

# 天津北大港水库水体的水化学特征及水质评价

何明霞<sup>1,2</sup>, 张兵<sup>1</sup>, 刘小龙<sup>1</sup>, 王中良<sup>1</sup>

(1.天津师范大学天津市水资源与水环境重点实验室,天津 300387;  
2.天津师范大学地理与环境科学学院,天津 300387)

**摘要:**北大港水库是天津市重要的调蓄水库,水库在蓄水后快速咸化,影响到水库功能的正常发挥。为解析北大港水库及周边水体的水质和主要影响离子,在2015~2017年的丰水期和枯水期分别采集北大港水库水库水和独流减河河水样,分析水体的水化学组成及时空特征。结果表明,河水、水库水的水化学类型分别是Na-Cl(HCO<sub>3</sub>)型和Na-Cl(SO<sub>4</sub>)型。由主成分分析可知,Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>以及溶解氧(DO)四个指标是北大港水库水质的主要影响因子。基于模糊数学理论的水质综合评价表明,水库水和河水中96%的水体隶属于V类。在空间上,水体距离渤海湾越近,水质越差;由于独流减河径流量和入海水量的减少,河水的水质最差点从水库排咸闸处逐渐上移到水库十号口门进水闸处。本研究可为北大港水库的水质改善提供理论依据。

**关键词:**北大港水库;水体咸化;主成分分析;模糊数学;水质评价

**中图分类号:** P933

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0852(2020)04-0091-06

天津位于华北平原东部,濒临渤海湾,水资源极度短缺,人均资源占有量仅160 m<sup>3</sup>,为全国人均占有量的1/15<sup>[1-2]</sup>。为缓解天津长期水资源的不足,从20世纪80年代起相继建了“引滦入津”、“引黄入津”等输水工程<sup>[3]</sup>。北大港水库是“引黄济津”工程的唯一蓄水水库,在天津市生活和工业用水中发挥很大作用。北大港水库蓄水后水质变差,存在严重的水质咸化问题<sup>[4-5]</sup>,影响了水库功能,加剧了水资源的短缺。赵文玉等<sup>[6]</sup>对水质咸化机理进行了全面分析,发现北大港湿地的盐碱化土壤是水库水体咸化的重要因素。除此之外蒸发浓缩、海水入侵也影响着水质咸化<sup>[7-9]</sup>。

目前水质评价的方法主要有单因子指数评价法、模糊综合评价法、灰色系统评价法等<sup>[9]</sup>。李兆华等运用主成分分析对王家坝水库进行了水质评价,发现该水库的水质类别未达到规定标准,水库的首要污染物是总磷<sup>[10]</sup>;张晨等采用模糊数学方法对引滦入津工程水库进行综合评价,发现于桥水库总体水质为IV类,尔王庄水库为II类<sup>[11]</sup>。Lobato T C等运用综合指数法评估了巴西亚马逊地区水电站水库的水质,发现水电站

附近的水体因受人为影响水质差,而大坝和环境保护区的水体水质较好<sup>[12]</sup>。选取主成分分析法和模糊综合评价法进行水质评价不仅可以简化变量,还可较好地处理水质标准边界的模糊性对水质评价的影响。

本研究主要采集了2015~2017年的北大港水库、独流减河丰水期和枯水期的水样,测定了水中的主要阴阳离子组成。结合测试指标和水化学组成,阐述水体的水化学类型和时空分布特征,运用主成分分析法和模糊综合评价法对河水和水库水进行评价,旨在为北大港水库的水质改善和管理规划提供理论基础。

## 1 研究区域

北大港水库位于天津滨海新区东南部,地理坐标为北纬38°36'~38°50',东经117°11'~117°37',属于北温带半湿润大陆性季风气候,是候鸟迁徙的重要站点,植被以芦苇群落为主,因多次海侵海退,土壤盐碱化严重<sup>[13]</sup>。北大港水库东临渤海湾,北与独流减河共堤,距离入海口有6 km,是一个大(II)型的淡水水库,底泥含盐量高(3~18 g/L),水库的占地面积为164 km<sup>2</sup>,

收稿日期:2019-06-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41971037);天津市应用基础与前沿技术研究项目(15JCQNJC44200)

作者简介:何明霞(1994-),女,山西省临汾人,硕士研究生,主要研究方向为流域水循环与水环境。E-mail:2597483236@qq.com

通讯作者:张兵(1983-),男,湖北枣阳人,博士,助理研究员,主要研究方向为水资源与水环境。E-mail:zhangbing@tjnu.edu.cn

蓄水面积为 150 km<sup>2</sup>[14]。北大港水库的降水集中在 7-9 月,多年平均降水量为 550 mm,多年平均蒸发量为 1 120.5 mm[15]。

## 2 材料与方法

### 2.1 样品采集与测定

为了对北大港水库的水体进行水化学分析与评价,于 2015 年枯水期(12 月 7 日)和丰水期(8 月 11 日)、2016 年枯水期(4 月 9 日)和丰水期(8 月 8 日)、2017 年枯水期(5 月 10 日)和丰水期(8 月 24 日)六个时间段进行采样,共采集 50 个样点,其中河水 21 组,水库水 29 组。从中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)下载天津市 2018 年度土地利用分类,并制作采样点分布图(见图 1)。

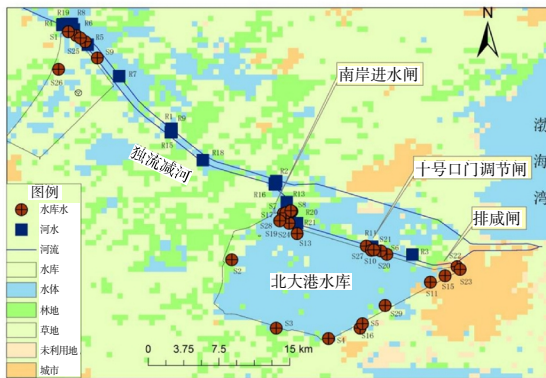


图 1 北大港水库位置及采样点分布

Fig.1 The location of the Beidagang reservoir and the sampling sites

每个采样点采集两个 50 ml 的样品进行阴阳离子的测定,采集一个 100 ml 的样品进行碳酸氢根的滴定。现场测定电导率(EC)、溶解氧(DO)和水温。 $\text{HCO}_3^-$ 的测定要在采样后 24 h 之内完成,用稀硫酸-甲基橙滴定法测定  $\text{HCO}_3^-$  离子的含量,测定精度为 1%。在天津师范大学天津市水资源与水环境重点实验室测定水样中的主要离子。

利用 ArcGIS 软件制作采样点分布图,运用 AquaChem 软件制作 Piper 图,用 Origin Pro 9.2 软件做箱线图,选择 MATLAB 软件进行编程,计算模糊隶属度矩阵和权重矩阵,根据国家标准对水质进行综合评价。

### 2.2 水质评价综合模型

将主成分分析与模糊综合评价结合,融合两种方法的优势建立水质综合评价模型。主成分分析法是利

用降维的思想,将原来的多指标转化为少数几个综合指标[16]。1965 年美国著名学者 Zadeh[17]率先提出了模糊集合论。选用“降半梯形分布图”建立的分段隶属度函数为:

$$\mu_{ij} = \begin{cases} \frac{x_i - m_{i(j-1)}}{m_{ij} - m_{i(j-1)}}, & (m_{i(j-1)} < x_i < m_{ij}) \\ \frac{m_{i(j+1)} - x_i}{m_{i(j+1)} - m_{ij}}, & (m_{ij} < x_i < m_{i(j+1)}) \\ 1, & (x_i = m_{ij}) \\ 0, & (x_i \leq m_{i(j-1)} \cup x_i \geq m_{i(j+1)}) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $x_i$  为第  $i$  个评价因子的实测值; $m_{ij}$  为第  $i$  个评价因子在水质为  $j$  级时所对应的标准值。

各因子的权重公式为:

$$a_i = \frac{x_i}{m_i} \quad (2)$$

$$m_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{ij} \quad (3)$$

式中: $m_i$  为评价因子  $i$  对应的水质级别的平均值,对各个因子的权重进行归一化,得到权重集  $W_0$  确定模糊综合评价矩阵:

$$B = W \cdot B \quad (4)$$

最后根据最大隶属度原则,选取最大值作为水质评价的结果。

## 3 结果与分析

### 3.1 水化学特征

河水和水库水在丰、枯水期的水化学特征不同(见表 1)。各水体的溶解氧(DO)变化范围为 8.50~11.89 mg/L。河水的电导率变化较大,水库水比较稳定。丰水期水库水的电导率最高,均值为 8 692  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。水库水在枯水期的  $\text{Cl}^-$  含量最高。在丰水期,大部分河水的电导率、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$  含量比在枯水期低,水库水中的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  含量略高于枯水期。河水中的  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^+$  含量比水库水多,水库水中的  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  的含量最多。

Piper 三线图中三角形域的点表示水体各离子的相对浓度,菱形域的交点可以说明水体的化学性质。从图 2 可知,河水、水库水的水化学类型分别是 Na-Cl( $\text{HCO}_3$ )和 Na-Cl( $\text{SO}_4$ )。各水体的阳离子中, $\text{Na}^+$  的含量最高,平均占阳离子总量 90.5%。河水、水库水中的  $\text{Na}^+$  含量分别占总  $\text{Na}^+$  含量的 36.2%、63.8%。阴离子中, $\text{Cl}^-$  和  $\text{HCO}_3^-$  的含量较多,平均分别占阴离子总量的

表1 不同水体的描述性统计(mg/L,电导率除外)

Table1 The descriptive statistics of the different water bodies

指标		电导率/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	DO	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
丰水期	河水	平均值	7 544	9.79	47.56	32.33	1 866.00	37.03	1 383.00	336.20	1 981.00	47.74
		标准差	4 968	1.48	15.57	38.94	766.88	14.32	543.12	227.12	1 082.08	22.47
	水库水	平均值	8 692	8.50	44.22	51.78	1 398.99	21.97	841.42	472.42	1 406.29	24.89
		标准差	4 515	3.15	16.19	32.43	752.19	12.86	627.29	223.17	1 142.20	18.06
枯水期	河水	平均值	4 568	10.51	68.24	40.24	911.81	21.69	701.09	387.56	940.49	22.46
		标准差	1 332	1.40	16.49	17.51	941.59	29.12	935.22	130.85	900.70	2.02
	水库水	平均值	7 848	11.89	47.20	63.05	1 249.04	17.88	548.22	503.22	1 501.58	25.50
		标准差	3 601	2.69	18.79	27.89	551.69	9.97	598.12	248.33	916.97	3.72

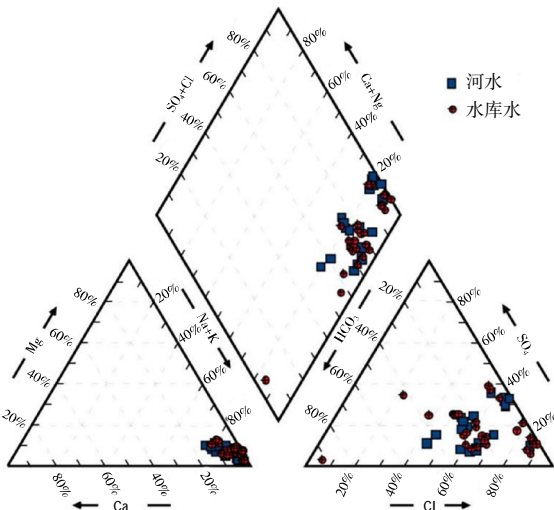


图2 北大港周边各水体的 piper 图

Fig.2 The Piper diagram of the different water bodies around the Beidagang reservoir

53.9%和 27.1%，其次为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，平均占阴离子组成的 18.3%。

采用箱线图(见图 3)表示主要离子的时间变化。该箱线图中间线表示中位数，盒子上下杠分别表示上四分位数与下四分位数，上下点分别表示最大值与最小值，中间点为平均值。从图 3 可知，水体中 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量逐年增加，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量呈降低趋势，Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量较高，整体呈波动状态。2015~2017 年各水体中含量最高的阳离子为 Na<sup>+</sup>，含量最高的阴离子为 Cl<sup>-</sup>。相比 2015 年和 2017 年，2016 年主要离子的年际变化小，而年内丰枯水期不同采样点的 Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量相差较大。

### 3.2 主成分分析

选取溶解氧(DO)、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>等9个指标作为水质分析指标，运用 SPSS 软件得到各指标间的相关系数矩阵(见表 2)，两指标

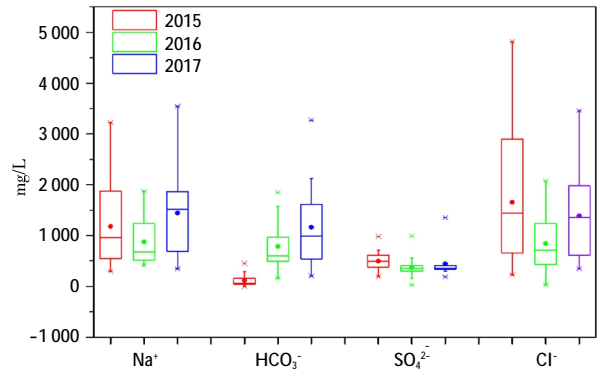


图3 2015~2017 年水库及周边水体主要水化学参数的箱线图  
Fig.3 The box plots of the main hydrochemical parameters of reservoir and its surrounding water bodies during 2015~2017

之间的相关系数绝对值越大，说明这两个指标联系越紧密<sup>[18]</sup>。

利用 SPSS 软件进行主成分分析，得到各个指标的初始因子载荷矩阵和旋转后的主成分矩阵(见表 3)。三个主成分的特征值分别为 3.874、2.194、1.086，均大于 1，累积方差贡献率为 79.493%。第一主成分与 Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>的相关系数分别为 0.980 和 0.916，反映了 Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>两个指标的信息；第二主成分主要反映溶解氧(DO)和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>两个指标的信息；第三主成分与 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>相关。王维等通过主成分分析发现溶解氧(DO)、总磷(P)、COD 对 2010 年引黄期间北大港水库的水质影响最大<sup>[19]</sup>。

### 3.3 水质评价

由主成分分析结果可知，Na<sup>+</sup>是最大影响因子，其次是 Cl<sup>-</sup>。结合北大港水质情况和检测条件，选取溶解氧(DO)、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>参与计算(由于北大港水库盐分以 Na<sup>+</sup>和 Cl<sup>-</sup>为主，且地表水 Na<sup>+</sup>含量无国家标准，故选择 Cl<sup>-</sup>为参评因子)，因子集 U={DO, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>}。

表2 水质指标的相关系数矩阵

Table2 The correlation coefficient matrix of water quality indexes

水质指标	溶解氧	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
溶解氧	1.000	-0.280 <sup>*</sup>	0.534 <sup>**</sup>	0.268 <sup>*</sup>	0.041	-0.418 <sup>**</sup>	0.138	0.480 <sup>**</sup>	-0.273 <sup>*</sup>
Ca <sup>2+</sup>	-0.280 <sup>*</sup>	1.000	0.060	-0.007	0.170	0.232	0.152	-0.081	0.196
Mg <sup>2+</sup>	0.534 <sup>**</sup>	0.060	1.000	0.730 <sup>**</sup>	0.481 <sup>**</sup>	-0.018	0.450 <sup>**</sup>	0.851 <sup>**</sup>	-0.135
Na <sup>+</sup>	0.268 <sup>*</sup>	-0.007	0.730 <sup>**</sup>	1.000	0.913 <sup>**</sup>	0.514 <sup>**</sup>	0.450 <sup>**</sup>	0.921 <sup>**</sup>	0.178
K <sup>+</sup>	0.041	0.170	0.481 <sup>**</sup>	0.913 <sup>**</sup>	1.000	0.720 <sup>**</sup>	0.363 <sup>**</sup>	0.722 <sup>**</sup>	0.330 <sup>**</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.418 <sup>**</sup>	0.232	-0.018	0.514 <sup>**</sup>	0.720 <sup>**</sup>	1.000	0.227	0.163	0.341 <sup>**</sup>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.138	0.152	0.450 <sup>**</sup>	0.450 <sup>**</sup>	0.363 <sup>**</sup>	0.227	1.000	0.302 <sup>*</sup>	-0.157
Cl <sup>-</sup>	0.480 <sup>**</sup>	-0.081	0.851 <sup>**</sup>	0.921 <sup>**</sup>	0.722 <sup>**</sup>	0.163	0.302 <sup>*</sup>	1.000	0.083
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.273 <sup>*</sup>	0.196	-0.135	0.178	0.330 <sup>**</sup>	0.341 <sup>**</sup>	-0.157	0.083	1.000

注: \* 表示 p < 0.05 在 0.05 水平相关, \*\* 表示 p < 0.01 在 0.01 水平显著相关。

表3 主成分分析结果

Table3 The results of principal component analysis

变量	初始因子矩阵			旋转后的主成分因子矩阵		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
溶解氧	0.344	<u>0.787</u>	-0.125	0.571	-0.578	-0.346
Ca <sup>2+</sup>	0.083	-0.476	0.583	-0.114	0.184	0.536
Mg <sup>2+</sup>	0.807	-0.421	0.137	0.881	-0.238	0.125
Na <sup>+</sup>	<u>0.980</u>	-0.054	-0.118	0.926	0.327	0.115
K <sup>+</sup>	0.881	0.376	-0.105	0.735	0.554	0.230
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.460	0.664	0.009	0.211	0.546	0.395
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.536	-0.054	<u>0.647</u>	0.469	-0.199	0.671
Cl <sup>-</sup>	<u>0.916</u>	-0.246	-0.206	0.962	0.087	-0.094
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.148	<u>-0.674</u>	-0.474	-0.002	0.782	-0.155
特征值	3.874	2.194	1.086	3.704	2.082	1.368
方差贡献率/%	43.041	24.380	12.072	41.155	23.135	15.202
累积贡献率/%	43.041	67.421	79.493	41.155	64.290	79.493

注:下划线的数据表示各主成分主要反映的指标。

表4 水质指标检测值及等级

Table4 The detection value of water quality indicators and its grade

水质指标	DO	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
平均值(级别)	10.25( I )	1326.81( V )	17.08( II )	444.46( V )

表5 地表水水质标准(mg/L)

Table5 The water quality standards for surface water (mg/L)

指标	I	II	III	IV	V
溶解氧 ≥	7.5	6.0	5.0	3.0	2.0
Cl <sup>-</sup>	50	150	250	350	>350
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8.86	22.14	88.57	132.86	>132.86
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	50	150	250	350	>350

表6 水质评价结果

Table6 The results of water quality assessment

水样	各类别样本数					总计
	I	II	III	IV	V	
河水	0	0	0	1	20	21
水库水	1	0	0	0	28	29
总计	1	0	0	1	48	50

参照国家地表水环境质量标准(GB 3838-2002),评价集 V={ I , II , III , IV , V },代表优、良、中、差、劣五个等级。根据表 4 中的各水质指标的检测结果,对比表 5 中的水质标准,可以发现:北大港水库的 Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>都属于 V 类水。利用单因子法进行水质评价,可知北大港水库水质属于 V 类。

运用 MATLAB 编程,对河水和水库水进行模糊综合评价,分析评价计算结果(见表 6)。所有水样隶属于 I , IV , V 类,占比分别为 2%,2%,96%。河水被分为 IV 类和 V 类,其中 V 类水占到 95.2%,水库水分为 I 类和 V 类,V 类水占 96%。北大港水库水体及附近河水大多属于 V 类水<sup>[20]</sup>。这与根据国家标准的评价结果一致,说明利用模糊数学进行水质评价,可以反映水库水质。Cl<sup>-</sup>对水库水质状况的贡献大,北大港水库底泥盐分以 Cl<sup>-</sup>和 Na<sup>+</sup>为主,胡鹏等发现 Cl<sup>-</sup>是北大港水库水体咸化的主要离子,这与本文研究结果一致<sup>[21-22]</sup>。

水体中的 Cl<sup>-</sup>含量沿独流减河流向呈增加趋势(见图 4),趋势线为  $y=2x^2-398.8x+12\ 405$  (n=50, R<sup>2</sup>=0.8589)。独流减河下游排咸闸处的电导率、Na<sup>+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度最高,且越靠近渤海湾水质越差。李海明等发现北大港水库越靠近海岸线土壤含盐量越高<sup>[23-24]</sup>。此外,赵玉明认为北大港水库土壤含盐量

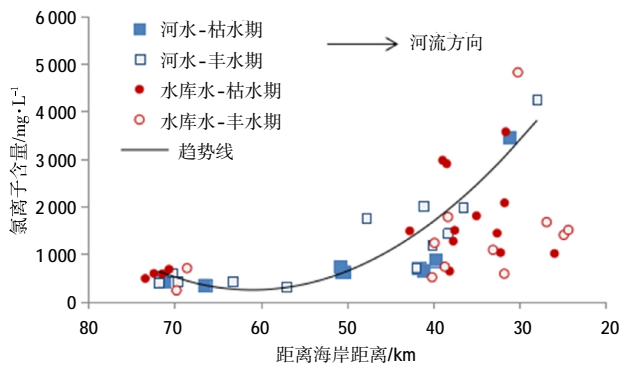
图4 北大港水体Cl<sup>-</sup>含量沿河流流向变化

Fig.4 The variation of the Chloride content along the river flow direction at Beidagang reservoir

大多都在0.2%以上,蓄水后水体快速咸化<sup>[25]</sup>。2015年独流减河下游排咸闸处各离子浓度最高,水质最差,2016年北大港水库十号口门调节闸处离子浓度最高,2017年独流减河中游南岸进水闸处水质最差。这可能由于径流量的持续减少使河水变差<sup>[26]</sup>,需进一步研究影响水质的因素。

#### 4 结论

在2015年、2016年以及2017年分别采集北大港水库周边的河水和水库水,分析各水体的水化学特征并对其进行水质评价,得到以下结论:

(1)天津北大港水库周边的各个水体的水环境偏弱碱性,河水在丰枯水期的变化最大,水库水在枯水期的Cl<sup>-</sup>含量最高。河水和水库水的水化学类型分别是Na-Cl(HCO<sub>3</sub>)型、Na-Cl(SO<sub>4</sub>)型。利用主成分分析,Cl<sup>-</sup>,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>以及溶解氧(DO)被选取为水质评价指标。

(2)基于模糊数学理论对水质进行综合评价,评价结果显示天津北大港水库周边水体96%都属于V类水。Cl<sup>-</sup>含量大多超过地表水V类水标准。

(3)由于盐碱土的影响及蒸发浓缩作用,北大港水库水体咸化严重,从空间分布来看,独流减河下游排咸闸处的电导率以及各离子浓度最高,且越靠近渤海湾水质越差。需进一步研究影响水质的因素及贡献,为北大港水库的水质改善和管理提供理论基础。

#### 参考文献:

[1] 张兵, 刘小龙, 王中良, 等. 天津北大港水库水体的同位素和水化学特征[J]. 水文, 2017,37(6):44-50. (ZHANG Bing, LIU Xiaolong, WANG Zhongliang, et al. Isotopic and hydrochemical characteristics of salinization water in Beidagang reservoir, Tianjin [J]. Journal of China Hydrology, 2017,37(6):44-50. (in Chinese))

[2] 杨卫东, 程红, 朱庆川. 北大港水库蓄水水质的影响因素及水质改善措施[J]. 现代农业科技, 2013,(24):230-231. (YANG Weidong,

CHENG Hong, ZHU Qingchuan. Influence factors and improvement measures of water quality in north port water diversion reservoir [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2013,(24):230-231. (in Chinese))

[3] 常素云, 程群, 任必穷, 等. 天津滨海新区水库水质状况分析[J]. 南水北调与水利科技, 2013,11(6):54-57. (CHANG Suyun, CHENG Qun, REN Biqiong, et al. Analysis of water quality in reservoir of Tianjin Binhai new district [J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2013,11(6):54-57. (in Chinese))

[4] 姜翠玲, 裴海峰. 北塘水库底泥盐分释放的影响因子研究[J]. 环境科学与技术, 2007,30(10):1-4. (JIANG Cuiling, PEI Haifeng. Impact factors on salt release from Beitang reservoir sediment [J]. Environmental Science & Technology, 2007,30(10):1-4. (in Chinese))

[5] 王昊, 王中良. 天津北大港水库水质咸化的地球化学机理分析[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 2016,36(6):29-34. (WANG Hao, WANG Zhongliang. Geochemical analysis on water salinization mechanism of the Tianjin Beidagang reservoir[J]. Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition), 2016,36(6):29-34. (in Chinese))

[6] 赵文玉, 王启山, 伍婷, 等. 天津滨海地区水库水质咸化问题及机理分析[J]. 海河水利, 2006,(3):33-35. (ZHAO Wenyu, WANG Qishan, WU Ting, et al. Reservoir water salinization and mechanism analysis in Tianjin Binhai area [J]. Haihe Water Resources, 2006,(3):33-35. (in Chinese))

[7] 李军, 刘丛强, 岳甫均, 等. 天津地区地表水咸化的水化学证据[J]. 环境化学, 2010,29(2):285-289. (LI Jun, LIU Chongqiang, YUE Fujun, et al. Hydrochemical evidence of surface water salinization process in the Tianjin coastal plain, China [J]. Environmental Chemistry, 2010, 29(2):285-289. (in Chinese))

[8] 赵建. 海(咸)水入侵与浅层地下水水化学特征及变化研究[J]. 地理科学, 1999,(6):525-531. (ZHAO Jian. Seawater intrusion and hydrochemical characteristic and change of shallow underground water [J]. Scientia Geographica Sinica, 1999,(6):525-531. (in Chinese))

[9] 孙玲玲, 刘彬, 石宝红, 等. 基于贝叶斯理论和主成分分析法耦合的水质评价[J]. 水电能源科学, 2017,35(11):36-39. (SUN Lingling, LIU Bin, SHI Baohong, et al. Water quality evaluation based on coupling of bayesian and PCA [J]. Water Resources and Power, 2017,35(11):36-39. (in Chinese))

[10] 李兆华, 莫彩芬, 柯杰, 等. 基于主成分分析法的水库水质评价[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2018,40(6):586-592. (LI Zhaohua, MO Caifen, KE Jie, et al. Evaluation on the water quality of Wangjiaba reservoir based on principal component analysis [J]. Journal of Hubei University(Natural Science), 2018,40(6):586-592. (in Chinese))

[11] 张晨, 刘万宏, 王立义, 等. 模糊数学在水库水质综合评价中的应用[J]. 安全与环境学报, 2009,9(1):90-92. (ZHANG Chen, LIU Wanhong, WANG Liyi, et al. Application of fuzzy mathematics in the evaluation of the water quality of reservoirs [J]. Journal of Safety and Environment, 2009,9(1):90-92. (in Chinese))

[12] T C Lobato, R A Hauser-Davis, T F Oliveira, et al. Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir

- water quality evaluation: a case study in the Amazon region [J]. *Journal of Hydrology*, 2015,522:674-683.
- [13] 彭焱梅, 姜翠玲, 张鹏, 等. 北大港水库分库后底泥盐渍化程度分析[J]. *水电能源科学*, 2013,31(7):133-135. (PENG Yanmei, JIANG Cuiling, ZHANG Peng, et al. Analysis of sediment salinization degree of Beidagang reservoir after divided [J]. *Water Resource and Power*, 2013,31(7):133-135. (in Chinese))
- [14] 李冬梅, 王友恒, 张鹏, 等. 北大港水库引供黄河水期间水质分析与评价[J]. *水电能源科学*, 2014,32(12):46-48. (LI Dongmei, WANG Youheng, ZHANG Peng, et al. Water quality evaluation of Beidagang reservoir during water diversion and supply from Yellow River [J]. *Water Resources and Power*, 2014,32(12):46-48. (in Chinese))
- [15] 郭磊, 高学平, 张晨, 等. 北大港水库水质模拟及分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2007,16(1):11-16. (GUO Lei, GAO Xueping, ZHANG Chen, et al. Analysis and simulation of water quality of Beidagang reservoir [J]. *Resources and Environment in the Yangtze basin*, 2007,16(1):11-16. (in Chinese))
- [16] Gorai A K, Kanchan, Upadhyay A, et al. An innovative approach for determination of air quality health index [J]. *Science of the Total Environment*, 2015,533: 495-505.
- [17] Zadeh L A. Fuzzy Sets [J]. *Information and Control*, 1965,(8):338-353.
- [18] 万金保, 曾海燕, 朱邦辉. 主成分分析法在乐安河水质评价中的应用[J]. *中国给水排水*, 2009, 25(16):104-108. (WAN Jinbao, ZENG Haiyan, ZHU Banghui. Application of principal component analysis in evaluation of water quality of Lean River [J]. *China Water & Wastewater*, 2009, 25(16):104-108. (in Chinese))
- [19] 王维, 郭宝顺, 秦华联. 基于主成分分析的模糊综合评价法及其在水质评价中的应用[J]. *黑龙江科技信息*, 2016,(9):122-122. (WANG Wei, GUO Baoshun, QIN Hualian. Fuzzy comprehensive evaluation method based on principal component analysis and its application in water quality evaluation [J]. *Heilongjiang Science and Technology Information*, 2016,(9):122-122. (in Chinese))
- [20] 刘春风, 翟瑞彩. 基于模糊数学的水质分析 [J]. *天津大学学报*, 2003,(1):72-76. (LIU Chunfeng, CUI Ruicai. Analysis of water quality based on fuzzy mathematics [J]. *Journal of Tianjin University(Science and Technology)*, 2003, (1): 72-76. (in Chinese))
- [21] 胡鹏, 刘春光, 孙红文, 等. 北大港水库底泥盐分释放规律研究 [J]. *环境科学与技术*, 2013,36 (6L):69-73. (HU Peng, LIU Chunguang, SUN Hongwen, et al. Study on the release of salt from sediments of Beidagang reservoir [J]. *Environmental Science & Technology*, 2013,36(6L): 69-73. (in Chinese))
- [22] 张晨, 高学平, 朱慧芳, 等. 以氯离子为例的北大港水库水质调控技术[J]. *天津大学学报(自然科学与工程技术版)*, 2012,45(1):6-12. (ZHANG Chen, GAO Xueping, ZHU Huifang, et al. Control technology of water quality for chloride in Beidagang reservoir [J]. *Journal of Tianjin University(Science and Technology)*, 2012,45(1): 6-12. (in Chinese))
- [23] 李海明, 夏雪桐, 康文娟, 等. 北大港水库水质咸化规律与影响因素分析[J]. *南水北调与水利科技*, 2013,11(1):87-92. (LI Haiming, XIA Xuetong, KANG Wenjuan, et al. Analysis of water salinization and its impact factors in Beidagang reservoir [J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2013,11(1):87-92. (in Chinese))
- [24] 赵文玉, 王启山, 吴国平, 等. 引黄水在北大港水库蓄存期水质咸化的研究[J]. *水科学进展*, 2005,16(6):763-766. (ZHAO Wenyu, WANG Qishan, WU Guoping, et al. Study on salinization of water channeled from Yellow River in Beidagang reservoir during the stored period [J]. *Advances in Water Science*, 2005,16(6):763-766. (in Chinese))
- [25] 赵玉明. 北大港水库水质管理运行问题的研究[D]. 天津:天津大学, 2004. (ZHAO Yuming. Research on the Problem of Water Quality Management of Beidagang Reservoir [D]. Tianjin: Tianjin University, 2004. (in Chinese))
- [26] 张连宇. 入海河流域水质评价与防治对策 [J]. *环境与发展*, 2018, 30(10):158-159. (ZHANG Lianyu. Analysis of water quality assessment and control countermeasures for rivers entering the sea [J]. *Environment and Development*, 2018, 30(10):158-159. (in Chinese))

## Hydrochemical Characteristics and Water Quality Evaluation of Beidagang Reservoir, Tianjin

HE Mingxia<sup>1,2</sup>, ZHANG Bing<sup>1</sup>, LIU Xiaolong<sup>1</sup>, WANG Zhongliang<sup>1</sup>

(1. Tianjin Key Laboratory of Water Resources and Environment, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China; 2. School of Geographic and Environmental Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

**Abstract:** The Beidagang Reservoir is an important regulating reservoir in Tianjin. The water salinization takes place quickly after water storage, which affects the normal function of the reservoir. In order to analyze the water quality and main influencing ions of the Beidagang Reservoir, we sampled the river water and reservoir water during the wet season and dry season from 2015 to 2017, respectively. The water chemical composition and characteristics in time and space of the water was analyzed. The results show that the water chemical types of river water, and reservoir water were Na-Cl(HCO<sub>3</sub>) type, Na-Cl(SO<sub>4</sub>), respectively. The result of principal component shows the Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and dissolved oxygen (DO) are the main influencing ions of Beidagang Reservoir. Comprehensive evaluation of water quality based on fuzzy mathematics theory shows that 96% of the water belongs to Class V water, and the water quality is poor. In Space, due to river runoff and reduction in seawater intake, the worst water quality of the Duliujian River was gradually moved from the lower sluice gate of the reservoir to the Reservoir No.10 gate intake sluice. This study can provide theoretical basis for the improvement of water quality in Beidagang Reservoir.

**Key words:** Beidagang reservoir; water salinization; principal component analysis; fuzzy mathematics; water quality evaluation