

2004—2011 年滹沱河忻州段 水质变化及影响因素

赵鹏宇¹, 冯文勇¹, 崔 婧¹, 郑庆荣², 刘秀丽², 徐学选³

(1. 忻州师范学院 旅游管理系, 山西 忻州 034000; 2. 忻州师范学院 地理系,
山西 忻州 034000; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: [目的] 研究 2004—2011 年滹沱河流域忻州段地表水水质的变化, 并对影响水质变化的自然社会经济因素进行探讨。[方法] 利用 2004—2011 年的水质监测数据和有关的自然社会经济统计数据, 采用有机污染综合指数方法。[结果] (1) 滹沱河忻州段近 8 a 的地表水水质变化可分为持续恶化和快速改善两个阶段, 2007 年是水质变化趋势的转折点, 两个阶段有机污染综合指数 (T 值) 分别为 5.51 和 2.85。(2) 自然因素方面, 河道水量、降水量与水质均呈负相关, 相关系数分别为 0.675, 0.532 ($p < 0.01$)。河道水量、降水量对各河段水质改善作用有限。社会因素方面, 水质恶化主要与工业废水排放量、施用化肥量、生活污水排放量、污水处理能力有关, 相关系数分别为 0.689 ($p < 0.01$), 0.633 ($p < 0.01$), 0.465 ($p < 0.05$) 和 0.905 ($p < 0.01$)。[结论] 2009 年后虽然生活污水超过了工业废水排放, 但污水处理厂的达标运行使河段水质进一步改善, 污水处理率是今后该地区水质持续改善的前提保障。经济发展与城镇化并未给水质带来压力, 而且经济发展已成为改善水质的积极动力。

关键词: 地表水; 水质变化; 滹沱河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)01-0090-06

中图分类号: X522, X824

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.017

Surface Water Quality of Xinzhou Section of Hutuo River and Related Driving Factors During 2004—2011

ZHAO Pengyu¹, FENG Wenyong¹, CUI Qiang¹, ZHENG Qingrong², LIU Xiuli², XU Xuexuan³

(1. Department of Tourism Management, Xinzhou Teachers University, Xinzhou, Shanxi 034000, China;
2. Department of Geography, Xinzhou Teachers University, Xinzhou, Shanxi 034000, China; 3. Institute of Soil and
Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] To study the surface water quality changes of Xinzhou section of Hutuo River in past eight years and discuss the natural, social and economic factors that affect the water quality changes. [Methods] The water quality monitoring data and relative natural social and economic statistical data from 2004 to 2011 were used and the organic pollution comprehensive index method was adopt. [Results] (1) The surface water quality changes of Xinzhou section can be divided into consistently deteriorating and rapidly improving periods. The turning point of the water quality change was in 2007. And the organic pollution indexes (T) of the two periods were 5.51 and 2.85. (2) In terms of natural factors, the river water, precipitation were negatively correlated with the water quality, and the correlation coefficient were 0.675 and 0.532 ($p < 0.01$). The effect of river water and precipitation on the river water quality improvement was limited. For the social and economic factors, the water quality deterioration was mainly related to the industrial waste emissions, the amount of chemical fertilizers, the sewage emissions and the sewage treatment capacity. The correlative coefficient were 0.689 ($p < 0.01$), 0.633 ($p < 0.01$), 0.465 ($p < 0.05$), 0.905 ($p < 0.01$). [Conclusion]

收稿日期: 2000-01-13

修回日期: 2014-03-12

资助项目: 山西省高等学校哲学社会科学项目“忻州市滹沱河流域生态保护研究”(20122212); 忻州师范学院专题研究项目“忻州市滹沱河流域生态保护研究”(ZT201214); 山西省高校人文社科重点研究基地项目“五台山旅游生态环境研究”(2013336)和山西省高等学校哲学社会科学项目“五台山生态系统保护研究”(2014346)

第一作者: 赵鹏宇(1981—), 男(汉族), 山西省保德县人, 硕士, 讲师, 主要从事水资源与生态保护方面研究。E-mail: 497154516@qq.com。

通信作者: 徐学选(1966—), 男(汉族), 陕西省大荔县人, 博士, 博士生导师, 研究员, 主要从事水土保持方面研究。E-mail: xuxuexuan@nw-suaaf.edu.cn。

Although the sewage surpassed the industrial waste water discharge after 2009, the standard operation of sewage treatment plant further improved the river water quality. The sewage rate was the premise of continuous improvement to ensure water quality in the future at the region. The economic development and urbanization did not bring pressure to the water quality. And the economic development became the positive power.

Keywords: surface water; water quality changes; Hutuo River basin

目前国内外关于滹沱河流域水质的研究,大多集中在河北平原地区的河流、水库、湿地及地下水方面^[1-4],对于滹沱河上游忻州段山区的地表水水质变化研究尚不多见。水质变化是水环境变化的一个方面,而时至环境污染日益严重的今日,水环境变化,特别是水质变化早已和人类社会发展密不可分。因此,从水环境变化与人类社会发展相互作用和耦合的角度,进行包括污染指标在内的、包括河流、水库、流域水系等各类型水体的水质变化研究,是地表水水质变化研究的又一方向^[5-9]。滹沱河是典型的水质污染型河流,而滹沱河忻州段是忻州市工农业最为发达的区域,也是水环境受人类社会发展影响和作用最强烈的区域。2004 年忻州市第二次水资源评价结果显示,滹沱河污染最为严重河段是界河铺、济胜桥河段,各时段综合评价均为劣 V 类,污染源主要来自忻、定、原这 3 县(市、区)工业废水和城市生活污水。因此研究该区域地表水水质的近 8 a 变化及其与社会经济发展的关系,具有以下两方面的重要意义:(1)忻州段大部分属于滹沱河上游地区,主要为成水用水环境区,而小觉—黄壁庄区域中游为成水环境区,黄壁庄以下区域下游为用水环境区,对于该河段的水质研究,有助于降低中游成水环境区水质污染风险,对于下游石家庄地区,扩大水环境容量意义重大,可以减轻水质污染压力。(2)2004 年后该地区经济迅速发展,随着矿山、煤炭资源整合、高排放、高污染企业的彻底关停以及污水处理厂在各地兴建运行排污排废结构发生了很大变化,滹沱河水质有了很大的变化,研究其与社会经济的关系,为相关部门保护水环境决策有重要参考意义。

1 研究区概况

滹沱河是山西省的主要河流之一,也是华北地区的著名河流,它发源于五台山北麓繁峙县泰戏山脚下的乔儿沟,经山西东北部入河北省,汇入子牙河,在天津市境内归海河、注渤海。在华北地区培育出一条长 587 km 的绿色文明走廊,流域面积达 26 630 km²,其中忻州市段河长 251 km,流域面积 11 936 km²,流经繁峙、代县、原平、忻府、定襄、五台 6 个县(市区),57 个乡镇(镇)的 395 个村,境内有云中河、牧马河、阳武

河、清水河等较大支流 11 条。滹沱河干流及支流是该区域主要地表水体^[8],同黄河一样,滹沱河也是忻州人民赖以生存和发展的母亲河。

2 研究方法、数据来源及处理

2.1 研究方法

收集了 2004—2011 年的忻州市地表水水质监测数据,进行综合分析和筛选后确定代表断面;通过计算有机污染综合指数(T 值)做出水质变化曲线图,以判断水质变化的趋势和规律。利用 2004—2011 年有关的自然社会经济统计数据。通过对比分析和作用机理分析的方法,研究有关自然社会经济因素对地表水质变化的影响。

$$T = \frac{L_{\text{COD}}}{C_{\text{COD}}} + \frac{L_{\text{NH}_3-\text{N}}}{C_{\text{NH}_3-\text{N}}} + \frac{L_{\text{挥发酚}}}{C_{\text{挥发酚}}} + \frac{7.5 - L_{\text{DO}}}{7.5 - C_{\text{DO}}}$$

式中: T ——有机污染综合指数; L_{COD} , $L_{\text{NH}_3-\text{N}}$, $L_{\text{挥发酚}}$ 与 L_{DO} ——COD, NH₃-N,挥发酚与溶解氧的监测值(mg/L); C_{COD} , $C_{\text{NH}_3-\text{N}}$, $C_{\text{挥发酚}}$, C_{DO} ——COD, NH₃-N,挥发酚及溶解氧的评价标准(mg/L)。

根据 2005 年颁布《山西省水功能区划》^[9],在此区域共设立了 10 个地表水功能区,其中 7 个属于工农业用水区,根据区划中水质保护目标要求,COD, NH₃-N,挥发酚和 DO 选用 GB3838—2002 中的Ⅵ类标准, T 值法评价分级标准为:0~1——良好;1~2——一般;2~3——开始污染;3~4——中等污染;大于 4——严重污染。

2.2 数据来源与处理

本文引用的水质数据主要来源于忻州市水资源公报,为 2004—2010 年滹沱河流域忻州段 9 个断面的 COD, NH₃-N,挥发酚和 DO 监测指标的年平均值。综合考虑这些断面的水质水文代表性、空间合理性和数据完备性后,选择滹沱河干流 6 个断面(下茹越、西留属、崞阳桥、界河铺、济胜桥、南庄)作为该区域水质变化代表断面。

相关的自然社会经济统计数据主要来自 2010 和 2011 年的忻州统计年鉴^[10-12],包括 2004—2011 年的全市年均降水量、河道水量、工业废水排放量、生活污水排放量、化肥施用量、污水处理能力、国内生产总值和总人口数量,共 8 项指标。

3 滹沱河忻州段水质近 8 a 的变化

本研究滹沱河忻州段水质是指下茹越、西留属、崞阳桥、界河铺、济胜桥、南庄 6 个代表断面的 4 项污染指标的监测平均值,评价计算后用 T 值表示。根据 6 个代表断面的水质变化曲线(图 1),滹沱河流域忻州段水质变化曲线(图 2),可知该区域地表水水质经过近 8 a 的治理效果非常明显,其变化可以分为持续恶化、快速改善 2 个阶段,2007 年是水质近 8 a 变化趋势发生逆转的转折点。

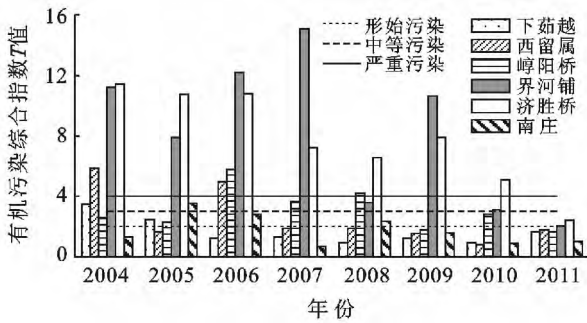


图 1 滹沱河忻州段 6 个代表断面有机综合污染 T 值变化

由图 2 可见,第一阶段 2004—2007 年为持续恶化阶段,该段水质 T 值曲线上上下下摆动,轨迹类似于一个横 Z 型曲线,且变化幅度较大,4 a 间 T 值平均为

5.51,是严重污染最低 T 值线的 1.37 倍。第二阶段 2007—2011 年为快速改善阶段, T 值呈快速下降趋势,虽在 2009 年有小幅回升,但曲线轨迹呈线性下降趋势,变化幅度比第一阶段较明显, T 值从 2007 年的 4.97 下降到 2011 年的 1.76,年均下降 16.1%, T 值平均为 2.85。从空间上看,近 8 a 严重污染主要集中在界河铺以下区域,结合资料的完备性,以下主要从界河铺、济胜桥和南庄 3 个断面分析水质影响因素。

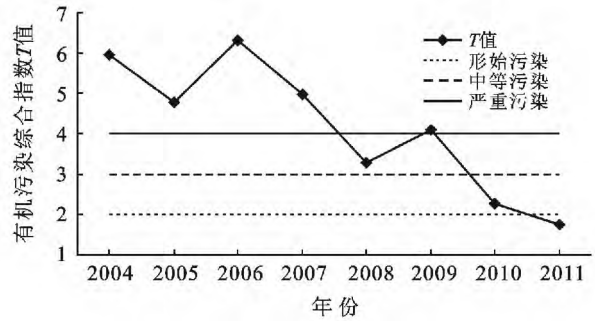


图 2 滹沱河流域忻州段平均有机综合污染 T 值变化

4 滹沱河忻州段有关自然社会经济因素对水质变化的影响

滹沱河流域忻州段水环境质量的 influencing 因素众多,本研究从自然和社会两个方面共选取 8 项指标与水质状况或者污染指标浓度进行相关性分析(表 1)。

表 1 水质与统计指标相关系数

影响因素	自然因素		社会因素					
	降水量	河道水量	工业废水排放量	生活污水排放量	化肥施用量	污水处理能力	GDP	人口数量
水质(T 值)	-0.532**	-0.675**	0.689**	-0.465*	-0.633**	-0.905**	0.075	-0.582**

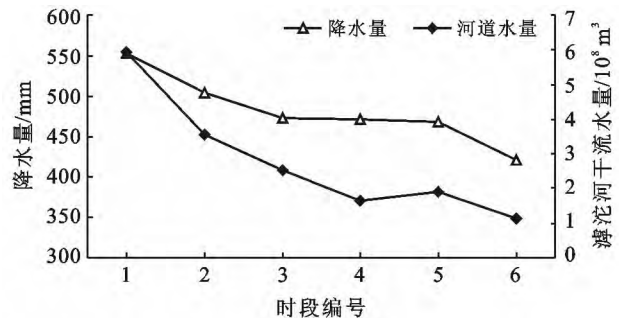
注: * 表示显著水平 $p < 0.05$; ** 表示极显著水平 $p < 0.01$ 。

4.1 自然因素对水质变化的影响

如图 3 所示,滹沱河忻州段降雨量 1956—1960 年和 1961—1970 年偏丰,与多年平均(1956—2010 年)降水量相比,平均偏丰 13.2% 和 3.2%;其他各年段:1971—1980 年平均偏枯 3.2%,1981—1990 年平均偏枯 3.4%,1991—2000 年平均偏枯 4.3%,2001—2010 年平均偏枯 16.1%。

近 55 a 实测系列降水资料的分析,可以为该河段水质变化提供科学依据。与此同时,55 a 来滹沱河水量急剧减少,2010 年为 $1.05 \times 10^8 \text{ m}^3$,与 50 年代相比水量下降了 82%,这与海河水利委员会统计的海河 19 条平原河水量与同期相比下降 87% 结论基本一致。各年段河水量变化如图 3 所示。按常理,降雨量与河道水量应该具有较强的同步性与一致性,70, 80, 90 年代近 30 a 降雨量基本稳定,但滹沱河水量并

未表现出稳定性,而是持续减少,究其原因很可能是由于 70 a 中后期为农业灌溉大规模兴修水利工程,对河道截留,导致河道水量进一步减少,从而在一定程度上缩小了该河段水环境容量。



注:时段编号所代表的年份为:1. 1956—1960; 2. 1961—1970; 3. 1971—1980; 4. 1981—1990; 5. 1991—2000; 6. 2001—2010。

图 3 滹沱河降水量和干流水量年段变化(界河铺断面)

如图 4 所示,天然降水是河流水系的最主要的清洁水源,但只有较大的降水量才能对河段水质起到改善作用。2004—2011 年滹沱河 3 个代表断面年均降水量呈上升趋势,与多年平均降水量相比,界河铺断面基本持平,而济胜桥、南庄断面超多年平均降水量 4.3%,2.2%,且平均降水量:南庄>界河铺>济胜桥,而 T 值则为南庄<界河铺<济胜桥,如图 4 所示, T 值与降雨量变化趋势呈负相关,相关系数为 0.532, ($p<0.01$)。说明降水对各河段仍然起到了改善作用,但是这种效果并不明显,汛期水质小幅度改善。

滹沱河 3 个代表断面 8 a 实测径流量与有机污染综合指数(T 值)对比,可以看出,其变化趋势呈负相关,相关系数为 0.675, ($p<0.01$)。滹沱河水量并不大,一般清水流量 $6.61 \text{ m}^3/\text{s}$ 。界河铺断面以上主要有峨河、峪河、阳武河、北云中河等支流,其一般清水

流量分别为 $0.45, 0.35, 1.50$ 和 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$,多为季节性河流,补充水量较小。界河铺断面 2004—2011 年均实测径流量 $1.14 \times 10^8 \text{ m}^3$, T 值平均达到 8.21。而济胜桥至界河铺区间,主要有南云中河、牧马河支流,一般清水流量分别为 0.23 和 $0.251 \text{ m}^3/\text{s}$,该区间支流补充水量较甚小,且农业用水量巨大,分布着忻定盆地最大的自流灌区——滹沱河灌区,济胜桥断面 2004—2011 年均实测径流量 $6.50 \times 10^7 \text{ m}^3$, T 值平均降至 7.77。南庄到济胜桥区间,河流进入峡谷山区,主要支流有清水河,清水河是滹沱河最大的支流一般清水流量 $2.78 \text{ m}^3/\text{s}$,补充水量较大,南庄断面 2004—2011 年均实测径流量 $2.32 \times 10^8 \text{ m}^3$, T 值平均降至 1.77。由此可见,河道水量对水质有一定影响,丰富的水量可以增大水环境容量,对水质仍然起到了稀释作用,这种作用在南庄断面表现尤为明显。

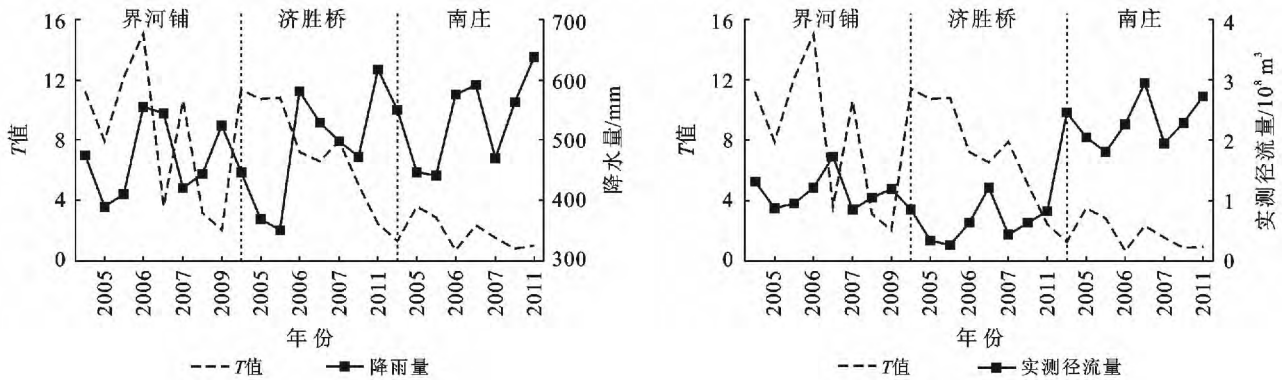


图 4 滹沱河忻州段降水量、河道水量与 T 值的关系

4.2 社会发展对水质变化的影响

生活污水、工业废水和农业化肥流失是该区域地表水体污染的 3 大污染源^[13]。

生活污水入海量主要来自于城镇生活,生活污水排放量与人口数量成正比,2004—2011 年界河铺、济胜桥、南庄断面,总人口呈极缓慢增长,但城镇人口迅速增长,由 2004 年的 44.6 万增加到 2011 年的 82.7 万人。与此同时,污水排放量也呈大幅度增长趋势,如图 5 所示,污水排放量与 T 值变化趋势基本一致,相关系数为 0.465 ($p<0.05$)。界河铺至济胜桥段是忻州市人口最集中的区域,城镇人口约占忻州全市城镇人口的 45%,生活污水排放量较大,所以界河铺、济胜桥断面 T 值较高。而南庄段人口数量约占全市 9.7%,而其中又以农业人口为主,生活污水排放量水平较低,因此 T 值较低。由此可见,该地区水质的状况与生活污水排放量密切相关。

工业废水是该地区水污染最重要的来源,由图 5 可知,工业废水排放量与 T 值变化趋势基本一致,相

关系系数为 0.689 ($p<0.01$)。界河铺以上区域是本市的工业聚集区。主要以采矿、煤化工、农产品加工等为主,其废水排量占到本区域的 75%。“十一五”期间,滹沱河流域 6 县(市、区)投资近 3 亿元,实施了繁峙滹沱河源头综合治理、南云中河河道治理等工程,先后淘汰了定襄、代县、繁峙等 3 个化肥厂,铲除了沿线的小造纸、小淀粉厂、粉丝厂,关闭了排放量大的宏达淀粉和原平化肥厂;完成了纪元玉米、云马焦化、禹王焦化、原平化二等工业废水处理工程,实现了达标排放。界河铺、济胜桥、南庄断面工业废水排放量逐年下降, T 值也下降。水质逐渐改善。2009 年后,工业废水全部实现达标排放,而此时生活污水排放量首次超过工业废水量。因些本地区今后水质改善的关键是生活污水的处理。

农业污染主要是农田化肥流失,可用化肥施用量来表示;由图 5 可知,2000 年以后该区域化肥施用量基本处于稳定阶段,2004—2011 年界河铺、济胜桥、南庄断面区域平均化肥施用量分别为 1.42×10^5 ,

9.4×10^4 和 2.9×10^4 kg, 由于时间序列较短, T 值与其未表现出相关性。但空间差异较为明显。总体分析 24 组数据可知, 施用化肥量高的地区 T 值也较高, 呈正相关, 相关系数为 $0.633 (p < 0.01)$ 。这说明化肥流失污染对水质变化有一定影响。

为彻底改善水环境质量, 忻州市全面启动了污水处理厂建设。2007 年忻州、原平、五台山风景区污水处理厂率先建成并稳定达标运行, 2008 年代县、繁峙污水处理厂相继建成并投入运行。2009 年新增定襄、五台污水处理厂, 使该区污水处理厂达到 7 座, 根

据忻州市集中式污水处理厂信息公开显示, 该区域设计污水处理能力达到 $1.78 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。2011 年实际污水处理能力达到 $1.15 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据《忻州市环境保护“十一五”规划》指标完成情况, 2009 年底城镇生活污水集中处理率达到 50%, 忻府区达到 80%。从整体上看, 污水处理能力对水质改善起到决定性作用, 相关系数为 $0.905 (p < 0.01)$, 达极显著负相关(见图 5)。参考近年来污染调研的结果, 工业废水排放已经成为影响水质变化的主要因素, 污水处理能力提高是水质改善的直接原因。

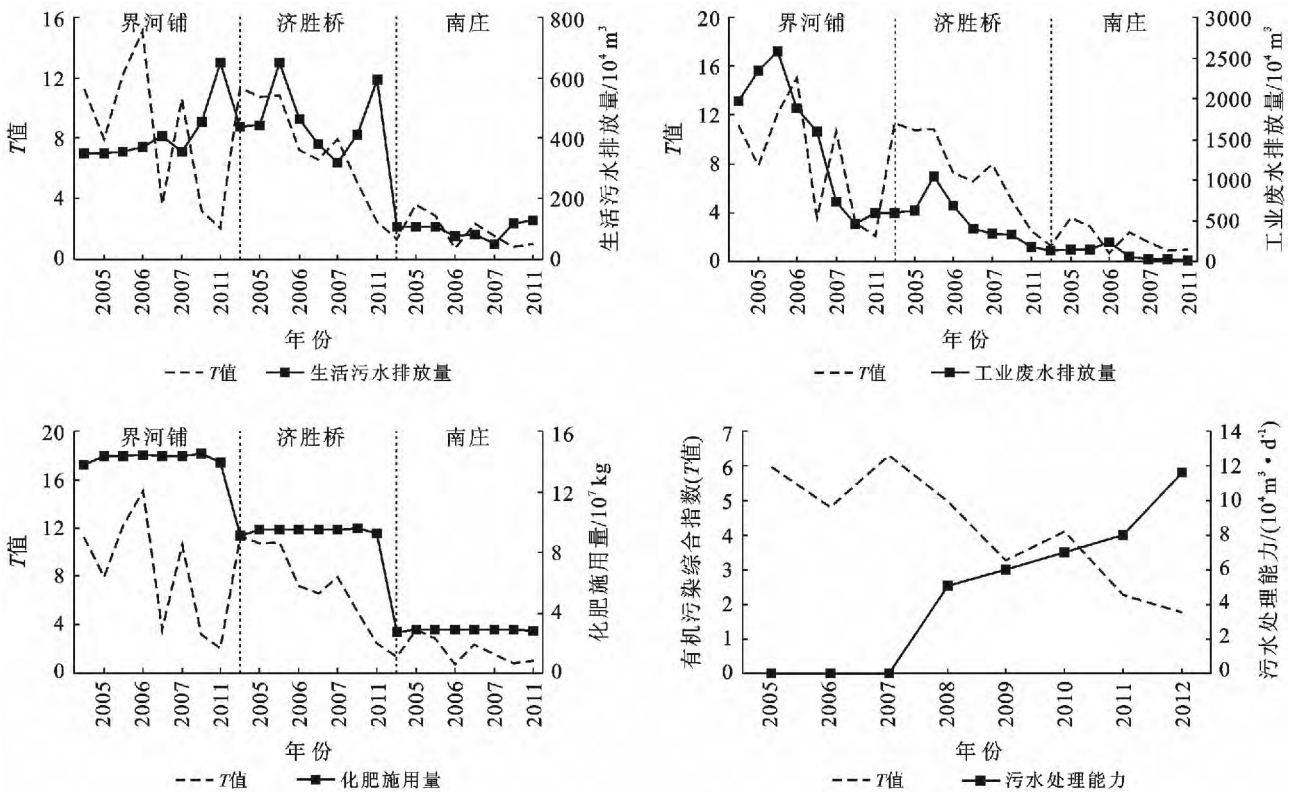
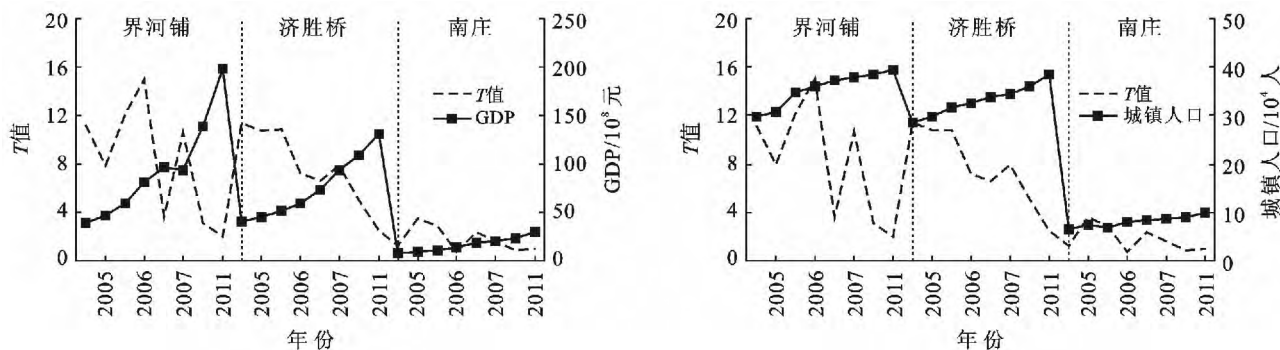


图 5 忻州市生活污水、工业废水、化肥施用量和污水处理能力与 T 值的关系

该区域的城镇化水平较缓慢, 对比 GDP 和城镇人口数量与水质变化趋势可见(图 6), 2009 年前经济发展速度缓慢, 处于极平缓的线性增长阶段, 水质变化却处于中等及严重污染阶段; 2009 年后经济发展快速增长, 而水质进一步改善。GDP 与 T 值相关系数为 0.075 , 未表现出相关关系, 说明由传统的牺牲水环境发展方式逐渐改善, 且经济发展成为改善水质的积极动力和重要原因; 城镇化并未引起水环境继续恶化, 城镇人口数量与 T 值呈负相关, 相关系数为 $0.582 (p < 0.01)$ 。人类社会对水质变化的影响说明, 从传统“先污染, 后治理”的末端治理形式逐渐向预防污染源抓起。从水质变化与人类社会发展的相互作用和耦合的角度看, 工农业和生活污染的深层

次背景是人类社会发展的生产、生活方式以及与此对应的社会组织方式^[14-15]。这 3 种方式及其变化, 在众多水质变化的影响因素中, 起着根本性的决定作用。因此, 要改善水质, 实现水环境与社会和谐发展, 就不仅要重视污水的处理, 还应从整个人类社会经济行为发展的根本层次, 即人类社会发展的生产、生活和社会组织方式, 来关注水质变化与社会发展之间的关系。

由于本文所收集资料数据时间序列有限, 仅讨论了近 8 a 的水质变化, 对区域水质演化过程不能全面把握, 但这并不影响探讨水质变化与人类社会发展的关系。从相互耦合的角度看, 在众多水质变化的影响因素中找出主要因素。

图 6 忻州市 GDP、城镇人口与 T 值的关系

5 结论

(1) 滹沱河流域忻州段近 8 a 地表水水质变化可分 2 个阶段,第 1 阶段 2004—2007 年为持续恶化阶段, T 值平均为 5.51。第 2 阶段 2007—2011 年为快速改善阶段, T 值平均为 2.85。2007 年是水质变化趋势的转折点。

(2) 通过对影响水质的自然与人类社会两大方面 8 个因素的分析表明:河道水量、降水量与水质均呈负相关,相关系数分别为 0.675 和 0.532 ($p < 0.01$),河道水量、降水对各河段仍然起到了改善作用,但是这种效果并不明显。社会经济方面水质变化主要与工业废水排放量、施用化肥量、生活污水排放有关,相关系数分别为 0.689 ($p < 0.01$),0.633 ($p < 0.01$),0.465 ($p < 0.05$)。2009 年后虽生活污水超过了工业废水排放,但污水处理厂的达标运行使河段水质进一步改善。GDP、城镇人口与 T 值关系分析表明人经济发展与城镇化并未给水质带来压力,且经济发展成为改善水质的积极动力和重要原因。

[参 考 文 献]

[1] 韩晨霞,赵旭阳,李冬,等. 滹沱河岗黄段湿地水污染及生态修复探讨[J]. 中国水土保持,2008(1):33-36.
 [2] 韩晨霞,赵旭阳,李冬,等. 滹沱河岗黄段湿地重金属污染的植物修复探讨[J]. 石家庄学院学报,2007,9(6):67-71.
 [3] 王金哲,张光辉,聂振龙,等. 滹沱河流域平原区人类活动对浅层地下水干扰程度量化研究[J]. 水土保持通报,2010,30(2):65-69.

[4] 孟令尧,史密伟. 滹沱河流域本底状态地表水氮、磷非点源污染评价[J]. 地理与地理信息科学,2009,25(3):96-98.
 [5] 张婷,刘静玲,王雪梅,等. 白洋淀水质时空变化及影响因素评价与分析[J]. 环境科学学报,2010,30(2):46-50.
 [6] 张勇,王云. 上海市地表水水质近 20 a 的变化[J]. 环境科学学报,2002,22(2):247-251.
 [7] 刘倩纯,余潮,张杰,等. 鄱阳湖水体水质变化特征分析[J]. 农业环境科学学报,2013,32(6):1232-1237.
 [8] 曾凡棠,张修玉. 过去 20 a 东江水质演变趋势[J]. 环境科学导刊,2012,31(6):38-41
 [9] 李国峰,刘宪斌,刘占广,等. 基于主成分分析和水质标识指数的天津地区主要河流水质评价[J]. 生态与农村环境学报,2007,27(4):27-31.
 [8] 马月林. 滹沱河灌区水利志[M]. 太原:山西人民出版社,2006.
 [9] 宋颖. 山西省水功能区划及水质状况分析[J]. 山西水利科技,2006,162(4):68-69.
 [10] 李平社. 忻州 60 a 发展回顾[M]. 北京:中国统计出版社,2008.
 [11] 忻州市统计局. 忻州统计年鉴 2010[M]. 北京:中国统计出版社,2010.
 [12] 忻州市统计局. 忻州统计年鉴 2011[M]. 北京:中国统计出版社,2011.
 [13] 范堆相. 山西省水资源评价[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004:157-172.
 [14] 张琼杰. 山西省滹沱河水环境综合质量的马尔柯夫变化趋势研究[J]. 现代农业科技,2008(20):304-306.
 [15] 曹建生,韩淑敏,杨永辉. 滹沱河流域的水资源问题与对策[J]. 河北水利水电技术,2000(4):16-18.