

Non-Point Source Pollution and Critical Sediment in the Lower Reaches of the Yellow River

Shijie Zhang

Anhui Provincial Key Laboratory of Water Resources and Hydraulic Engineering, Anhui & Huaihe River Institute of Hydraulic Research, Bengbu Anhui
Email: shijie8433@163.com

Received: Jan. 19th, 2018; accepted: Feb. 1st, 2018; published: Feb. 11th, 2018

Abstract

Based on previous research on water pollutants concentration in the lower reaches of the Yellow River, using daily flow and sediment of Sanmenxia, Huayuankou and Gaocun hydrologic station, taking ammonia nitrogen and total phosphorus as indicators, we analyzed non-point source pollution caused by water and soil loss in these sections. Ammonia nitrogen non-point pollution takes up 11.8%~88.4%, 8.8%~85.1% and 6.6%~89.5% of the total pollution respectively, with an average of 53.0%; while total phosphorus takes up 34.3%~99.7%, 32.4%~96.3% and 39.2%~94.8% of the total pollution, with an average of 78.8%. The critical sediment discharge in the lower Yellow River reaches belongs to III and II water quality standard based on environment quality standards of surface water, which is 7.93×10^8 t and 5.20×10^8 t in Sanmenxia to Gaocun interval averagely. It is important to control the water quality in the lower Yellow River reaches.

Keywords

Non-Point Pollution, Critical Sediment Discharge, Lower Reaches of the Yellow River

黄河下游非点源污染负荷及临界输沙量研究

张世杰

安徽省水利部淮委水利科学研究院, 水利水资源安徽省重点实验室, 安徽 蚌埠
Email: shijie8433@163.com

收稿日期: 2018年1月19日; 录用日期: 2018年2月1日; 发布日期: 2018年2月11日

摘要

在总结分析前人有关黄河下游水体污染物浓度研究成果的基础上, 利用三门峡、花园口和高村水文站逐日水沙

作者简介: 张世杰, 男, 工程师, 硕士, 主要从事水土保持与水生态方面的科研与规划设计。

资料,以氨氮和全磷为指标,分析了三门峡、花园口和高村断面因水土流失引起的非点源污染负荷。氨氮非点源污染负荷占总污染负荷的比例分别为11.8%~88.4%、8.8%~85.1%和6.6%~89.5%,平均值53.0%;全磷分别为34.3%~99.7%、32.4%~96.2%和39.2%~94.8%,平均值为78.8%。参照地表水环境质量标准,得到下游河道达到Ⅲ类和Ⅱ类水质标准的临界输沙量,三门峡至高村河段平均为7.93和5.20亿t。将对控制黄河下游水体水质健康具有重要的指导意义。

关键词

非点源污染, 临界输沙量, 黄河下游

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黄土高原严重的水土流失不仅造成当地生态环境脆弱,生活贫困,而且致使黄河下游河道淤积、水质恶化,严重威胁着黄河下游的健康运行。黄河流域雨季明显,60%~80%的降水集中在汛期(7~10月)[1],多以暴雨形式出现,而径流冲刷和淋溶是非点源污染形成和迁移的直接动力,降雨在冲刷了表层土壤的同时,也带走了大量营养物质,成为下游河道非点源污染的重要来源[2]。据测定,黄土高原流失的每吨泥土中含有氨氮0.8~1.5 kg,全磷1.5 kg [3]。以陕北黄土丘陵区为例,每年土壤养分流失量折合化肥高达2 250 kg/hm²,是当年化肥总投入量的17.9倍之多[4],且黄河流域施入农田的化肥约有30%左右随水土流失和灌溉退水而进入黄河[5]。韩凤鹏等[6]和孟伟等[7]研究结果也表明,黄河流域全磷和全氮主要来自非点源污染。可见,非点源污染已成为黄河水质污染的重要来源。为此,黄河水利委员会提出了“维持黄河健康生命”的治河理念,其中“良好的水质”是黄河健康的五大标志之一[8]。目前,关于黄河流域非点源污染来源与影响程度研究较多,对非点源污染负荷,尤其是作为非点源污染载体的黄土高原水土流失与下游水体水质关系研究较少,黄河下游水体非点源污染负荷与中上游黄土高原不同侵蚀类型区产沙量、水土保持综合治理效果密切相关,在弄清黄河下游水体非点源污染负荷的基础上,参照地表水环境质量标准,利用所总结的估算方法[9],以氨氮和全磷为指标推算下游河道达到某种水质标准时临界输沙量,将对上游黄土高原水土流失治理、控制黄河流域非点源污染和下游水体水质健康具有重要的指导意义。

2. 研究方法

对于黄河下游水体非点源污染负荷,以水体中氨氮和全磷污染物为指标,采用根据黄河流域现状对平均浓度法[10]改进的估算公式(式(1)) [2],根据潼关断面2006年汛期(7~10月)和非汛期(11月~翌年6月)水体和泥沙氨氮和全磷含量,以及三门峡站、花园口站、高村站以及头道拐水文站1962~1988年实测水沙资料,估算来自头道拐至各水文站不同水沙组合下水体的氨氮和全磷非点源污染负荷。参考《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》[11],采用单项最高水质类别作为该河段综合水质类别的综合水质评价法[12],统计达到或超过Ⅳ类水质的水沙组合,并与Ⅲ类或Ⅱ类水质标准浓度相减,得到不同水沙组合条件下超出Ⅲ类或Ⅱ类水质标准的浓度,结合对应水沙组合的汛期径流量和污染物浓度,得到携带超出污染物的径流量(见式(2)) [9],利用含沙量计算出超出部分径流量携带的泥沙量,由于非点源污染主要来自汛期[2] [6],因此,利用汛期输沙量减去超出部分输沙量即为达到特定水质标准的临界输沙量。对同一污染物,以临界输沙量平均值作为该污染物达到特定水质标准的临界输沙量,对于不同污染物(氨氮和全磷),以两者均能达到水质标准的要求作为达到特定水质标准的临界输沙量,即取两者中小值。

$$W_{NPS} = W_X - \alpha W_F = (\bar{C}_{XW} \bar{W}_{WXW} + \bar{C}_{XS} \bar{W}_{SXS}) - \alpha (\bar{C}_{FW} \bar{W}_{FWW} + \bar{C}_{FS} \bar{W}_{SFS}) \quad (1)$$

式中： W_{NPS} 为非点源污染负荷(kg)； W_X 和 W_F 为汛期和非汛期污染负荷量(kg)； \bar{C}_{XW} 和 \bar{C}_{FW} 是指汛期和非汛期溶解态污染物浓度(mg/L)； \bar{W}_{WXW} 和 \bar{W}_{FWW} 分别表示汛期和非汛期径流总量(m³)； \bar{C}_{XS} 和 \bar{C}_{FS} 分别表示汛期和非汛期泥沙携带的吸附态污染物浓度(mg/kg)； \bar{W}_{SXS} 和 \bar{W}_{SFS} 分别表示汛期和非汛期输沙总量(kg)； α 为时间比例系数，即汛期时间(4 个月)和非汛期时间(8 个月)的比值，本文中 $\alpha = 0.5$ 。

$$R_C = \frac{C_F - C_B}{C_F} * R_N \quad (2)$$

式中： R_C 为携带超出污染物部分径流量(m³)； C_F 为某组合下非点源污染物浓度(mg/L)； C_B 为特定水质类别的标准浓度(mg/L)； R_N 为各断面对应水沙组合的汛期径流量(m³)。

3. 非点源污染负荷估算

潼关是黄河干流流经黄土高原的末端控制断面，也是下游三门峡水库的进库控制断面。因此，以潼关断面 2006 年汛期和非汛期全磷和氨氮污染物浓度[2]为依据(见表 1)。

由计算结果可知，各断面不同水沙组合条件下氨氮和全磷非点源污染负荷占总污染负荷的比例变化幅度均很大，氨氮占总污染负荷的比例变化幅度为三门峡断面 11.8%~88.4%、花园口断面 8.8%~85.1%和高村断面 6.6%~89.5%；全磷为三门峡断面 34.3%~99.7%、花园口断面 32.4%~96.2%和高村断面 39.2%~94.8%。但是，氨氮非点源污染负荷占总污染负荷的比例平均值却非常接近，三个断面依次为 52.8%、52.7%和 53.5%，三门峡至高村河段平均值为 53.0%；全磷非点源污染负荷占总污染负荷的比例变化较大，最小的为高村断面仅 73.6%，最大的为三门峡断面达到 85.9%，变化幅度达到 11.8%，三门峡至高村河段平均值为 78.8%。李强坤等[2]对潼关断面丰水年、平水年和枯水年非点源污染负荷占总污染负荷的比例分析表明，氨氮所占比例为 24.6%~61.3%，全磷变化范围为 71.7%~89.8%。韩凤鹏等[6]对黄河六条支流(渭河、泾河、洛河、无定河、窟野河和皇甫川流域)非点源估算研究表明，95%的全磷和大于 53%的氨氮来自非点源污染。可见，非点源污染成为黄河水质的主要污染来源，文中非点源污染负荷研究结果较为合理。

对照《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》，三门峡断面水体水质非点源污染非常严重，出现 IV 类和劣于 IV 类水质比例高达到 92.6%。相比三门峡断面和高村断面，花园口断面出现 III 类水质类别的比例最高，达到 55.6%，优于 III 类(含 III 类)水质类别的比例更是高达 70.4%。高村断面优于 III 类(含 III 类)水质类别占到总比例的 59.2%。根据 2006 年《黄河水资源公报》[12]公布的结果，黄河干流评价的 3613.0 km 河长中，全年 IV 类、V 类和劣 V 类水质标准的河长分别占 34.8%、3.5%和 3.1%，其中潼关和三门峡等河段水质为劣 V 类，且氨氮为最主要污染物之一。需要指出的是，《黄河水资源公报》中评价指标不包括全磷指标，为了验证结果合理性，以氨氮作为指标分析不同断面的水体非点源污染水质类别，三门峡断面 IV 类或劣于 IV 类水质的比例达到 55.5%，花园口和高村断面基本上无劣于 IV 类及以上水质类别出现(仅高村断面出现过 1 次劣 V 类水质)。由 1998~2007 年黄河流域水资源公报统计资料可知，黄河下游潼关至三门峡河段是污染最严重河段，常年水质均为 IV 类和劣于 IV 类，其中氨氮为最主要超标污染物指标之一，花园口和高村断面主要以 III 类水质为主(见图 1)。由此可见，文中评价结果较合理。

Table 1. Average concentration of pollutants in flood season and non-flood season in Tongguan section of the Yellow River
表 1. 黄河潼关断面汛期和非汛期污染物平均浓度

项目	汛期		非汛期	
	水体/(mg·L ⁻¹)	泥沙/(mg·kg ⁻¹)	水体/(mg·L ⁻¹)	泥沙/(mg·kg ⁻¹)
NH ₄ ⁺ -N	3.11	13.71	3.09	12.25
TP	0.82	0.06%	0.39	0.06%

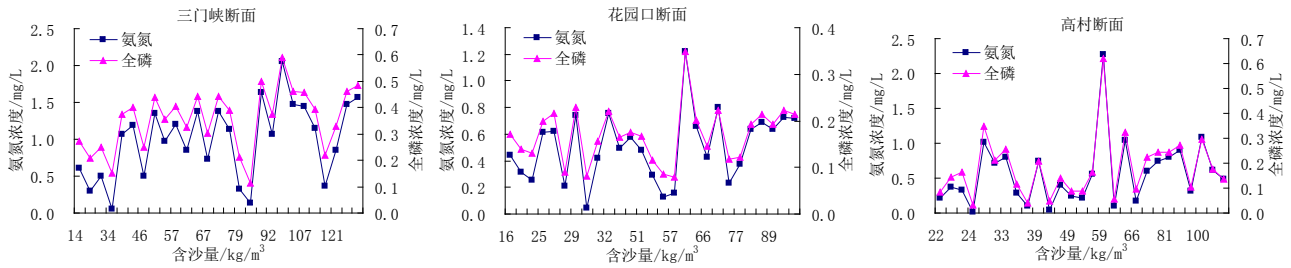


Figure 1. Concentration of ammonia nitrogen and total phosphorus in Samenxia, Huayuankou and Gaocun sections

图 1. 三门峡、花园口和高村断面不同水沙组合氨氮和全磷非点源污染浓度变化

Table 2. Critical sediment discharge from different intervals to class III water quality

表 2. 不同区间达到 III 类水质类别的临界输沙量

区间	序号	汛期径流量/ 10^8m^3	汛期沙量/ 10^8t	氨氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	全磷/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	超出部分径流量/ 10^8m^3		超出部分沙量/ 10^8t		临界输沙量/ 10^8t	
						氨氮	全磷	氨氮	全磷	氨氮	全磷
头道拐至三门峡区间	1	75.57	1.47	0.61	0.27	-	20.44	-	0.62	-	0.85
	2	68.66	2.86	0.30	0.21	-	2.14	-	0.15	-	2.71
	3	115.97	16.81	1.06	0.37	35.49	65.12	5.89	10.81	10.92	6.00
	4	118.30	15.17	1.06	0.37	6.94	54.96	1.14	8.98	14.04	6.19
	5	101.27	10.33	0.85	0.33	-	39.29	-	4.48	-	5.84
	6	87.13	17.39	0.86	0.33	-	34.10	-	7.99	-	9.40
	7	53.34	9.06	0.36	0.22	-	5.01	-	1.37	-	7.68
	8	32.60	4.95	0.33	0.21	-	2.05	-	0.40	-	4.54
	9	82.39	15.29	1.47	0.46	26.35	46.76	5.31	9.42	9.98	5.87
	10	46.10	6.13	0.73	0.30	-	5.54	-	2.13	-	4.00
	11	107.44	11.59	1.38	0.44	29.56	58.90	3.27	6.52	8.32	5.07
	12	98.72	9.12	1.38	0.44	27.39	54.22	2.58	5.10	6.55	4.02
	13	78.14	20.16	1.56	0.48	28.17	45.77	7.28	11.83	12.88	8.33
	14	81.72	12.91	1.47	0.46	26.28	46.44	4.17	7.37	8.74	5.54
	15	53.95	10.00	1.16	0.39	7.25	26.55	1.35	4.96	8.64	5.04
	16	51.73	6.49	1.13	0.39	5.97	25.09	0.76	3.19	5.73	3.30
	17	102.24	12.57	2.06	0.59	52.62	67.65	6.52	8.38	6.05	4.19
	18	53.07	4.85	1.20	0.40	8.84	26.77	0.85	2.57	4.00	2.28
	19	109.65	7.33	1.18	0.40	17.09	54.85	1.15	3.69	6.18	3.64
	20	111.57	8.28	1.36	0.44	29.33	60.59	2.34	4.83	5.94	3.45
	21	80.63	7.36	0.97	0.35	-	35.12	-	3.28	-	4.09
	22	30.79	3.14	0.50	0.25	-	6.30	-	0.66	-	2.49
	23	40.17	2.58	0.50	0.25	-	8.18	-	0.54	-	2.04
	24	114.49	15.08	1.63	0.50	44.38	68.50	5.85	9.03	9.23	6.05
	25	178.62	5.89	1.07	0.37	11.25	83.25	0.42	3.09	5.48	2.81
平均											
										8.18	6.43
头道拐至花园口区间	1	278.80	9.47	0.62	0.22	-	21.53	-	0.58	-	8.89
	2	133.90	15.83	0.69	0.21	-	8.30	-	0.71	-	15.12
	3	110.02	13.06	0.73	0.22	-	11.02	-	1.01	-	12.05
	4	100.04	16.21	0.72	0.21	-	6.23	-	0.75	-	15.46
	5	138.17	10.90	0.80	0.22	-	14.15	-	1.01	-	9.89
	6	124.85	4.58	0.76	0.22	-	11.62	-	0.37	-	4.21
	7	169.95	6.43	0.74	0.23	-	21.33	-	0.62	-	5.81
	8	163.32	11.87	1.22	0.35	29.20	69.80	1.73	4.13	10.14	7.74
平均值											
										10.14	9.90

Continued

头道拐至高村区间	1	289.15	11.33	1.01	0.35	3.17	123.47	0.09	3.54	11.24	7.79
	2	128.28	14.02	0.79	0.24	-	22.96	-	1.86	14.02	12.16
	3	156.14	14.93	0.75	0.25	-	29.15	-	2.06	14.93	12.87
	4	98.99	10.15	0.61	0.22	-	10.34	-	0.73	-	9.42
	5	104.35	10.20	0.90	0.27	-	27.60	-	2.26	10.20	7.94
	6	123.86	9.76	1.04	0.33	5.10	47.72	0.33	3.11	9.42	6.65
	7	94.06	9.73	1.08	0.29	6.88	30.17	0.69	3.01	9.04	6.72
	8	114.16	4.37	0.75	0.21	-	4.83	-	0.19	4.37	4.18
	9	145.13	5.84	0.80	0.26	-	31.95	-	1.04	5.84	4.80
	10	164.48	6.23	0.71	0.21	-	10.19	-	0.31	6.23	5.92
	11	145.01	9.28	2.26	0.62	80.98	98.30	4.78	5.80	4.50	3.48
平均值										8.98	7.45

Table 3. Critical sediment discharge from different intervals in water quality class-II

表 3. 不同区间达到 II 类水质类别的临界输沙量

区间	序号	汛期径流量/10 ⁸ m ³	汛期沙量/10 ⁸ t	氨氮/(mg·L ⁻¹)	全磷/(mg·L ⁻¹)	超出部分径流量/10 ⁸ m ³		超出部分沙量/10 ⁸ t		临界输沙量/10 ⁸ t	
						氨氮	全磷	氨氮	全磷	氨氮	全磷
头道拐至三门峡区间	1	75.57	1.47	0.61	0.27	13.28	48.00	0.19	0.67	1.28	0.80
	2	68.66	2.86	0.30	0.21	-	35.40	-	0.98	-	1.88
	3	115.97	16.81	1.44	0.46	75.73	90.55	8.07	9.65	8.74	7.17
	4	118.30	15.17	1.06	0.37	62.62	86.63	5.73	7.93	9.44	7.24
	5	101.27	10.33	0.85	0.33	94.94	130.94	3.52	4.86	2.37	1.04
	6	87.13	17.39	0.86	0.33	-	16.09	-	0.55	-	2.68
	7	23.34	9.06	0.36	0.22	-	21.65	-	1.79	-	9.04
	8	32.60	4.95	0.33	0.21	41.56	70.28	2.44	4.12	7.89	6.20
	9	82.39	15.29	1.47	0.46	36.26	60.61	4.38	7.32	13.01	10.06
	10	46.10	6.13	0.73	0.30	-	29.17	-	3.28	-	5.78
	11	107.44	11.59	1.38	0.44	-	17.33	-	1.37	-	3.58
	12	98.72	9.12	1.38	0.44	54.37	64.57	7.09	8.42	8.20	6.87
	13	78.14	20.16	1.56	0.48	14.65	30.82	0.98	2.07	5.14	4.06
	14	81.72	12.91	1.47	0.46	68.50	83.17	4.77	5.79	6.83	5.80
	15	53.95	10.00	1.16	0.39	63.06	76.47	3.74	4.53	5.39	4.59
	16	51.73	6.49	1.13	0.39	53.15	61.96	9.18	10.70	10.98	9.46
	17	102.24	12.57	2.06	0.59	54.00	64.08	5.56	6.60	7.35	6.31
	18	53.07	4.85	1.20	0.40	30.60	40.25	3.32	4.36	6.68	5.64
	19	109.65	7.33	1.18	0.40	28.85	38.41	2.11	2.80	4.39	3.69
	20	111.57	8.28	1.36	0.44	77.43	84.94	7.43	8.15	5.14	4.42
	21	80.63	7.36	0.97	0.35	30.96	39.92	1.75	2.26	3.10	2.59
	22	30.79	3.14	0.50	0.25	63.37	82.25	2.50	3.24	4.83	4.08
	23	40.17	2.58	0.50	0.25	70.45	86.08	3.50	4.28	4.78	4.00
	24	114.49	15.08	1.63	0.50	39.25	57.87	1.98	2.92	5.38	4.44
	25	178.62	5.89	1.07	0.37	0.17	18.55	0.01	0.85	3.14	2.29
	26	46.76	3.23	0.05	0.15	0.08	24.18	-	0.70	2.58	1.88
	27	52.60	10.84	0.13	0.17	79.43	91.50	7.15	8.23	7.93	6.85
平均值										6.12	4.91

Continued

	1	122.23	2.35	0.44	0.17	-	51.20	-	0.80	-	1.54
	2	127.34	4.34	0.26	0.13	-	29.37	-	0.64	-	3.70
	3	278.80	9.47	0.62	0.22	54.19	150.17	1.47	4.08	8.00	5.40
	4	133.90	15.83	0.69	0.21	36.44	71.10	3.11	6.07	12.72	9.76
	5	151.47	14.12	0.43	0.15	-	47.50	-	3.16	-	10.96
	6	144.92	10.24	0.48	0.17	-	57.80	-	2.93	-	7.31
	7	65.14	7.86	0.13	0.10	-	0.83	-	0.05	-	7.81
	8	102.99	14.13	0.49	0.18	-	45.97	-	4.07	-	10.06
	9	72.39	5.89	0.24	0.12	-	10.97	-	0.80	-	5.09
	10	110.12	13.06	0.73	0.22	34.52	60.52	3.16	5.55	9.90	7.52
	11	50.53	4.29	0.29	0.12	-	6.71	-	0.37	-	3.92
头道拐至花园口区间	12	151.84	11.72	0.66	0.20	36.17	76.31	2.15	4.53	9.58	7.20
	13	128.78	7.06	0.58	0.18	17.45	55.65	0.82	2.62	6.23	4.44
	14	100.04	16.21	0.72	0.21	30.47	53.14	3.69	6.43	12.52	9.78
	15	91.90	10.26	0.64	0.19	19.55	44.13	1.60	3.60	8.66	6.66
	16	65.10	7.34	0.37	0.12	-	11.77	-	0.91	-	6.44
	17	69.86	4.18	0.49	0.16	-	27.45	-	1.17	-	3.01
	18	138.17	10.90	0.80	0.22	51.87	76.16	3.70	5.43	7.21	5.48
	19	124.85	4.58	0.76	0.22	42.37	68.23	1.35	2.17	3.23	2.41
	20	173.16	5.91	0.62	0.20	32.56	85.28	0.82	2.17	5.09	3.75
	21	169.95	6.43	0.74	0.23	54.82	95.64	1.59	2.77	4.84	3.66
	22	114.43	5.75	0.42	0.16	-	41.35	-	1.29	-	4.46
	23	52.77	1.72	0.32	0.14	-	14.75	-	0.30	-	1.41
	24	163.32	11.87	1.22	0.35	96.26	116.56	5.70	6.90	6.17	4.97
	平均值									7.85	5.70
	1	124.14	3.34	0.37	0.14	-	38.18	-	0.87	-	2.47
	2	129.42	4.49	0.33	0.16	-	50.80	-	1.17	-	3.33
	3	289.15	11.33	1.01	0.35	146.16	206.31	4.19	5.92	7.14	5.42
	4	128.28	14.02	0.79	0.24	47.47	75.62	3.84	6.11	10.18	7.91
	5	156.14	14.93	0.75	0.25	51.63	92.65	3.66	6.56	11.27	8.37
	6	144.14	9.62	0.41	0.14	-	40.38	-	1.96	-	7.66
	7	98.99	10.15	0.61	0.22	17.27	54.66	1.22	3.86	8.93	6.29
	8	104.35	10.20	0.90	0.27	46.42	65.98	3.80	5.40	6.40	4.80
	9	123.86	9.76	1.04	0.33	64.48	85.79	4.20	5.59	5.55	4.16
头道拐至高村区间	10	113.63	7.03	0.56	0.17	12.49	44.96	0.69	2.50	6.34	4.53
	11	87.77	11.40	0.48	0.14	-	22.88	-	2.57	-	8.83
	12	74.16	9.19	0.62	0.18	14.08	32.33	1.46	3.35	7.73	5.84
	13	48.19	6.61	0.31	0.11		2.38		0.23		6.38
	14	94.06	9.73	1.08	0.29	50.47	62.11	5.03	6.19	4.70	3.54
	15	114.16	4.37	0.75	0.21	37.75	59.50	1.47	2.31	2.90	2.06
	16	145.13	5.84	0.80	0.26	54.06	88.54	1.77	2.89	4.08	2.95
	17	164.48	6.23	0.71	0.21	48.68	87.33	1.50	2.69	4.74	3.55
	18	94.08	5.09	0.29	0.11	-	11.88	-	0.40	-	4.69
	19	145.01	9.28	2.26	0.62	113.00	121.65	6.67	7.18	2.61	2.10
	平均值									6.35	4.99

4. 临界输沙量计算

根据不同区间综合水质类别统计情况,对达到不同水质标准的水沙组合进行分析,统计达到或超过 IV 类水质的水沙组合,根据式(2)和各站实测水沙资料,得到不同区间断面达到 III 类水质标准的临界输沙量为三门峡断面 6.43 亿 t、花园口断面 9.90 亿 t 和高村断面 7.45 亿 t,平均值 7.93 亿 t;达到 II 类水质标准为三门峡断面 4.91 亿 t、花园口断面 5.70 亿 t 和高村断面 4.99 亿 t,平均值 5.20 亿 t。具体结果见表 2 和表 3。

5. 结果与讨论

氨氮非点源污染负荷占总污染负荷的比例变化幅度为三门峡断面 11.8%~88.4%、花园口断面 8.8%~85.1% 和高村断面 6.6%~89.5%,平均值为 53.0%;全磷为三门峡断面 34.3%~99.9%、花园口断面 32.4%~96.2% 和高村断面 39.2%~94.8%,平均值为 78.8%。同区间断面达到 III 类水质标准的临界输沙量为三门峡 6.43 亿 t、花园口 9.90 亿 t、高村 7.45 亿 t,平均值 7.93 亿 t;达到 II 类水质标准为三门峡 4.91 亿 t、花园口 5.70 亿 t、高村 4.99 亿 t,平均值 5.20 亿 t。

在非点源污染负荷估算过程中,将污染物看成是均匀分布的平衡状态,未考虑泥沙对污染物的吸附和解吸作用及沉积和冲刷对污染物再分布的影响;另外,仅以潼关断面的污染物浓度,而且由于潼关断面 2006 年为枯水年份,输沙量为有实测资料以来的最低值 2.47 亿 t,可能导致估算的非点源污染负荷结果偏低。另外,文中非点源污染负荷只考虑了汛期,未考虑非汛期时段非点源污染负荷,对于特殊年份,如非汛期降雨量大于汛期降雨量,非点源污染负荷估算结果偏差较大,估算的临界输沙量的结果可能偏小。因此,仍需在对估算方法及干流非点源污染物资料进行完善的基础上,研究污染物在水体和泥沙中的分布情况,特别是泥沙吸附和解吸的双重作用对污染物分布的影响,合理区分非点源与点源污染负荷量;另外,黄河下游非点源污染与黄土高原不同侵蚀类型区产沙量、水土保持综合治理效果密切相关,关系到非点源污染的来源与分布,仍需进一步科学的估算黄河下游非点源污染负荷和分析不同水质标准要求下的临界输沙量,为上游黄土高原水土流失治理和改善黄河下游水体水质提供科学依据。

参考文献

- [1] 高宏, 暴维英, 张曙光. 多沙河流污染化学与生态毒理研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001.
GAO Hong, PU Weiying and ZHANG Shuguang. Study on pollution chemistry and ecotoxicology of the heavily silt-carrying river. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 2001. (in Chinese)
- [2] 李强坤, 李怀恩, 胡亚伟, 等. 黄河干流潼关断面非点源污染负荷估算[J]. 水科学进展, 2008, 19(4): 460-466.
LI Qiangkun, LI Huaen, HU Yawei, et al. Estimation of non-point source pollution loading on Tongguan section of the Yellow River. Advances in Water Science, 2008, 19(4): 460-466. (in Chinese)
- [3] 蔡志恒. 水土流失的发生与危害[J]. 中国水土保持, 1981(3): 1-7.
CAI Zhiheng. The occurrence and harm of soil and water loss. Soil and Water Conservation in China, 1981(3): 1-7. (in Chinese)
- [4] HOSSAIN, M. F., WHITE, S. K. and ELAHI, S. F. The efficiency of nitrogen fertilizer for rice in Bangladeshi farmers' fields. Field Crops Research, 2005, 9(3): 94-107. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.017>
- [5] 黄河流域水资源保护局. 黄河流域水资源保护“十五”计划和到 2010 年规划[R]. 2000.
Yellow River Basin Water Resources Protection Bureau. The “Fifteen” Plan for water resources protection in the Yellow River Basin and to 2010 planning. 2000. (in Chinese)
- [6] 韩凤朋, 郑纪勇, 王云强, 等. 黄河支流非点源污染物(N、P)排放量的估算[J]. 环境科学学报, 2006, 26(11): 1893-1899.
HAN Fengpeng, ZHENG Jiyong, WANG Yunqiang, et al. Estimation of non-point source pollutant (N, P) discharge in the Yellow River tributaries. Acta Scientiae Circumstantiae, 2006, 26(11): 1893-1899. (in Chinese)
- [7] 孟伟, 于涛, 郑丙辉, 等. 黄河流域氮磷营养盐动态特征及主要影响因素[J]. 环境科学学报, 2007, 27(12): 2046-2051.
MENG Wei, YU Tao, ZHENG Binghui, et al. The dynamic characteristics and main influencing factors of nitrogen and phosphorus nutrients in the Yellow River Basin. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27(12): 2046-2051. (in Chinese)

- [8] 刘晓燕, 张建中, 张原峰. 黄河健康生命的指标体系[J]. 地理学报, 2006, 61(5): 451-460.
LIU Xiaoyan, ZHANG Jianzhong and ZHANG Yuanfeng. The healthy life index system of Yellow River. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(5): 451-460. (in Chinese)
- [9] 张世杰, 焦菊英. 基于下游河流健康的黄土高原土壤容许流失量[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(1): 9-15.
ZHANG Shijie, JIAO Juying. Soil loss tolerance in the Loess Plateau based on the health function of the lower reaches of the Yellow River. *Science of Soil and Water Conservation*, 2011, 9(1): 9-15. (in Chinese)
- [10] 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.
LI Huaen. Average concentration method for estimating non point source pollution load and its application. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2000, 20(4): 397-400. (in Chinese)
- [11] GB3838 2002. 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
GB3838 2002. Surface water environmental quality standard. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. (in Chinese)
- [12] 水利部黄河水利委员会. 2006 年黄河水资源公报[R]. 2006.
The Yellow River Water Conservancy Commission of the Ministry of Water Resources. The Yellow River water resources bulletin of 2006. 2006. (in Chinese)