

沔河控制断面非点源污染年际变化特征研究

李怀恩, 丁劲, 王莉

(西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西 西安 710048)

摘要: 为了研究河流控制断面非点源污染的年际变化特征,以渭河支流沔河为例,利用秦渡镇断面 1992 - 2011 年长期水质监测资料和该断面的径流资料、以及 2009 - 2011 年的非点源污染水质水量同步监测数据,运用平均浓度法计算出该断面 1992 - 2011 年氨氮、2003 - 2011 年 COD、正磷、总磷及总氮的点源和非点源浓度、总负荷量、非点源负荷在总负荷中所占的比重,并拟合了污染物年际非点源污染所占比重与地表径流量、总负荷量和综合污染指数的相关关系,分析了年际非点源污染的变化特征。结果表明:氨氮和 TN 的非点源负荷所占比重受地表径流量和总负荷量影响比其他指标显著;河流总负荷量的年际变化趋势与流域地表径流量的变化趋势相似;氮污染的非点源比重在年际变化中呈下降趋势,COD 和 TP 的非点源比重呈上升趋势。

关键词: 河流控制断面; 同步监测数据; 非点源污染; 平均浓度法; 污染变化特征

中图分类号:X522

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2016)02-0018-06

Research on interannual variation characteristics of non-point source pollution on control section of Fenghe River

LI Huaen, DING Jin, WANG Li

(State Key Laboratory Base of Eco-Hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to research the interannual variation characteristics of non-point source pollution on control section of Fenghe river, the paper took Fenghe river which is tributary of Weihe river as a example, based on 1992 - 2011 long-term synchronous and 2009 - 2011 non-point source pollution synchronous monitoring water quality and flow data of Qinduzhen section in Fenghe River, and used the mean concentration method to calculate the point source and non-point source concentration, total pollution load, the load proportion of non-point source pollution of $\text{NH}_3\text{—N}$ from 1992 to 2011, and COD, TP and TN from 2003 to 2011, and fitted the correlativity between the load proportion of non-point source, total pollution load and comprehensive pollution index, and analyzed the variation characteristics of non-point source pollution. The results show that non-point source pollution load proportion of $\text{NH}_3\text{—N}$ and TN are more remarkably affected by surface runoff and total pollution load than other factors; the interannual variation tendency of river total pollution load is similar to the tendency of basin surface runoff; the non-point source load proportion of nitrogen pollution presents declining trend in interannual variation, and the non-point source load proportion of COD and TP is on the rise.

Key words: river control section; synchronous monitoring data; non-point source pollution; mean concentration method; variation characteristics of pollution

1 研究背景

利用多年实测水质、水量资料研究河流控制断面非点源污染的年际变化特征有着十分重要的意

义:可以得出非点源污染的年际变化情况和长系列中非点源污染对河流断面的影响情况、可以分析出非点源负荷与多种因素相关的明显程度、能够看出流域内人类活动对水环境的影响、对点源污染和非

收稿日期:2015-10-26; 修回日期:2015-12-29

基金项目:国家重大科技水专项专题(2009ZX07212-002-005-002); 全国水资源保护规划相关专题研究项目(环0202042012-2)

作者简介:李怀恩(1960-),男,陕西商南人,教授,博士生导师,主要从事水资源保护研究。

点源污染之间的关系有更客观的解释。随着社会对点源污染控制的重视,点源污染已经得到了较好的控制和治理。而非点源污染,由于涉及范围广、控制难度大,已成为影响水体环境质量的重要污染源^[1]。目前,也有学者河流水质年际变化进行过研究,李杰等^[2]对2006–2010年东辽河进行了研究,得出COD主要集中在7和8月、氨氮在3和7月有两个高峰。李奇等^[3]研究了2004–2010年宿州市内5条河的污染物时空分布特征,发现河流有不同程度污染且在2004年之后有明显改善。华常春等^[4]用BP神经网络模型模拟1986–2008年京杭大运河扬州段的污染情况,得出水质富营养化严重,但水质得到逐步改善。蔡临明^[5]通过对2000–2009年浙江省主要水库的氮磷指标进行研究,得出磷是浙江省水库营养化的主要因素。高芬^[6]利用1988–2006年白洋淀的水质资料对白洋淀湿地的水质进行了研究。王莉等^[7]计算并研究了1986–2007年渭河支流沔河的综合污染指数。王华等^[8]研究过沔河秦渡镇断面2001–2009年COD、NH₃—N和TN污染与流量的关系。Lopez-lopez等^[9]研究了2001–2008年Guadalquivir River中总悬浮固体(TSS)、Pb和PO₄³⁻与暴雨的关系。Gredilla等^[10]用沉积物质量方针(SQGs)和地质积累指数(Igeo)评估了2005–2010年Nerbiol-Ibalzabal River河口泥沙中重金属的含量。Howden等^[11]研究了1930–2007年氮负荷在Alton Pancras流域的输移情况。

近年来如上文献研究了不少河流的年际污染情况,却很少有人重点研究河流非点源污染的年际变化情况。本文通过整理计算所研究断面1992–2011共20年的实测资料,分析研究河流断面COD、TP、NH₃—N和TN非点源污染的年际变化特征,且用一元线性和多元线性、逐步回归分析拟合出各污染指标的非点源负荷比重与地表径流量、总负荷量、综合污染指数之间的关系。

2 材料与方法

2.1 研究区域

沔河属黄河流域渭河水系,是渭河右岸的一级支流。沔河既是西安市黑河引水工程补给水源地,也是西安市长安区城镇居民的重要集中式生活饮用水水源地和重要工农业生产水源地^[12]。因此,分析沔河水污染特征和估算分析沔河水污染负荷,对于

控制沔河水污染、治理和改善水环境以及恢复水功能有着十分重要的意义。沔河全长82 km,流域面积1 460 km²,沔河多年平均年径流量为2.381亿m³。本文选取的评价断面为位于沔河下游的秦渡镇控制断面。

2.2 数据与方法

本文所依据的资料包括渭河支流沔河秦渡镇断面2009–2011年多场洪水水质和流量同步监测数据、秦渡镇断面1992–2009年的定期水质监测资料,以及相应年份秦渡镇水文站的逐日流量数据资料。

基于上述水质和流量资料,运用平均浓度法^[13]估算污染物非点源浓度与非点源负荷量。由估算所得各污染物非点源负荷量与总负荷量之比进一步得到非点源负荷所占比重,并与断面的地表径流量、总负荷量、综合污染指数一起分析年际变化特征。同时利用一元、多元线性分析方法和逐步回归分析方法,将非点源负荷比重与相应年份的综合污染指数、地表径流量、总负荷量进行拟合,分析变化情况。

3 结果与分析

3.1 秦渡镇断面负荷量的估算

3.1.1 污染物非点源浓度的计算 根据秦渡镇断面年际资料的特点,在处理该断面洪水期数据时把握以下原则:第一,将洪峰代表时段分为峰前和峰后两部分,然后求和得到整个洪水过程;第二,对于基流流量大于10 m³/s的洪水过程,基流流量采用10 m³/s进行计算,因为基流量监测时可能会受到之前降雨的影响,导致实测基流值偏大,以以往经验取10 m³/s较合理;第三,对于基流流量小于10 m³/s的洪水过程,其基流浓度取用洪水期该流量实测浓度;第四,若有洪水期洪水资料与非洪水期资料临近,则采用与该次洪水日期临近的基流浓度进行基流负荷的计算。

由于1991–2008年秦渡镇断面水质实测数据稀少、难以进行计算分析,而2009–2011三年的水质资料较为完整,故拟将2009–2011三年非点源加权平均浓度近似作为1992–2008年该断面各年非点源浓度进行相关负荷量的计算,见表1。为了验证可靠性:对比2009–2011三年实测非洪水期资料计算所得污染物点源浓度值与环保部门资料计算所得点源浓度值,发现除总磷外,其余几个指标基本接近,两者大体相当,说明所测数据与环保部门数据基本吻合。

表 1 秦渡镇断面非点源浓度计算结果

m³, mg/L

时间	地表径流 总量	COD	可溶性正 磷酸盐	TP	NH ₃ —N	NO ₂ —N	NO ₃ —N	TN
2009-09-13 – 15	9133452		0.073	0.105	0.241	0.011	0.076	3.495
2009-09-19 – 21	10458720	21.677			0.034		0.010	3.245
2010-07-09 – 10	496800	24.461	0.031	0.157		0.781		
2010-07-17 – 18	1780920	24.528	0.016	0.028	0.538	0.603		0.788
2010-07-24 – 25	7965000		0.031	0.136	0.486	0.831	0.021	1.328
2010-08-21 – 22	5786784	12.311	0.034	0.080	0.866	0.077	0.556	4.309
2011-05-11 – 13	525600					0.025	0.486	4.598
2011-07-31 – 08 – 01	8744256	40.690	0.048	0.211		0.040	0.310	2.808
2011-09-06 – 08	39042720	31.356	0.031			0.016	0.235	3.058
2011-09-17 – 20	78952680		0.026	0.113	1.403	0.069	0.233	2.677
非点源加权平均浓度		29.163	0.032	0.119	1.080	0.099	0.216	2.836

3.1.2 污染物点源浓度的计算 关于 1992 – 2008 年点源浓度(基流浓度)的计算,环保部门所测秦渡镇断面的水质资料极其稀少,1992 – 2000 年的 1、3、5、7、9 和 11 月每月只有 1 场无具体采样日期的水质资料,2001 – 2008 年仅 1、5 和 9 月每月有 1 次有明确采样日期的水质资料。故不能使用统一的基流流量和浓度计算,须用各年资料计算出各年的基流浓度。

另外,因 1991 – 2000 年的水质资料无具体采样日期,而 2001 – 2008 年的水质资料有具体采样日期,故在对两个时间段进行分析计算时也不能使用同一种方法:对于 1992 – 2000 年的实测资料,选取 1、3 和 11 月的资料作为基流资料进行计算,对 NH₃—N 指标进行浓度计算;对于 2001 – 2008 年的资料,对照当年的逐日流量表,选取基流资料进行计算,计算结果见表 2。

表 2 秦渡镇断面点源浓度计算结果

mg/L

年份	COD	TP	TN	年份	NH ₃ —N	年份	NH ₃ —N	年份	NH ₃ —N
2003	52.150	0.305	2.870	1992	0.551	1998	0.172	2004	0.648
2004	13.800	0.135	3.410	1993	0.161	1999	0.055	2005	0.394
2005	19.000	0.123	3.147	1994	0.244	2000	0.353	2006	1.591
2006	13.000	0.115	9.600	1995	0.113	2001	0.368	2007	0.848
2007	10.500	0.100	3.150	1996	0.020	2002	0.398	2008	0.609
2008	17.000	0.210	6.160	1997	0.401	2003	0.480		
2009 – 2011				2009 – 2011					
加权平均	20.001	0.061	2.748	加权平均			0.762		

3.1.3 污染物负荷量的计算 查询 1992 – 2011 年的秦渡镇站逐日平均流量表^[14]中年统计值,得到秦渡镇站 1992 – 2011 年年径流总量,并对照秦渡镇年径流量频率曲线得到每一年份各自的频率。然后用数值滤波法将各年径流总量分割为地表径流量和基流量,分别乘以非点源浓度和各年的点源浓度,得到各年的非点源负荷和点源负荷,并求得总负荷,再求得非点源污染所占比重,见表 3。

3.2 断面综合污染指数的选取

秦渡镇断面综合污染指数 A 选用李家科等^[15]收集的泔河口水文站的数据,见表 4。

A 值法评价分级标准^[15]:0 ~ 1 为良好,1 ~ 2 为一般,2 ~ 3 为开始污染,3 ~ 4 为中等污染, A > 4 为严重污染。

3.3 非点源污染年际变化特征分析及主要影响因素

对于非点源污染的年际变化特征和其主要影响因素的分析,先根据年际负荷估算的结果得到非点源负荷所占比重、总负荷量和地表径流量的年际变化特征,再结合各年际特征进行单因素、多因素方程的拟合来确定非点源污染与不同因素的相关情况并分析出主要影响因素。

表 3 沔河污染物非点源污染负荷量的年际情况

年份	负荷	COD	DP	TP	NH ₃ —N	NO ₂ —N	NO ₃ —N	TN
1992	非点源负荷/t	2327	2.522	9.493	86.164	7.866	17.258	226.230
	非点源负荷比重/%				59.952			
1993	非点源负荷/t	2731	2.960	11.141	101.124	9.230	20.262	265.517
	非点源负荷比重/%				84.030			
1994	非点源负荷/t	2287	2.478	9.333	84.683	7.732	16.974	222.349
	非点源负荷比重/%				75.703			
1995	非点源负荷/t	981	1.057	4.004	36.309	3.316	7.274	222.351
	非点源负荷比重/%				85.807			
1996	非点源负荷/t	2476	2.693	10.101	91.682	8.373	18.370	240.717
	非点源负荷比重/%				97.811			
1997	非点源负荷/t	1019	1.114	4.155	37.729	3.448	7.561	99.063
	非点源负荷比重/%				62.630			
1998	非点源负荷/t	5219	5.663	21.292	193.282	17.654	38.723	507.488
	非点源负荷比重/%				87.144			
1999	非点源负荷/t	2898	3.140	11.821	107.334	9.801	21.504	281.810
	非点源负荷比重/%				95.135			
2000	非点源负荷/t	2945	3.204	12.021	109.073	9.958	21.848	286.403
	非点源负荷比重/%				75.366			
2001	非点源负荷/t	812	0.882	3.310	30.075	2.746	6.032	78.981
	非点源负荷比重/%				58.017			
2002	非点源负荷/t	2242	2.426	9.154	83.028	7.583	16.626	218.017
	非点源负荷比重/%				67.021			
2003	非点源负荷/t	5233	5.679	21.352	193.801	17.701	38.833	508.869
	非点源负荷比重/%	36.352		28.494	69.667			50.217
2004	非点源负荷/t	1190	1.288	4.861	44.069	4.019	8.828	115.721
	非点源负荷比重/%	50.671		29.993	44.777			28.792
2005	非点源负荷/t	3707	4.021	15.120	137.294	12.541	27.512	360.494
	非点源负荷比重/%	60.554		49.101	73.288			47.401
2006	非点源负荷/t	1414	1.531	5.766	52.382	4.775	10.486	137.525
	非点源负荷比重/%	52.808		34.037	25.301			12.842
2007	非点源负荷/t	2381	2.592	9.718	88.240	8.063	17.679	231.691
	非点源负荷比重/%	64.037		43.278	44.947			36.602
2008	非点源负荷/t	1263	1.370	5.148	46.771	4.271	9.372	122.815
	非点源负荷比重/%	45.531		21.625	46.383			18.316
2009	非点源负荷/t	3003	3.262	12.247	111.212	10.155	22.275	292.011
	非点源负荷比重/%	62.822	45.451	69.382	62.140	43.148	60.887	54.463
2010	非点源负荷/t	3090	3.346	12.600	114.415	10.450	22.917	300.432
	非点源负荷比重/%	48.055	31.326	55.382	47.338	29.361	46.031	39.573
2011	非点源负荷/t	5286	5.731	21.563	195.727	17.874	39.210	513.925
	非点源负荷比重/%	58.608	41.124	65.501	57.904	38.866	56.613	50.046

表 4 2001 - 2011 年津河口 - 秦渡镇断面水质综合污染指数

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
综合污染指数	4.36	4.66	4.8	2.78	2.87	7.3	2.95	4.93	3.17	3.62	3.23

3.3.1 年际变化特征分析 以更直观显示变化特征,将 COD、总磷、氨氮和总氮 4 个指标各自非点源负荷量在总负荷中所占比重、总负荷量、地表径流量和综合污染指数 4 者换算成相同数量级后的变化趋势整理到一张图上显示(因氨氮研究系列最长,文中仅列出氨氮指标图,见图 1)。

非点源污染年际变化特征有:氨氮的非点源负荷比重总体有下降趋势,COD 和 TP 非点源负荷比重总体有上升趋势;总负荷量的变化趋势与地表径流变化趋势相似;1998 和 2003 年两丰水年的非点源负荷比重没有太大波动,但总负荷量增加明显;非点源负荷比重与综合污染指数的变化趋势相反。

3.3.2 单因素分析 依次选取非点源负荷比重、地表径流量、总负荷量以及综合污染指数中两项作为横纵坐标拟合相关曲线,来研究其两两之间的单因素线性关系,结果见表 5。

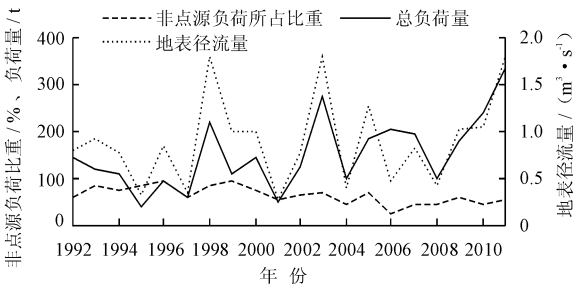


图 1 氨氮相关值的年际变化趋势

表 5 污染物单因素线性拟合

线性拟合关系	COD			TP			NH ₃ —N			TN		
非点源负荷	$y = -0.001x + 59.542$			$y = -0.208x + 50.075$			$y = 0.015x + 51.578$					
比重(y) 与	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.			
总负荷量(x)	0.207	1.832	0.218	0.051	0.373	0.561	0.008	0.071	0.796			
非点源负荷	$y = -1.338x + 54.647$			$y = 14.730x + 29.178$			$y = 14.474x + 40.885$			$y = 22.535x + 14.773$		
比重(y) 与	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.
地表径流量(x)	0.006	0.043	0.841	0.219	1.964	0.204	0.300	3.855	0.081	0.669	14.163	0.007
非点源负荷	$y = -2.781x + 64.306$			$y = -5.426x + 65.581$			$y = -4.813x + 73.8$			$y = -6.402x + 62.941$		
比重(y) 与	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.
综合污染指数(x)	0.202	1.716	0.224	0.226	2.048	0.195	0.213	2.442	0.153	0.411	4.888	0.063
总负荷量(y)	$y = 6555.578x - 827.874$			$y = 24.598x - 3.825$			$y = 139.425x + 53.270$			$y = 230.798x + 529.930$		
与地表径	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.
流量(x)	0.825	32.97	0.001	0.525	7.737	0.027	0.765	29.317	0.000	0.285	2.778	0.139
总负荷量(y)	$y = -117.484x + 6273.194$			$y = 1.205x + 23.948$			$y = -3.324x + 195.545$			$y = 95.955x + 383.462$		
与综合污染	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.	R^2	F	Sig.
指数(x)	0.002	0.014	0.909	0.010	0.068	0.802	0.003	0.025	0.877	0.375	4.197	0.080
综合污染指数(y) 与				$y = -0.708x + 4.678$								
地表径流量(x)				$R^2 = 0.066$			$F = 0.494$			Sig. =0.505		

由表 5 可得:非点源污染比重与总负荷量的线性关系不是很明显,原因可能是不同年的非点源污染比重呈波动趋势,其单个因素与总负荷量的变化相差较大;总负荷量与地表径流量的线性关系比其他拟合较为显著,地表径流主要携带非点源污染物,可知总负荷量受非点源污染影响较严重。

3.3.3 多因素变化趋势分析 以非点源负荷比重为因变量,其余为自变量拟合多元方程,结果见表 6。

由表 6 可得:污染物地表径流量和总负荷量的

变化趋势基本呈同时上升或下降趋势;氨氮研究系列最长,其地表径流量和总负荷量两条曲线有较明显的相关性,且可看出氨氮的总负荷量比地表径流量在近几年的增长趋势很明显;氨氮和 TN 的非点源污染所占比重与总负荷量、地表径流量及综合污染指数拟合程度最好,且经 F 检验较为可信。

3.3.4 逐步回归分析 为了得到地表径流量、总负荷量及综合污染指数哪些对非点源负荷比重影响更为明显,以非点源负荷所占比重为因变量,其余 3 项

为自变量,取统计显著水平 $\alpha = 0.05$,拟合出 COD、总磷、氨氮和总氮的最优逐步回归方程(见表 7)。

表 6 污染物多因素线性拟合

污染物	年份	拟合方程	R^2	F 统计量	检验的显著性水平
COD	2003 - 2011	$y = - 0.005x_1 + 31.006x_2 - 0.481x_3 + 52.771$	0.853	9.705	0.016
TP	2003 - 2011	$y = - 1.087x_1 + 41.285x_2 - 0.274x_3 + 34.619$	0.889	13.413	0.008
氨氮	2001 - 2011	$y = - 0.227x_1 + 53.242x_2 - 0.137x_3 + 55.016$	0.949	43.271	0.000
TN	2003 - 2011	$y = - 0.049x_1 + 35.054x_2 + 1.595x_3 + 33.463$	0.937	24.690	0.002

注: y 为非点源负荷所占比重,% ; x_1 为总负荷量,t; x_2 为地表径流量, 10^8 m^3 ; x_3 为综合污染指数。

表 7 污染物逐步回归拟合方程

污染物	年份	逐步回归拟合方程	R^2	F 统计量	检验的显著性水平
氨氮	1992 - 2011	$y = - 0.379x_1 + 62.778x_2 + 67.420$	0.866	55.072	0.000
TN	2003 - 2011	$y = - 0.039x_1 + 31.464x_2 + 35.274$	0.933	41.750	0.000

注: y 为非点源负荷所占比重,% ; x_1 为总负荷量 t; x_2 为地表径流量, 10^8 m^3 。

经过逐步回归分析可以看出:氨氮和 TN 的非点源污染所占比重受地表径流量和总负荷量影响比其他指标显著;由于综合污染指数主要反映点源污染情况,综合污染指数相比于地表径流和总负荷量对污染物的非点源负荷所占比重影响最小。

4 结 论

(1)污染物的总负荷量的年际变化趋势与地表径流量的变化趋势相似,非点源污染是河流中的主要污染。

(2)沔河中氨氮的非点源负荷比重总体有下降趋势,COD 和 TP 非点源负荷比重总体有上升趋势。

(3)河流中污染物总负荷量在 2009 年之后有上升趋势。

(4)沔河内氮污染(氨氮和 TN)的非点源污染所占比重受地表径流量和总负荷量影响特别显著,可以考虑应用其逐步回归方程于其他相近河流非点源氮污染的估算分析。

本文利用渭河支流沔河秦渡镇断面 1992 - 2011 年长期水质监测资料和该断面的径流资料研究了河流非点源污染的年际变化特性,但未深入结合径流过程和下垫面特征进行分析,今后可以针对上述方向进行进一步的延拓和深入研究。

参考文献:

[1] 乔继平,代俊峰. 河流污染的点源和非点源负荷分割研究[J]. 中国农村水利水电,2015,(6):17-20.

[2] 李 杰,余 麟,许君雨,等. 东辽河辽源段非点源污染估算与变化规律分析[J]. 科学技术与工程,2013,13(29):8691-8696.

[3] 李 奇,张 生,郭 勇. 宿州市主要河流污染的时空特征及水质评价[J]. 安徽工程大学学报,2015,(2):42-47.

[4] 华常春,高桂枝. 京杭大运河扬州段水污染研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(27):15197-15199.

[5] 蔡临明. 浙江省重要水库型饮用水水源地富营养化态势分析及对策[J]. 中国水利,2010(11):19-20.

[6] 高 芬. 白洋淀生态环境演变及预测[D]. 保定:河北农业大学,2008.

[7] 王 莉,林启才,沈炳岗,等. 沔河水污染特征及非点源污染负荷估算分析[J]. 水土保持学报,2012,26(4):235-238.

[8] 王 华,李怀恩,王 莉. 沔河水质与流量之间的关系分析[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(6):83-88.

[9] López - López J A, Mendiguchía C, García - Vargas M, et al. Multi - way analysis for decadal pollution trends assessment: The Guadalquivir River estuary as a case study [J]. Chemosphere,2014,111:47-54.

[10] Gredilla A, Vallejuelo FOD, Arana G, et al. Long - term monitoring of metal pollution in sediments from the estuary of the Nerbioi - Ibaizabal River[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science,2013,131(6):129-139.

[11] Howden N J K, Burt T P, Mathias S A, et al. Modelling long - term diffuse nitrate pollution at the catchment - scale: Data, parameter and epistemic uncertainty [J]. Journal of Hydrology ,2011,403(3-4):337-351.

[12] 王 莉,胥鹏海,宋 涛,等. 沔河水质变化趋势及原因分析[J]. 西北大学学报(自然科学版),2011,41(3):503-506.

[13] 李怀恩. 估算非点源污染负荷的平均浓度法及其应用[J]. 环境科学学报,2000,20(4):397-400.

[14] 黄河水利委员会. 黄河流域水文资料 - 渭河水系 1991 - 2011[Z]. 1991-2011.

[15] 李家科,袁林江,吴军虎,等. 河流氮素污染源解析及控制技术(第一版) [M]. 北京:科学出版社,2014.