

沔河水质与流量之间的关系分析

王华¹, 李怀恩¹, 王莉²

(1. 西安理工大学 水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048; 2. 陕西省环境科学研究院, 陕西 西安 710061)

摘要: 为了打造生态沔河, 本文基于秦渡镇断面 2001-2009 年的定期水质监测资料, 以及秦渡镇水文站 2001 年到 2009 年的逐日流量数据, 以及 2009 年到 2011 年大峪口断面、秦渡镇断面的多场洪水监测资料, 研究分析了沔河水质与流量之间的关系。结果表明: (1) 监测断面流量的大小和每场洪水平均流量的大小均对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 和 COD 的污染浓度有影响, 且流域上下游不同断面的水质流量之间的关系也有差异; (2) 根据 2002 年到 2008 年秦渡镇断面所监测的 6 场洪水资料, 可知洪水对 COD 非点源污染的影响较大。而 2006 年 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 的点源污染严重, 此外几年 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的点源污染较严重, TN 变化不稳定。

关键词: 洪水监测过程; 水质与流量的关系; 沔河流域

中图分类号: P332.4; X522

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)06-0083-06

Analysis of relationship between water quality and flow in Fenghe River

WANG Hua¹, LI Huaien¹, WANG Li²

(1. Key Laboratory of Water Resources, Environment and Ecology in Northwest China, Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Shaanxi Provincial Academy of Environmental Science Research and Design, Xi'an 710061, China)

Abstract: In order to build ecological Feng River, the paper explores and analyzes the relationships between the water quality and water flow on the basis of the regular water quality monitoring data in Qinduzhen section from 2001 to 2009, and the daily flow data in Qinduzhen hydrological station from 2001 to 2009, and the flood monitoring data in Dayukou section and Qinduzhen section from 2009 to 2011. The results show that the concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$, TN and COD are affected by the size of the monitoring sectional flow and the average flow of every flood. In addition, there are differences in the relationships between the different sections of upstream and downstream in the river basin; According to the flood monitoring data of Qinduzhen section from 2002 to 2008, we can see that the impact of flood on the non-point source pollution of COD is greater. The point source pollution of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TN is prominent in 2006, and in other years, the point source pollution of $\text{NH}_3\text{-N}$ is serious and the change of TN is not stable.

Key words: flood monitoring process; relationship between water quality and flow; Fenghe River Basin

0 引言

沔河作为渭河右岸的一级支流, 它位于西安市西南部。20 世纪 80-90 年代, 沔河流域天然径流快速减小, 同时受上游旅游区排放的餐饮废水、生活污水及中下游乡镇排放的工业废水影响, 沔河干流受到严重的点源污染^[1-2]。由于流域的沔惠灌渠区农田中农药的大量喷洒和化肥的使用效率低导致毒性较大的有机农药污染^[3-9], 这就导致沔河流域明显的非点源污染。1998 年, 沔河及其支流被列为西安市地表饮用水源地, 之后多年来西安市对沔河开

展了大规模区域污染综合整治^[10]。2010 年初, 西安市政府审议通过了《沔河流域综合保护利用规划》, 未来随着《关中-天水经济区发展规划》和西咸一体化的实施, 再加上沔渭新区的建设, 沔河将从城郊河流变为城中河, 在城市发展中具有重要的战略地位^[11]。

目前, 已有不少学者采用不同方法对沔河水质进行了评价分析。李英杰、王莉等^[11]采用季节性 Kendall 检验方法分析了沔河各断面 COD_{Mn} 、 BOD_5 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的变化趋势, 得知中上游监测断面的水质变化趋势不显著, 下游断面的 COD_{Mn} 、 BOD_5 和 $\text{NH}_3\text{-N}$

收稿日期: 2012-08-20; 修回日期: 2012-09-27

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07212-002); 国家自然科学基金项目(50909080、50979090) 资助

作者简介: 王华(1988-), 女, 陕西延安人, 在读硕士, 主要从事水资源保护与可持续发展。

通讯作者: 李怀恩(1960-), 男, 陕西商南人, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源与水环境保护方面的研究。

N 均呈显著减小趋势,整条河流的 COD_{Mn} 、 BOD_5 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 均显著减小。李英杰、程三友等^[12]采用有机污染综合指数法和变异系数等方法研究了沔河水水质近 20 年的时空变化,将多年来的水质情况分为缓慢污染、快速污染、污染相持和污染改善 4 个阶段,2000 年是水质变化趋势的转折点。王莉等^[13]采用 Daniel 趋势检验技术,用 Spearman 秩相关系数,衡量了沔河污染变化趋势,得知严家渠断面及三里桥断面水质明显好转,沔河口断面水质有恶化趋势。杨凯等^[14]分析了沔河降雨前后水质污染变化,得知降雨形成的面源污染对沔河总氮负荷影响显著,硝氮和总氮在降雨过程中的变化有很好的相关性。刘建林等^[15]提出了城市河道治理与文化景观建设相结合的全新河流治理理念,治理河流的同时提升了城市文化内涵,满足了市民旅游文化需求,保护了当地的文化古迹。前人研究表明,西安沔河水体以有机污染为主^[16]。本文对 2009–2011 年大峪口断面和秦渡镇断面的多场洪水监测资料和 2001–2009 年秦渡镇断面的定期监测资料作了水质流量的变化趋势分析,研究沔河的水质流量之间的关系,为打造生态沔河提供科学依据。

1 材料与方法

在 2009–2011 年的丰水期,分别在大峪口断面和秦渡镇断面,监测了多场洪水过程,并记录其流量和水质数据,据此资料,本文对所监测的每一场洪水进行了水质流量之间的关系分析。本文还收集了沔河秦渡镇断面 2001–2009 年的定期水质监测资料,以及秦渡镇水文站 2001–2009 年的逐日流量数据,摘录其中处于洪水过程中的数据资料,分析其流量浓度变化关系。

沿沔河共有 5 个监测断面:沔河源头、沔河峪口、严家渠、三里桥、沔河入渭口。沔河源头包括沔峪、高冠峪、太平峪和祥峪。

2 结果与讨论

2.1 基于洪水过程水质水量同步监测资料的水质与流量间的关系分析

在 2009–2011 年的丰水期期间,分别在大峪口断面和秦渡镇断面,监测了多场洪水过程,按照每一场洪水的涨落过程(包括涨水段、洪峰段和退水段 3 个阶段),定时地测量其各阶段的流量,记录监测的时间和流量数据,并对应地采集其水样进行室内实验,即可得到两个断面多场洪水过程的水质流量数据资料。

为了研究沔河洪水过程中水质流量之间的变化关系,利用 2009–2011 年大峪口断面和秦渡镇断面定期监测的洪水过程资料,对其进行水质流量的关系分析;再分别将两个断面的多场洪水流量数据全部整理在一起,按照从小到大的顺序将流量数据划分为不同的等级,分析其对应的水质范围和数值大小的变化;然后整理每一场次洪水过程的流量与浓度的最值,并计算每场洪水流量的均值以及污染物 COD 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 的加权平均浓度,按照 $Q_{\text{平均}}$ 从小到大的顺序,对其进行水质流量的关系分析,得出相应结论。

2.1.1 大峪口断面洪水监测过程中水质流量的关系分析 根据 2009–2011 年大峪口断面的 6 场洪水监测数据,分析其水质、流量之间的变化关系。一个图代表该断面的一场洪水监测过程,横轴是洪水发生的时间,主纵坐标是洪水流量值和 COD 浓度值,次纵坐标是 TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度值,以此作曲线,见图 1。

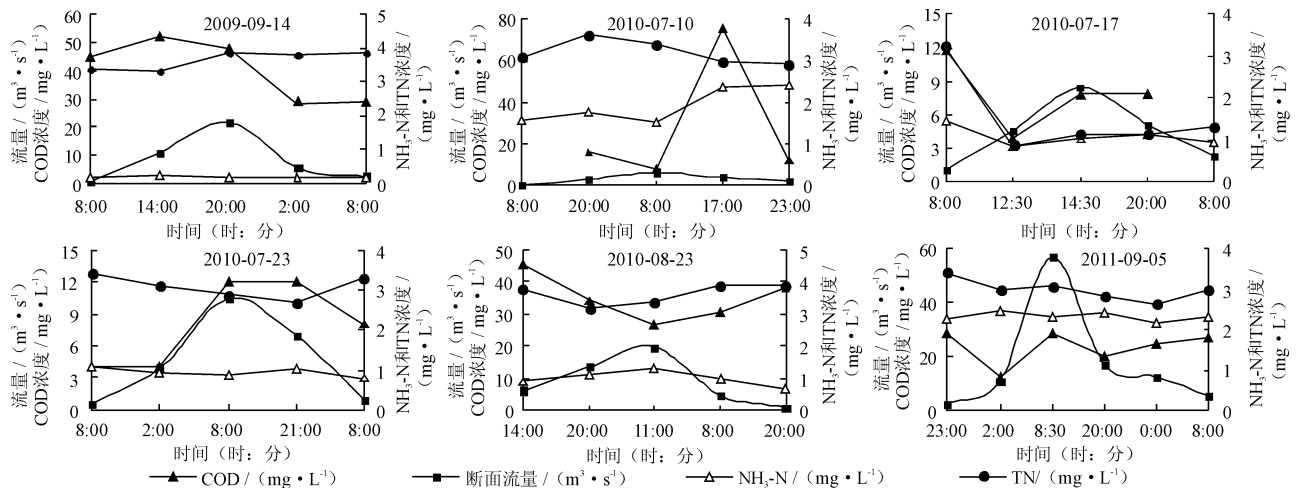


图 1 2009–2011 年大峪口 6 场洪水监测过程中水质流量的变化关系图

由图 1 可看出:①COD 浓度在较小流量洪水过程中,主要呈现先增大后减小的趋势,在较大流量洪水过程中,呈现先减小后增大的趋势。②TN 浓度随洪水流量变化过程,主要呈现先增大后减小的趋势,少数呈先减小后增大。总之,COD 与 TN 的变化不稳定。③NH₃-N 随洪水流量变化过程,主要是呈现先减小后增大的趋势,也有个别呈先增大后减小趋势。也就是说,洪水对 NH₃-N 有一定的稀释作用,使得 NH₃-N 的浓度随流量的增大而减小,而当洪峰

过后,流量减小,其浓度值变大。

2.1.2 秦渡镇断面洪水监测过程中水质流量的关系分析 按照相同的方法,对秦渡镇断面 8 场洪水过程作曲线。由图 2 可以看出,多数情况下 COD、TN、NH₃-N 3 种污染物变化趋势大体相似,均随着洪水流量变化过程,呈现先减小后增大的趋势,少数例外。也就是说,洪水对 COD、TN、NH₃-N 均有一定的稀释作用,使得 3 种污染物的浓度随流量的增大而减小,而当洪峰过后,流量减小,其浓度值变大。

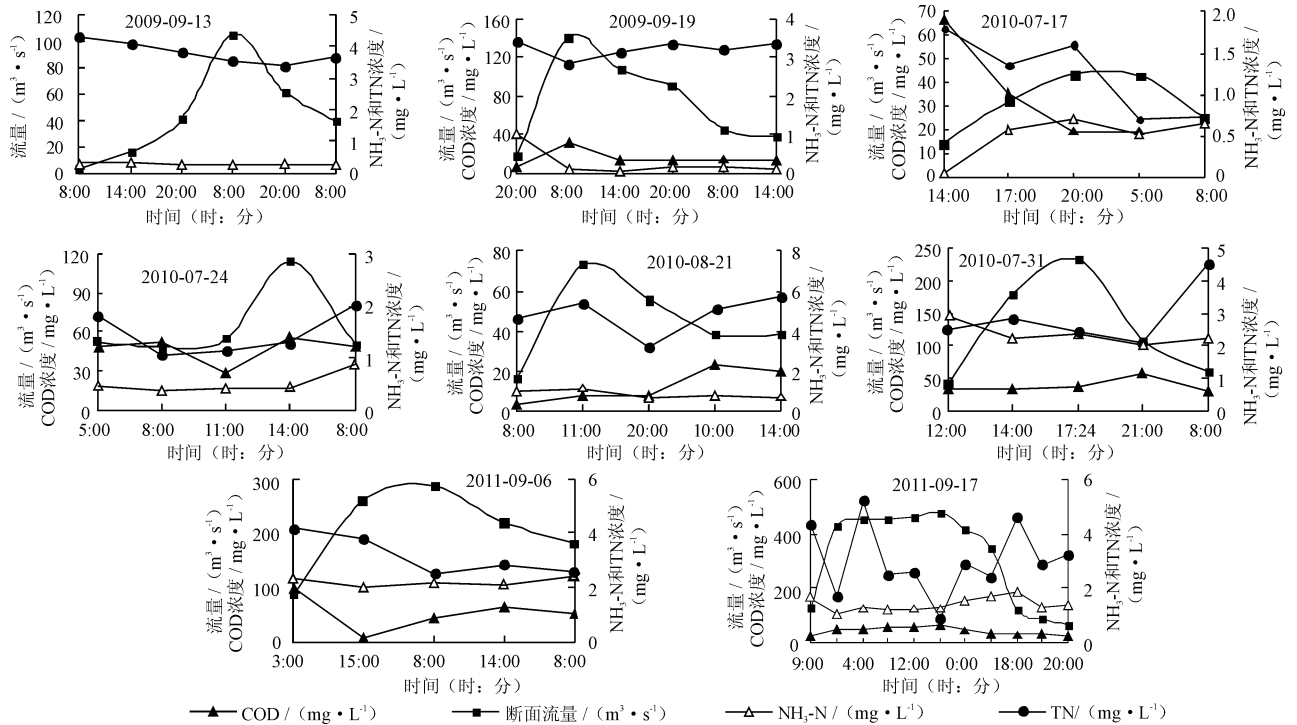


图 2 2009 - 2011 年秦渡镇 8 场洪水监测过程中水质流量的变化关系图

2.1.3 按流量分级的水质流量关系分析 本文分别将两个断面的多场洪水流量数据全部重新整理在一起,按照从小到大的顺序将所有流量数据划分为不同的等级,并分析其对应的水质数值大小和范围的变化,见表 1 和表 2。

表 1 大峪口断面污染物浓度随流量等级的变化范围

Q	NH ₃ -N	COD	TN
0 ~ 5	0.16 ~ 2.42	3.92 ~ 75.70	0.88 ~ 4.70
5 ~ 10	0.18 ~ 2.30	7.84 ~ 45.63	1.13 ~ 3.81
10 ~ 20	0.24 ~ 2.46	12.05 ~ 52.00	2.61 ~ 3.38
20 ~ 60	0.19 ~ 2.32	28.47 ~ 48.00	3.10 ~ 3.85

由表 1 可看出:①随着流量的增大,大峪口断面的 COD 与 TN 浓度值范围逐渐减小,且 COD 值趋于居中化,TN 值趋于偏大化。即在小流量(0 ~ 5)时,

COD 与 TN 的浓度值变化很不稳定,一般最值出现在此阶段;流量较大(5 ~ 20)时,变化范围相对小一些,浓度值较为稳定,值趋于居中化,没有最值出现在此阶段;大流量(20 ~ 60)时,变化范围较小,COD 浓度值在 28.47 ~ 48 mg/L 之间,处于中间范围;TN 浓度值在 3.1 ~ 3.85 mg/L 之间,处于偏大范围。②NH₃-N 浓度变化基本稳定,即在大峪口的洪水过程中,无论流量大小处于哪一等级,NH₃-N 浓度值的大小及范围变化均较小。

表 2 秦渡镇断面污染物浓度随流量等级的变化范围

Q	NH ₃ -N	COD	TN
0 ~ 50	0.06 ~ 2.93	3.95 ~ 66.67	0.70 ~ 5.75
50 ~ 100	0.17 ~ 2.32	7.91 ~ 48.19	1.13 ~ 5.44
100 ~ 200	0.02 ~ 2.36	12.00 ~ 56.22	1.33 ~ 4.61
200 ~ 300	1.99 ~ 2.37	6.15 ~ 61.66	2.44 ~ 3.79
300 ~ 500	1.06 ~ 1.69	31.65 ~ 67.64	0.91 ~ 5.20

由表2可看出:①随着流量的增大,秦渡镇断面的NH₃-N与TN浓度值范围大体呈现逐渐减小的趋势,且值均趋于居中化。即在小流量(0~50 m³/s)时,NH₃-N与TN的浓度值变化很不稳定,一般最值出现在此阶段;流量较大(50~200 m³/s)时,变化范围相对小一些,浓度值较为稳定,值趋于居中化,除NH₃-N外(最小值0.02出现在100~200 m³/s之间),没有最值出现在此阶段;大流量(200~300 m³/s)时,变化范围较小,NH₃-N浓度值在1.99~2.37 mg/L之间,处于中间范围;TN浓度值在2.44~3.79 mg/L之间,处于偏大范围。特大流量(300~500 m³/s)时,NH₃-N与TN浓度值变化范围比大流量时的大,较为不稳定。②COD浓度值变化不稳

定,其范围呈先减小后增大的趋势,即小流量和大流量时,其变化范围较大,在较大流量时变化范围较小,但在特大流量时COD值的变化较为稳定,且其值处于偏大范围。

2.1.4 水质流量的均值与最值分析 利用2009~2011年大峪口断面和秦渡镇断面定期监测的洪水过程资料,整理每一场次洪水过程的流量与浓度的最值,并计算每场次洪水流量的均值以及污染物COD、NH₃-N、TN的加权平均浓度,按照 $Q_{平均}$ 从小到大的顺序排列,结果列于表3中。并以 $Q_{平均}$ 为横坐标,TN、NH₃-N的平均浓度值为主纵坐标,COD的平均浓度值为次纵坐标,将大峪口断面和秦渡镇断面的结果分别绘于图3、图4中。

表3 大峪口和秦渡镇断面的多场洪水水质流量的极值与均值

断面	场次	流量			COD		NH ₃ -N		TN	
		Q_{max}	Q_{min}	$Q_{平均}$	C_{max} (所在阶段)	$C_{平均}$	C_{max} (所在阶段)	$C_{平均}$	C_{max} (所在阶段)	$C_{平均}$
大峪口	2010-07-10	6.30	0.32	3.12	75.70(退水段)	25.82	2.42(退水段)	1.89	3.63(起涨段)	3.26
	2010-07-17	8.44	1.13	4.33	11.77(起涨段)	7.14	1.47(起涨段)	1.02	3.20(起涨段)	1.21
	2010-07-24	10.50	0.50	4.54	12.05(洪峰段)	10.34	1.06(起涨段)	0.92	3.45(起涨段)	2.90
	2009-09-14	21.60	0.73	8.22	52.00(起涨段)	45.30	0.24(起涨段)	0.20	3.85(洪峰段)	3.69
	2010-08-24	19.80	0.94	9.08	45.63(起涨段)	32.16	1.32(洪峰段)	1.14	3.88(退水段)	3.44
	2011-09-06	57.10	2.32	17.56	28.60(起涨段)	24.86	2.46(起涨段)	2.33	3.43(起涨段)	2.99
秦渡镇	2010-07-17	43.50	14.40	31.68	66.67(起涨段)	23.93	0.71(洪峰段)	0.56	1.80(起涨段)	1.18
	2009-09-14	105.00	3.45	44.26	-	-	0.32(起涨段)	0.25	4.31(起涨段)	3.59
	2010-08-21	73.00	16.70	44.52	23.72(退水段)	12.40	1.18(洪峰段)	0.91	5.75(退水段)	4.80
	2010-07-24	114.00	48.40	64.12	56.23(洪峰段)	48.22	0.91(退水段)	0.51	2.03(退水段)	1.45
	2009-09-20	140.00	16.60	72.63	32.00(洪峰段)	18.61	1.02(起涨段)	0.13	3.40(起涨段)	3.11
	2011-07-31	232.00	41.41	123.88	55.87(退水段)	37.97	2.93(起涨段)	2.29	4.51(退水段)	2.69
	2011-09-07	285.00	84.70	205.54	101.68(起涨段)	44.03	2.36(退水段)	2.16	4.16(起涨段)	3.02
2011-09-18	475.00	68.90	312.25	67.64(洪峰段)	50.08	1.85(退水段)	1.35	5.20(起涨段)	2.75	

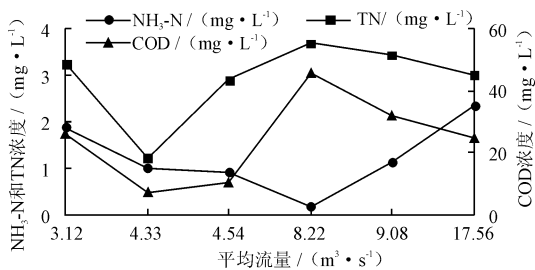


图3 大峪口断面污染物平均浓度随多场洪水平均流量的变化关系图

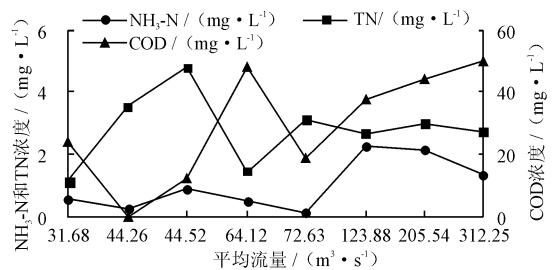


图4 秦渡镇断面污染物平均浓度随多场洪水平均流量的变化关系图

由表3、图3、图4,可看出:

(1)从大峪口断面来看,洪水 $Q_{平均}$ 在3.12~4.33 m³/s时,COD、NH₃-N、TN浓度值均呈下降趋势; $Q_{平均}$ 在4.33~8.22 m³/s时,TN和COD浓度值呈上升趋势,而NH₃-N继续呈下降趋势;当 $Q_{平均}$ 在

8.22~17.56 m³/s时,TN和COD浓度值呈下降趋势,而NH₃-N呈上升趋势;在 $Q_{平均}$ 处于8.22 mg/L时,TN和COD浓度值达到最大,NH₃-N达到最小值。说明小流量的洪水对大峪口的NH₃-N、TN和COD均有一定的稀释作用,较大流量的洪水对NH₃-

N 有一定的稀释作用,但它所产生的地表径流带来的 TN 和 COD 浓度值较枯季流量时的大,使得 TN 和 COD 浓度值大幅提升,而大流量洪水对污染物的影响刚好相反,它对 TN 和 COD 有一定的稀释作用,但所产生的地表径流带来的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度值较枯季流量时的大,使得 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度值增大。

(2)从秦渡镇断面来看,洪水 $Q_{\text{平均}}$ 在 $31.68 \sim 44.52 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度值大体呈上升趋势,且 TN 值上升的幅度很大, COD 呈下降趋势; $Q_{\text{平均}}$ 在 $44.52 \sim 123.88 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 浓度值大体呈上升趋势, TN 呈下降趋势;当 $Q_{\text{平均}}$ 在 $123.88 \sim 312.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, COD 浓度值一直在增大,而 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值在减小, TN 值基本保持稳定。即小流量时, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的变化幅度较小,而 TN 和 COD 的变化幅度较大;大流量时,刚好相反, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的变化幅度较大,而 TN 和 COD 的变化幅度较小。说明小流量及较大流量的洪水所产生的地表径流带来的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度值较枯季流量时的大,使得 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度值总体提升,而小流量的洪水对秦渡镇的 COD 有一定的稀释作用,较大流量的洪水对 TN 有一定的稀释作用,而大流量洪水对污染物的影响刚好相反,它对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 有一定的稀释作用,此时的 TN 较为稳定,但所产

生的地表径流带来的 COD 浓度值较枯季流量时的大,使得 COD 浓度值增大。从变化幅度来看,小流量洪水对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的影响较小,对 TN 和 COD 的影响较大;相反,大流量洪水对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的影响较大,对 TN 和 COD 的影响较小。

2.2 基于定期水质监测资料的水质流量关系分析

本文收集了秦渡镇断面多年来的定期监测数据,并对照水文年鉴中秦渡镇水文站的逐日流量表,摘录其中处于洪水过程中的水质监测数据,整理资料,结果见表 4。

表 4 2002 年到 2008 年秦渡镇断面各场洪水过程中的水质监测点的浓度及对应流量表 m^3/s , mg/L

时间	洪峰流量	流量	COD _{mn}	NH ₃ -N	TN
2002-09-19	19.9	3.60	3.68	0.548	1.67
2003-09-16	298.0	5.59	2.63	0.263	4.99
2004-09-01	29.0	2.81	4.90	0.425	1.94
2006-05-09	14.1	3.16	2.90	14.660	21.80
2007-09-02	135.0	27.50	5.80	0.268	1.77
2008-09-02	23.6	2.30	4.30	0.596	4.37

将每一场洪水的流量过程线绘制成折线图,横轴为洪水发生的日期(时间),纵轴为日流量,定期水质采样日期在图中用空三角符号标出,见图 5。

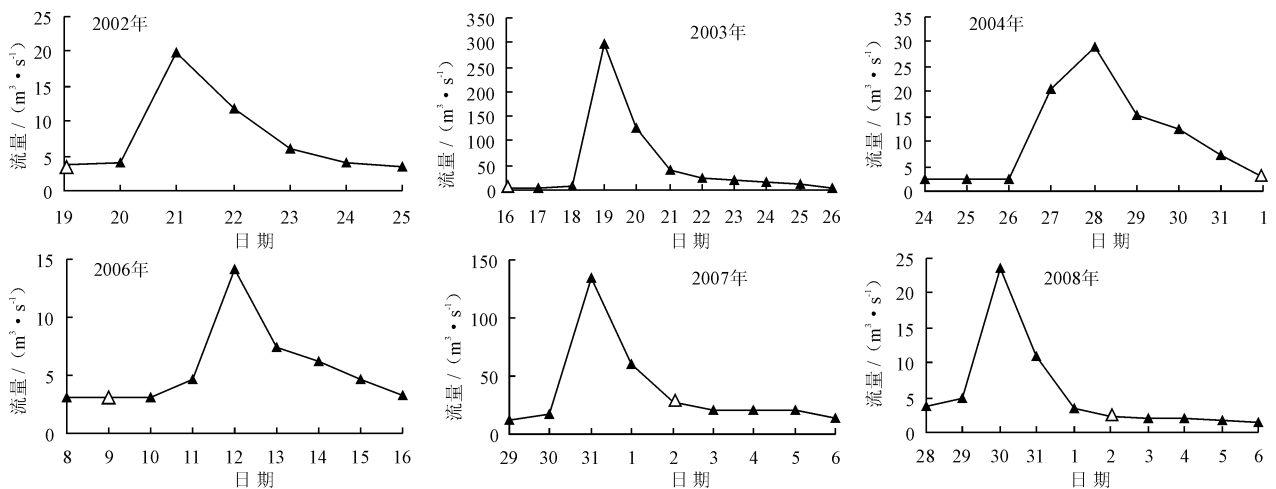


图 5 2002 年到 2008 年秦渡镇断面洪水过程流量图

再将 6 场洪水的洪峰流量按照从小到大的顺序排列,将对应的污染物浓度随洪峰流量的变化趋势绘制成图,横轴为洪峰流量,纵轴为污染物浓度,见图 6。

由图 5 和表 4 可看出:①2002 年到 2008 年秦渡镇断面所监测的 6 场洪水中,水质监测点处于起涨段的 3 场,退水段的 3 场。②从 COD 浓度变化来看,6 场洪水中,处于起涨段点的 COD 值均较小,处于退水段点的较大,说明雨洪产生的地表径流所带

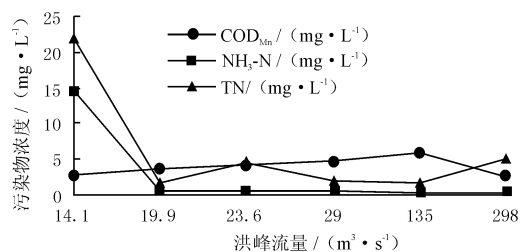


图 6 污染物浓度随洪峰流量的变化趋势图

来的 COD 浓度较河流枯季时的浓度值大,即 COD 的非点源污染影响较大。③从 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度变化来看,在 2006 年所监测的洪水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度值相当大,其水质监测点处于起涨段,说明 2006 年 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 的点源污染较严重。

由图 6 可看出:①当洪峰流量为 $14.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度值均达到最大值,而 COD 值却较小;当洪峰流量在 $19.9 \sim 135 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,随着洪峰流量的增大, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度值逐渐减小, COD 浓度值逐渐增大,而 TN 浓度值则先增大后减小;当洪峰流量为 $298 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 均达到最小值, TN 值却较大。②即洪峰流量为 $14.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,对应水质监测点处于起涨段,说明 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 的点源污染较严重,所受到的非点源污染影响相对较小;而随着洪峰流量增大,由于洪水的稀释作用, $\text{NH}_3\text{-N}$ 值逐渐减小,但 TN 值的变化较为不稳定;当洪峰流量在 $14.1 \sim 135 \text{ m}^3/\text{s}$ 之间时, COD 浓度值受到的雨洪所带来的非点源污染的影响较大,而呈现逐渐上升的状态,当洪峰流量达到 $298 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,由于洪水的稀释作用, COD 值减小。

3 结 语

根据秦渡镇断面 2001 - 2009 年的定期水质与流量资料、2009 - 2011 年大峪口断面和秦渡镇断面的多场洪水过程的水质水量同步监测资料,对水质与流量之间的关系进行了分析,得到以下结论:

(1)从断面的监测流量变化来看,随流量的增大,大峪口断面的 COD 与 TN 浓度值范围逐渐减小, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度基本稳定;秦渡镇断面的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 TN 浓度值范围大体上逐渐减小, COD 浓度值变化不稳定。

(2)按照每场洪水的平均流量大小来看,大峪口断面小流量洪水对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 和 COD 均有一定的稀释作用,较大流量的洪水对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 有稀释作用,使 TN 和 COD 浓度大幅提升,大流量洪水对 TN 和 COD 有稀释作用,使 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度增大;秦渡镇断面小流量及较大流量的洪水使 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度总体提升,大流量洪水对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 有稀释作用,此时 TN 较稳定, COD 浓度增大。对于秦渡镇断面,小流量洪水对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的影响较小,对 TN 和 COD 的影响较大,大流量洪水则刚好相反。

(3)根据 2002 - 2008 年秦渡镇断面所监测的 6 场

洪水可知,洪水对 COD 非点源污染的影响较大;而 2006 年 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 的点源污染严重突出,此外几年 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的点源污染严重, TN 变化不稳定。

参考文献:

- [1] 高 榕. 西安市沱河流域水质变化特征及污染控制对策研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2003.
- [2] 段慧敏. 沱河水环境变迁的初步研究[D]. 西安:西北大学,2010.
- [3] Line D E, McLaughlin R A, Osmond D L, et al. Nonpoint sources[J]. Water Environment Research, 1998, 70(4): 895 - 911.
- [4] Lull K J, Tindall J A, Potts D F. Assessing nonpoint source pollution risk: A GIS application [J]. J. Forestry, 1995, 93(1): 35 - 40.
- [5] Bao Quansheng, Mao Xianqiang, Wang Huadong. Progress in the research in aquatic environmental nonpoint source pollution in China[J]. Journal of Environmental Science, 1997, 9(3): 329 - 336.
- [6] Hessioa W C. A geographic information system for targeting non-point source agricultural pollution[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1998(3): 264 - 266.
- [7] 张水龙, 庄季屏. 农业非点源污染研究现状与发展趋势[J]. 生态学, 1998, 17(6): 51 - 55.
- [8] Thomas Steinheimer, Kenwood D Scoggin. Agricultural chemical movement through a field - size watershed in Iowa: surface hydrology and nitrate losses in discharge[J]. Environmental Science Technology, 1998, 32(8): 1048 - 1052.
- [9] 徐 谦. 我国化肥和农药非点源污染状况综述[J]. 农村生态环境, 1996, 12(2): 39 - 43.
- [10] 朱记伟, 雒望余, 刘建林. 沱河干流生态治理的必要性研究[J]. 新西部, 2009(22): 63.
- [11] 李英杰, 王 莉, 程三友, 等. 沱河 2001 - 2009 年水质变化特征[J]. 人民黄河, 2012, 34(4): 58 - 60.
- [12] 李英杰, 程三友, 王 莉, 等. 西安沱河 1986 - 2009 年水质时空变化研究[J]. 中国农村水利水电, 2011(8): 1 - 4.
- [13] 王 莉, 胥鹏海, 宋 涛, 等. 沱河水质变化趋势及原因分析[J]. 西北大学学报, 2011, 41(3): 503 - 506.
- [14] 杨 凯, 袁林江, 赵丙良. 降雨对沱河水质和污染特征的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(2): 50 - 54.
- [15] 刘建林, 雒望余, 张浩明, 等. 沱河干流生态治理及文化支持体系研究[J]. 人民黄河, 2012, 34(2): 52 - 54.
- [16] 高 榕, 高 兵, 洪 辉. 西安市沱河流域重点污染物——有机污染物的特性分析[J]. 陕西环境, 2003, 10(6): 49 - 51.