

# 甘肃盐池湾国家级自然保护区高寒 湿地水环境质量调查与评价

刘晓娟<sup>1</sup>, 张玉斌<sup>2</sup>, 王煜明<sup>2</sup>, 杨海蓉<sup>2</sup>, 马志兵<sup>2</sup>,  
董万涛<sup>2</sup>, 杨巨才<sup>2</sup>, 达布希力特<sup>2</sup>, 乌力吉<sup>2</sup>, 孙学刚<sup>1</sup>

(1. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃盐池湾国家级自然保护区管理局, 甘肃 肃北 736300)

**摘要:** [目的] 对甘肃盐池湾国家级自然保护区内的湿地水资源进行调查和分析, 并对湿地水环境进行质量评价, 以期掌握保护区水资源安全状况, 为保护区内的人畜饮水安全和下游的安全供水提供依据。[方法] 在保护区内采集水样 26 份, 其中, 河流湿地水样 17 份, 湖泊湿地水样 3 份, 沼泽湿地水样 5 份, 地热水样 1 份。根据国家标准对采集水样的 pH 值、总硬度、氨氮含量、高锰酸盐指数、阴离子表面活性剂、氯化物、总磷和金属离子锌、铁、铜、镉、六价铬、铅的含量进行了测定。测定结果采用单项指标评价法、综合指数评价法和内梅罗水污染指数法分别进行评价。[结果] ①保护区内湿地水均呈弱碱性。②保护区内大多数湿地水质较软, 属于中硬水以下。③小泉沼泽湿地存在氨氮污染; 有 15 处湿地水受到阴离子表面活性剂污染; 小德尔吉湖泊、党河中游和大水河中游均存在镉污染; 大水河中游受到轻度铅污染; 有 11 份水样存在铁污染。[结论] 保护区内大部分水质较好, 达到国家 I, II 类地表水标准, 为 I 级清洁和 II 级较清洁水质。仅党河中游、大水河中游和小德尔吉湖泊水质稍差, 主要是个别水质指标超标导致的。内梅罗水污染指数法更加适合自然保护区的水环境质量评价。

**关键词:** 高寒湿地; 水环境; 质量评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)02-0160-06

中图分类号: X821

**文献参数:** 刘晓娟, 张玉斌, 王煜明, 等. 甘肃盐池湾国家级自然保护区高寒湿地水环境质量调查与评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 160-165. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.02.026. Liu Xiaojuan, Zhang Yubin, Wang Yuming, et al. Investigation and evaluation on water quality of cold alpine wetland in Gansu Yanchiwan National Nature Reserve[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2): 160-165.

## Investigation and Evaluation on Water Quality of Cold Alpine Wetland in Gansu Yanchiwan National Nature Reserve

LIU Xiaojuan<sup>1</sup>, ZHANG Yubin<sup>2</sup>, WANG Yuming<sup>2</sup>, YANG Hairong<sup>2</sup>, MA Zhibing<sup>2</sup>,  
DONG Wantao<sup>2</sup>, YANG Jucui<sup>2</sup>, DABU Xilite<sup>2</sup>, WULIJI<sup>2</sup>, SUN Xuegang<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Gansu Yanchiwan National Nature Reserve Bureau, Subei, Gansu 736300, China)

**Abstract:** [Objective] The water quality of cold alpine wetland in Gansu Yanchiwan National Nature Reserve was investigated and evaluated to understand the security status of water resources in this area, and to provide basis for drinking water security and downstream safety water supply. [Methods] Twenty-six water samples were collected in the Gansu Yanchiwan National Nature Reserve, including 17 riverine wetland water samples, 3 lake wetland water samples, 5 marsh wetland water samples, and a thermal spring water sample. The pH value, total hardness, nitrogen content, permanganate index, anionic surfactant, chloride content, total phosphorus content, and the contents of the metal ions, Zn, Fe, Cu, Cd, Cr and Pb, were measured according to the national standard. The determination results were evaluated by single index evaluation

收稿日期: 2017-07-07

修回日期: 2017-09-27

资助项目: 自列项目“甘肃盐池湾国家级自然保护区昆虫资源和湿地生态环境本底调查研究”

第一作者: 刘晓娟(1980—), 女(汉族), 甘肃省天水市人, 博士, 讲师, 主要从事种子植物多样性与植被生态方面的研究。E-mail: liuxiaojuan@gsau.edu.cn。

通讯作者: 孙学刚(1960—), 男(汉族), 辽宁省铁岭市人, 学士, 教授, 主要从事植物多样性及区系地理方面的研究。E-mail: sunxg60@gsau.edu.cn。

method, comprehensive index evaluation method and Nemerow index method. [Results] ① All the water samples were alkaline. ② The hardness of sampled water were all moderate. ③ The water of Xiaoquan marsh wetland was polluted by nitrogen; fifteen water samples were polluted by anionic surfactant; Xiaoderji Lake, midstream of Dahe River and midstream of Dashuihe River were polluted by Cd; midstream of Dashuihe River was also polluted by Pb; and eleven samples were polluted by Fe. [Conclusion] Most wetland water quality were good, reached to I or II level of national surface water standards. The water quality of midstream of Dahe River, midstream of Dashuihe River and Xiaoderji Lake were all worse. Nemerow index method was identified as the optimum method for the evaluation on water quality of National Nature Reserve.

**Keywords:** cold alpine wetland; water environment; quality evaluation

中国湿地具有资源多、分布广等特点,几乎覆盖全国所有省份<sup>[1]</sup>。其中有一类湿地,长期处在极端寒冷的环境,其土壤受低温因素影响而常年或季节性以冻土形态存在,这类湿地被称为寒区湿地<sup>[2]</sup>。寒区湿地一般分布于寒温带、中温带的北部地区以及高海拔地带,约占我国自然湿地的 60% 以上<sup>[3]</sup>。寒区湿地极易受到气候和环境变化的影响,在结构和功能上具有其特有的性质,是极为重要的湿地类型,对于中国湿地的环境的监测、管理与保护具有重要的意义,在生态保护和利用上具有非常高的价值<sup>[4-5]</sup>。位于我国甘肃省肃北蒙古族自治县的甘肃盐池湾国家级自然保护区境内分布着一类以特殊高寒干旱环境为生境的湿地类型。这些湿地群发挥着重要的水源涵养功能,兼顾调节气候和储存水资源的作用,并且为保护区内的珍稀濒危动植物提供了良好的栖息场所。同时,保护区内的高寒湿地是敦煌地区唯一的水源补给地和涵养地,不仅对维护地区经济社会可持续发展有重要作用,而且直接关系到生活在该地区人民的生存和发展。此外,保护区湿地不仅是肃北县畜牧草料资源的主要供给地,也为牧畜提供了饮水,是保证该地区畜牧业持续发展的生命之源。因此,保护区内的水资源显得尤为宝贵,不仅关系到保护区内牧民的生活和生产,同时也关系到下游地区群众的饮水安全和经济可持续发展。本研究对保护区的湿地水资源进行调查和分析,并对湿地水环境进行质量评价,以期掌握保护区水资源安全状况,为保护区内的人畜饮水安全和下游的安全供水提供依据。

## 1 研究区概况

研究在位于青藏高原北缘的甘肃省盐池湾国家级自然保护区内进行,保护区内最低海拔 2 600 m,最高海拔 5 483 m,山脊多在海拔 4 000 m 以上。保护区地处高原亚寒带,年平均气温  $-0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,7 月平均气温  $11.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,1 月平均气温  $-14.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,日平均气温  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  的天数 62 d,海拔 3 600 m 以上的地区日均温  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  的时间为零;年均降水量 202.5 mm,多集中在夏季;

年均蒸发量 2 493.3 mm,为降水量的 17.5 倍;平均强辐射日照时间 2 841.1 h,年总辐射量  $590.34\sim 619.65\text{ kJ}/\text{cm}^2$ ;年均风速 3.7 m/s。甘肃盐池湾国家级自然保护区湿地总面积为 150 395.1  $\text{hm}^2$ 。其中,河流湿地面积为 96 255.2  $\text{hm}^2$ ,湖泊湿地面积为 480.8  $\text{hm}^2$ ,沼泽湿地面积为 53 659.1  $\text{hm}^2$ 。保护区内的湿地水资源主要为河流水、湖泊水、沼泽积水和泉水,这些水体的补给为自然降水和冰川积雪融水。

## 2 材料和方法

### 2.1 水样采集

根据保护区内的地表水资源类型,水样采集对象主要包括:保护区内主要河流的源头、上游、中游和下游,对各河流的支流,湖泊、沼泽湿地和泉水。在保护区内共采集水样 26 份,采样地点基本情况详见表 1。其中河流湿地水样 17 份,湖泊湿地水样 3 份,沼泽湿地水样 5 份,地热水样 1 份。采样过程中采样点的选择、采样、样品的保存及检验方法参照《水质采样技术指导(HJ494-2009)》<sup>[6]</sup>、《水质采样方案设计技术规范(HJ495-2009)》<sup>[7]</sup>、《环境监测分析方法标准制修订技术导则(HJ168-2010)》<sup>[8]</sup>等。

### 2.2 检测指标

对所有采集水样进行了 13 个水质指标的测定,分别为 pH 值、氨氮、高锰酸盐指数、阴离子表面活性剂、氯化物、总磷、总硬度,和金属离子锌、铁、铜、镉、六价铬、铅的含量。

### 2.3 检测方法

各项指标的检测均依据相关的国家标准和环境规范<sup>[9-10]</sup>。采用 pH 计法测定水样的 pH 值;采用纳氏试剂比色法测定水样的氨氮值;采用酸性法测定水样的高锰酸盐指数;采用亚甲蓝分光光度法测定水样的阴离子表面活性剂;采用硝酸银滴定法测定水样的氯化物;采用钼酸铵分光光度法测定水样的总磷;采用 EDTA 滴定法测定水样的总硬度;采用火焰原子吸收分光光度法测定水样的金属离子锌、铁、铜,石墨炉原子吸收分光光度法测定水样的金属离子镉、六价铬、铅。

表 1 研究区水样采集地基本情况

水样编号	采集地点	经度	纬度	海拔/m	湿地类型
S <sub>1</sub>	党河上游	96°11'14"E	38°54'49"N	3 280	河流湿地
S <sub>2</sub>	党河中游	95°40'51"E	39°11'56"N	3 164	河流湿地
S <sub>3</sub>	南丁郭勒上游	96°3'47"E	38°56'45.9"N	3 246	河流湿地
S <sub>4</sub>	南丁郭勒中游	96°3'6"E	38°58'13.2"N	3 237	河流湿地
S <sub>5</sub>	南丁郭勒下游	96°2'45.1"E	38°58'31.7"N	3 195	河流湿地
S <sub>6</sub>	疏勒河上游	97°00'08"E	39°08'07"N	2 895	河流湿地
S <sub>7</sub>	疏勒河中游	96°57'02"E	39°27'33"N	2 467	河流湿地
S <sub>8</sub>	大水河上游	96°41'21"E	38°39'04"N	3 776	河流湿地
S <sub>9</sub>	大水河中游	96°37'43"E	38°41'34"N	3 702	河流湿地
S <sub>10</sub>	大水河下游	96°34'39"E	38°42'10"N	3 654	河流湿地
S <sub>11</sub>	奎腾河上游	96°44'41"E	38°49'24"N	3 713	河流湿地
S <sub>12</sub>	奎腾河下游	96°50'43"E	38°41'30"N	3 837	河流湿地
S <sub>13</sub>	奎腾河支流	96°44'48"E	38°45'39"N	3 718	河流湿地
S <sub>14</sub>	野马河源头	96°48'35"E	39°06'11"N	4 280	河流湿地
S <sub>15</sub>	野马河中游	96°38'46"E	39°07'24"N	3 967	河流湿地
S <sub>16</sub>	野马河下游	95°10'30"E	39°26'00"N	2 666	河流湿地
S <sub>17</sub>	榆林河	96°00'48"E	39°48'34"N	2 131	河流湿地
S <sub>18</sub>	大德尔吉	95°40'51"E	39°11'27"N	3 180	湖泊湿地
S <sub>19</sub>	小德尔吉	95°48'20"E	39°09'15"N	3 177	湖泊湿地
S <sub>20</sub>	蓝泉湖	95°41'53.2"E	39°09'15.2"N	3 169	湖泊湿地
S <sub>21</sub>	南丁郭勒沼泽	96°3'18.7"E	38°57'20.5"N	3 219	沼泽湿地
S <sub>22</sub>	蓝泉	95°41'41.1"E	39°9'19.2"N	3 173	沼泽湿地
S <sub>23</sub>	三个郭庄	95°50'49"E	39°08'10"N	3 175	沼泽湿地
S <sub>24</sub>	大泉	95°48'21.2"E	39°03'28.9"N	3 190	沼泽湿地
S <sub>25</sub>	小泉	95°45'9.3"E	39°5'2.7"N	3 178	沼泽湿地
S <sub>26</sub>	奎腾河源头温泉	96°41'21"E	38°36'12"N	3 982	地热泉

## 2.4 评价标准

相关的环境法规和环境标准是水质评价的主要依据。本研究以《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[10]</sup>和《生活饮用水标准(GB5749-2006)》<sup>[11]</sup>做为评价依据。

## 2.5 评价方法

水质评价方法多种多样,采用合理的水质的水质评价方法才能准确、客观的反映水体水质现状,为水环境管理提供科学依据<sup>[10-16]</sup>。因此,选取了3种常用的、有代表性的水质评价方法(单项指标评价法、综合指数评价法和内梅罗水污染指数法)对甘肃省盐池湾国家级自然保护区的湿地水质进行评价,比较分析各评价方法的优缺点,从而确定适合同类型高寒湿地水质评价的方法。

**2.5.1 单项指标评价法** 将各项水质指标实测值与《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[10]</sup>中各类标准限值进行对比,以所选评价指标中最差水质类别作为水质综合评价结果<sup>[14]</sup>。

**2.5.2 综合指数评价法** 综合指数法<sup>[12-13]</sup>是将不同性质质量纲的指标无因次化,转化为某种标准形式,转化后的指标值均在(0,100)之间,这些经转化的实数

称为综合指数。

首先,进行评价标准指数的规范化处理:

$$S_{ih}' = \frac{S_{ih}}{r_{ij}} \quad (1)$$

式中: $i=1,2,\dots,n$ ;  $h=1,2,\dots,m$ ;  $S_{ih}$ ——第  $i$  个项目的  $h$  级标准限值。

$$r_{ij} = \frac{S_{i\max} - S_{i\min}}{100} \quad (2)$$

式中: $S_{i\max}$ ——评价指标中最高级的限值;  $S_{i\min}$ ——评价指标中可能的最低值,假定  $S_{i\min}=0$ 。

其次,计算各级评价标准综合指数:

$$I_h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{ih}' \quad (3)$$

式中: $h=1,2,\dots,m$ ;显然  $0 \leq I_h \leq 100$ 。

最后,确定实测样点的指数( $d_i$ )和综合指数( $I'$ )。

$$d_i = \frac{x_{ij}}{r_{ij}} \quad (\text{若 } X_{ij} \geq S_{i\max}, \text{ 规定 } d_i = 100) \quad (4)$$

$$I' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (5)$$

**2.5.3 内梅罗水污染指数法** 内梅罗指数法采用的是加附注的评价方法<sup>[14-16]</sup>,具体步骤为:

(1) 首先进行各单项组分评价,划分组分所属质量类别,对各类别按表 2 分别确定单项组分评价分值  $F_i$ 。

表 2 地表水质量评分

类别	I	II	III	IV	V
$F_i$	0	1	3	6	10

(2) 选用内梅罗指数计算综合评分值  $F_{\text{综}}$

$$F_{\text{综}} = \sqrt{\frac{F^2 + F_{\text{max}}^2}{2}}, \quad F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i$$

式中:  $F$ ——各单项组分评分值  $F_i$  的平均值;  $F_{\text{max}}$ ——单项组分值  $F_i$  的最大值;  $n$ ——项数。因为要根据地表水质量等级进行赋值,因此,选用氨氮、高锰酸盐指数、阴离子表面活性剂、总磷、铜、锌、镉、六价铬、铅等 9 项指标进行综合评价。

(3) 根据  $F$  值按表 3 规定划分地表水质量级别。

表 3 地表水质量分级

类别	I 级清洁	II 级较清洁	III 级轻污染	IV 级中等污染	V 级重污染
$F$	<0.80	0.80~2.50	2.50~4.25	4.25~7.20	>7.20

## 3 结果与分析

### 3.1 单项指标评价法评价结果

共测定水质指标 13 个,将各指标测定结果与《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[10]</sup>进行了比较,确定了各指标测定值所属的水质类别,将被测水样评价指标中最差水质类别作为该水样的评价结果(表 4)。评价结果表明,被测的 26 份水样中,仅有 6 份水

样达到 III 类地表水标准,分别为南丁郭勒下游、疏勒河中游、榆林河、野马河源头、野马河中游 5 份河流湿地水样,和奎腾河源头温泉水样。1 份达到 IV 类地表水标准,为南丁郭勒沼泽湿地水样。其余 20 份水样均存在超标指标。被测的水样均采自国家级自然保护区内,其水质质量应满足《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》II 类以上标准。因此,根据该评价方法,研究区内所有水环境质量均不合格。

表 4 研究区水质指标等级

水样	pH 值	氨氮	高锰酸盐指数	阴离子表面活性剂	总磷	总硬度	氯化物	铜	锌	铁	镉	六价铬	铅	评价结果
S <sub>1</sub>	7.59	III	I	超 V	II	软	合格	I	I	合格	I	II	I	严重污染
S <sub>2</sub>	8.23	III	I	超 V	II	软	合格	I	I	超标	超 V	II	I	严重污染
S <sub>3</sub>	7.84	III	I	超 V	II	软	合格	I	I	超标	II	II	III	严重污染
S <sub>4</sub>	7.85	III	I	超 V	II	极软	合格	I	I	超标	I	II	I	严重污染
S <sub>5</sub>	7.92	III	I	I	I	软	合格	I	I	合格	I	I	I	III
S <sub>6</sub>	8.24	III	I	IV	III	极软	合格	II	I	超标	II	II	I	严重污染
S <sub>7</sub>	8.09	III	I	I	III	极软	合格	I	I	合格	I	II	I	III
S <sub>8</sub>	7.99	III	I	超 V	II	软	合格	I	I	合格	I	II	I	严重污染
S <sub>9</sub>	7.94	III	I	超 V	II	软	合格	II	II	超标	V	II	V	严重污染
S <sub>10</sub>	7.87	III	I	超 V	II	软	合格	II	II	超标	I	II	I	严重污染
S <sub>11</sub>	7.87	III	I	超 V	I	极软	合格	I	I	超标	I	II	I	严重污染
S <sub>12</sub>	7.94	III	I	超 V	II	软	合格	I	I	合格	I	II	I	严重污染
S <sub>13</sub>	7.95	III	I	超 V	I	极软	合格	I	I	合格	I	II	I	严重污染
S <sub>14</sub>	8.50	III	I	I	II	软	合格	I	I	合格	II	II	I	III
S <sub>15</sub>	8.31	III	I	I	II	中硬	合格	I	I	合格	II	II	III	III
S <sub>16</sub>	7.65	III	I	超 V	II	软	合格	I	I	合格	II	II	III	严重污染
S <sub>17</sub>	7.93	III	I	I	II	软	合格	II	I	合格	I	II	I	III
S <sub>18</sub>	7.55	III	I	超 V	I	高硬	合格	I	I	合格	II	I	I	严重污染
S <sub>19</sub>	7.95	IV	I	超 V	II	软	合格	I	I	合格	超 V	II	I	严重污染
S <sub>20</sub>	8.50	III	I	I	II	软	合格	I	I	超标	II	II	III	严重污染
S <sub>21</sub>	7.17	III	I	IV	I	软	合格	I	I	合格	I	II	I	IV
S <sub>22</sub>	7.55	I	I	超 V	I	软	合格	I	I	超标	I	II	I	严重污染
S <sub>23</sub>	6.9	II	I	IV	II	中硬	合格	I	I	超标	I	II	I	严重污染
S <sub>24</sub>	10.14	III	I	超 V	II	中硬	合格	I	I	合格	I	I	I	严重污染
S <sub>25</sub>	7.46	超 V	I	I	I	极软	合格	I	I	超标	I	II	I	严重污染
S <sub>26</sub>	7.59	I	I	I	I	极软	合格	I	I	合格	II	II	III	III

### 3.2 综合指数法评价结果

计算得出各级标准综合指数 ( $I_h <$ ), 并利用综合指数划分水质等级标准 (表 5)。

表 5 综合指数及水质等级标准

综合指数	水质等级
$0 \leq I_h < 13.25$	I
$13.25 \leq I_h < 44.8148$	II
$44.8148 \leq I_h < 56.2963$	III
$56.2963 \leq I_h < 74.0741$	IV
$74.0741 \leq I_h \leq 100$	V

计算得出 26 份水样的综合指数值, 与表 5 进行对比, 进而确定各被测水样的水质等级 (表 6)。研究结果表明, 26 份被测水样中, 有 3 份水样达到了 I 类地表水标准, 分别为南丁郭勒下游河流湿地、奎腾河源头温泉和榆林河河流湿地水样。其余 23 份水样均达到 II 类地表水标准。

表 6 研究区综合指数法评价结果

水样	$I_h$	水质等级	水样	$I_h$	水质等级
S <sub>5</sub>	7.9506	I	S <sub>11</sub>	21.1829	II
S <sub>26</sub>	12.4194	I	S <sub>6</sub>	21.5544	II
S <sub>17</sub>	12.6364	I	S <sub>8</sub>	21.6116	II
S <sub>7</sub>	15.0184	II	S <sub>16</sub>	21.9806	II
S <sub>20</sub>	15.3620	II	S <sub>10</sub>	22.3860	II
S <sub>22</sub>	15.7878	II	S <sub>4</sub>	22.5439	II
S <sub>23</sub>	17.3241	II	S <sub>1</sub>	22.6442	II
S <sub>15</sub>	17.4719	II	S <sub>25</sub>	23.3322	II
S <sub>21</sub>	18.0457	II	S <sub>14</sub>	23.4369	II
S <sub>13</sub>	19.4856	II	S <sub>3</sub>	25.7128	II
S <sub>24</sub>	19.8193	II	S <sub>2</sub>	34.2630	II
S <sub>18</sub>	20.4864	II	S <sub>19</sub>	34.3123	II
S <sub>12</sub>	20.8297	II	S <sub>9</sub>	38.2058	II

### 3.3 内梅罗水污染指数法评价结果

采用内梅罗水污染指数法对测定的水样进行综合评价, 评价结果详见表 7。采集的 26 份水样中, 蓝泉和 3 个锅庄沼泽湿地水样的水质为 I 级清洁。有 20 份水样的综合评价结果为 II 级较清洁, 分别为南丁郭勒上游、南丁郭勒中游、南丁郭勒下游、奎腾河上游、奎腾河下游、奎腾河支流、党河上游、大水河上游、大水河下游、榆林河、野马河源头、野马河中游、野马河下游、疏勒河上游、疏勒河中游河流湿地水样, 大德尔吉和蓝泉湖湖泊湿地水样, 南丁郭勒中游和大泉沼泽湿地水样, 以及奎腾河源头温泉水样。有 2 份水样的综合评价结果为 IV 级中度污染, 分别为党河中游河流湿地水样和小泉沼泽湿地水样。党河中游河流湿地水样中主要是阴离子表面活性剂和镉含量严重超标, 铁离子含量略超标, 从而影响了整体水质。小泉沼泽湿地水样中主要是氨氮含量和铁离子含量严重

超标。此外, 还有 2 份水样的综合评价结果为 V 级重度污染, 分别为大水河中游河流湿地水样和小德尔吉湖泊湿地水样。式中: 大水河中游河流湿地水样中阴离子表面活性剂和铁离子含量超标严重, 并且镉和铅含量较高, 仅达到 V 类地表水标准, 因此表现为整体水质较差。小德尔吉湖泊湿地水样中阴离子表面活性剂和镉含量严重超标, 并且氨氮含量较高, 整体水质表现为重度污染。

表 7 研究区内梅罗水污染指数法综合评价结果

水样	$F_{综}$	等级	水样	$F_{综}$	等级
S <sub>22</sub>	0.71	I 级	S <sub>17</sub>	2.19	II 级
S <sub>23</sub>	0.76	I 级	S <sub>14</sub>	2.19	II 级
S <sub>5</sub>	2.14	II 级	S <sub>7</sub>	2.21	II 级
S <sub>21</sub>	2.14	II 级	S <sub>10</sub>	2.21	II 级
S <sub>11</sub>	2.15	II 级	S <sub>6</sub>	2.27	II 级
S <sub>13</sub>	2.15	II 级	S <sub>15</sub>	2.27	II 级
S <sub>18</sub>	2.15	II 级	S <sub>16</sub>	2.27	II 级
S <sub>24</sub>	2.15	II 级	S <sub>3</sub>	2.27	II 级
S <sub>1</sub>	2.17	II 级	S <sub>20</sub>	2.27	II 级
S <sub>8</sub>	2.17	II 级	S <sub>25</sub>	7.14	IV 级
S <sub>12</sub>	2.17	II 级	S <sub>2</sub>	7.19	IV 级
S <sub>4</sub>	2.17	II 级	S <sub>19</sub>	7.25	V 级
S <sub>26</sub>	2.17	II 级	S <sub>9</sub>	7.46	V 级

### 3.4 综合分析

3 种评价方法均从不同程度上反映了甘肃省盐池湾国家级自然保护区湿地水环境质量情况。从图 1 可以看出, 综合指数法和内梅罗水污染指数法的评价结果重合度较高, 而单项指标评价法的评价结果和这两种方法的评价结果既不重合且差异明显。结合实地调查情况, 综合指数法和内梅罗水污染指数法的评价结果更加符合研究区水环境的实际状况。

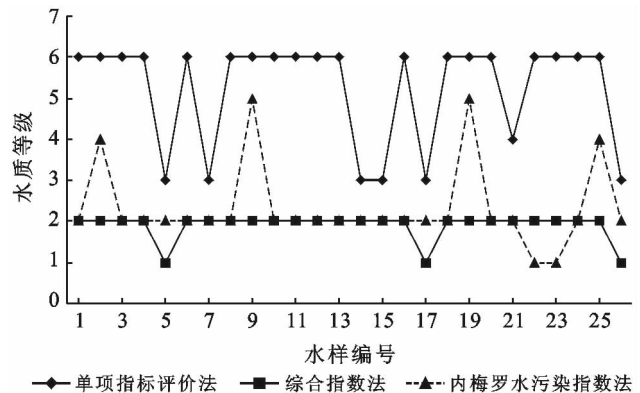


图 1 研究区 3 种水质评价方法的评价结果

## 4 结论与讨论

### 4.1 湿地水环境质量

(1) 保护区内湿地水均呈弱碱性, 除大泉沼泽湿

地水的 pH 值较高外,其余湿地水的 pH 值均符合《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[10]</sup>。保护区内盐碱地面积很大,并且大多数湿地处于相对周围较低的区域,因此盐碱容易聚集从而使得湿地水质呈现弱碱性。

(2) 保护区内大多数湿地水质较软,仅大德吉湖泊湿地水样总硬度较高,属于高硬水,其余湿地水质均属于中硬水以下,并且符合《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》<sup>[10]</sup>。调查结果显示,小泉沼泽湿地存在氨氮污染;有 15 处湿地水受到阴离子表面活性剂污染;小德吉湖泊、党河中游和大水河中游均存在镉污染;大水河中游受到轻度铅污染;有 11 份水样存在铁污染。

(3) 保护区内水体中的氨氮应该主要来源于动物的排泄物,保护区内野生动物资源丰富,保护区内的各种湿地为动物提供了取食、活动和栖息场所,同时大量的动物排泄物被排放进水体中,还有一些由于雨水冲刷等作用进入湿地,因此导致了水体中氨氮含量的上升。小德吉湖泊湿地和小泉沼泽湿地是许多鸟类的栖息场所,再加之其水体的流动性较小,因此氨氮含量较高。

(4) 保护区内湿地水中的阴离子表面活性剂一方面来源于当地牧民生活污水的排放,主要是各种洗涤用品的污染,洗衣粉、洗发水、牙膏、肥皂、洗面奶等洗涤产品和个人护理品中都含有大量的阴离子表面活性剂,可以随着生活污水排到河水或地下水中;另一方面,油脂在碱性条件下被皂化,也会生成阴离子表面活性剂,因此,保护区内大量动物的遗体在自然条件下也会产生表面活性剂随着雨水进入水体。

(5) 此外,保护区境内矿产资源丰富,因此,对于矿产资源的开发往往会导致金属离子对水体的污染,在矿山开采和金属冶炼过程中产生的金属离子随工业废水进入水体。同时,地质侵蚀和风化作用也导致了金属离子的释放,释放出来的金属离子通过雨水对地面的冲刷进入水体,并溶于水。水体中悬浮颗粒、沉积物和水生生物对这些金属离子产生富集作用,从而使得水体中金属离子浓度增加。

#### 4.2 湿地水质综合评价

(1) 3 种评价方法均从不同程度上反映了甘肃盐池湾国家级自然保护区湿地水环境质量情况。结合实地调查情况,综合指数法和内梅罗水污染指数法的评价结果更加符合研究区水环境的实际状况。

(2) 对 3 种评价方法进行分析发现,单项指标评价法属于单项水质参数评价方法,该方法简单明了,可以直观地了解水质质量指标与评价标准之间的关

系,但该方法却片面放大了污染最重的因子对水质的影响。综合指数法和内梅罗水污染指数法相比单项指标评价法计算过程较为复杂,但均能较为客观地反映水体污染的性质和程度,评价结果准确可靠。但综合指数法有时候会掩盖某些污染严重的评价因子,如党河中游河流湿地水样被检测出有阴离子表面活性剂、铁离子含量和镉离子含量 3 项指标超标,但综合评价结果却为 II 级。综合比较结果,内梅罗水污染指数法既考虑到最大污染因子的影响,也涉及到单因子指数的平均值,因此评价结果较为客观,适合自然保护区的水环境质量评价。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 雷昆,张明祥. 中国的湿地资源及其保护建议[J]. 湿地科学,2005,3(2):81-86.
- [2] 谭雅懿,王烜,王育礼. 中国寒区湿地研究进展[J]. 冰川冻土,2011,33(1):197-204.
- [3] 孙志高,刘景双,李彬. 中国湿地资源现状、问题与可持续利用对策[J]. 干旱区资源环境,2006,20(2):83-88.
- [4] 白军红,欧阳华,徐惠风,等. 青藏高原湿地研究进展[J]. 地理科学进展,2004,23(4):1-9.
- [5] 李英年,赵新全,赵亮,等. 祁连山海北高寒湿地气候变化及植被演替分析[J]. 冰川冻土,2003,25(3):243-249.
- [6] 中华人民共和国环境保护部. HJ494-2009 水质采样技术指导[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [7] 中华人民共和国环境保护部. HJ495-2009 水质采样方案设计技术规定[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [8] 中华人民共和国环境保护部. HJ168-2010 环境监测分析方法标准制修订技术导则[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [9] 中华人民共和国卫生部. GB5749-2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [10] 中国环境保护总局. GB3838-2002 地表水环境质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [11] 中华人民共和国卫生部. GB5749-2006 生活饮用水标准[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [12] 王文强. 综合指数法在地下水水质评价中的应用[J]. 水利科技与经济,2008,14(1):54-55.
- [13] 李录娟,邹胜章. 综合指数法和模糊综合法在地下水水质评价中的对比:以遵义市为例[J]. 中国岩溶,2014,33(1):22-30.
- [14] 王学忠,王鹏. 不同水质评价方法在怀柔水库水质评价中的应用与分析[J]. 水环境,2011(1):31-33.
- [15] 陈朋,王家鼎,袁亮,等. 修正内梅罗指数法和模糊综合评判法在凤凰镇地下水水质评价中的应用[J]. 水土保持通报,2017,37(2):165-170.
- [16] 徐彬,林灿尧,毛新伟. 内梅罗水污染指数法在太湖水水质评价中的适用性分析[J]. 水资源保护,2014,30(2):38-40.