

涡河干流水污染时空分布特征与水质动态评价*

付金沐^{1,2}, 刘敏¹, 史志刚³, 侯立军¹, 欧冬妮¹, 林啸¹

(1. 华东师范大学 资源与环境科学学院, 教育部地理信息科学重点实验室, 上海 200062;

2. 宿州学院 地理与环境科学系, 安徽 宿州 234000; 3. 安徽省水利厅, 合肥 230022)

摘要: 涡河是淮河流域严重污染的支流之一。对涡河干流主要污染参数 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 BOD_5 、 COD_Cr 、TP、砷、氟化物的监测分析, 表明涡河干流水污染具有显著的时空变化特征, 污染参数表现为春季最高, 秋季最低, 由春季向秋季逐渐降低, 然后又逐渐升高的“V”字型变化规律, 且在各采样断面各种污染参数季节变化特征具有较好的一致性。空间分布上表现为上游高、下游低, 呈上游向下游逐渐降低的分布态势。模糊综合评价结果表明, 涡河干流水污染严重, 绝大多数河段全年为 V 类水质, 已失去或大部分失去生活饮水和生产性用水的价值。涡河流域水资源严重污染及其时空分布特征, 是流域自然过程与人为活动强干扰耦合作用的结果。

关键词: 水污染; 时空分布; 水质评价; 涡河

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)04-0082-07

Temporal-spatial Distribution Characteristics of Water Contamination and Dynamic Evaluation for Water Quality in the Guohe River

FU Jin-mu^{1,2}, LIU Min¹, SHI Zhigang³, HOU Lijun¹, OU Dongni¹, LIN Xiao¹

(1. School of Resources and Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Department of Geographical and Environmental Science, Suzhou College, Suzhou, Anhui 234000, China;

3. Anhui Water Resources Department, Hefei 230022, China)

Abstract: The Guohe River is one of the serious contaminated tributaries in the Huaihe catchment. By monitoring the main contamination parameters of $\text{NH}_3\text{-N}$, BOD_5 , COD_Cr , TP, arsenic and fluoride in the Guohe river stem, the results showed that the mainstream of the Guohe river appeared the prominent temporal-spatial variety characteristic of water contamination. The contamination parameter values present the highest in spring, and the lowest in fall, and decreased gradually from the autumn to the spring, and then increased gradually. Moreover, various pollution parameters had the relatively consistent seasonal variety characteristic in all sampling transactions. The spatial distributions of contamination parameters were higher in the upstream than in the downstream, and decreased from the upstream to downstream gradually. Fuzzy comprehensive evaluation results indicated that the mainstream of the Guohe river was polluted seriously, and the water quality was the V class for a whole year at most of river segments in the Guohe river mainstream, which had lost the value for life or production. The serious water contamination in the Guohe river and its temporal-spatial distribution characteristic resulted from the coupling between the natural processes and the human activities in the catchments.

Key words: water contamination; temporal-spatial distribution; water quality evaluation; Guohe river

* 收稿日期: 2007-03-28 修稿日期: 2007-06-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40131020, 40271102); 教育部高等学校骨干教师计划项目: 安徽省教育厅自然科学基金项目(2005KG201)

作者简介: 付金沐(1963-), 男, 副教授, 主要从事区域环境质量演变与环境地球化学过程研究。

淮河是我国第三大水系,淮河流域人口密度达到 618 人/km²,为全国平均人口密度的 4.6 倍,水资源人均、单位面积平均拥有量不足全国平均水平的 1/5,属于严重缺水地区之一。淮河流域的工业化和城市化正处于快速发展时期,水资源匮乏与需求之间的矛盾更显突出。淮河流域是我国 7 大水系中污染严重的水系之一。据统计,全流域 70% 以上的河段水质低于 II 类,近 50% 的河段水质为劣 V 类水^[1]。经过多年的污染治理,虽有成效,但是,淮河流域多年来形成的结构性污染问题并未从根本上得到解决,而农业面源污染和城镇生活污水污染仍有不断加剧的趋势。由于淮河流域水资源短缺及时空分布不均,地表水与地下水污染严重,加剧了水资源短缺矛盾,流域内生产和生活用水安全存在严重的隐患。近年来,国内外学者对河流污染特征、污染物的地球化学过程及流域环境修复等方面的研究比较关注,这方面的研究成果也较多见^[2-7],但是,作为我国投入最多,实施污染治理最早的大江大河,多年来只注重河流污染物监测和污染物排放及控制等方面的研究^[8,9],而对流域内水环境的污染过程与规律一直没有开展系统性基础研究工作,流域地表水污染时空变化规律、污染物迁移转化地球化学过程的影响与作用机制、地表水系统与地下水系统物质迁移转换过程等研究资料与成果缺乏。基于此,本文选择了淮河流域污染严重的第二大支流涡河为研究对象,研究涡河干流水污染的时空变化规律及污染特征,评价其水质变化动态过程,这不仅对丰富河流污染规律与作用机制的研究具有重要的理论意义,而且对涡河污染综合防治以及整个淮河流域水资源开发、利用、治理、配置、节约和保护等起到重要的指导和推动作用。

1 区域概况

涡河位于淮北平原,是淮河第二大支流,发源于河南开封以西,黄河南堤脚下,跨豫、皖两省,流经开封、尉氏、通许、杞县、睢县、太康、柘城、鹿邑县后,进入安徽,又流经亳州、涡阳、蒙城至怀远县入淮河,全长 423 km,其中河南省境内长 196 km,安徽省境内长 227 km。涡河支流众多,流域面积 15 905 万 km²,是典型的平原形河道,河源地面高程 78 m,河口 19 m,平均沿河地面坡降 1/6 500。近年来,由于涡河上游主要支流惠济河水质污染加重,加之涡河沿岸工业废水和城镇生活污水未经处理直接排入涡河,两岸农药、化肥等农业面源的污染物的渗入,造成了流域地表水污染日趋严重,水污染事件时有发生。

生。涡河是淮河流域继沙颍河之后水污染严重、水资源供需矛盾突出、生态环境不断恶化、城镇和农村生产生活用水安全隐患大的典型支流之一。

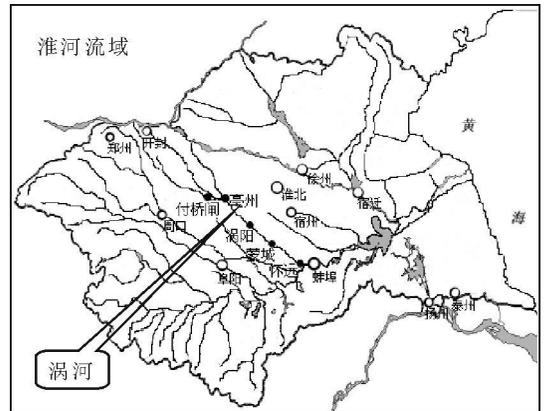


图 1 研究区域及采样

2 样品采集与分析方法

2.1 样品采集

依据涡河干流的污染特点,自上游至下游共布设付桥闸(FQZ)、亳州(BZ)、涡阳(GY)、蒙城(MC)、怀远(HY)5个监测断面,其中付桥闸、亳州位于上游,蒙城、怀远位于中游,怀远位于下游,见图1。2003年按每月1次的频率监测采样。依据涡河流域水质特征和主要污染因子,选取的水质监测参数为:pH值、水温、溶解氧(DO)、氨氮(NH₃-N)、生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD_{Cr})、总磷(TP)、砷、氟化物等。其中pH值、水温、溶解氧在野外现场测定,氨氮(NH₃-N)、生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD_{Cr})、总磷(TP)、砷、氟化物等在实验室分析测定。

2.2 化学分析与测定

水质参数监测执行 GB3838-2002《地表水环境质量标准》规定的方法^[10]。

3 结果与讨论

3.1 涡河干流水环境因子的时空变化特征

监测结果显示涡河干流各采样断面水温变化具有明显季节性(图2),即冬季水温低(11月~2月),夏季水温高(5~8月),春季(3~4月)升温快,秋季(9~10月)降温也快,各断面水温变化具有高度的一致性,反映了涡河干流各河段水温变化主要受气温变化的控制。pH值变化幅度较小,在6.8~8.6之间,时空变化不显著。DO时空分布比较复杂,变化的规律性不明显,因为DO受水温、水污染、河水动力作用等多种因素的影响,其变化的随机性很强。

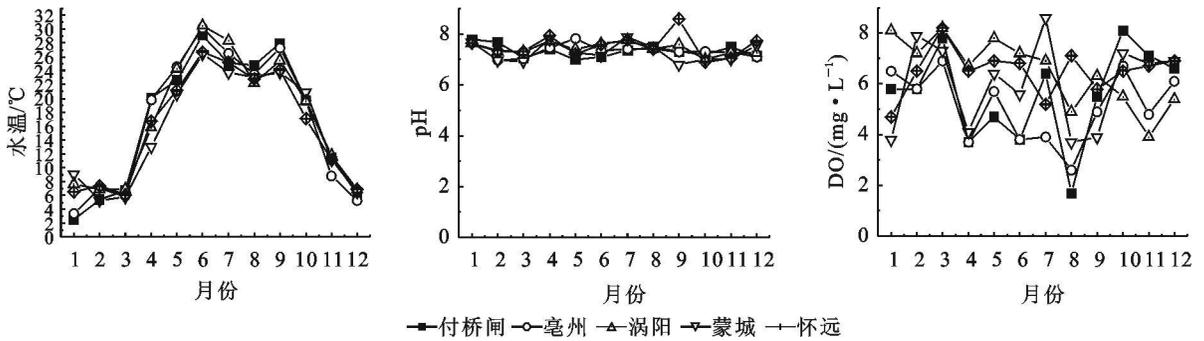


图 2 涡河干流水环境因子的时空变化特征

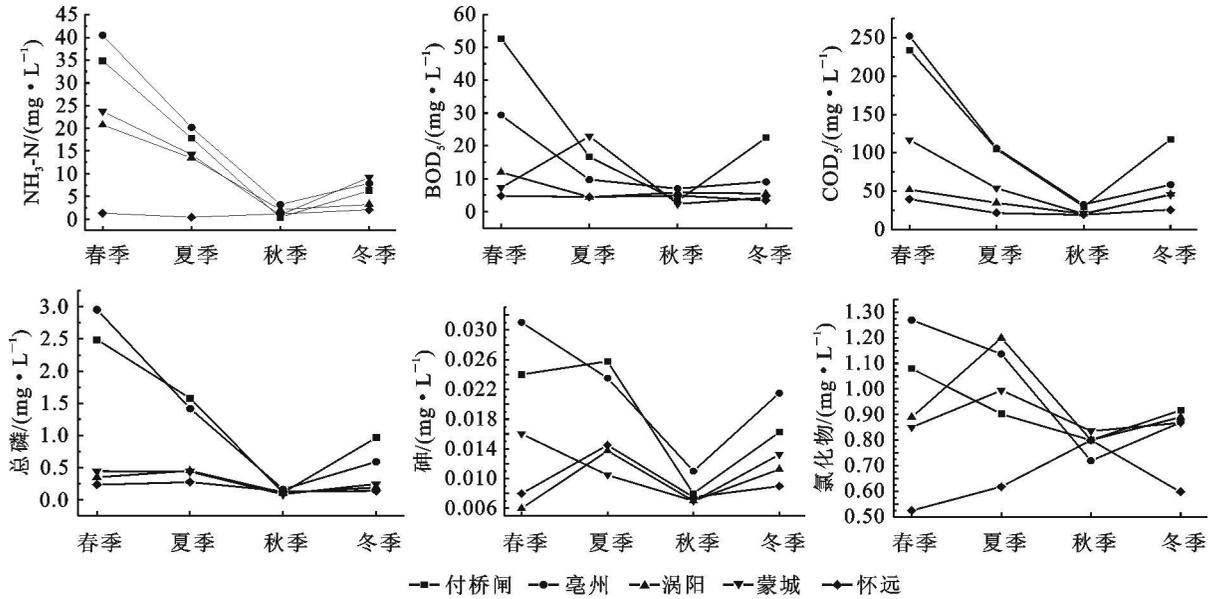


图 3 涡河干流污染参数季节变化特征

3.2 涡河干流各种污染参数的时空变化特征

从时间分布来看,如图 3 所示,所监测的各种污染参数中,氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、生化需氧量(BOD_5)、化学需氧量(COD_M)、总磷(TP)、砷和氟化物等含量具有明显的季节变化特征,表现为春季最高,秋季最低,由春季向秋季逐渐降低,尔后又逐渐升高的“V”字型变化规律,且在各采样断面各种污染参数变化特征具有显著的一致性。以亳州采样断面为例,将各污染参数与月降水量作相关分析,表明各污染参数值与亳州站实测的月降水量之间呈不显著的负相关性,表明各污染参数时间变化规律不仅受涡河流域水文特征控制,同时受水资源利用管理方式的显著影响。涡河流域水文特征是:6~9月为汛期,其余月份为平、枯水期,在平、枯水季河流水量减少,流域内各闸坝拦闸蓄水,同时也将区域内工业、农业和城镇生活产生的污染物质蓄积,流域地表水中污染物的含量逐步升高,水质不断恶化。汛期来临时,河流水量增加,各闸坝相继拉闸放水,蓄积已久的污染物得到排放、运移、稀释、扩散和降解,河流水质得到净化。由于流域内人为蓄排水强干扰活动,涡河干

流水量变化不能完全反映其自然过程,同时也使排污导致河流水体中污染物含量升降变化不能与河流枯、洪水季节水量同步变化,而具有滞后性的特点。尤其在汛期初期,由于拉闸排水,污染物迅速进入干流,干流水体不降反而有可能迅速升高,水质严重恶化而导致污染事故的发生。从空间分布来看,表现为上游高下游低,由上游向下游逐渐降低的分布态势,其中亳州断面多为各污染参数的峰值区。调查中发现涡河上游支流惠济河近年来污染严重,惠济河污水在亳州段汇入干流,是导致该断面污染参数出现峰值的主要原因。在各种污染物中,氟化物时空变化的上述特征不明显,相关分析也显示氟化物与月降水量成正相关关系,说明人为排污活动可能不是干流水体中的氟化物主要来源,而基质污染可能是水体中氟化物的主要贡献者。

3.3 涡河干流水质变化动态评价及结果

流域水环境是多层次、多目标、多因素控制的复杂模糊系统,对这类系统进行水环境质量评价具有模糊性。应用模糊关系合成原理,将一些边界不清,不易量化的水环境因素定量化,进行综合评价,便能

得到符合实际情况的结论^[8-10]。因此, 本文对涡河干流水质评价采用了模糊综合评价的方法。

3.3.1 评价因子的确定

根据涡河干流污染特征, 选取基本反映涡河干流各河段污染情况的评价因子为: 溶解氧、氨氮(NH₃-N)、生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD_{cr})、总磷(TP)、砷、氟化物。各断面分析数据如表 1 所示。

3.3.2 评价集合的确定

由于水体污染程度是一个模糊概念, 所以评价污染程度的分级标准也具有模糊的特征。各参数的评价标准选用根据我国国家标准《地表水环境质量

标准》(GB3838-2002), 分为 5 级水, 其标准如表 2。

3.3.2 计算权重建立输入

根据污染物对水质的污染大权重应大和污染小权重应小的原则, 确定各指标权重的大小, 采用“超标倍数法”来确定权重, 利用式 $\bar{S}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_{ij}$, $I_i = C_i$

$\sqrt{\bar{S}_i}$ 和 $W_i = I_i / \sum_{i=1}^n I_i$ (式中: C_i ——因子的监测值 (mg/L); S_{ij} ——因子 i 第 j 级标准值 (mg/L); m ——级别数; \bar{S} ——因子 i 各级标准平均值 (mg/L); W_i ——第 i 个评价因子的权重) 各参评因子的权重如表 3 所示。

表 1 各断面水质分析数据

断面	季节	DO	NH ₃ -N	BOD ₅	COD _{cr}	TP	砷	氟化物
付桥闸	春季	5.75	34.90	52.65	233.50	2.488	0.024	1.080
	夏季	4.14	17.82	16.65	104.65	1.576	0.026	0.902
	秋季	6.80	0.38	3.25	29.70	0.114	0.008	0.800
	冬季	6.33	6.29	22.48	117.18	0.967	0.016	0.918
亳州	春季	5.30	40.50	29.40	252.00	2.952	0.031	1.270
	夏季	4.00	20.18	9.73	105.75	1.418	0.024	1.138
	秋季	5.80	3.21	7.05	32.35	0.164	0.011	0.720
	冬季	5.80	7.88	9.10	58.28	0.592	0.0215	0.870
涡阳	春季	7.45	20.72	12.00	51.60	0.350	0.006	0.890
	夏季	6.70	13.50	4.45	34.70	0.453	0.014	1.200
	秋季	5.90	2.07	5.80	20.00	0.113	0.007	0.800
	冬季	6.15	3.24	5.43	45.75	0.196	0.011	0.890
蒙城	春季	5.70	23.70	7.35	117.00	0.4445	0.016	0.850
	夏季	6.08	14.24	22.95	53.68	0.43925	0.011	0.995
	秋季	5.55	0.90	2.30	20.70	0.0855	0.007	0.835
	冬季	6.35	9.20	4.23	44.90	0.24825	0.013	0.868
怀远	春季	7.35	1.31	4.80	39.30	0.2355	0.008	0.525
	夏季	6.50	0.41	4.45	21.50	0.27775	0.015	0.618
	秋季	6.15	1.15	4.85	19.00	0.1325	0.008	0.800
	冬季	6.20	2.05	3.43	25.38	0.13775	0.009	0.598

表 2 水质综合评价标准

水质参数	水质级别				
	I	II	III	IV	V
DO ≥	饱和度 90%(或 7.5)	6.00	5.00	3.00	2.00
NH ₃ -N ≤	0.15	0.50	1.00	1.50	2.00
BOD ₅ ≤	3.00	3.00	4.00	6.00	10.00
COD _{cr} ≤	15.00	15.00	20.00	30.00	40.00
TP ≤	0.02	0.10	0.20	0.30	0.40
砷 ≤	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10
氟化物 ≤	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50

表 3 各断面项目的权重集

断面	季节	项 目						
		DO	NH ₃ -N	BOD ₅	COD _{Cr}	TP	砷	氟化物
付桥闸	春季	0.018	0.495	0.148	0.142	0.178	0.005	0.013
	夏季	0.025	0.500	0.093	0.126	0.223	0.011	0.022
	秋季	0.289	0.073	0.125	0.247	0.111	0.023	0.133
	冬季	0.060	0.273	0.193	0.218	0.212	0.010	0.034
亳州	春季	0.016	0.542	0.078	0.145	0.199	0.006	0.015
	夏季	0.024	0.560	0.054	0.126	0.199	0.010	0.027
	秋季	0.143	0.361	0.158	0.157	0.093	0.018	0.070
	冬季	0.073	0.450	0.103	0.143	0.171	0.018	0.043
涡阳	春季	0.055	0.701	0.080	0.075	0.060	0.003	0.026
	夏季	0.070	0.647	0.042	0.071	0.110	0.010	0.049
	秋季	0.192	0.307	0.171	0.128	0.085	0.015	0.102
	冬季	0.141	0.339	0.113	0.206	0.104	0.017	0.080
蒙城	春季	0.036	0.684	0.042	0.145	0.065	0.007	0.021
	夏季	0.052	0.555	0.177	0.090	0.086	0.006	0.033
	秋季	0.258	0.190	0.097	0.189	0.092	0.022	0.152
	冬季	0.089	0.592	0.054	0.124	0.081	0.013	0.048
怀远	春季	0.220	0.179	0.130	0.231	0.163	0.016	0.062
	夏季	0.246	0.071	0.152	0.159	0.242	0.037	0.092
	秋季	0.235	0.200	0.167	0.142	0.117	0.019	0.120
	冬季	0.208	0.315	0.104	0.167	0.107	0.020	0.079

3.3.4 建立隶属度函数

依据各指标的 5 级标准, 作 5 个级别的隶属度函数, 并建立模糊矩阵。限于篇幅仅以付桥闸春季各参评参数为例建立隶属函数如下:

属于一级水的隶属函数

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & C \leq U_1 \\ \frac{U_1 - C}{U_2 - U_1} & U_1 < C < U_2 \\ 0 & C \geq U_2 \end{cases}$$

属于第 j 级水(j = 2, 3, 4)的隶属函数

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & C \leq U_{j-1}, C \geq U_{j+1} \\ \frac{C - U_{j-1}}{U_j - U_{j-1}} & U_{j-1} < C < U_j \\ \frac{U_{j+1} - C}{U_{j+1} - U_j} & U_j \leq C < U_{j+1} \end{cases}$$

属于第 5 级水的隶属函数

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & C \leq U_4 \\ \frac{C - U_4}{U_5 - U_4} & U_4 < C < U_5 \\ 1 & C \geq U_5 \end{cases}$$

式中: C —— 为水体中某种污染物监测值, 带下标的 U —— 下标所对应的水质分级标准值。如果采用“升半梯形分布图”, 则公式中的“≤”改为“≥”, “≥”改为“≤”。计算出各参评因子的隶属度, 建立模糊矩阵 R。如下所示:

$$R_{\text{付桥闸春季}} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{I} & \text{II} & \text{III} & \text{IV} & \text{V} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{DO} \\ \text{NH}_3 - \text{N} \\ \text{BOD}_5 \\ \text{COD}_{\text{Cr}} \\ \text{TP} \\ \text{砷} \\ \text{氟化物} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.84 & 0.16 & 0.16 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

其他各断面各季节模糊矩阵 R 以此类推。

3.3.5 综合评判

将权重集 A 与模糊矩阵 R 进行复合运算 A · R, 以付桥闸春季为例, 权重 A = [0.018 0.495 0.148 0.142 0.178 0.005 0.013], 则:

$$[b_1, b_2, \dots, b_m] = [0.018 \ 0.495 \ 0.148 \ 0.142 \ 0.178 \ 0.005 \ 0.013] \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.84 & 0.16 & 0.16 \end{bmatrix}$$

采用加权平均型模糊合成算子进行运算, 即相乘相加法进行运算则可得 B = A · R = [0.005 0.013

0.016 0.002 0.966]。因此付桥闸春季对 I 级、II 级、III 级、IV 级、V 级水质的隶属度依次是 0.005, 0.013, 0.016, 0.002, 0.966。根据最大隶属度原则付桥闸春季的水质隶属于 V 级水。同样可根据加权

平均型模糊合成算子进行运算, 得出模糊综合评价向量 B 及评价结果。同理可得其它断面的综合评价结果如表 4 所示。

表 4 模糊综合评价向量 B 及评价结果

河流断面	季节	评价等级					评价结果
		I	II	III	IV	V	
付桥 闸	春季	0.005	0.013	0.016	0.002	0.966	V
	夏季	0.032	0.000	0.015	0.011	0.942	V
	秋季	0.429	0.372	0.054	0.240	0.247	I
	冬季	0.058	0.047	0.000	0.000	0.895	V
毫 州	春季	0.013	0.008	0.011	0.004	0.968	V
	夏季	0.021	0.013	0.020	0.011	0.943	V
	秋季	0.088	0.149	0.088	0.236	0.440	V
	冬季	0.061	0.058	0.015	0.023	0.843	V
涡 阳	春季	0.082	0.002	0.000	0.030	0.886	V
	夏季	0.043	0.037	0.062	0.067	0.807	V
	秋季	0.290	0.093	0.156	0.154	0.307	V
	冬季	0.111	0.131	0.133	0.080	0.545	V
蒙 城	春季	0.028	0.025	0.011	0.028	0.908	V
	夏季	0.042	0.049	0.000	0.000	0.909	V
	秋季	0.191	0.257	0.448	0.104	0.000	III
	冬季	0.081	0.061	0.089	0.045	0.716	V
怀 远	春季	0.276	0.022	0.252	0.236	0.214	I
	夏季	0.228	0.218	0.308	0.246	0.000	III
	秋季	0.162	0.321	0.386	0.131	0.000	III
	冬季	0.127	0.309	0.162	0.090	0.315	V

模糊综合评价是就不同的污染因子对总体环境影响进行评价, 比较客观地反映水环境质量的状况。水质评价结果显示, 涡河干流污染十分严重, 尤其是中上游河段污染更严重, 亳州、涡阳 2 个断面全年皆为 V 类水质, 付桥闸断面秋季为 I 类水质, 蒙城断面除秋季为 II 类水质外, 其余各季皆为 V 类水质, 怀远断面春季为 I 类水质, 夏、秋季为 III 类水质, 冬季为 V 类水质, 稍好于其他断面。从水质隶属度分布态势可以看出, 涡河干流污染分布态势是中上游重于下游, 冬、春季重于夏、秋季。各断面各项目的权重分析显示, 氨氮、BOD₅、COD 较大, 其次为总磷, 表明涡河干流主要以氨氮、有机物和磷污染为主。造成涡河干流严重污染, 水质恶化的原因, 总的来说是污染严重“超载”, 生态基流严重缺乏, 大小闸坝拦蓄

河水, 改变河水时空分布, 降低了河流自然净化过程和能力; 流域内的支流大多是一些源头性小河, 水源较少, 河流本身实际上成了工农业和生活废水的排污渠, 其中以有机污染物为主; 产业结构不合理, 高污染企业占有率高, 重经济, 轻环保, 污染治理基础设施薄弱, 治理率低; 水资源利用方式和方法不当, 重视水利工程, 轻视水环境与生态环境的保护及其管理。

4 结 论

(1) 涡河干流水污染具有显著时空分布的特征, 从时间分布来看, 各主要污染参数含量上半年明显高于下半年, 季节变化表现为春季最高, 秋季最低, 由春季向秋季逐渐降低, 而后又逐渐升高的“V”字

型变化规律,且在各采样断面各种污染参数季节变化特征且有较好的一致性;从空间分布来看,表现为上游高,下游低,由上游向下游逐渐降低的分布态势。

(2) 模糊综合评价,较客观地反映了涡河干流水环境质量状况。评价结果表明,涡河干流水污染严重,绝大多数河段全年为 V 类水质,已失去或大部分失去生活饮水和生产性用水的价值,涡河流域水环境质量与水资源保护形势严峻。

(3) 涡河流域水资源严重污染及其时空分布特征,是流域自然过程与人为活动强干扰耦合作用的结果。一方面水资源时空分布极不均匀,结构性水资源短缺明显。另一方面人类活动强度持续增大,导致污染严重“超载”,生态基流严重缺乏,流域生态环境十分脆弱。因此,针对流域污染特征,应采取有效措施加大对涡河流域水污染的防治和流域生态环境的保护,以实现水环境与生态保护事业与流域国民经济协调发展目标。

参考文献:

- [1] 姜文来. 中国 21 世纪水资源安全对策研究[J]. 水科学进展, 2001, 12(1): 66- 71.
- [2] 刘瑞祥, 常惠丽, 任嘉红. 浊漳河主要污染物时空变化特征[J]. 生态学杂志, 2004, 23(6): 174- 177.
- [3] 陈利项, 傅伯杰, 张淑荣, 等. 于桥水库流域地表水中水溶性氮季节变化特征[J]. 中国环境科学, 2003, 23(2): 210- 214.
- [4] Garban B, Ollivon D, Roulin M, et al. Exchanges at the sediment- water interface in the river seine, downstream from Paris [J]. Water Resource, 1995, 29(2): 473- 481.
- [5] 徐海量, 宋郁东, 赵元杰, 等. 塔里木河下游生态环境对输水的积极响应[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 122- 141.
- [6] 章光新, 邓伟, 何岩. 洮儿河流域地下水 TDS 时空变异特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 122- 141.
- [7] 占车年, 夏军, 丰华丽, 等. 中国西部生态系统的水问题综合评估研究- 以三江河流域为例[J]. 自然资源学报, 2005, 20(2): 250- 256.
- [8] 刘敏, 许世远, 侯立军, 等. 长江口滨岸潮滩沉积物中磷的存在形态和分布特征[J]. 海洋通报, 2001, 20(5): 10- 17.
- [9] 刘敏, 侯立军, 许世远, 等. 河口滨岸潮滩沉积物- 水界面 N、P 的扩散通量[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(3): 19- 23.
- [10] 刘敏, 侯立军, 许世远, 等. 长江河口潮滩表层沉积物对磷酸盐的吸附特征[J]. 地理学报, 2002, 57(4): 397- 406.
- [11] 阎伍玖, 蒋余根, 柳丹. 淮河安徽段水环境污染现状与防治对策. 水土保持学报, 2004, 18(02): 21- 24.
- [12] 朱余, 吴威, 王欢. 安徽省淮河流域水污染分析与环境目标可达性探讨. 中国环境监测, 2005, 21(4): 60- 63.
- [13] GB3838- 2002. 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002. 1- 9.
- [14] 李如忠, 钱家忠, 汪家权. 河流水质未确知风险评估理论模式研究[J]. 地理科学, 2004, 24(2): 183- 187.
- [15] 孙丽娜, 孙铁珩, 金成洙. 卧龙泉流域土壤重金属污染的模糊评价[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 126- 129.
- [16] 何理, 曾光明. 用模糊模拟技术研究水环境中的可能性风险[J]. 环境科学学报, 2001, 21(5): 634- 635.
- [17] Dominique G, Bernard C, Pierre P, et al. Comparing two methods for addressing uncertainty in risk assessments[J]. Journal of Environmental Engineering, 1999, 125(7): 660- 666.
- [18] 杨林, 李小玲. 模糊数学在隍河流域水质综合评价中的应用[J]. 中国环境监测, 2000, 16(6): 50- 52.
- [19] 张龙江. 水质评价的模糊综合评价- 加权平均复合模型应用[J]. 环境工程, 2001, 19(6): 53- 55.
- [20] 邹志红, 孙靖南, 任广平. 模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2005, 25(4): 552- 553.
- [21] Li Z Y, Zhang H J, Deng X M. A new assessment method of eutrophication of lake based on AHP- PCA[J]. China Environmental Science, 1994, 5(1): 37- 42.
- [22] Lee C S, Wen C G. River assimilative capacity analysis via fuzzy linear programming[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 79: 191- 199.