

# 安徽省金寨县长江河河水水文地球化学特征及水质评价

吴佳悦, 许继影, 王晓悦, 韩淑新

宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州

收稿日期: 2023年11月9日; 录用日期: 2023年12月27日; 发布日期: 2024年1月4日

## 摘要

为了解掌握安徽省金寨县长江河河水的水文地球化学特征及水质情况, 根据金寨县长江河22组河水水样, 运用Piper图、Gibbs图及数据分析等方法, 研究分析了金寨县长江河河水的水化学特征与类型及水岩作用等。并结合《饮用水卫生标准》(GB5749-2006), 综合评价研究区的水质条件。研究结果显示表明: 长江河河水的水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型, pH值范围为6.57~9.28, 属于弱碱性水, TDS值为42.281~120.008  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 平均值为78.524  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 属于淡水。阴阳离子浓度平均值依次为 $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 。研究区水质基本符合饮用条件, 且与灌溉要求相符, 运用研究区水样进行灌溉不会对土样和农作物产生盐渍化与碱害等不良影响。

## 关键词

水文地球化学特征, 水质评价, 水岩作用

# Hydrogeochemical Characteristics and Water Quality Evaluation of the Changjianghe River in Jinzhai County, Anhui Province

Jiayue Wu, Jiying Xu, Xiaoyue Wang, Shuxin Han

School of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou Anhui

Received: Nov. 9<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 27<sup>th</sup>, 2023; published: Jan. 4<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In order to master and understand the hydrogeochemical characteristics and water quality of the

Changjianghe River in Jinzhai County, Anhui Province, according to the 22 groups of river water samples of the Changjianghe River in Jinzhai County, the water chemistry characteristics and types and water-rock interaction of the Changjianghe River in Jinzhai County were studied and analyzed by using Piper three-line diagram, Gibbs diagram and data analysis. Combined with the "Standard for Drinking Water Quality" (GB5749-2006), the water quality conditions in the study area were comprehensively evaluated. The results show that the hydrochemical type of the Changjianghe River is mainly  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  type, the pH value range is 6.57~9.28, which belongs to weakly alkaline water, the TDS value is 42.281~120.008  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , the average value is 78.524  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , which belongs to fresh water. The average concentrations of anions and cations were in the order of  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ . The water quality in the study area basically meets the drinking conditions and consistent with irrigation conditions. Irrigation with water in the study area will not cause adverse effects such as salinization and alkali damage to soil samples and crops.

## Keywords

Hydrogeochemical Characteristics, Water Quality Evaluation, Water-Rock Interaction

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

河流是最基本的地理环境，同时也是人类可利用水资源的重要来源之一。由于河流水暴露在地表，并且支撑人类的生活生产活动，所以其河流的水质对该区域人类生活安全及质量影响较大[1]。随着人类活动对自然的影响不断加剧，人口增长、城市化、工业化和农业施肥等人类活动会对流域水环境造成破坏，造成水质污染等问题十分严重[2]，同时国家与社会也将视线放在缺水及水质问题上[3]。人类生产生活对河流水需求较大，充足的水质评价为水环境的管理和保护发挥了重要的作用[4]。因此，对河流水水质评价工作亟需开展。国内目前对水质评价及水化学离子类型研究颇多，但是对于安徽省金寨县长江河河水研究甚少。陈栋等人对六安市农村的集中供水水质进行了评价，表明农村饮用水基本上符合饮用标准[5]；刘传奇对六安市的地下水进行了评价，表明六安市水资源受不同程度的污染，尤其工业区格外严重[6]；吴传余对六安市的水资源进行了评价，表明六安市的水资源在空间上分布不均，且地表水和地下水都存在一定的被污染的现象[7]。

金寨县的面积位居安徽省第一，且人口众多，是安徽省较重要的山区县和旅游资源大县。金寨县地表水资源丰富，全部来自大气降水。由于金寨县年降水量不平均，季节水量相差较大，导致洪水灾害与旱灾均有发生。金寨县河流水流量较大，且具有巨大落差，所以河流一般流速较快，水力资源十分丰富。

本研究以六安市金寨县长江河河水为研究对象，通过对其进行常规离子浓度测试及分析，揭示该地区水文地球化学特征及水质评价。得出结论，为该地区居民饮用及使用研究区水资源做出一定的参考。

## 2. 材料和方法

### 2.1. 研究区概况

研究区位于安徽省六安市金寨县长江河河域，长江河由西向东贯穿全境，发源于大伏山系金刚台东南麓平天铺一带，末端汇入史河，长江河总长 44 千米，其中界河长 26 千米，流域面积 205 平方千米，

其中安徽省境内 199.1 km<sup>2</sup>，平均坡降 9.7‰。地理坐标为东经 115.09743°~115.68732°，北纬 31.74998°~31.79745°。(图 1)河源河床高程为 147.00 m，河口河床高程 55.0 m。金寨县为北亚热带湿润季风气候，其特点是季风明显、春夏秋冬四种季节界限明显、气候温和、总雨量充沛、有梅雨季，且夏季多雨。由于金寨县内山脉众多，导致地形差异较大，所以金寨县南北的物候相差半月左右。



Figure 1. Sampling point traffic location map  
图 1. 采样点交通位置图

## 2.2. 采样及处理

为系统了解长江河水水质情况，对长江河进行采样，所采河水样品为 22 个(C1-C24)，但由于 C2 与 C17 采样点的部分数据不足，无法分析，故只列出 C1、C3-C16 与 C18-C24 号采样点。样品采集时，先用采样点的河水润洗采样器和 500 ml 聚乙烯瓶，迅速装满并密封，贴好标签，记录采样点。随后将样品送至实验室进行测试。

运用 0.45 μm 滤膜进行过滤，使样品中的大部分杂质被过滤掉。使用过滤后的溶液，通过标准 HCl 溶液进行滴定实验，得到 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>两种离子的含量，之后运用离子色谱仪来测定水样中 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的含量。

## 2.3. 数据分析处理方法

利用实验所得数据，通过 Excel 整理数理统计等相关性表格，同时运用 SPSS 软件生成表格，完成相关性分析。采用 Piper 图和 Gibbs 图分析研究区水样的来源等问题，分析研究区水化学特征并进行水质评价[8]。其中，Piper 图、Gibbs 图和水质评价图等由 Orgin 软件完成。

在分析相关性方面分别有 Pearson (皮尔逊)、Spearman (斯皮尔曼)、Kendall (肯德尔)三种相关性系数，三种系数用于分别不同的数学统计问题，其中 Pearson 相关系数常常用于线性相关性分析。统计学家卡尔·皮尔逊最先设计出 Pearson 相关系数这一统计指标，Pearson 相关系数用于研究变量之间线性相关程度，其在-1 到+1 进行度量，两个变量间的关系和变化趋势等均可通过 Pearson 相关系数来变现，0 代表这两个变量呈现出不相关的关系，呈正值表示变量之间为正相关的关系，负值为负相关的关系，同时相关性的强弱与数值息息相关，数值越大即相关性越强，反之，数值越小，相关性越弱[9]。

### 3. 结果与讨论

#### 3.1. 水化学特征

某一区域的水化学特征通常利用 Piper 三线图来展现[10], 研究区 Piper 三线图(见图 2)显示, 长江河河水水化学类型主要为  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  型, 并有少量  $\text{Cl-Mg-Ca}$  型。 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  型占比在 90%左右, 表示碳酸盐硬度  $> 50\%$ 。河流阳离子  $\text{Ca}^{2+}$  为主,  $\text{Ca}^{2+}$  占比可达 60%~80%,  $\text{Mg}^{2+}$  离子占比为 20%~40%,  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  离子占比可达 10%~30%。阴离子以  $\text{HCO}_3^-$  为主, 占比为 80%~100%,  $\text{SO}_4^{2-}$  较少, 占比在 0%~20%,  $\text{Cl}^-$  在 0%~30%。

通过分析阳离子三角图与阴离子三角图, 可以得出研究区内河水的主要阳离子是  $\text{Ca}^+$ 、 $\text{Na}^+$ , 主要阴离子为  $\text{HCO}_3^-$ 。

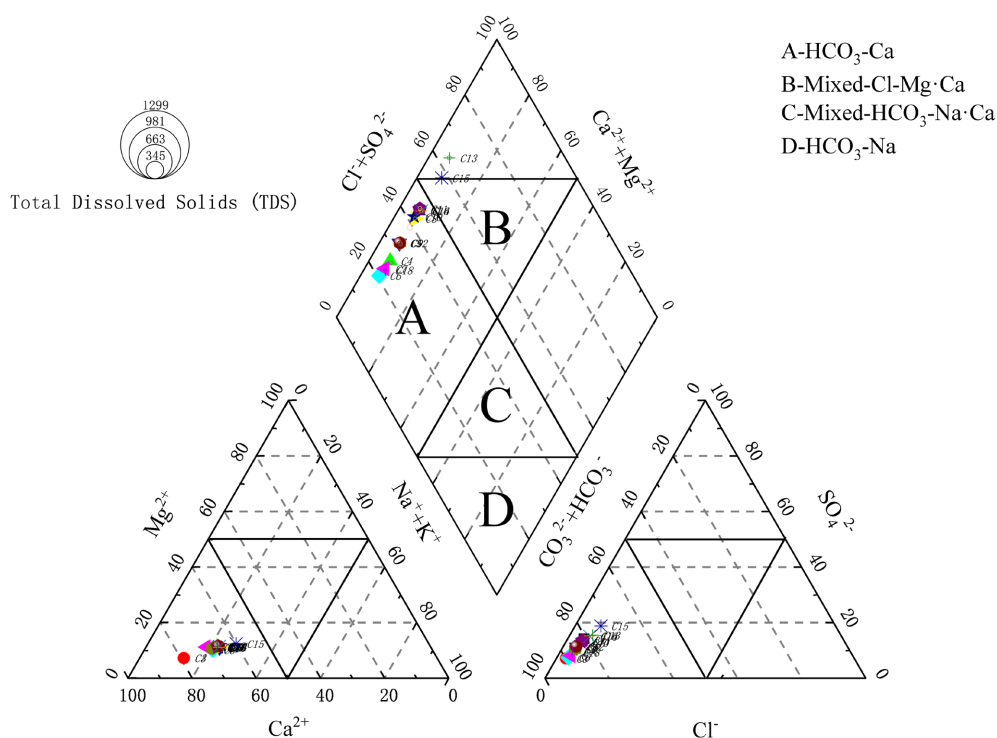


Figure 2. Piper three-line diagram

图 2. Piper 三线图

#### 3.2. 水质类型

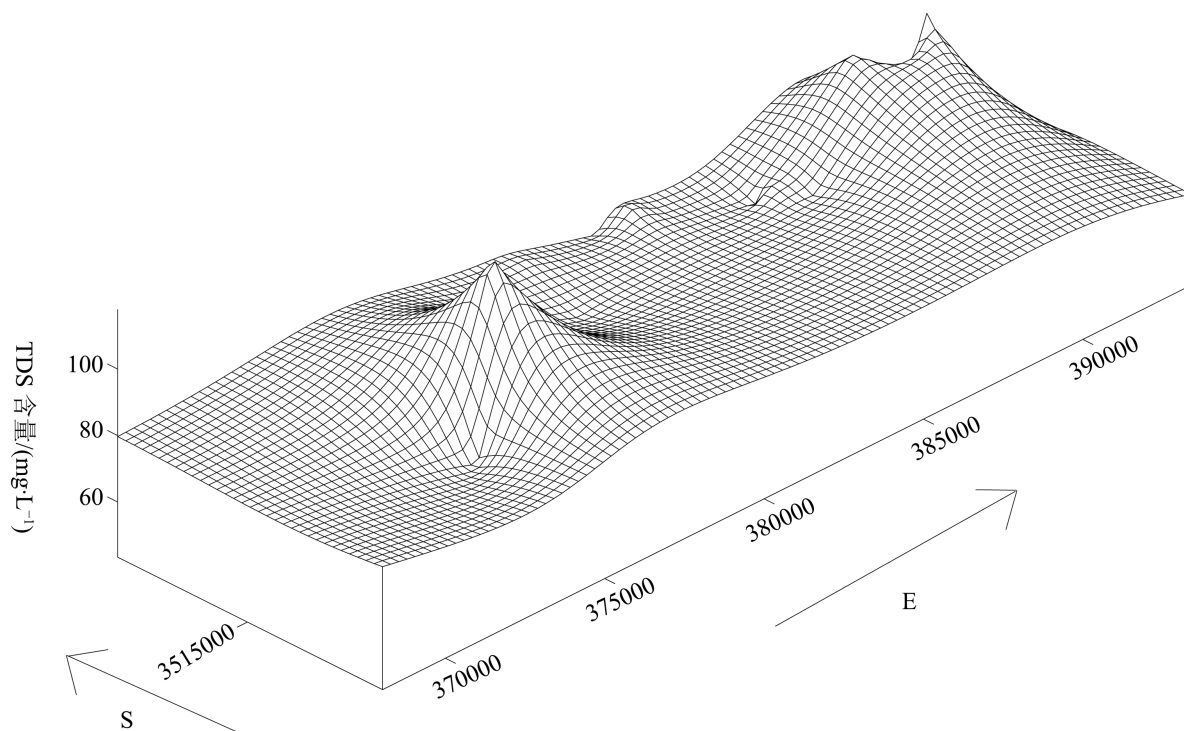
通过研究区河水的水化学描述性指标统计结果, 从表 1 中可以看出该研究区河水的 pH 整体在 6.57~9.28 的范围内, 表明该研究区整体上为弱碱性水。TDS 值范围为 42.281~120.008  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 平均值在 78.524  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 属于淡水。阳离子质量浓度平均值由大到小依次为:  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ , 显示出主要阳离子为  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  质量浓度在 30.188~12.172  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的范围内,  $\text{Mg}^{2+}$  质量浓度范围为 1.330~3.715  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $\text{K}^+$  的质量浓度仅为 0.589~0.610  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 在阳离子中占比较低; 阴离子质量浓度平均值由大到小依次为:  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ , 表明河流水样品主要阴离子为  $\text{HCO}_3^-$ 。由表可知研究区内的离散性较小,  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、pH 和 TDS 变异系数在 0.1~0.9 之间, 可得知其空间变异性相对中等;  $\text{K}^+$  变异系数小于 0.1, 从而表明其空间变异性相对较小, 含量相对稳定[11]。

**Table 1.** Statistical results of hydrochemistry composition of samples**表 1.** 样品水化学成分统计结果

测试项目	最小值	最大值	平均值	标准差	中位数	变异系数
Na	3.277	7.095	5.873	0.771	5.956	0.131
K <sup>+</sup>	0.589	0.610	0.602	0.004	0.601	0.007
Mg <sup>2+</sup>	1.330	3.715	3.235	0.494	3.317	0.153
Ca <sup>2+</sup>	12.172	30.188	20.188	3.125	19.968	0.155
Cl <sup>-</sup>	1.921	4.621	3.575	0.538	3.479	0.150
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3.965	10.834	8.610	1.534	8.801	0.178
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6.102	115.932	52.835	26.251	50.339	0.497
pH	6.57	9.28	7.85	0.87	7.57	0.111
TDS	42.281	120.008	78.524	15.376	75.643	0.196

注：pH 值无量纲，其他单位为 mg·L<sup>-1</sup>。

通过建立 TDS 空间含量分布图，从而进一步分析 TDS 含量的变化规律。该图以经纬度为 X、Y 轴，以 TDS 含量为 Z 轴(图 3)。TDS 含量的变化一般指示出河流的流向。由图片可知，西南方向与东南方向的 TDS 含量较高，表明河流东西两端向中间流动。

**Figure 3.** Schematic diagram of spatial TDS content distribution**图 3.** 空间 TDS 含量分布图

根据图 4 可以看出，TDS 随经纬度的变化呈现出波动。

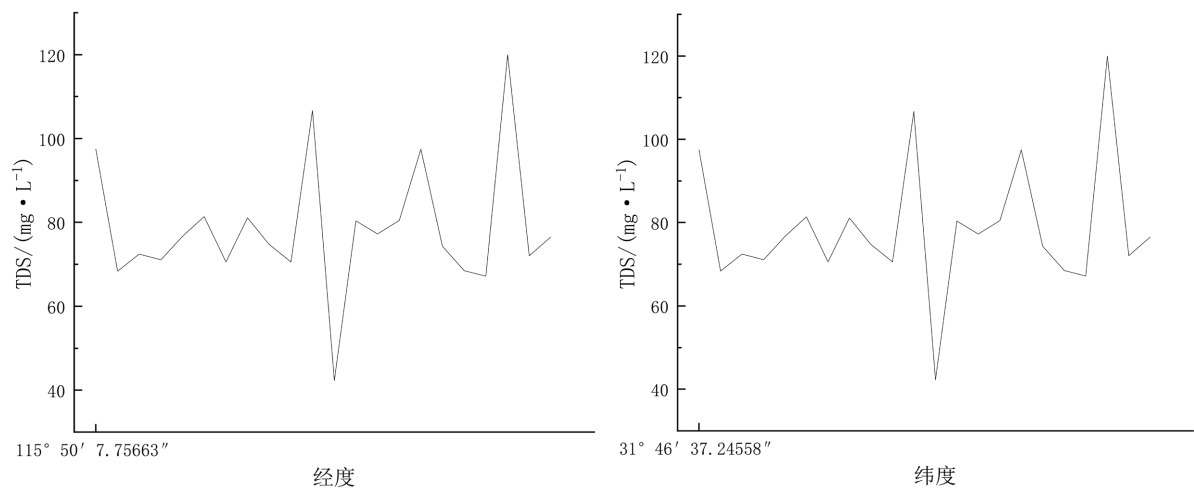


Figure 4. TDS broken-line graph  
图 4. TDS 折线图

### 3.3. 水岩作用

运用 Gibbs 图来揭示研究区内水体来源, 并分析其形成机制与水化学形成作用。通过建立 TDS 与  $\text{Na}^+(\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 、 $\text{Cl}^-(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$  的关系, 其次生成 Gibbs 图。通过分析世界湖泊、河流及主要海水常规组分含量, 得到溶质来源可分为以下三类自然控制因素: 岩石风化型、大气降雨控制型和蒸发浓缩型 [12]。

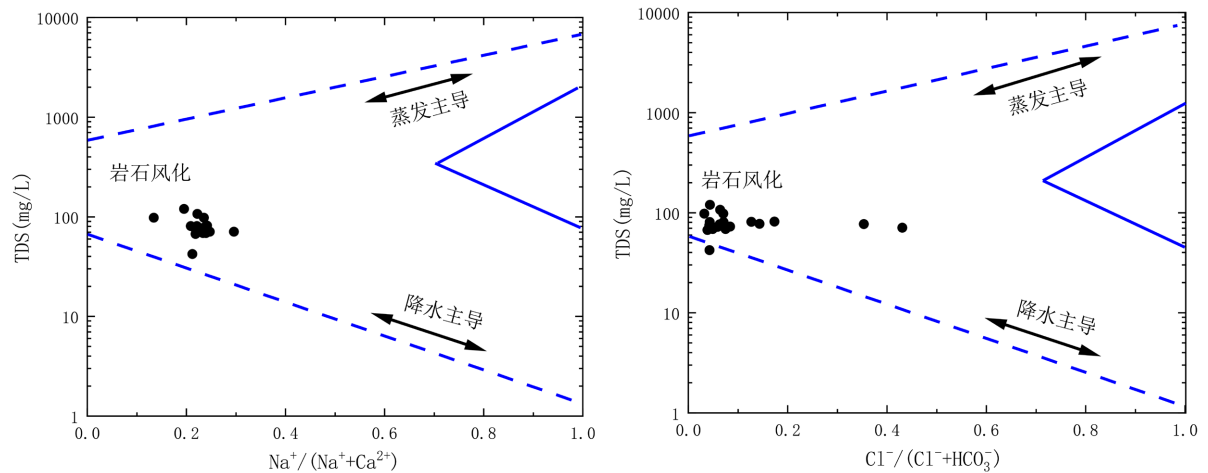


Figure 5. Gibbs diagram of the region of interest  
图 5. 研究区 Gibbs 图

研究区水样的 Gibbs 图如图 5 所示, 判断 TDS 含量与  $\text{Na}^+(\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$  之间的关系, 得知研究区样品的 TDS 含量范围为 100~1000,  $\text{Na}^+(\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$  的比值相对集中, 没有太大的变化, 样品数据点主要位于在岩石风化区。从 TDS 与  $\text{Cl}^-(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$  关系图可知,  $\text{Cl}^-(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$  比值大部分小于 0.4, 且随着 TDS 含量的增高,  $\text{Cl}^-(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$  比值有稍微变大的趋势, 但趋势较微弱。综上所述, 表明研究区地下水水化学组成主要受岩石风化等水岩相互作用过程的控制, 稍微受蒸发沉淀作用并且几乎不受大气降水影响 [13]。



近年来,在处理地球化学数据时多采用多元统计分析的方法,其最主要的两种分析方法是相关性分析和因子分析。通过研究相关性表格,可以分析出复杂多样的数据中不易被发现的各种参数的变化规律,在水化学分析过程中,利用相关性分析更容易得出研究区水样的地球化学特征等问题。利用 SPSS 软件分析研究区水样的水化学数据,得到其相关性及因子分析[14],结果如表 2 所示。

**Table 2.** Statistical results of hydrochemistry composition of samples

**表 2.** 样品水化学成分统计结果

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	pH	TDS
Na <sup>+</sup>	1	—	—	—	—	—	—	—	—
K <sup>+</sup>	0.829**	1	—	—	—	—	—	—	—
Ca <sup>2+</sup>	0.180	0.451*	1	—	—	—	—	—	—
Mg <sup>2+</sup>	0.902**	0.741**	0.424*	1	—	—	—	—	—
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.361	-0.192	0.480*	-0.134	1	—	—	—	—
Cl <sup>-</sup>	0.818**	0.999**	0.471*	0.734**	-0.174	1	—	—	—
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.794**	0.844**	0.334	0.661**	-0.117	0.849**	1	—	—
pH	0.541**	0.524*	0.036	0.422	-0.720**	0.516*	0.367	1	—
TDS	0.284	0.384	0.720**	0.526*	0.252	0.399	0.330	0.052	1

注: \*表示显著性水平为 0.05; \*\*表示显著性水平为 0.01。

氯离子主要来源于沉积岩中岩盐或其他氯化物的溶解、岩浆岩中含氯矿物的风化溶解和人为污染等。

阳离子中, Na<sup>+</sup>和 K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>之间呈现出 0.01 水平的显著性,且相关系数分别为 0.829、0.902, K<sup>+</sup>和 Mg<sup>2+</sup>之间同样呈现出 0.01 水平的显著性,相关系数为 0.741,表明离子间有显著的正相关关系。阴离子中, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>与 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>之间相关系数为 0.849,且呈现出 0.01 水平的显著性。同时, Na<sup>+</sup>与 Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup>与 Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>之间呈现出 0.01 水平的显著性,反映了四种离子应该有大致相同的来源。此外, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>与 pH 之间呈现出显著的负相关关系,相关系数为 0.720。

氯离子主要来源于沉积岩中岩盐或其他氯化物的溶解、岩浆岩中含氯矿物的风化溶解和人为污染等。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>主要来源于石膏或者其他硫酸盐的沉积岩的溶解。由表 2 可知, Na<sup>+</sup>与 Cl<sup>-</sup>表现出显著相关,所以, Na<sup>+</sup>主要来自沉积岩中岩盐的溶解。由于 Ca<sup>2+</sup>与 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>表现出相关性,表明 Ca<sup>2+</sup>来源于碳酸盐类沉积物的溶解。

综合上述内容,推断出研究区河水离子主要来源是盐酸和碳酸盐类沉积物,盐类溶解带来河水的主要离子。

### 3.4. 水质评价

#### 3.4.1. 饮用水卫生评价

参照《饮用水卫生标准》(GB5749-2006),评价研究区河流水资源的卫生标准及其一般化学指标(见图 6)。氯化物国家标准为 0~250 mg·L<sup>-1</sup>,硫酸盐国家标准为 0~250 mg·L<sup>-1</sup>,pH 国家标准为 6.5~8.5, TDS 国家标准为 0~1000 mg·L<sup>-1</sup>,研究区所有样品均符合国家标准,可放心饮用,属于可饮用水。

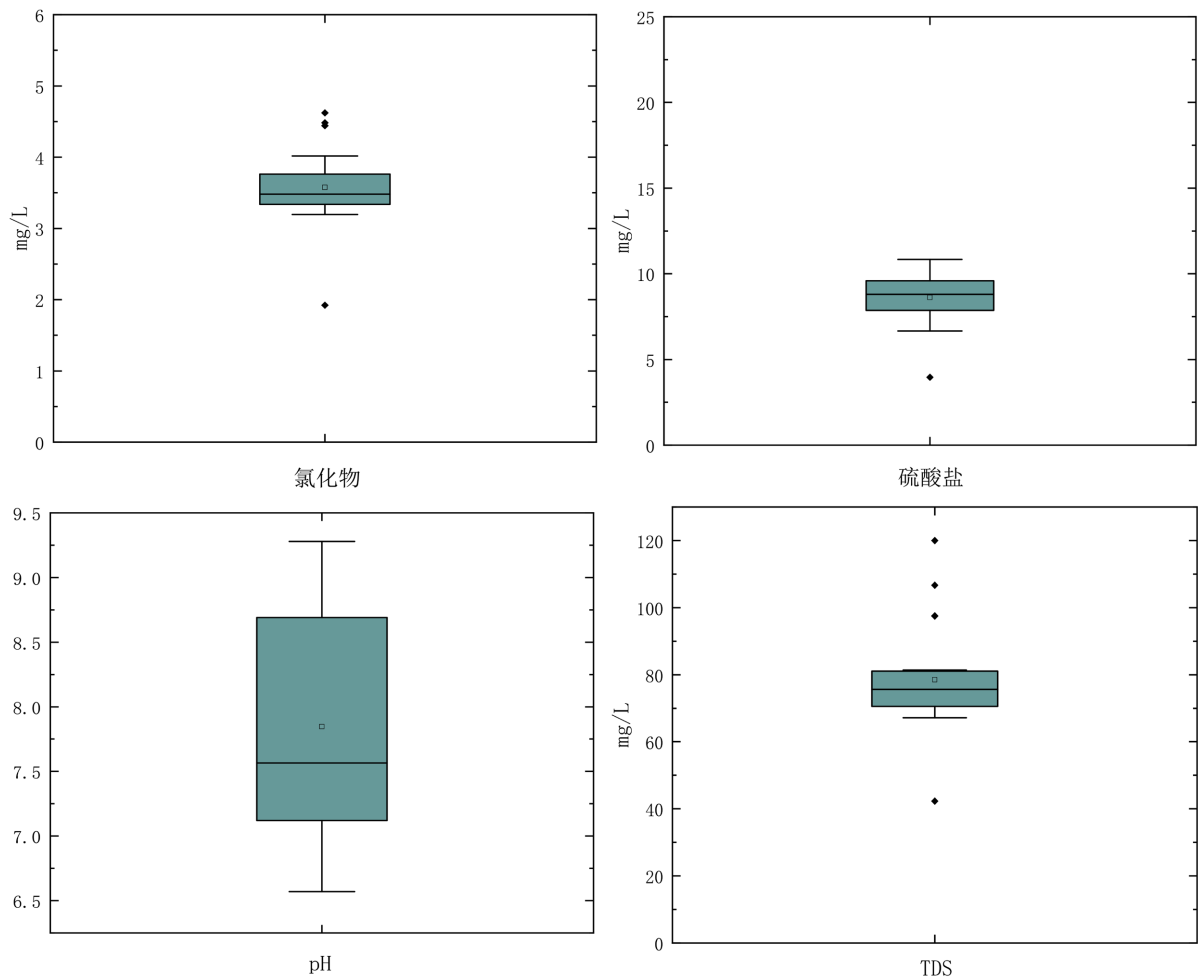


Figure 6. Potable water hygienic standard index limit diagram

图 6. 饮用水卫生标准指数限度图

### 3.4.2. 灌溉水水质评价

根据美国岩土工程实验室提出的标准, 基于美国农业部(USDA)评价方法的灌溉水水质分类结果, 采用以下两种方法, 主要从 SSP、SAR 两种重要指标对灌溉水进行水质评价。首先, 钠百分比 SSP 是判断钠危害的重要指标为钠百分比, 即 SSP, 研究表明土壤结构和通透性均受其重要影响, SSP 过高会严重危害以上各项[15]。流域水质根据 SSP 值可以分为优秀、良好、一般、较差和极差五种类型。其中优秀为 SSP 小于 20%, 良好在 20%和 40%之间, 一般的范围为 40%~60%, 较差为  $60\% \leq \text{SSP} < 80\%$ , 极差表明 SSP 在 80%以上[16]。

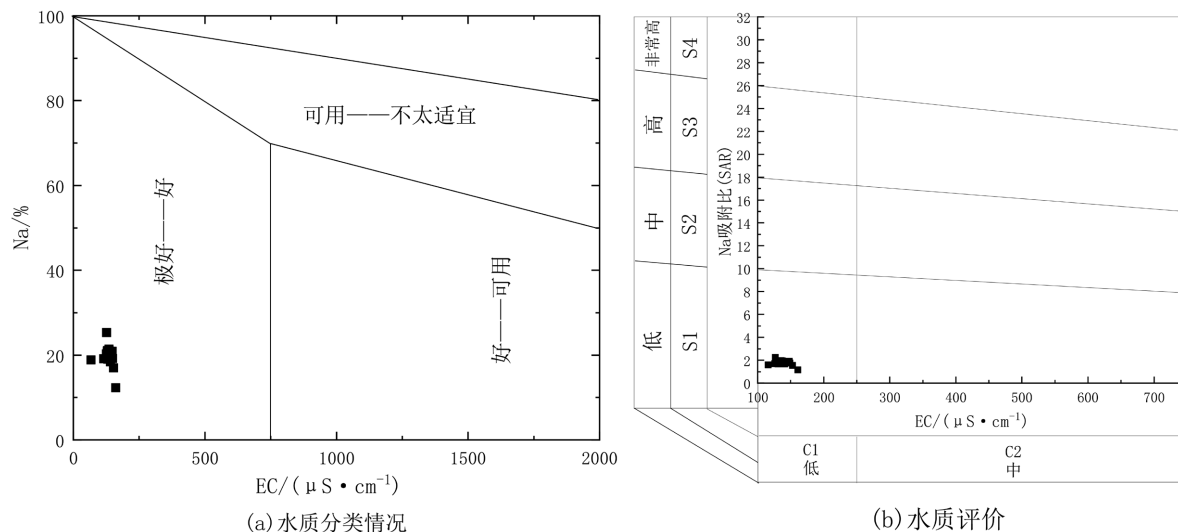
其次, 通常利用钠吸附比进行评估灌溉水质, 钠吸附比可以表现出灌溉水对土壤和农作物产生钠危害(或称碱危害)的程度。美国岩土实验室提出的标准是: 优秀为 SAR 小于 10, 该种类型的水可以进行灌溉活动, 其为低钠水;  $10 < \text{SAR} < 18$  为良好, 表明其为中钠水, 可灌溉含透水性较好的土壤;  $18 < \text{SAR} < 26$  表明该部分水质较差, 为高钠水, 进行灌溉活动后会对灌溉区产生明显的钠害;  $\text{SAR} > 26$  时为极高钠水, 水质最差, 不能用于灌溉。

由图 7(a)可知, 样品均落于极好—好区域, 表明该河流对该地区的钠危害较小, 不会对该地区的土壤结构造成极大的破坏, 该流域水质极好, 适合用来进行灌溉活动。由图 7(b)已知, 样品均落于 S1-C1



区域。表明该河流水钠吸附比较小，该河流水为低钠水，即表明该河水可以用来进行灌溉，不会使该地区农田产生碱害。

综合考虑二者，表明该河流水符合灌溉水标准，可以用来进行灌溉活动，不会对土壤及农作物产生不良影响。



**Figure 7.** Evaluation diagram of irrigation water quality in the region of interest  
**图 7.** 研究区灌溉水水质评价图

#### 4. 结论

1) 根据 Piper 图，研究区长江河河水主要为弱碱性，水化学类型主要为  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  型，并有少量  $\text{Cl-Mg-Ca}$  型。

2) 根据 Gibbs 图，研究区长江河河水化学组分主要受岩石风化作用影响。盐酸和碳酸盐类沉积物的溶滤为研究区主要离子的来源。

3) 参照《饮用水卫生标准》(GB5749-2006)，饮用水水质评价结果表明，研究区河水卫生质量良好，可以用来饮用。灌溉水水质评价结果表明，研究区水样符合灌溉标准，可以用来进行灌溉活动，不会对土壤及农作物产生不良影响。

#### 基金项目

宿州学院大学生创新创业训练计划项目(ZCXM23-011)，《金寨县长江河水文地球化学特征及水质评价》；2023 国家级大学生创业实践项目，宿州千博地质技术服务有限公司；2023 省级大学生创业实践项目，宿州地源地质技术服务有限公司。

#### 参考文献

[1] 丁刚益, 毛小云, 陈柯瑾, 等. 昭通市地表水水质评价与变化趋势分析[J]. 水利水电快报, 2021, 42(4): 75-78, 82.  
 [2] 邢鹏飞. 城市河流环境治理措施分析[J]. 清洗世界, 2023, 39(5): 107-109.  
 [3] 宁忠瑞, 李虹彬. 基于水质标识指数的黄河宁夏段水质评价与分析[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(S1): 56-61.  
 [4] 苏思强, 周会东, 邵蓓, 等. 地表水水质评价体系实用性探讨[J]. 西藏科技, 2023, 45(8): 9-18.  
 [5] 陈栋, 高大维, 杨洋, 等. 2015-2019 年六安市农村集中式供水水质影响因素分析[J]. 环境卫生学杂志, 2021,

- 11(4): 355-360.
- [6] 刘传奇. 六安市地下水现状与污染评价分析[J]. 地下水, 2022, 44(6): 63-66, 82.
- [7] 吴传余. 六安市水资源评价研究[J]. 水利规划与设计, 2018(1): 50-52, 99.
- [8] 张艳, 吴勇, 杨军, 等. 阆中市思依镇水化学特征及其成因分析[J]. 环境科学, 2015, 36(9): 3230-3237.
- [9] 程娟娟. 高校科研与教学关系实证研究——基于皮尔逊相关系数的分析[J]. 中国高校科技, 2022(10): 46-52.
- [10] Qian, C., Wu, X., Mu, W.P., *et al.* (2016) Hydrogeochemical Characterization and Suitability Assessment of Groundwater in an Agro-Pastoral Area, Ordos Basin, NW China. *Environmental Earth Sciences*, **75**, Article No. 1356. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6123-2>
- [11] Sun, L., Cheng, B. and Dong, S.X. (2017) Trace Metal Concentrations in the River near the Urban Area: A Case Study in Suzhou, Northern Anhui Province, China. *Fresenius Environmental Bulletin*, **26**, 4017-4022.
- [12] Gibbs, R.J. (1970) Mechanisms Controlling World Water Chemistry. *Science*, **170**, 1088-1090. <https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088>
- [13] 侯庆秋, 董少刚, 张旻玮. 内蒙古四子王旗浅层地下水水化学特征及其成因[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(4): 116-121.
- [14] 陈松, 桂和荣, 林曼利, 刘向红. 淮北煤田河流水化学特征及意义[J]. 地球与环境, 2016, 44(4): 414-421.
- [15] Kawo, N.S. and Karuppannan, S. (2018) Groundwater Quality Assessment Using Water Quality Index and GIS Technique in Modjo River Basin, Central Ethiopia. *Journal of African Earth Science*, **147**, 300-311. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.06.034>
- [16] Wilcox, L.V. (1955) Classification and Use of Irrigation Water. Agriculture Circular, Washington.