

柴达木盆地主要绿洲农业区水质现状评价

郭庆波, 黄懿梅, 贾鹏辉, 李好好

引用本文:

郭庆波, 黄懿梅, 贾鹏辉, 等. 柴达木盆地主要绿洲农业区水质现状评价[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(3): 650-658.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0773>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

陕西秦岭北麓猕猴桃主产区水质动态变化研究

王时茂, 曲婷, 胡皓翔, 徐肖阳, 高晶波, 陈竹君, 周建斌

农业环境科学学报. 2020, 39(12): 2853-2859 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0726>

淳沱河冲洪积扇地下水硝酸盐含量的空间分布特征及影响因素

刘琰, 乔肖翠, 江秋枫, 昌盛, 朱媛媛, 王山军, 郑丙辉

农业环境科学学报. 2016, 35(5): 947-954 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016.05.019>

洪湖养殖区水环境中微生物的耐药性及其群落功能多样性研究

关川, 童蕾, 秦丽婷, 刘慧

农业环境科学学报. 2018, 37(8): 1748-1757 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-1460>

桂林会仙岩溶湿地水体中有机氯农药分布特征及混合物环境风险评估

符鑫, 梁延鹏, 覃礼堂, 曾鸿鹄, 莫凌云, 王敦球, 覃璐玫

农业环境科学学报. 2018, 37(5): 974-983 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-1339>

密云水库上游流域地下水中氮素污染特征及影响因素

鲁垠涛, 冷佩芳, 秦蔚, 常天奇, 刘芳, 姚宏

农业环境科学学报. 2016, 35(1): 148-156 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016.01.020>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

郭庆波, 黄懿梅, 贾鹏辉, 等. 柴达木盆地主要绿洲农业区水质现状评价[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(3): 650–658.

GUO Qing-bo, HUANG Yi-mei, JIA Peng-hui, et al. Evaluation of water quality status in the main oasis agricultural areas of the Qaidam Basin, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(3): 650–658.



开放科学 OSID

柴达木盆地主要绿洲农业区水质现状评价

郭庆波, 黄懿梅*, 贾鹏辉, 李好好

(西北农林科技大学资源与环境学院, 农业农村部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为了解青藏高原农业种植对区域水质的影响,以柴达木盆地主要绿洲农业区地表水和地下水为研究对象,通过现场调查和布点采样,在9个典型乡镇设置70个采样点,测定水样的总磷、硝酸盐氮、氯化物、硫酸盐、重金属和农药等指标,分析耕作活动对地表水和地下水的影响。研究区地表水综合水质标识指数为2.100,综合水质为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) II类。尕斯库勒镇、郭勒木德镇、格尔木市东、大格勒乡地表水综合水质达到 I 类;香日德镇和察汗乌苏镇地表水中的总磷与德令哈市地表水中的 COD 浓度处于劣 V 类水平,氯化物、硫酸盐和硝酸盐氮超标位点分别占总采样点的20%、6.67%和1.67%。地下水综合水质标识指数为2.300,综合水质为《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017) II类,怀头他拉镇、大格勒乡和察汗乌苏镇地下水中的氯化物和怀头他拉镇地下水中的硫酸盐分别为饮用水卫生标准限值的2.83、1.13、1.07倍和1.92倍,无法饮用。研究区重金属和农药浓度极低,其中铅、铜和砷浓度低于地表水和地下水 I 类水标准限值,农药中啉虫脒、毒死蜱和阿维菌素浓度分别为限值的0.01%~0.21%、0.12%和0.93%;灌溉排水中总磷和硝酸盐氮浓度分别增加了37.8%和24.43%。柴达木盆地绿洲农业区水质总体较好,但农业耕作活动仍会对区域水质造成一定影响。

关键词:绿洲农业区;耕地;地表水;地下水;水质标识指数;柴达木盆地

中图分类号:X824 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2021)03-0650-09 doi:10.11654/jaes.2020-0773

Evaluation of water quality status in the main oasis agricultural areas of the Qaidam Basin, China

GUO Qing-bo, HUANG Yi-mei*, JIA Peng-hui, LI Hao-hao

(Key Laboratory of Plant Nutrition and Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, College of Natural Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: In order to understand the impact of agricultural planting on the regional water quality in the Qinghai-Tibet Plateau, 70 sampling sites were set up in 9 typical villages and towns in the main oasis agricultural areas of the Qaidam Basin. Through field investigation and sampling, indicators such as total phosphorus, nitrate nitrogen, chloride, sulfate, heavy metals, and pesticides in surface water and groundwater were measured to analyze the influence of farming activities on surface water and groundwater. The comprehensive water quality index of the surface water in the study area was 2.100. The comprehensive water quality was Class II of the *Surface Water Environmental Quality Standard* (GB 3838—2002). The comprehensive surface water quality of Gahai Town, Golmut Town, Golmud City, and Dagele Township reached Class I. The concentrations of total phosphorus in Xiangride Town and Chahanwusu Town and the COD concentration in the surface water of Delingha were inferior to Class V, with chloride, sulfate, and nitrate nitrogen exceeding the standards at 20%, 6.67%, and 1.67% of the total sampling points, respectively. The comprehensive water quality index of groundwater was 2.300, and the comprehensive water quality was Class II of the *Groundwater Quality Standard* (GB/T 14848—2017). The chloride concentrations in Huaitutala Town, Dagele Township, and Chahanwusu Town and the sulfate concentration in Huaitutala Town were 2.83, 1.13, 1.07 times,

收稿日期:2020-07-09 录用日期:2020-11-19

作者简介:郭庆波(1994—),男,河南淇县人,硕士研究生,从事生态环境工程研究。E-mail:erchuan890@sina.com

*通信作者:黄懿梅 E-mail:yhuang1971@nwsuaf.edu.cn

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0603)

Project supported: The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program (2019QZKK0603)

and 1.92 times greater than the sanitary standard value of drinking water, respectively; thus, the water was not potable. The concentrations of heavy metals and pesticides in the study area were extremely low. The concentrations of lead, copper, and arsenic were lower than the standard limit for surface water and groundwater Class I. The concentrations of acetamiprid, chlorpyrifos, and abamectin in pesticides were 0.01%~0.21%, 0.12%, and 0.93% of the standard values, respectively. The concentrations of total phosphorus and nitrate nitrogen in the irrigation drainage increased by 37.80% and 24.43%, respectively. The water quality of the oasis agricultural area in the Qaidam Basin is generally good, but agricultural farming activities will still have an impact on the regional water quality.

Keywords: oasis agricultural district; cultivated land; surface water; groundwater; water quality identification index; Qaidam Basin

青藏高原被称为亚洲水塔,是世界40%人口的水源地,随着社会经济的发展,青藏高原生态系统不稳定性增加,水资源压力加重^[1]。柴达木盆地位于青藏高原东北部,是青海省重要的农、牧业生产基地^[2],盆地内水系封闭,一旦有污染即会使整个盆地的水资源遭到破坏^[3]。盆地内农业用水占到总用水量的77.26%^[4],现有研究表明农业耕作对区域水质变化有重要影响^[5-6],农业用地面积百分比与河流水质的关系密切^[7],全处于耕作期的农田要比部分处于耕作期的农田对水质影响更大^[8],降雨和施肥的叠加是导致流域面源污染发生的主要因素^[9],化肥是农田氮、磷投入的最主要来源^[10]。目前对柴达木盆地水质的研究主要集中在湖泊、河流的水化学特征和主要河流的水质变化方面^[11-13],农业耕作对其水质的影响尚不清楚。

目前对水质的评价方法有很多^[1,13-14],其中水质标识指数法可以定性、定量地评价综合水质状况,不会因个别水质指标较差就否定综合水质^[15-16]。因此,本文以柴达木盆地主要绿洲农业区的水体为研究对象,通过水质标识指数法评价柴达木盆地农业耕作对水质的影响,以期为柴达木盆地农业面源污染关键区识别及防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

柴达木盆地位于90°16'~99°16'E、35°00'~39°20'N,90%的面积属于青海省海西蒙古族藏族自治州。盆地内属高原大陆性气候,年降水量自东南向西北递减,年均温在5℃以下,气温变化剧烈。德令哈市、格尔木市和都兰县是柴达木盆地主要的绿洲农业区和人口聚集地,海西州统计局数据显示2017年三县(市)耕地面积占海西州耕地总面积的85.87%,第六次全国人口普查数据显示三县(市)人口占到海西州总人口的75.62%。

1.2 样点布设及水样采集

2019年7月在德令哈市、格尔木市和都兰县3个县(市),各选3个以耕地为主的乡镇进行调查和采样,地表水采样点分别布设在每个乡镇耕地灌溉引水渠上游河流取水口(对照水质)以及灌溉水在耕地的进水和排水口,地下水采自相应乡镇的灌溉机井和饮用水井,每个采样点取1L水样冷冻保存带回实验室分析化学指标。根据农药使用情况,在S2、S5、S6、S16、S20、S22、S24、S30、S31、S40、S42、S44、S45、S51、D3 15个采样点用HLB固相萃取柱萃取500 mL水样带回实验室分析农药。采样点编号和分布见表1和图1。

1.3 测定指标及分析方法

pH、溶解氧和电导率现场用哈希HQ30d数字化多参数分析仪测定;化学需氧量(COD)采用快速消解分光光度法(HJ/T 399—2007)测定;镉、铅、铜、锌、砷和镍6种重金属采用电感耦合等离子体质谱法(HJ 700—2014)测定;啶虫脒、哒螨灵、阿维菌素、毒死蜱、滴滴涕和氯氰菊酯6种农药用液相色谱质谱法测定;其余水质指标均按照标准方法进行测定。

1.4 数据处理及评价方法

数据处理和制图使用Excel 2016和Origin 2019,地表水选取溶解氧、COD、总磷、六价铬、铜和锌6个指标,参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)计算水质标识指数。地下水选取硝酸盐氮、氯化物、硫酸盐、六价铬、铜和锌6个指标,参照《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)计算水质标识指数;依据《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)判断地下水能否饮用。使用SPSS 26.0进行灌溉进排水水质变化LSD检验方差分析和指标间的Spearman秩相关分析。

单因子水质标识指数 P 表示为 $P_i = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$, X_1 代表水质指标的水质类别($X_1=1$ 即为I类水), X_2 代表监测数据在 X_1 类水质变化区间内所处的位置, X_3 代表水质类别与评价标准的比较差值。综合水质标识指数为 $I_{wq} = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$, X_1 为水质的综合水质类别, X_2 为综

合水质在 X_1 类水质变化区间内所处位置, X_3 为参与综合水质评价的水质指标中劣于评价标准的单项指标个数, X_4 为综合水质类别与评价标准的差值,具体计算及评价方法参考文献[15]和文献[16]。在水质标识指数评价中,地表水执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类标准,地下水执行适用于集中式生活饮用水水源及工农业用地的《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)Ⅲ类标准。

2 结果与分析

2.1 地表水水质特征

不同采样点地表水中总磷、硫酸盐、氯化物、硝酸盐氮、COD和锌浓度分布如图2所示。总磷浓度在 $0.01\sim 0.90\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,78%的采样点低于Ⅲ类水上限值 $0.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,8个采样点高于V类水上限值 $0.4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其中7个位于香日德镇和察汗乌苏镇;硝酸盐氮浓度

表1 柴达木盆地采样乡镇及采样点编号

Table 1 Sampling towns and sampling point numbers in Qaidam Basin

行政区域 Administrative regions	乡镇 Township	对照编号 Background number	进水编号 Inlet number	排水编号 Drainage number	地下水编号 Groundwater number
德令哈市	柯鲁柯镇	S2	S1,S3	S4~S7	D1
	怀头他拉镇	S8	S10,S11	S9,S12,S13	D2
	尕斯库勒镇	S2	S14,S18	S15~S17	D3
格尔木市	郭勒木德镇	S24	S23	S19~S22	D4
	格尔木市东	S24	S25,S27,S29	S26,S28,S30,S31	D5
	大格勒乡	—	S34,S35	S32,S33,S36,S37	D6
都兰县	宗加镇	—	S38,S40,S43	S39,S41,S42,S44	D7,D8
	香日德镇	S45,S46	S47,S48	S49~S52	D9
	察汗乌苏镇	S53,S55	S54,S56,S59	S57,S58,S60	D10

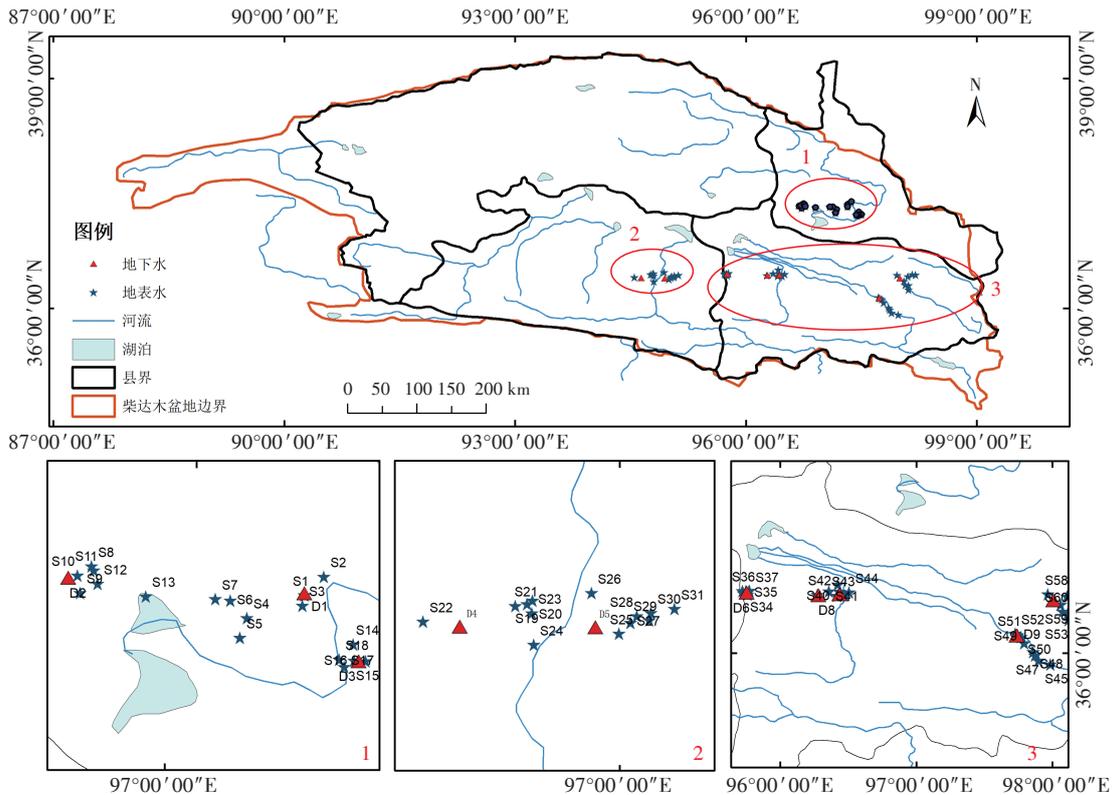


图1 研究区位置及采样点分布图

Figure 1 Position in the study area and the sampling point distribution

在 $0.01\sim 11.89\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 仅位于格尔木市东的S30高于 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 标准限值; 氯化物浓度在 $19.95\sim 1\ 071.33\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 20%的采样点超过 $250\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 标准限值, 超标采样点中格尔木市占83.33%, 位于郭勒木德镇的S22

超地表水标准限值4.2倍; 硫酸盐浓度在 $31.12\sim 455.53\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 6.67%的采样点超过地表水标准 $250\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 标准限值, 格尔木市的S22、S25、S28和S30分别超标准限值1.3、1.5、1.7倍和1.8倍; COD浓度在 $0\sim$

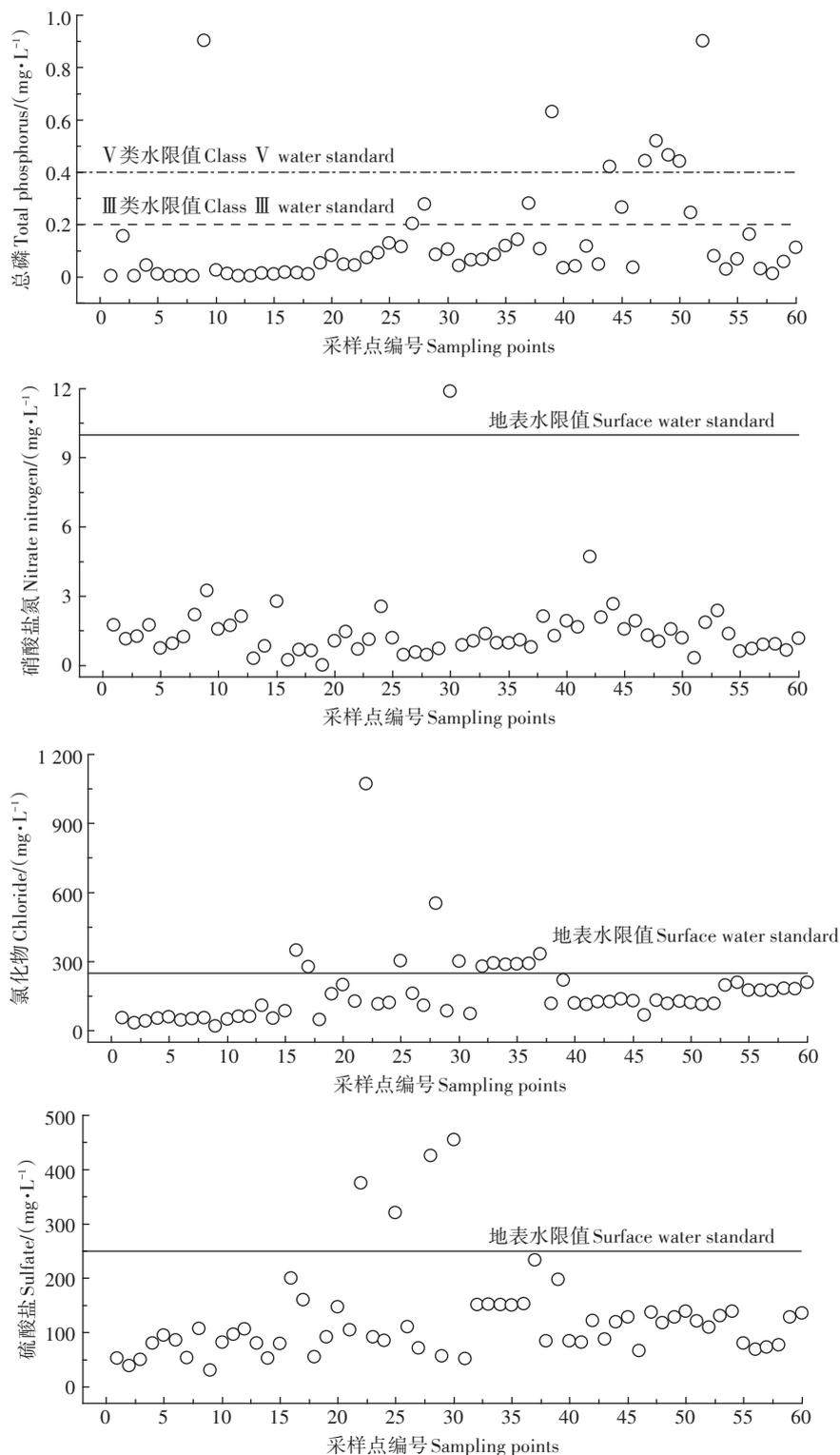
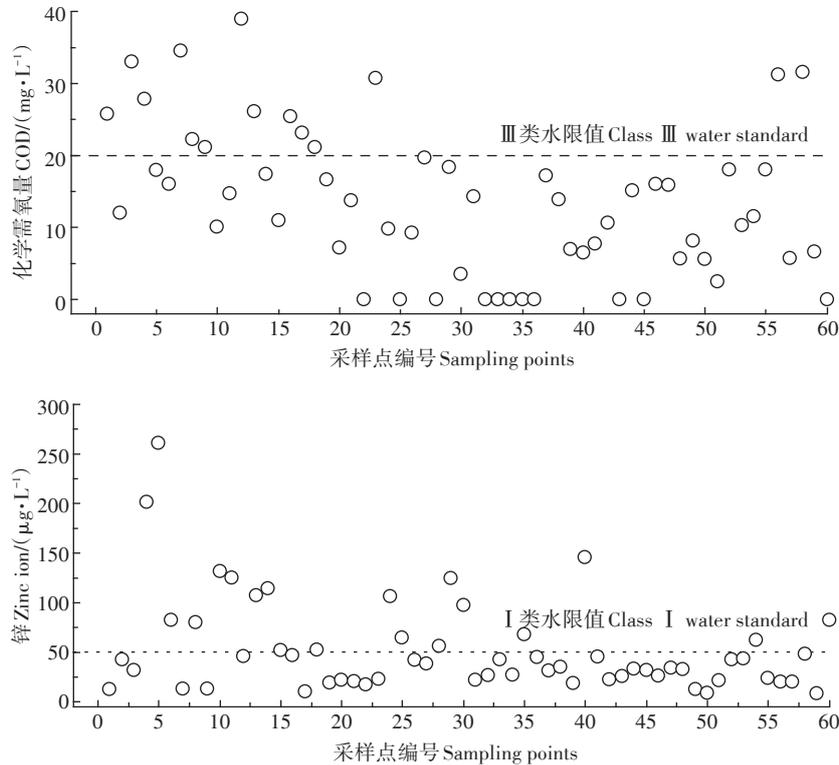


图2 主要污染物在不同地表水采样点的浓度分布

Figure 2 Concentration distribution of main pollutants at different surface water sampling points



续图2 主要污染物在不同地表水采样点的浓度分布

Continued figure 2 Concentration distribution of main pollutants at different surface water sampling points

38.97 mg·L⁻¹, 23.33%的采样点超过Ⅲ类水上限值 20 mg·L⁻¹, 其中 79% 位于德令哈市, 怀头他拉镇的 S12 浓度最高, 超Ⅲ类水标准 1.95 倍; 锌浓度范围在 8.65~261.09 µg·L⁻¹, 31.67% 的采样点超过 I 类水限值 0.05 mg·L⁻¹, 但均未超过 II 类水上限值。重金属镉、铅、铜和砷浓度远低于 I 类水限值, 镍为地表水标准限值的 0.14%~20.61%, 未作进一步分析。

如表 2 所示, 综合水质标识指数显示柴达木盆地绿洲农业区地表水综合水质为 II 类, 优于 III 类水评价

标准要求。在各乡镇中, 尕海镇、郭勒木德镇、格尔木市东和大格勒乡综合水质标识指数均为 1.900, 水质为 I 类; 柯鲁柯镇、怀头他拉镇、宗加镇、香日德镇和察汗乌苏镇水质为 II 类。怀头他拉镇在 9 个乡镇中水质最差, 水质综合标识指数为 2.710, 无劣于 III 类水质的乡镇存在。

对各单因子水质标识指数分析发现, 溶解氧总体为 II 类, 尕海镇达到 I 类水质; COD 总体为 I 类, 但在柯鲁柯镇和怀头他拉镇为 IV 类; 总磷总体为 III 类,

表 2 柴达木盆地各乡镇地表水水质标识指数

Table 2 Comprehensive water quality index of towns and villages in Qaidam Basin

乡镇 Townships	溶解氧 Dissolved oxygen	化学需氧量 COD	总磷 Total phosphorus	六价铬 Hexavalent chromium	铜 Copper	锌 Zinc	综合水质标识指数 <i>I_{wq}</i>
柯鲁柯镇	2.20	4.41	2.20	2.60	1.10	2.00	2.410
怀头他拉镇	2.60	4.21	3.60	2.90	1.10	2.00	2.710
尕海镇	1.00	3.90	1.70	1.50	1.10	2.00	1.900
郭勒木德镇	2.10	1.90	2.60	1.80	1.20	1.70	1.900
格尔木市东	1.70	1.60	3.40	1.60	1.10	2.00	1.900
大格勒乡	2.40	1.20	3.30	1.30	1.10	1.80	1.900
宗加镇	1.50	1.60	4.01	2.10	1.10	1.90	2.010
香日德镇	2.50	1.60	6.03	2.00	1.20	1.50	2.510
察汗乌苏镇	2.30	2.00	2.60	2.60	1.10	1.80	2.100
总计	2.10	1.90	3.40	2.20	1.10	2.00	2.100

在尕海镇最低,单因子标识指数为1.70,在香日德镇最高,单因子标识指数为6.03,为V类;六价铬总体为II类,其中4个乡镇为I类,5个乡镇为II类;铜和锌在各乡镇均为I类。柯鲁柯镇、怀头他拉镇COD超标,香日德镇总磷超标,其余乡镇均不存在指标超标情况。

2.2 地下水水质特征

地下水水质特征如表3所示,pH呈弱碱性,属于I类;硝酸盐氮平均浓度属于II类,格尔木市东浓度最高为 $6.48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,达到III类水质;氯化物平均浓度属于III类,怀头他拉镇为V类水 $350 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 限值的2.02倍,大格勒乡和察汗乌苏镇均为IV类;硫酸盐平均浓度属于III类,怀头他拉镇和格尔木市东为劣V类,分别为V类水 $350 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 限值的1.37倍和1.35倍,其余乡镇均为II类。地下水中电导率、氯化物、硫酸盐和硝酸盐氮平均浓度分别为地表水的1.29、1.24、1.45倍和2.26倍。除锌在D2、D3和D9采样点、镉在D6采样点和镍在D8采样点浓度略高于I类水限值,其余重金属浓度均低于I类水限值。

如表4所示,地下水综合水质标识指数显示柴达木盆地绿洲农业区地下水综合水质为II类。郭勒木德镇综合水质标识指数为1.800,水质为I类;怀头他拉镇综合水质标识指数为3.831,水质为III类,有3个指标超标。硝酸盐氮总体为II类,格尔木市东硝酸盐氮状况最差,为III类水质;氯化物和硫酸盐总体为III类,怀头他拉镇、大格勒乡和察汗乌苏镇的氯化物以及怀头他拉镇和格尔木市东的硫酸盐浓度超III类水标准,其中怀头他拉镇的氯化物和硫酸盐以及格尔木市东的硫酸盐均为劣V类;六价铬、铜和锌总体为I类,仅怀头他拉镇的锌超过III类水标准,其余乡镇均符合标准要求。

地下水各采样点的pH、硝酸盐氮和重金属均符合生活饮用水卫生标准,怀头他拉镇、大格勒乡和察汗乌苏镇的氯化物以及怀头他拉镇的硫酸盐分别为生活饮用水卫生标准 $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 限值的2.83、1.13、1.07倍和1.92倍,无法直接饮用。

2.3 柴达木盆地农药残留情况

对柴达木盆地15个样点的农药测定发现,尕海

表3 柴达木盆地地下水统计结果

Table 3 Groundwater statistics of Qaidam Basin

指标 Indexes	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	平均值 Average value	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
pH	7.50	8.07	7.74	0.19	2.44%
硝酸盐氮/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.44	6.48	3.42	1.61	46.94%
氯化物/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	71.93	707.18	208.67	188.37	90.27%
硫酸盐/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	67.24	479.68	179.88	157.92	87.79%
电导率/($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	777	3 127	1 347	745	55.27%
锌/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	12.57	132.16	44.76	38.53	86.10%
镉/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0	0.46	0.05	0.14	265.74%
镍/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0	3.51	0.47	1.09	232.94%

表4 柴达木盆地各乡镇地下水水质标识指数

Table 4 Groundwater quality index of each township in Qaidam Basin

乡镇 Townships	硝酸盐氮 Nitrate nitrogen	氯化物 Chloride	硫酸盐 Sulfate	六价铬 Hexavalent chromium	铜 Copper	锌 Zinc	综合水质标识指数 I_{wq}
柯鲁柯镇	2.80	2.40	2.80	1.20	1.00	1.30	1.900
怀头他拉镇	2.70	7.02	6.42	1.10	1.10	4.61	3.831
尕海镇	2.60	2.20	2.20	1.00	1.00	3.70	2.200
郭勒木德镇	1.80	2.90	2.40	1.00	1.00	1.50	1.800
格尔木市东	3.10	3.10	6.32	1.00	1.00	1.30	2.710
大格勒乡	1.70	4.31	2.80	1.00	1.00	1.50	2.110
宗加镇	2.50	2.70	2.30	1.10	1.10	1.70	1.900
香日德镇	2.60	2.80	2.70	1.00	1.00	3.20	2.200
察汗乌苏镇	1.80	4.21	2.90	1.00	1.00	1.40	2.110
总计	2.50	3.70	3.40	1.00	1.00	1.90	2.300

镇的S16、格尔木市东的S30和宗加镇的S40和S42 4个采样点均检测到啉虫脒,浓度在 $0.05\sim 1.44\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$;而仅在S42检出阿维菌素和毒死蜱,阿维菌素浓度为 $0.02\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,毒死蜱浓度为 $0.28\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。根据《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),毒死蜱浓度为限值的0.93%;由于目前国内还没有啉虫脒和阿维菌素相关标准限值,以人体每日允许摄入量的10倍为浓度限值,啉虫脒浓度限值为 $0.7\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,阿维菌素浓度限值为 $0.02\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,柴达木盆地啉虫脒和阿维菌素浓度分别为限值的0.01%~0.21%和0.12%。

2.4 农田灌溉进排水水质变化特征

选取pH、溶解氧、COD、总磷、硝酸盐氮、硫酸盐、氯化物和电导率等变异系数较大的指标分析其灌溉前后变化,结果如图3所示。溶解氧和COD在经过耕地灌溉后浓度分别降低了1.93%和6.42%;电导率、总磷、硝酸盐氮、硫酸盐和氯化物在经过耕地灌溉后浓度升高明显,分别升高了28.80%、37.80%、24.43%、33.06%和27.41%。

3 讨论

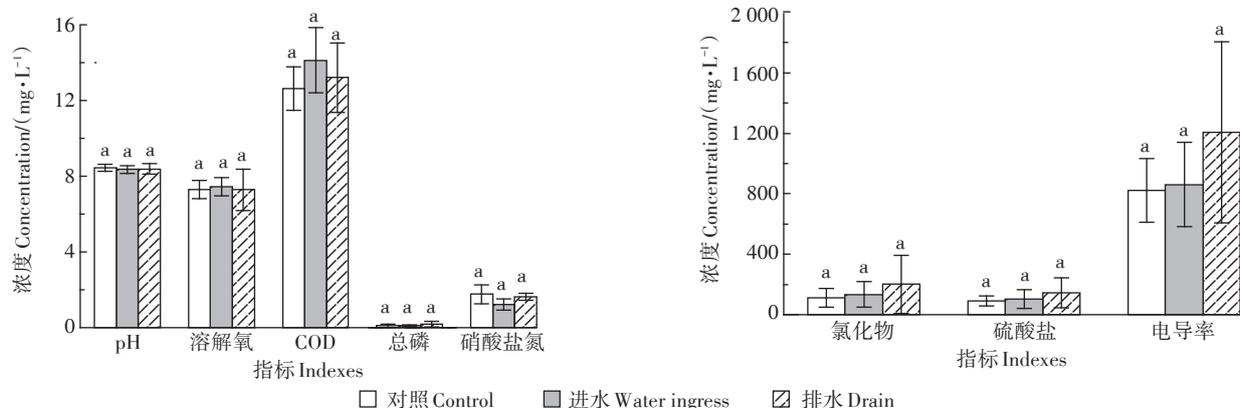
3.1 农业耕作对地表水的影响

综合水质标识指数显示柴达木盆地绿洲农业区地表水水质为Ⅱ类,整体水质较好,盆地内地表径流大多引自附近雪山融水及水库存水,流程短,污染环节少^[17],因此水质较好。地表水中总磷和硝酸盐氮平均浓度较低,灌溉水经过农田后总磷和硝酸盐氮浓度分别增加了37.80%和24.43%,调查发现柴达木盆地灌溉方式以大水漫灌为主,灌溉主要在3—10月,其中以6—9月最为频繁,平均10~15 d灌溉一次;施肥

以氮肥和磷肥为主,平均施肥量在 $225\sim 450\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,柴达木盆地氮肥和磷肥施用量占总施肥量的46.66%和38.28%。灌溉和降雨形成的径流会将耕地中氮磷元素输入附近水体^[9],Spearman相关分析显示总磷和悬浮物存在极显著正相关关系,相关系数为0.64($P<0.01$),泥沙和悬浮物中会吸附大量的有机磷和无机磷^[18],怀头他拉镇和香日德镇排水中悬浮物含量较高,导致其水中总磷浓度增加。灌溉还可以洗去土壤中的盐分^[9],造成硫酸盐、氯化物浓度升高,格尔木市氯化物和硫酸盐浓度较高,该区地层含盐量高,冲积洪积扇上有硫酸盐的淀积层,淋溶作用携带大量氯化物和硫酸盐进入水体。COD在德令哈市浓度较高,这可能与当地的村庄生活污水排放有关,研究表明农村生活污水中存在大量的有机物^[20],调查发现德令哈市村庄与农田交错分布,生活污水随沟渠汇入灌溉排水,从而造成COD浓度偏高。各乡镇中,尕斯库勒水质最好,该镇近年来地下水位上升,有自喷井不断向外冒水,导致镇南部大量农田无法耕种,减少了耕作活动对水体的影响,而且地表水不断得到补充和更新,因此整体水质最好。

3.2 农业耕作对地下水的影响

柴达木盆地绿洲农业区地下水水质为Ⅱ类,呈弱碱性水,淋溶作用使大量碳酸氢盐进入水体,造成水体偏碱性^[21]。研究区地下水电导率、氯化物、硫酸盐和硝酸盐氮浓度高于地表水,盆地内地下水以山区降水和地表水下渗补给为主,地表径流淋溶大量可溶盐,蒸发作用使可溶盐浓度升高,导致地下水 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等离子含量增加^[22],Spearman相关分析发现电导率与氯化物和硫酸盐存在极显著正相关关系,相关系数分



不同小写字母表示水质差异显著 ($P<0.05$)
Different lowercase letters indicate significant differences in water quality ($P<0.05$)

图3 指标进排水浓度变化

Figure 3 Changes in indicator inlet and outlet concentrations

别为0.88和0.78($P<0.01$),大量导电离子造成电导率整体水平较高^[23]。怀头他拉镇地下水硫酸盐和氯化物浓度超标明显,无法直接饮用,现场调查发现怀头他拉镇地表水无法满足其灌溉需求,近年来大量抽取地下水用于灌溉,地下水过度开发,水量减少,会导致硫酸盐、氯化物浓度升高^[24]。柴达木盆地地表径流下渗作用显著,施用氮肥以及含氮废物随雨水下渗等会造成地下水硝酸盐氮浓度增加^[25],位于格尔木市东的地下水总磷和硝酸盐氮浓度均最高,该采样点位于温室大棚内,井深仅十余米,井水用于灌溉大棚内瓜果、蔬菜,并无外排,下渗过程携带大量施肥后未利用的氮磷元素,导致该区域地下水氮磷浓度增加。虽然当前地下水硝酸盐氮浓度还未超标,但其会造成恶性循环,应加以关注。

4 结论

(1)柴达木盆地绿洲农业区地表水综合水质标识指数为Ⅱ类,其中尕斯库勒镇、郭勒木德镇、格尔木市东、大格勒乡地表水综合水质达到了Ⅰ类;个别区域受到污染,其中德令哈市的COD、香日德镇和察汗乌苏镇的总磷、格尔木市的硫酸盐和氯化物超标占比较大。

(2)地下水综合水质标识指数为Ⅱ类,怀头他拉镇的氯化物和硫酸盐、大格勒乡和察汗乌苏镇的氯化物均超过生活饮用水卫生标准,无法饮用。

(3)重金属浓度较低,其中铅、铜和砷最高浓度均低于Ⅰ类水标准限值,农药中检测到啉虫脒、阿维菌素和毒死蜱存在,但浓度均远低于标准限值。

(4)施肥和灌溉会使水体中氮磷及含盐量增加,温室大棚的使用会造成地下水氮磷浓度升高,且硝酸盐氮增加明显。

参考文献:

- [1] Zhang Q, Wang S, Yousaff M, et al. Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water in the northeast Tibetan Plateau of China[J]. *Water Science and Technology-Water Supply*, 2018, 18(5):1757-1768.
- [2] 周长进,董锁成.柴达木盆地主要河流的水质研究及水环境保护[J]. *资源科学*, 2002, 24(2):37-41. ZHOU Chang-jin, DONG Suo-cheng. Water quality of main river in the Qaidam basin and water environmental protection[J]. *Resources Science*, 2002, 24(2):37-41.
- [3] 李润杰,严鹏.柴达木盆地开发与水资源问题的探讨[J]. *水土保持研究*, 2002, 9(4):128-132. LI Run-jie, YAN Peng. Problems of exploitation and water resources in Chaidamu Basin[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2002, 9(4):128-132.
- [4] 青海省水利厅.青海省水资源公报[R].西宁:青海省水利厅,2019:20.
- [5] Department of Water Resources of Qinghai Province. Qinghai provincial water resources bulletin[R]. Xining: Department of Water Resources of Qinghai Province, 2019:20.
- [6] Gu Q, Hu H, Ma L, et al. Characterizing the spatial variations of the relationship between land use and surface water quality using self-organizing map approach[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 102(7):633-643.
- [7] Sun B, Zhang L, Yang L, et al. Agricultural non-point source pollution in China: Causes and mitigation measures[J]. *Ambio*, 2012, 41(4):370-379.
- [8] 庞燕,项颂,储昭升,等.洱海流域农业用地与入湖河流水质的关系研究[J]. *环境科学*, 2015, 36(11):4005-4012. PANG Yan, XIANG Song, CHU Zhao-sheng, et al. Relationship between agricultural land and water quality of inflow river in Erhai Lake Basin[J]. *Environmental Science*, 2015, 36(11):4005-4012.
- [9] 蒋鸿昆,高海鹰,张奇,等.抚仙湖梁王河流域农业耕作与流域水质响应关系研究[J]. *环境科学*, 2007, 28(10):2294-2300. JIANG Hong-kun, GAO Hai-ying, ZHANG Qi, et al. Response of water quality to agricultural cultivation in Liangwanghe River catchment of Fuxianhu Lake region[J]. *Environmental Science*, 2007, 28(10):2294-2300.
- [10] 郭泽慧,刘洋,黄懿梅,等.降雨和施肥对秦岭北麓俞家河水质的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2017, 36(1):158-166. GUO Ze-hui, LIU Yang, HUANG Yi-mei, et al. Effects of rainfall and fertilization on water quality of the Yujia River watershed in the northern Qinling Mountains[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(1):158-166.
- [11] Owens L, Shipitalo M, Bontà V. Water quality response times to pasture management changes in small and large watersheds[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 63(5):292-299.
- [12] 田原,余成群,查欣洁,等.青藏高原西部、南部和东北部边界地区天然水的水化学性质及其成因[J]. *地理学报*, 2019, 74(5):975-991. TIAN Yuan, YU Cheng-qun, ZHA Xin-jie, et al. Hydrochemical characteristics and factors controlling of natural water in the western, southern, and northeastern border areas of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(5):975-991.
- [13] 刘胤序,刘海红,贾佳丽,等.青海典型内陆河流域地表水溶解性养分组成及分布特征[J]. *地球与环境*, 2019, 47(5):601-609. LIU Yin-xu, LIU Hai-hong, JIA Jia-li, et al. Composition and distribution of dissolved nutrients in surface water of typical inland rivers in Qinghai[J]. *Earth and Environment*, 2019, 47(5):601-609.
- [14] 闫露霞,孙美平,姚晓军,等.青藏高原湖泊水质变化及现状评价[J]. *环境科学学报*, 2018, 38(3):900-910. YAN Lu-xia, SUN Mei-ping, YAO Xiao-jun, et al. Lake water in the Tibet Plateau: Quality change and current status evaluation[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2018, 38(3):900-910.
- [15] Ji X, Dahlgren R A, Zhang M. Comparison of seven water quality assessment methods for the characterization and management of highly impaired river systems[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, 188(1):15.
- [16] 徐祖信.我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2005, 33(4):482-488. XU Zu-xin. Comprehensive water quality index evaluation method research[J]. *Tongji University Journal(Natural Science Edition)*, 2005, 33(4):482-488.

- hensive water quality identification index for environmental quality assessment of surface water[J]. *Journal of Tongji University(Natural Science)*, 2005, 33(4):482-488.
- [16] 徐祖信. 我国河流因子水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005, 33(3):321-325. XU Zu-xin. Single factor water quality identification index for environmental quality assessment of surface water[J]. *Journal of Tongji University(Natural Science)*, 2005, 33(3):321-325.
- [17] Wu Y, Zhu L. The response of lake-glacier variations to climate change in Nam Co Catchment, central Tibetan Plateau, during 1970—2000[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2008, 18(2):177-189.
- [18] 李晓, 罗财红, 张筑元, 等. 地表水样品自然沉降时间对总磷测定结果的影响分析[J]. 中国环境监测, 2005, 21(2):22-23. LI Xiao, LUO Cai-hong, ZHANG Zhu-yuan, et al. Study on the effect of static balance time on determination of total phosphorus in surface water[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2005, 21(2):22-23.
- [19] 刘贯群, 朱良超, 孙蓓蓓, 等. 内蒙古李井灌区土壤盐分淋洗过程的室内模拟及分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(9):109-116. LIU Guan-qun, ZHU Liang-chao, SUN Bei-bei, et al. Indoor simulation and analysis on soil salt leaching process in Luanjing irrigation area, Inner Mongolia[J]. *Periodical of Ocean University of China(Natural Science)*, 2010, 40(9):109-116.
- [20] Panikkar A K, Okalebo S A, Riley S J, et al. Total treatment of black and grey water for rural communities[M]//Wang L K, Tay J H, Tay S T L, et al. *Environmental bioengineering: Volume 11*. Totowa: Humana Press, 2010:523-554.
- [21] Gautam S K, Maharana C, Sharma D, et al. Evaluation of groundwater quality in the Chotanagpur Plateau region of the Submarekha River Basin, Jharkhand State, India[J]. *Sustainability of Water Quality & Ecology*, 2015, 6:57-74.
- [22] 张鸿义, 曾凡江, 安海棠. 中国干旱区浅层地下水的形成、分布与运移[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1):67-73. ZHANG Hong-yi, ZENG Fan-jiang, AN Hai-tang. Formation, distribution and transport of shallow groundwater in arid areas, China[J]. *Arid Zone Research*, 2011, 28(1):67-73.
- [23] Mohapatra M, Anand S, Mishra B K, et al. Review of fluoride removal from drinking water[J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, 91(1):67-77.
- [24] 吉秀亮, 王瑾, 杨君胜, 等. 2015—2018年柴达木盆地农村饮用水水质监测结果分析[J]. 现代预防医学, 2019, 46(18):3439-3442. JI Xiu-liang, WANG jin, YANG Jun-sheng, et al. Analysis of monitoring results of drinking water quality in rural areas of Qaidam Basin from 2015 to 2018[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2019, 46(18):3439-3442.
- [25] Zhang H, Yang R, Wang Y, et al. The evaluation and prediction of agriculture-related nitrate contamination in groundwater in Chengdu Plain, southwestern China[J]. *Hydrogeology Journal*, 2019, 27(2):785-799.