

清水河流域水质综合分析与评价

吴岳玲¹,李世龙¹,邱小琮^{2*},杨永宇¹,雷兴碧¹

(1. 宁夏大学土木与水利工程学院,宁夏 银川 750021;

2. 宁夏大学生命科学学院,宁夏 银川 750021)

摘要:通过2018年4月、7月和11月在清水河流域布设32个采样点,监测 F^- 、TN、TP等6项水质指标,应用单因子评价法、综合污染指数法、灰色关联法、模糊综合评价法对该河水水质状况作综合评价,并分析 F^- 是否参与评价时水质的变化情况。结果表明:当 F^- 不参与水质评价时,清水河各月水质污染程度为7月>11月>4月;当 F^- 参与水质评价时,水质污染程度为11月>7月>4月。模糊综合评价法的评价结果更符合实际水体情况,清水河上游一下游水质逐渐变差。当 F^- 参与评价时,清水河整体水质状况变差。

关键词:水质评价;综合污染指数法;灰色关联法;模糊综合评价法;单因子评价法;清水河流域

中图分类号:X522;X824 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-2009(2021)02-0040-06

Analysis and Assessment of Water Quality in Qingshuihe River Basin

WU Yue-ling¹, LI Shi-long¹, QIU Xiao-cong^{2*}, YANG Yong-yu¹, LEI Xing-bi¹

(1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. School of Life Sciences, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: 6 water quality indicators such as F^- , TN, TP, etc. in water samples from 32 sampling sites in Qingshuihe river basin were monitored in April, July and November 2018, the water quality was assessed by single-factor evaluation method, comprehensive pollution index method, grey correlation method and fuzzy comprehensive evaluation method, and the variation of water quality was analyzed whether F^- was evaluated in the water assessment. The results showed that when F^- was not evaluated, the pollution degree of monthly water quality in Qingshuihe river was July > November > April, and when F^- was evaluated, the pollution degree was November > July > April. The results of fuzzy comprehensive evaluation were more in line with the actual water conditions. The water quality gradually deteriorated from upper reaches to down reaches of Qingshuihe river. The water quality of Qingshuihe river became worse when F^- was evaluated.

Key words: Water quality assessment; Comprehensive pollution index method; Grey correlation method; Fuzzy comprehensive evaluation method; Single-factor evaluation method; Qingshuihe river basin

水质评价是水环境评价中的一个重要内容,对河流水质进行综合评价,能够准确反映河流水体的质量和污染状况^[1-2],为水环境治理工作提供一定的技术依据。近年来,伴随着科技发展和工业化进程的不断推进,大量的废水和污水排入河流,引起河流水质不断恶化。清水河流域水环境状况也不容乐观,水环境压力主要源于周围工农生活污水排放。虽然已有周飞^[3]、包淑萍等^[4]对清水河的水资源进行了评价分析,但都是关于该河某一断面或

干流的水质污染研究,缺乏对整个流域多月份的水质状况评价。今应用单因子评价法、综合污染指数法、灰色关联法和模糊综合评价法对清水河流域的

收稿日期:2020-03-13;修订日期:2021-01-04

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划基金资助项目(2019BFG02014);宁夏高等学校一流学科建设(水利工程)基金资助项目(NXYLXK2017A03)

作者简介:吴岳玲(1995—),女,陕西延安人,硕士,研究方向为水资源与水环境调控。

*通信作者:邱小琮 E-mail: qxc7175@126.com

水质进行综合评价,分析氟离子(F^-)是否参与评价时清水河流域的水质变化情况,为该河水污染治理和水环境管理规划提供技术支持。

1 材料与方

1.1 研究区概况

清水河是宁夏境内流入黄河的最大一级支流,全长320 km,流域总面积14 481 km²^[5],共有8条主要支流,左岸有冬至河、中河、苋麻河、西河等6条,右岸有双井子沟、折死沟等2条^[6]。该流域常年干旱少雨,降雨时空分布不均匀,水土流失严重,高氟地下水在宁南山区广泛分布,形成大面积的氟病区^[7],加上沿岸居民工农业生产的需水量和排入河流的污水、废水不断增加^[8],使得该流域的水质污染情况加剧,加速了水体的富营养化。

1.2 采样点布设与样品采集

根据清水河水文规律和支流分布情况,共布设32个水质采样点(见图1)。其中,干流17个,分别为上游3个(开城、东郊、水库),中游5个(头营、杨郎、三营、黑城、七营),下游9个(双井河交汇、羊路、李旺、王团、同心、丁家塘、河西、长山头、入黄点);支流15个,分别为冬至河3个,中河4个,中卫市第五排水沟(中卫五排)2个,西河、苋麻河、双井子沟、折死沟、井沟、沙沿沟各1个。

2018年4月、7月和11月各采集水样1次。用1 L采水器采集表层水下50 cm深处的水样,若水深<50 cm,则采集表层水样,若水深>1.5 m,则采集表层下50 cm与底层上50 cm混合水样,采好封装标记,带回实验室待测。监测指标为总氮(TN)、氨氮(NH_3-N)、总磷(TP)、五日生化需氧量(BOD_5)、化学需氧量(COD)和氟化物(以 F^- 计)。

1.3 分析方法

水样中TN、 NH_3-N 、TP、 BOD_5 、COD和 F^- 浓度分别采用《水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》(HJ 636—2012)《水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法》(HJ 535—2009)《水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法》(GB 11893—89)《水质 五日生化需氧量(BOD_5)的测定 稀释与接种法》(HJ 505—2009)《水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法》(HJ 828—2017)和《水质 氟化物的测定 氟试剂分光光度法》(HJ 488—2009)等方法测定。

1.4 评价方法



图1 清水河流域采样点分布

Fig. 1 Location of sampling sites in Qingshuihe river basin

(1) 单因子评价法。其是在所有参与综合水质评价的水质指标中,选择水质最差的单项指标所属类别来确定所属水域综合水质类别^[9]。在运用该方法评价河流水质时,应识别水质控制因子。

(2) 综合污染指数法。其通过计算比较污染指数的大小来判断各个流域内水体的受污染程度,计算方法如下^[10]:

$$P_i = C_i/S_i \quad (1)$$

$$P = \left(\sum_{i=1}^n P_i \right) / n \quad (2)$$

式中: P_i 为水质因子*i*的污染指数; C_i 为水质因子*i*的实测浓度; S_i 为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中水质因子*i*的Ⅲ类标准限值; P 为综合污染指数; n 为指标总数。

当 $P < 0.8$ 时,水质级别为合格;当 $0.8 \leq P \leq 1$ 时,水质级别为基本合格;当 $1 < P \leq 2$ 时,水质级别为污染;当 $P > 2$ 时,水质级别为重污染。

(3) 灰色关联法。其通过计算各样点与各水质级别的关联度来判别水质级别。在数字像素(DPS)数据处理系统中,以水质标准分级作为子序列,各样点水体的指标实测值作为母序列来计算关联度,计算前将水质分级标准值和实测值归一化处理^[11]。

(4) 模糊综合评价法。其是通过实测数据与各级标准序列间的隶属度来确定水质的级别,步骤为^[12]:①确定评价因子与评价集;②建立隶属函数;③确定权重;④综合评价(隶属度=权重集乘以模糊矩阵)。

在评价过程中,先将前5个水环境因子(TN、

NH₃-N、TP、BOD₅、COD)进行评价分析,再将F⁻加入进行评价,分析当F⁻参与评价时清水河的水质变化情况。

2 结果与讨论

2.1 水环境因子时空分布特征

图2(a)–(f)分别为清水河流域各水质因子质量浓度时空分布。由图2(a)可见,从年均值看,支流井沟、沙沿沟、折死沟的TN值较高,干流上游段、支流中河、西河、冬至河、其余各样点TN值差异不大。从月份变化来看,各样点TN值大体表现为11月>7月>4月。清水河水体中TN整体为地表水Ⅲ类–Ⅴ类。

由图2(b)可见,从年均值看,各样点间NH₃-N值差异较大,折死沟NH₃-N值最高,为1.57 mg/L,西河最低,为0.445 mg/L。从月份变化来看,各样点NH₃-N值大体表现为7月>4月>11月。清水河水体中NH₃-N整体为地表水Ⅲ类–Ⅴ类。

由图2(c)可见,从年均值看,各样点间TP值有明显的差异,西河TP值最高,为0.093 mg/L,双井子沟最低,为0.024 mg/L。从月份变化看,各样点TP值变化较为复杂,4月西河TP值最高,为0.08 mg/L,7月沙沿沟最高,西河次之,11月干流中游最高。整体而言,各样点TP值月份变化大体为11月>7月>4月,其水体中TP整体为地表水Ⅰ类–Ⅱ类。

由图2(d)可见,从年均值看,井沟BOD₅值最高,为7.93 mg/L,其次是双井子沟,为7.84 mg/L。从月份变化来看,各样点BOD₅值大体表现为11月>7月>4月。清水河水体中BOD₅整体为地表水Ⅲ类–Ⅴ类。

由图2(e)可见,从年均值看,折死沟COD值为40.70 mg/L,明显高于其他样点,其次是双井子沟、井沟和干流上游。从月份变化看,各样点COD值变化大体为7月>4月>11月。清水河水体中COD整体为地表水Ⅲ类–Ⅴ类。

由图2(f)可见,从年均值看,双井子沟F⁻值最高,为2.85 mg/L,其次是冬至河,为2.60 mg/L,西河和井沟相对较低。从月份变化看,各样点F⁻值变化大体为11月>4月>7月。4月双井子沟和冬至河F⁻值明显高于其他样点;7月F⁻值最低,可能是由于该月降雨较多,径流量大,对水体中的F⁻浓度有一定的稀释作用;11月冬至河F⁻值

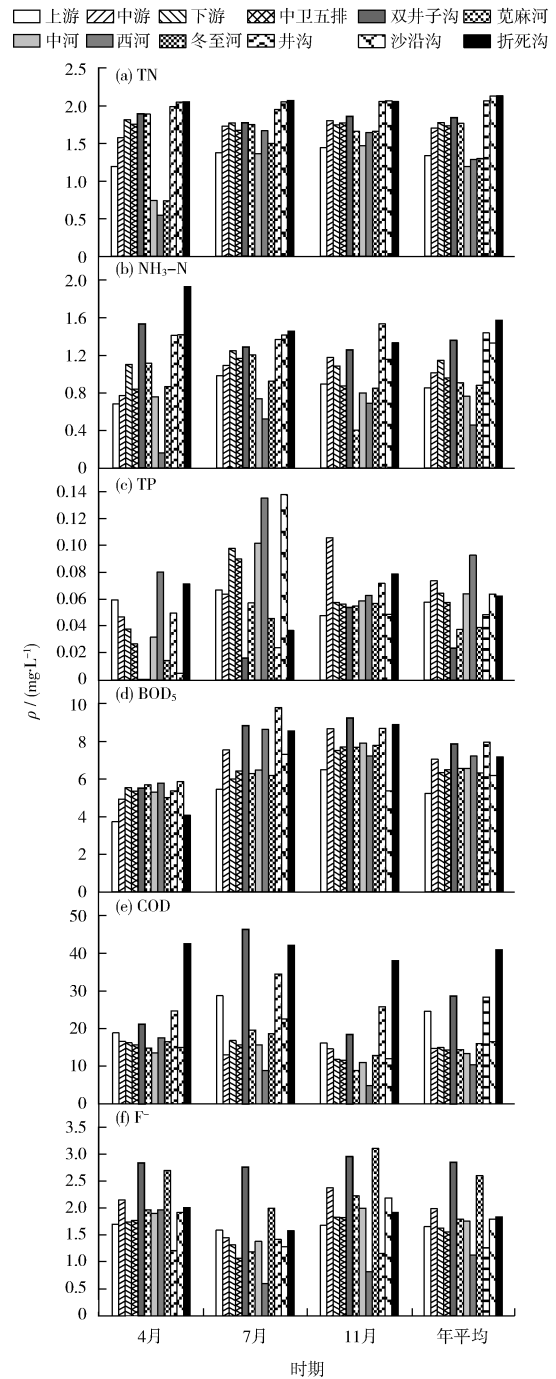


图2 清水河流域各水质因子质量浓度时空分布
Fig. 2 Temporal and spatial distribution of mass concentration of each water quality factor in Qingshuihe river basin

最高,西河最低。

2.2 单因子评价法评价结果

利用单因子评价法对2018年清水河水水质作评价,F⁻不参与、参与的评价结果分别见表1、表2。由表1可知,当F⁻不参与水质评价时,在清水河12个样点中,有9个水质类别为Ⅴ类,占75%,只

表 1 F⁻ 不参与的单因子评价法评价结果

Table 1 Single-factor assessment results without F⁻ participating

采样点	水质类别				水质控制因子			
	4 月	7 月	11 月	年平均	4 月	7 月	11 月	年平均
上游	IV 类	V 类	V 类	IV 类	TN	TN、COD	BOD ₅	TN、BOD ₅ 、COD
中游	V 类	V 类	V 类	V 类	TN	TN、BOD ₅	TN、BOD ₅	TN、BOD ₅
下游	V 类	V 类	V 类	V 类	TN	TN	TN、BOD ₅	TN、BOD ₅
中卫五排	V 类	V 类	V 类	V 类	TN	TN、BOD ₅	TN、BOD ₅	TN、BOD ₅
双井子沟	V 类	劣 V 类	V 类	V 类	TN	TN、BOD ₅ 、COD	TN、BOD ₅	TN、BOD ₅
苜麻河	V 类	V 类	V 类	V 类	TN	TN、BOD ₅	TN、BOD ₅	TN、BOD ₅
中河	III 类	V 类	V 类	V 类	TN、NH ₃ -N、BOD ₅	BOD ₅	BOD ₅	BOD ₅
西河	III 类	V 类	V 类	V 类	TN、BOD ₅	TN、BOD ₅	TN、BOD ₅	BOD ₅
冬至河	III 类	V 类	V 类	V 类	TN	TN	TN、BOD ₅	BOD ₅
井沟	V 类	V 类	劣 V 类	V 类	TN	TN、BOD ₅ 、COD	TN	TN、BOD ₅
沙沿沟	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	TN	TN	TN	TN、BOD ₅
折死沟	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	TN、COD	TN、COD	TN	TN、BOD ₅ 、COD

表 2 F⁻ 参与的单因子评价法评价结果

Table 2 Single-factor assessment results with F⁻ participating

样点	水质类别				水质控制因子			
	4 月	7 月	11 月	年平均	4 月	7 月	11 月	年平均
上游	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	F ⁻	F ⁻	F ⁻	F ⁻
中游	劣 V 类	V 类	劣 V 类	劣 V 类	F ⁻	TN、BOD ₅ 、F ⁻	F ⁻	F ⁻
下游	劣 V 类	V 类	劣 V 类	劣 V 类	F ⁻	TN	F ⁻	F ⁻
中卫五排	劣 V 类	V 类	劣 V 类	劣 V 类	F ⁻	TN、BOD ₅	F ⁻	F ⁻
双井子沟	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	F ⁻	COD、F ⁻	F ⁻	F ⁻
苜麻河	劣 V 类	V 类	劣 V 类	劣 V 类	F ⁻	TN、COD、F ⁻	F ⁻	F ⁻
中河	劣 V 类	V 类	劣 V 类	劣 V 类	F ⁻	BOD ₅	F ⁻	F ⁻
西河	劣 V 类	V 类	V 类	V 类	F ⁻	TN、BOD ₅	TN、BOD ₅	BOD ₅
冬至河	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	F ⁻	F ⁻	F ⁻	F ⁻
井沟	劣 V 类	V 类	劣 V 类	V 类	F ⁻	TN、BOD ₅ 、COD	TN	TN、BOD ₅
沙沿沟	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	TN、F ⁻	TN	TN、F ⁻	TN、F ⁻
折死沟	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	TN、COD、F ⁻	TN、COD、F ⁻	TN、F ⁻	TN、COD、F ⁻

有上游水质类别为 IV 类。从水质控制因子看,清水河 58% 样点水质控制因子为 TN 和 BOD₅, 25% 样点水质控制因子为 BOD₅, 17% 样点水质控制因子为 TN、BOD₅、COD。由表 2 可知,当 F⁻ 参与水质评价时,在清水河 12 个采样点中,有 10 个水质类别为劣 V 类,占 83%。从水质控制因子看,清水河 67% 样点水质控制因子为 F⁻,西河水质控制因子为 BOD₅,井沟为 TN、BOD₅,沙沿沟为 TN、F⁻,折死沟为 TN、COD、F⁻。可见,当 F⁻ 参与水质评价时,清水河流域的水质逐渐变差,由 V 类水变为劣 V 类,水质控制因子也发生了变化。

2.3 综合污染指数法评价结果

水质综合污染指数的高低直接反映水体质量的优劣,综合污染指数越高,水质越差,综合污染指数越低,水质越好。F⁻ 不参与、参与评价的综合污染指数分别见图 3(a)(b)。

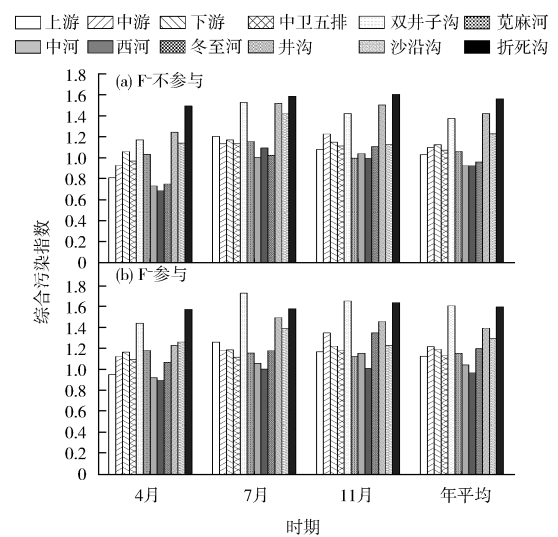


图 3 F⁻ 不参与、参与评价的综合污染指数
Fig. 3 Comprehensive pollution index with and without F⁻ participating

由图3可知,当 F^- 不参与水质评价时,清水河流域整体的污染程度为7月>11月>4月,7月浮游植物生物量上升,水质较差,4月和11月浮游植物生物量下降,水质逐渐好转。褚一凡等^[13]在对陈桥东湖浮游生物群落特征及水质评价中也有同样结论。12个样点中,折死沟水质最差,处于污染状态,中河和西河水质最好,基本合格。当 F^- 参与水质评价时,清水河流域整体污染程度为11月>7月>4月,11月河流水位低,流量较小,其补水水源主要源于浅层地下水,沿途含氟岩石经过地下水淋滤,使得地下水 F^- 浓度较高,地下水补充到地表水,使得河流 F^- 浓度较高。4月和7月降雨相对较多,水流量大、速度快,对水体中的 F^- 浓度有一定的稀释作用,使得河流 F^- 浓度较低。纳麦提·托合提等^[14]在对克里雅河流域 F^- 时空分布特征分析时也有相同特征。双井子沟水质最差,处于污

染状态,西河水质最好,基本合格。

2.4 灰色关联法评价结果

利用灰色关联法对清水河的水质进行评价,评价时将数据归一化到0~1之间^[15],其评价结果见表3。

由表3可知,当 F^- 不参与水质评价时,中河、西河的水质较好,全年以Ⅱ类为主;双井子沟、井沟、折死沟水质7月最差,7月降雨较多,地表污染物通过降雨冲刷带入河流,增加了河流的污染程度,同时,降雨还将空气中的粉尘、农田过剩的肥料等都带入河流,加速了水质的富营养化^[16];12个样点中折死沟水质最差,全年以Ⅴ类水为主。当 F^- 参与水质评价时,双井子沟、井沟、沙沿沟、折死沟水质较差,全年以Ⅳ、Ⅴ类水为主;中河、西河水质相对较好,以Ⅱ类水为主。综合分析发现,当 F^- 参与水质评价时,清水河流域水质状况逐渐变差。

表3 灰色关联法评价结果

Table 3 Results of gray relational evaluation

采样点	4月		7月		11月		年平均	
	无 F^-	有 F^-	无 F^-	有 F^-	无 F^-	有 F^-	无 F^-	有 F^-
上游	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅳ类
中游	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅱ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅳ类
下游	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅳ类
中卫五排	Ⅱ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅳ类
双井子沟	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类
苜麻河	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅱ类	Ⅳ类	Ⅱ类	Ⅳ类
中河	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅳ类	Ⅱ类	Ⅱ类
西河	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅱ类
冬至河	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅱ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅳ类
井沟	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类
沙沿沟	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类
折死沟	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类

2.5 模糊综合评价法评价结果

利用模糊综合评价法对2018年清水河水质进行评价,评价结果见表4。

由表4可知,当 F^- 不参与水质评价时,双井子沟、井沟、沙沿沟、折死沟水质较差,由于其位于清水河的下游段,可能周围工农业生产及生活污水的综合排放^[6]使得河流污染严重。另外,双井子沟、折死沟是清水河的主要产沙区^[6],气候干燥,植被稀少,水土流失现象较为常见。上游和中河水质稍好,以Ⅲ类为主。当 F^- 参与水质评价时,双井子沟、沙沿沟、折死沟水质较差,全年以Ⅴ类为主,清水河上游至下游降雨和水面蒸发趋势相反,下游降

雨稀少,水面蒸发较大,河流受到强烈的蒸发浓缩作用,使得河流下游氟化物浓度较高^[17]。中河、西河水质以Ⅳ类为主。综合分析发现,当 F^- 参与水质评价时,清水河流域水质逐渐变差。

2.6 4种评价结果对比分析

应用单因子评价法、综合污染指数法、灰色关联法、模糊综合评价法对清水河流域的水质进行综合评价,每种方法有其各自的特点,文中表明模糊综合评价法的评价结果更符合实际水体情况。谢卫平等^[18]应用相同的方法对漕桥河的水质进行综合评价,结果发现模糊综合评价法的评价结果更能全面地反映漕桥河的实际水体情况。

表 4 模糊综合评价法评价结果
Table 4 Results of fuzzy comprehensive evaluation

采样点	4 月		7 月		11 月		年平均	
	无 F ⁻	有 F ⁻	无 F ⁻	有 F ⁻	无 F ⁻	有 F ⁻	无 F ⁻	有 F ⁻
上游	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅳ类
中游	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅴ类
下游	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅴ类
中卫五排	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅴ类
双井子沟	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅴ类
苜麻河	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅴ类
中河	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅴ类	Ⅲ类	Ⅳ类
西河	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类
冬至河	Ⅲ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅴ类
井沟	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅴ类
沙沿沟	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类
折死沟	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅴ类

通过对 4 种方法的评价结果对比分析,发现单因子评价法虽然可以对水质作定性评价,判断出河流主要污染因子,但不能全面反映河流水质状况,适用于污染物单一的河流;综合污染指数法虽然可以对水质作定量分析,计算简单,能判断出河流的污染程度,但不能判别水质类别;灰色关联法采用等权的处理方法,使得一些指标在评价时作用变小,对劣 V 类水质评价偏保守;模糊综合评价法更能客观反映实际水体情况,适用于含有许多不确定性因素的水质综合评价。

3 结论

(1) 综合污染指数法表明,当 F⁻ 不参与水质评价时,清水河整体的污染状况为 7 月 > 11 月 > 4 月。当 F⁻ 参与水质评价时,清水河整体的污染状况为 11 月 > 7 月 > 4 月。

(2) 单因子评价法的评价结果最差,模糊综合评价法的评价结果更符合实际水体情况。双井子沟、井沟、沙沿沟、折死沟的水质较差,中河、西河的水质稍好。当 F⁻ 参与水质评价时,清水河流域的水质变差。

(3) 4 种方法的评价结果表明,清水河流域下游段水质较差,全年以 V 类水为主,主要由清水河周围工农业生产及生活污染所致。

[参考文献]

[1] 王兆波. 长春市典型水库水质综合评价及预测研究[D]. 长春: 长春工程学院, 2017.
 [2] LIU Y, WANG T T, YANG J. Evaluating the quality of mine water using hierarchical fuzzy theory and fluorescence regional integra-

tion[J]. Mine Water and the Environment, 2019, 38: 243 - 251.
 [3] 周飞. 固原市原州区清水河流域水资源综合评价[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(35): 21950 - 21951, 21989.
 [4] 包淑萍, 马云, 王生鑫. 宁夏清水河流域水资源评价分析[J]. 宁夏农林科技, 2015, 56(3): 43 - 46, 50.
 [5] 孟祥仪. 基于 WASP 模型的宁夏清水河水水质预警研究[D]. 西安: 长安大学, 2017.
 [6] 艾成, 丁环. 宁夏清水河流域水文特性分析[J]. 宁夏农林科技, 2010, 51(3): 71 - 72.
 [7] 全达人, 马春花. 宁夏氟病区农村居民饮水的水质标准[J]. 灌溉排水, 1997, 16(4): 62.
 [8] 王冰. 清水河流域(原州区段)生态系统健康评价[D]. 银川: 宁夏大学, 2014.
 [9] 孙婷, 莫跃爽, 李芳, 等. 花溪区思雅河水水质分析与评价[J]. 环境监测管理与技术, 2020, 32(4): 43 - 47.
 [10] 张亚丽, 周扬, 程真, 等. 不同水质评价方法在丹江口流域水质评价中应用比较[J]. 中国环境监测, 2015, 31(3): 58 - 61.
 [11] 李倩, 陈颖. 应用灰色关联法评价张集地下水水质状况[J]. 能源技术与管理, 2017, 42(3): 164 - 165, 173.
 [12] 侯玉婷, 周忠发, 王历, 等. 基于改进模糊综合评价法的喀斯特山区水质评价研究[J]. 水利水电技术, 2018, 49(7): 129 - 135.
 [13] 褚一凡, 赵闪闪, 李泉光, 等. 陈桥东湖浮游生物群落结构特征及水质评价[J]. 长江科学院院报, 2019, 36(8): 23 - 29.
 [14] 纳麦提·托合提, 张峰, 师庆东. 克里雅河流域水中氟离子的空间分布特征[J]. 干旱区研究, 2016, 33(5): 1125 - 1131.
 [15] 杨永宇. 黑河流域水环境因子分析及水环境质量综合评价[D]. 银川: 宁夏大学, 2017.
 [16] 陈明霞, 熊贵耀, 张佳鹏, 等. 湘江流域水质综合评价及其时空演变分析[J]. 环境工程, 2019, 37(10): 83 - 90, 104.
 [17] 何志润, 贻向宁, 马正虎, 等. 宁夏清水河流域氟化物(F⁻)的时空分布特征及其影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(5): 169 - 174.
 [18] 谢卫平, 杨莉, 吴磊, 等. 不同水质评价方法在漕桥河的应用与分析[J]. 环境监测管理与技术, 2013, 25(2): 62 - 66.

本栏目编辑 谢咏梅