大了对河流水质污染的治理力度。国内外学者对河流水质污染都进行了大量研究，主要集中在水质污染原因、防治和变化趋势等方面，河流的污染不仅使其本身的经济、生态、环境功能下降，同时也是其受纳水体(高一级河流、湖泊、水库、海湾等)污染的重要原因[1-2]。随着国民经济的发展，工农业生产和城市化水平发展迅速，城市生活污水和工业废水的排放，以及农业生产中化肥、农药的使用，造成许多河流受到不同程度的污染[3]。因此，探索解决流域水污染问题对于流域水资源的可持续利用，社会经济的可持续发展具有重要的理论和现实意义[4-5]。目前常用的方法是对单项污染指标采用简单直观的图解法、基于参数检验的回归分析法以及非参数检验方法进行水质变化趋势研究[6]。

沱河作为淮河的一条主要支流，其水质变化直接影响到淮河流域水污染防治。同时，作为宿州市的一条重要河流，是宿州市的主要纳污水体，其水质也因

收稿日期：2012-11-30 修回日期：2013-02-06
资助项目：国家自然科学基金项目“水资源约束下的黑河流域土地利用/覆盖变化模拟研究”(40961038)；生态经济学省级重点学科(5001-02)；西北师范大学知识与科技创新工程项目(NWNU-KJCXGC-03-66)
作者简介：季定民(1988—)，男(汉族)，安徽省庐江县人，硕士研究生，主要从事区域环境与资源开发研究。E-mail：jidingmin@163.com。
通讯作者：张勃(1963—)，男(汉族)，甘肃省华池县人，教授，博士生导师，主要从事区域环境与资源开发研究。E-mail：zhangbo@nwnu.edu.cn。

受到了不同程度的污染而发生变化。特别是在不同年份、不同季节,沱河水质变化过程比较明显。目前,黄淑玲等[7]人对宿州市沱河段水质污染做了研究,提出了宿州市沱河段水质污染防治对策,为该区域生态环境建设和流域经济的可持续发展提供了一定的依据。同时,在宿州市沱河段水环境容量研究中,黄淑玲等[8]认为沱河总体上水质良好,大部分河段存在剩余水环境容量。综合该区域已有研究,发现对沱河段水质变化趋势的相关研究较少。本研究通过对宿州市沱河段水质指标进行分析,探究水质时间变化趋势及影响因素,为有关部门保护沱河生态环境以及流域水污染综合治理提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　沱河及其流域概况

沱河又称为交水,是淮河的一条主要支流,发源于河南省商丘市李堤口西,流经虞城、夏邑、永城,至王庄进入安徽省,在五河县西南注入淮河,全长 275.13 km,流域面积 8 500 km^2。宿州市沱河段起于沱河进水闸,终于外环南路,全长 12.7 km,水域面积约 0.45 km^2,是宿州市的一条重要河流。沱河属于华北型河流,水源补给以降水为主,3—4 月份上游河冰解冻水位开始上升,6 月下旬至 9 月份全流域降水丰富,径流量增大,为河流丰水时期。宿州市处在黄淮海平原南端,气候类型为暖温带季风气候,年降水量约为 800 mm,雨季多暴雨、降水变率大。水资源总量 3.48×10^9 m^3,人均水资源量 602 m^3,属于北方缺水地区。作为皖北重要城市,2010 年统计人口约为 535 万人,境内自然资源丰富,农产品主要有小麦、玉米和大豆,地下矿产资源中,煤储量约为 6.0×10^9 t,黄口油田石油预测储量达 2.0×10^9 t 以上,宿南煤层气已探明储量达 3.0×10^{11} m^3。在经济发展上,宿州市以传统产业为增长引擎,煤炭工业和农业为主导产业。

1.2　数据来源及方法

东关闸断面位于宿州市主城区边缘地带,河流两岸为城区和农业区。根据沱河段污染物的主要来源及取样条件,选择东关闸断面为取样点,并依据沱河水质状况和主要污染因子,选取水质监测指标:DO(溶解氧),BOD(生化需氧量),COD(化学需氧量),NH_3—N(氨氮),TN(总氮),TP(总磷)。2004—2009 年共采集了 6 年水质样本,样本数据在宿州市水利勘测设计院分析完成。采用单因子分析与评价,首先对各指标做变异系数,分析水质时间变化特征,再利用相关性分析相邻年份年内变化趋势,基于水质指标各年份春、夏、秋、冬四个季节的平均值,采用图解法分析年内季节变化,一元线性回归分析和季节性 Kendall 检验分析水质年际变化趋势。

2　结果与分析

2.1　沱河段水质的时间变化特征

对 2004—2009 年沱河段水质指标进行变异系数分析。从表 1 中可以看出,DO 的变异系数在 2004—2007 年较大,2008—2009 年下降至约 0.2,表明 DO 近两年的变化幅度不大。BOD 在 2004 和 2008 年变异系数值均大于 0.5,其余年份的变化相对来说不太明显。COD 的变异系数基本呈逐年下降趋势,表明其近几年的变化幅度越来越小。NH_3—N 和 TN 的变异系数均较大,尤其是氨氮,在 2006 年最高值是最低值的 1 245 倍,只有 2007 年的变化不明显。TP 变化也比较明显,2007—2008 年变异系数偏大,2007 年总磷的最高值是最低值的 21 倍。总的来说,宿州市沱河段水质随时间变化趋势比较明显。

表 1　沱河段水质指标在 2004－2009 年变异系数

年 份	溶解氧 DO	生化需氧量 BOD	化学需氧量 COD	NH_3—N	TN	TP
2004 年	0.42	0.65	0.88	1.03	1.06	0.37
2005 年	0.54	0.42	0.46	0.76	0.74	0.15
2006 年	0.43	0.33	0.23	2.00	0.80	0.34
2007 年	0.40	0.28	0.19	0.11	0.23	1.26
2008 年	0.24	0.54	0.30	0.91	0.41	0.86
2009 年	0.25	0.34	0.16	0.74	0.41	0.33

2.2　沱河段水质的年内变化

2.2.1　相邻年份年内变化　对水质指标相邻年份的年内变化趋势在 SPSS 软件中进行相关性分析(表 2),DO 和 BOD 均在 2008—2009 年为极显著相关,说明其近两年的年内变化趋势非常一致。TN 在 2007—2008 年为显著相关,年内变化趋势基本一致。其它指标的相关性较差,没有通过置信度检验,相邻年份的年内变化趋势不一致。

表 2　水质指标相邻年份相关性系数

相邻年份	溶解氧 DO	生化需氧量 BOD	化学需氧量 COD	NH_3—N	TN	TP
2004—2005	0.68	0.11	0.05	−0.21	−0.65	−0.76
2005—2006	0.64	0.47	−0.18	0.28	−0.17	0.58
2006—2007	0.78	0.05	−0.78	−0.80	−0.17	0.59
2007—2008	−0.12	0.91*	0.49	−0.77	0.89*	0.46
2008—2009	0.99**	0.95**	0.44	−0.13	−0.30	−0.36

注:**表示极显著相关(置信度 $p\leqslant0.01$),*表示显著相关(置信度 $p\leqslant0.05$)。

2.2.2 年内季节变化 由图 1 可以看出，DO 含量在冬季最高，春季次之，全年均处在地表水环境质量合理范围内（Ⅰ—Ⅲ类）。BOD 和 COD 含量在各季节均偏高，达地表水Ⅳ—Ⅴ类标准。NH_3—N 含量在冬季较高，夏季和秋季次之，均达地表水 IV 类标准，仅在春季为合理范围内。TN 含量在春季最高，且各季节均超标，达地表水Ⅳ—Ⅴ类标准。TP 含量在秋季和冬季较高，达地表水 IV 类标准，春季和夏季为合理范围。总体来说，DO 较合理；BOD，COD 和 TN 表现最差；TP 和 NH_3—N 次之。

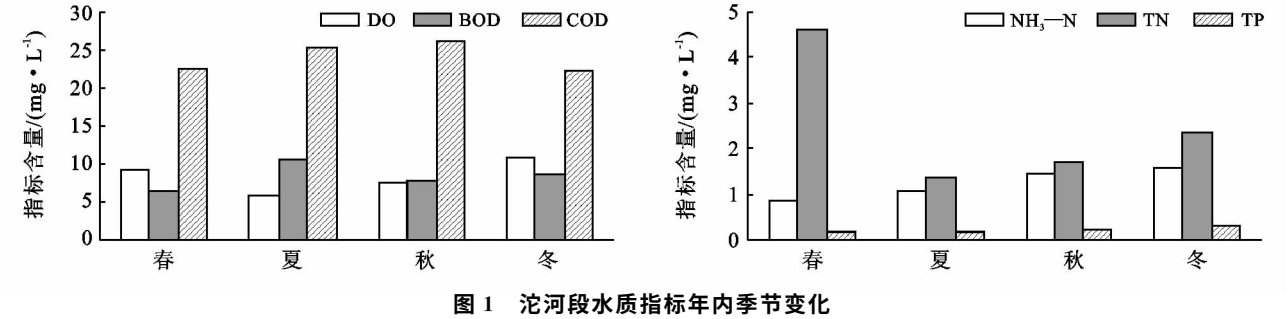


图 1 沱河段水质指标年内季节变化

2.3 沱河段水质的年际变化

2.3.1 一元线性回归分析 利用线性趋势分析法[9]，基于各年份春、夏、秋、冬季的平均值，分析河段水质近 6 a 的变化趋势，并用 t 检验法检验回归效果的显著性。

由图 2 知，BOD 和 NH_3—N 的变化倾斜率分别为－0.344 5 和－0.251 5（均通过了 0.01 显著性水平检验），为极显著下降趋势。TN 的变化倾斜率为－0.249（通过了 0.05 的显著性水平检验），为显著下降趋势。而 DO，COD 和 TP 的变化倾斜率分别为 0.134 6，－0.387 2 和 0.000 7，均没有通过显著性水平检验，变化趋势不显著。

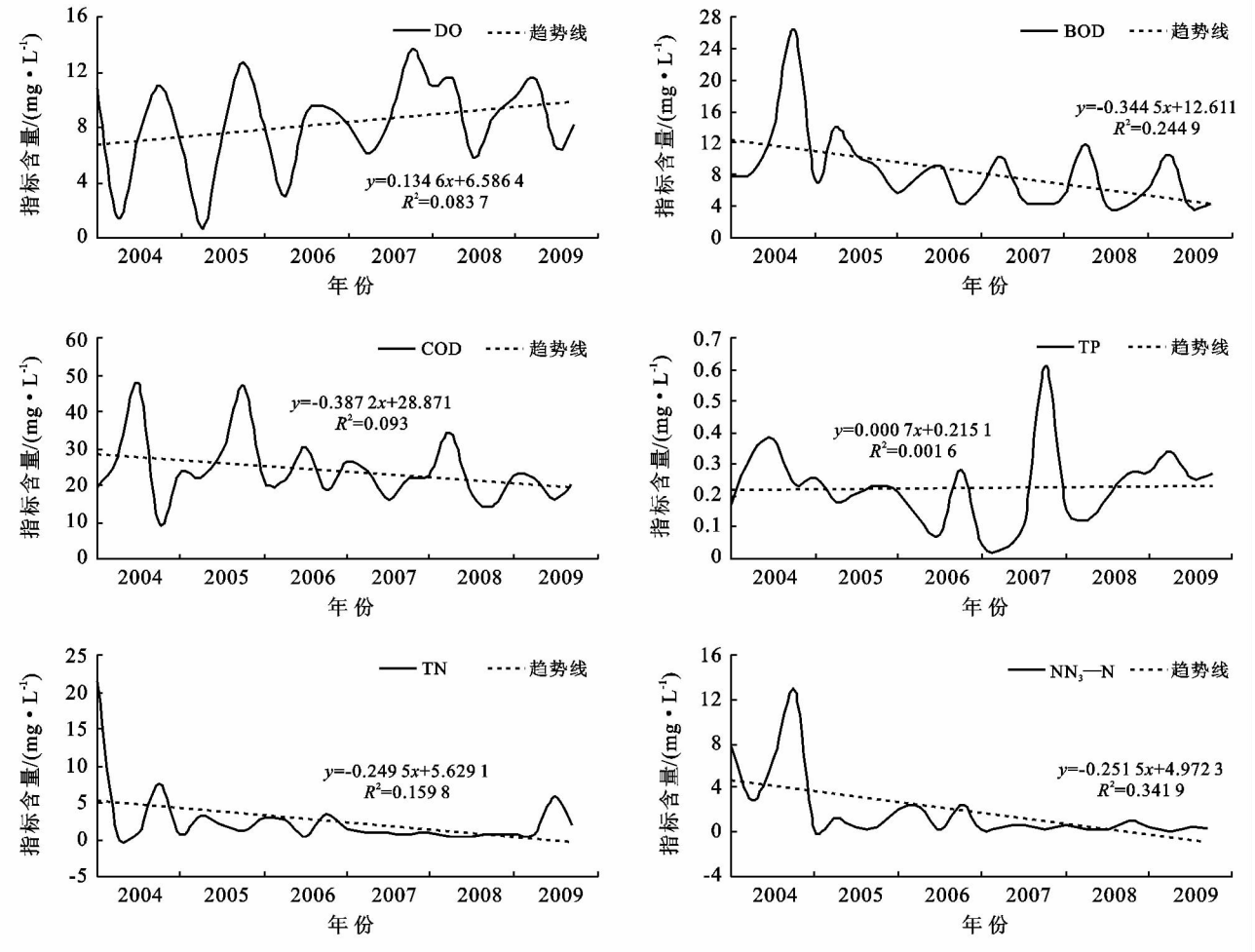


图 2 沱河段 2004－2009 年水质指标线性趋势

2.3.2　季节性 Kendall 检验分析　季节性 Kendall 检验是 M—K 趋势检验的一种推广，属于非参数趋势检验方法，由 Hirsch[10-11] 等在 1982 年提出，此后被迅速应用于水质变化趋势分析中，主要应用于数据不完整，数据值精度不高，数据值有随季节变化规律的多年时间变化趋势分析，时间序列一般以 5～10 a 为宜[12-13]。本研究时间序列为 6 a，水质指标各季节均有监测，适合应用季节性 Kendall 检验方法分析，其具体方法不再赘述。

从表 3 中可以看出，BOD 和 TN 的年际变化均为高度显著下降趋势（通过 0.01 显著性水平检验）。NH_3—N 为显著下降趋势（通过 0.1 显著性水平检验）。DO，COD 和 TP 未通过检验，均无明显下降趋势。对比季节性 Kendall 检验和一元线性回归分析发现，BOD，NH_3—N 和 TN 的年际变化均为显著下降趋势，DO，COD 和 TP 的年际变化趋势均不显著。其中，COD 的年际变化大致为不明显下降趋势，DO 和 TP 无明显变化趋势。

表 3　沱河段水质指标季节性 Kendall 检验统计量

统计指标	溶解氧 DO	生化需氧量 BOD	化学需氧量 COD	NH_3—N	TN	TP
统计量 S	15	−36	−14	−24	−34	−12
标准方差 Z	−1.15	−2.95**	−1.16	−1.88*	−2.70**	−0.90
显著性 α	0.25	0.00	0.25	0.06	0.00	0.37

注：** 表示通过显著性水平 $\alpha \leqslant 0.01$ 检验，* 表示通过显著性水平 $0.01 < \alpha \leqslant 0.1$ 检验。

2.4　沱河段水质的影响因素

2.4.1　自然因素　沱河补给来源以降水为主，河流水量大小受降水严格制约，根据降水量把沱河划分为丰水期、平水期和枯水期（数据来源于中国气象科学数据共享服务网 http://cdc.cma.gov.cn）。从 1961—2011 年近 50 a 降水分布来看，沱河年平均降水量为 864.4 mm，2004—2009 年的年平均降水量为 981.7 mm。其中，2004 年降水量偏少，只有 570.0 mm；而 2005 和 2007 年降水量偏多，分别达 1 440.7 和 1 321.1 mm；2006，2008 和 2009 年降水量均为平均水平。从 2004—2009 年各月降水量分布来看，沱河在春季（3—5 月）平均降水量为 142.8 mm，夏季（6—8 月）为 573.8 mm，秋季（9—11 月）为 212.46 mm，冬季（12，1 和 2 月）为 52.7 mm。从沱河水量在整个径流系列变化中可以看出，近 6 a 水量一直在丰、平、枯之间波动，2005 和 2007 年为丰水年，水量较大；2004 年为枯水年，水量偏小；而 2006，2008 和 2009 年为平水年。各季节水量变化表现为夏季径流量最大，为丰水季节；春季和秋季径流量次之，为平水季节；冬季径流量最小，为枯水季节。根据水质指标年际变化（图 2），沱河段水质年际波动明显，在枯水年 2004 年污染较严重，主要污染指标均偏高，此后污染程度呈逐年下降趋势。年内季节变化上（图 1），DO，NH_3—N 和 TP 在枯水季节含量偏高，TN 和 COD 也在河流水量较小的平水季节含量偏高，而在丰水季节，TN 和 DO 含量低，NH_3—N 和 TP 的含量也较低。主要水质指标均在河流水量较小的时期污染严重，表明沱河段水质污染状况受河流水文要素影响比较明显。

2.4.2　人文因素　（1）年内变化因素。河段内 NH_3—N 主要来自工业废水排放，冬季含量偏高（枯水期），春季稍低，可能与年初企业生产没有恢复有关，排放的工业废水较少。同时发现 BOD 受 NH_3—N 影响比较明显，BOD 与 NH_3—N 的相关系数为 0.56（通过了 0.01 的置信度检验）。BOD 在夏季含量偏高，这时由于氮、磷及各种有机质含量丰富，水生生物生长旺盛，大量消耗水体中溶解氧。TN 在冬、春季含量偏高，说明沱河段氮素主要来自点源污染，这与近年来宿州市积极招商引资，引进的企业有不少是污染较大的传统企业有关。另外，NH_3—N 和 TN 含量在春季相差特别大，表明也存在农业面源污染影响，春季降水开始增多，该区由于地表植被覆盖率低，农业上使用的化肥及农药中含有的各种氮素残存在土壤中，随着地表水和地下水流渗到沱河中，加上春季气温回升，沱河底泥释放部分氮素，使得 TN 比 NH_3—N 含量明显偏高。COD 主要来自工业废水排放，各季节含量均较高，与工厂排放的废水达标率有一定关系，宿州市工厂污水处理设施落后，2009 年统计的汇总企业数有 100 个，废水处理设施仅有 81 个[14]。TP 含量在冬季偏高，主要受城市生活污水排放影响，该季节水生生物死亡，对氮、磷吸收利用减少，河流水环境容量小。（2）年际变化因素。一方面，与入河污染物排放量减少有关。研究河段内 COD 排放量在 2005 年为 72 790 t，到 2009 年减少为 3 525 t，年均减少 17 316 t；NH_3—N 排放量在 2005 年为 4 702 t，到 2009 年减少为 480 t，减少趋势也非常明显；氮肥在 2003 年使用量为 1.90×10^5 t，到 2009 年减少为 1.23×10^5 t[14]。另一方面，宿州市也积极响应国家环保要求，对沱河段进行了初步整治。宿州市政府对沱河段

进行了景观带改造，总投资 1.5 亿元，两侧建有平均宽度为 70 m 的园林带[8]，有效地保护了沱河段的生态环境。

2.5 防治对策

随着社会经济的发展和人民生活水平的不断提高，环境质量将是直接关系到社会安定、经济建设和子孙后代健康的重大问题[15]。为有效保护沱河段的水环境，提出相关对策建议。(1) 提高居民环保意识。当前，诸如生态环境破坏、流域污染、水体富营养化，无不是因人类活动及随意排放各种污染物所引起的。而居民环保意识的提高，可以有效减轻对生态环境破坏的压力。从源头上保护好沱河的生态环境，宿州市政府应在提升居民环保意识方面加大宣传力度。(2) 控制入河污染物排放。河流水环境容量的变化主要是受工业三废和生活污水排放的影响。目前，许多城市都在严格控制入河污染物排放，取得了一定成效。宿州市政府须制定出一些法规措施，使各企业排放的废污水达到排污要求。同时，对居民小区生活污水也应进行有效监管，以避免给河流造成二次污染。(3) 加强污水处理设施建设。近年来，宿州市经济发展迅速，引进的企业有不少是污染较大的传统企业。为有效保护好沱河生态环境，在各工业园区应加强污水处理设施建设，以提高工业废水排放达标率。

3 结 论

(1) 宿州市沱河段水质状况年内变化显著，DO，NH_3—N 和 TP 在冬季含量偏高，TN 和 COD 在春、秋季含量较高，BOD 在夏季含量偏高；年际变化方面，BOD，NH_3—N 和 TN 均为显著下降趋势，COD 为不明显下降趋势，DO 和 TP 无明显变化趋势。

(2) 水质年内变化一方面受河流水文要素制约，另一方面也受到点源污染影响，主要水质指标年际下降的原因是污染物排放量减少，也与宿州市政府加大环境保护力度有关。

致谢：黄淑玲老师在数据采集上提供了帮助并对本文给予了指导，在此表示衷心感谢！

[参 考 文 献]

[1] Thieu V, Billen G, Garnier J. Nutrient transfer in three contrasting NW European watersheds: The Seine, Somme, and Scheldt rivers: A comparative application of the Seneque/Riverstrahler model [J]. Water Research, 2009, 43(6):1740-1754.

[2] Withers P J A, Sharpley A N. Characterization and apportionment of nutrient and sediment sources in catchments[J]. Journal of Hydrology, 2008, 350(3):127-130.

[3] 储茵，朱江，夏守先，等. 巢湖典型支流柘皋河水质污染时空变化特征[J]. 水土保持学报，2011，25(4)：243-248.

[4] 金树权，吕军，陈丁江，等. 曹娥江三典型支流的水质对比研究[J]. 水土保持学报，2006，20(5)：121-125.

[5] 吴莎. 贵州省河流污染特征及影响因素分析[J]. 地球与环境，2010，38(2)：230-234.

[6] 岳隽，王仰麟，李正国，等. 河流水质时空变化及其受土地利用影响的研究：以深圳市主要河流为例[J]. 水科学进展，2006，17(3)：359-364.

[7] 黄淑玲，张勇，职绚绚. 宿州市沱河段水质污染防治对策分析[J]. 宿州学院学报，2009，24(6)：100-102.

[8] 黄淑玲，张勇. 宿州市沱河段水环境容量研究[J]. 安徽科技学院学报，2010，24(3)：22-25.

[9] 廖杰，汪嘉杨，丁晶. 四川省河流水质指标时序特征分析[J]. 四川大学学报：工程科学版，2009，41(5)：17-23.

[10] Hirsch R M, Slack J R, Smith R A. Techniques of trend analysis for monthly water quality data [J]. Water Resources Research, 1982, 18(1): 107-121.

[11] Hirsch R M, Slack J R. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence [J]. Water Resources Research, 1984, 20(6):727-732.

[12] 王淑香. 用肯德尔检验法对唐山市河流水质趋势进行分析[J]. 水资源保护，1998(3)：30-34.

[13] 李俊峰，盛东，程晓如，玛纳斯河流域水质变化趋势分析[J]. 水资源保护，2008，24(4)：10-13.

[14] 安徽省统计局. 安徽省统计年鉴[M]. 北京：中国统计出版社，2009.

[15] 宋岩，董金梅，曲玲，等. 山东省水环境质量模糊综合评价与防治措施[J]. 山东农业大学学报：自然科学版，2006，37(3)：436-440.