

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2025.01.013

阳泉市某畜禽养殖场浅层地下水 质量评价及成因分析

安圣, 田德志, 王勇, 侯彪, 何文程

(中国冶金地质总局第三地质勘查院, 太原 030002)

摘要: 以阳泉市内某畜禽养殖场为研究对象,在其周边地区共采集5份浅层地下水样品,测试指标包括常规指标项30项,运用数理统计、Piper图、相关性分析、污染指数法、生态风险评价评估和健康风险评估等方法,系统开展了水化学分析、地下水质量评价、污染评价和健康风险评估。结果表明,养殖场周边地下水特征污染因子为溶解性总固体、总硬度、硫酸盐、总大肠菌群、钠、铁和锰等,这些因子超标且污染程度较高。健康风险评估表明,非致癌风险主要由铁和锰以口摄入方式造成,非致癌健康风险指数最大值分别达0.695和0.666,已经接近风险阈值。剖析其污染成因主要为地质成因和人为成因。

关键词: 浅层地下水; 污染因子; 健康风险评估; 畜禽养殖场; 阳泉市

中图分类号: P641 **文献标识码:** A

0 引言

改革开放以来,我国畜禽养殖业得到快速发展。畜禽养殖场每天都会产生大量的污染物,包括粪便、污水等。畜禽粪便中含有大量重金属元素,例如铅、镉、铬、铜等^[1],还含有蛋白质、抗生素等物质^[2]。随着近年来畜禽养殖业的规模化、集约化发展,养殖场周边的地下水环境状况受到一定的威胁^[3],其中有浅层地下水。Cao等^[4]基于同位素定量分析南阳盆地硝酸盐污染的来源,发现养殖污水和粪便对其污染的贡献率占45.41%。而浅层地下水是人类赖以生存和发展的重要物质,人类生存、工农业发展、经济可持续发展都离不开水^[5]。浅层地下水的污染更影响着农产品质量、居民健康^[6]。

因此,查明养殖场周边地下水化学特征及污染情况对浅层地下水资源的保护具有重要意义。本次研究选择阳泉市某畜禽养殖场作为研究对象,该养殖场具有一定规模,且有浅层地下水。本次研究主

要对其浅层地下水进行调查,查明其水化学特征,进行质量评价和污染现状评价,并针对其特征污染物进行地下水风险评估,为地下水污染防控提供依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

阳泉市位于山西省的中东部,北与忻州市毗邻,东隔太行山与河北省相望,西接太原市,南邻晋中市,地处黄土高原东缘,属于山西东部山地,境内地貌以山地为主,其余为丘陵和平原,属暖温带半湿润大陆性季风气候区。畜禽养殖场主要位于丘陵地区,整体地势西北高,东南低,地面高程为970.677~973.035 m,场区内地下水含水岩组为松散岩类孔隙水含水岩组,地层岩性主要为素填土、卵石、粗砂、粉土和粉黏。场区西侧和东侧为农田,南侧为树林,北侧为高速公路。场区内地下水埋深为1.57~8 m,地下水流向为东南向西北流,主要接受大气降水和东侧地表水补给。

收稿日期: 2024-07-19; 改回日期: 2025-01-10; 责任编辑: 沈名星

作者简介: 安圣(1997—),男,硕士,从事地下水污染研究工作。通信地址:山西省太原市小店区龙城大街107号,中国冶金地质总局第三地质勘察院。邮政编码:030032。E-mail:2693925445@qq.com

1.2 样品采集

根据场区浅层地下水流向,在场区上游 40 m 处,场区左右翼、场区下游及场区内部 5 个监测孔中各取一组水样,具体点位见图 1。其中,浅层地下水样品采集严格按照《地下水环境监测技术规范》(HJ 164-2020)执行,取样时间为 2024 年 3 月,采样前会进行洗井。

1.3 样品测试分析

浅层地下水样品测试分析由具有国家认证资质的河北华测监测服务有限公司完成,本次地下水测试指标包括常规指标 30 项,具体测试指标见表 1。

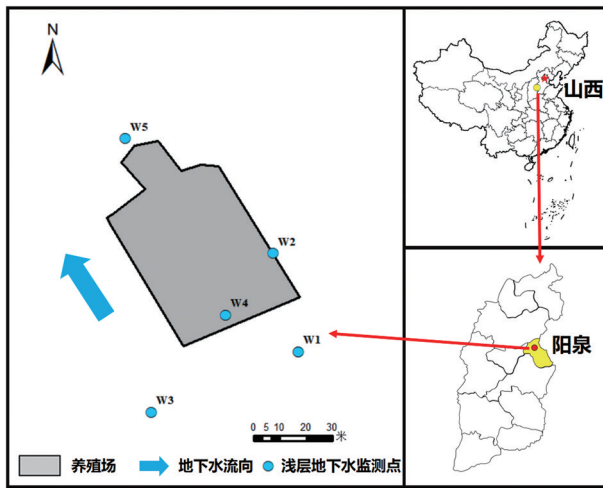


图 1 研究区取样点布设位置图

Fig. 1 Map showing location of the study area and sampling points

其中,地下水水质监测样品采集、保存与测试均严格参照《地下水水质检验方法》(DZ/T0064.1—0064.80—1993)、《生活饮用水标准检验方法》(GB/T5750.1—5750.13—2006)等规定完成。

1.4 评价方法

1.4.1 水化学分析

运用数理统计方法分析畜禽养殖场周边浅层地下水中主要阴阳离子浓度、TDS、pH 等指标的最大值、最小值、平均值、标准差和变异系数,并且利用 origin 等软件对其进行相关性分析,利用 Piper 三线图确定浅层地下水体中的主要离子成分,识别出研究区主要水化学类型^[7]。

1.4.2 地下水质量评价

根据《地下水质量标准》(GB/T14848—2017)对列入其中的指标进行单因子质量评价,划分指标所属的地下水质量类别,指标限值相同时,从优不从劣。然后根据表 2,分别确定各项指标的单项组分评价分值(F_i),按照公式(1)和公式(2)计算综合评价分值(F),最后根据表 3 确定各个监测点的地下水质量类别^[8],分别为优良、良好、较好、较差、极差 5 个级别。

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i \quad (1)$$

$$F = \sqrt{\frac{F^2 + F_{\max}^2}{2}} \quad (2)$$

式中: \bar{F} —各单项组分评分值的平均值; F_{\max} —单指标评价分值的最大值; n —项数。

表 1 地下水样品测试指标

Table 1 Test indexes of groundwater samples

指标类型	指标名称	指标数量
常规指标	pH、耗氧量、亚硝酸盐、硒、氟化物、砷、溶解性总固体、总大肠菌群、总硬度、硫酸盐、钙、碳酸氢根、钾、氯化物、镁、氨氮、钠、铁、硝酸盐、锰、铜、阴离子合成洗涤剂、锌、挥发性酚类、氰化物、汞、镉、铅、铬(六价)、碳酸根	30

表 2 地下水单项组分评分

Table 2 Score of single component evaluation of the groundwater

类别	I	II	III	IV	V
F_i	0	1	3	6	10

表 3 地下水质量综合评价级别划分标准

Table 3 Classification criteria for comprehensive evaluation of groundwater quality

级别	优秀	良好	较好	较差	极差
划分范围	$F < 0.80$	$0.80 \leq F < 2.50$	$2.50 \leq F < 4.25$	$4.25 \leq F < 7.20$	$F > 7.20$

1.4.3 地下水污染评价

采用单指标污染指数法对研究区浅层地下水进行污染评价,该方法不仅考虑了超标的问题,还考虑了地下水环境背景值是,能更好地反映人为影响的程度,其计算公式为^[9]:

$$P_{ki} = \frac{C_{ki} - C_0}{C_{III}} \quad (3)$$

式中: P_{ki} — k 水样第 i 个指标的污染指数; C_{ki} — k 水样第 i 个指标的测试结果,mg/L; C_0 — k 水样第 i 个指标的对照值,mg/L; C_{III} —为 GB/T14848 中 III 类标准,mg/L。

按照公式(3)分别计算每个水样点各单指标污染标准指数 P_{ki} ,采用表 4 中污染分级标准划分污染等级,得出各水样的单指标污染等级划分结果。

1.4.4 地下水健康风险评估

健康风险评估是通过估算有害因子对人体不良影响发生的概率来评价暴露该因子的个体健康受到影响的风险^[10]。研究区地下水质量评价和污染现状评价的结果表明,研究区锌、汞和镉等指标未检出,硒、砷和硝酸盐等指标未超出地下水 III 类标准限值。研究区主要污染因子为铁和锰指标,其余超标指标对人体健康产生的影响可忽略不计,因此本次主要选择铁和锰作为风险评价主要因子,同时分析地下水污染物主要为以口摄入,其他途径可忽略不计,依据美国环境保护署(USEPA)提出的健康风险评估模型评价主要污染因子对成人和儿童健康可能产生的影响,具体计算方法如下^[11-12]

$$W_i = \frac{C_i \times D \times E_F \times E_D}{B \times A} \quad (4)$$

$$H_i = \frac{W_i}{R_f} \quad (5)$$

$$H_{total} = \sum_{i=1}^n H_i \quad (6)$$

式中: H_{total} —非致癌风险指数之和,mg/(kg·d);

H_i —单项非致癌风险指数,mg/(kg·d); W_i —经饮用水污染物暴露剂量,mg/(kg·d); C_i —地下水中污染物的平均浓度,mg/L; D —日均饮水摄入量,L/d; E_F —暴露频率,d/年, E_D —暴露时间,年; B —人群体重,kg; A —非致癌物质平均暴露时间,d; R_f —污染物的参考剂量,mg/(kg·d)。

参数选择:成人 D 为 2.56 L/d,儿童 D 为 1.10 L/d, E_F 为 365 d/年,成人 E_D 为 30 年,儿童 E_D 为 6 年,成人平均体重 B 取 63.5 kg,儿童平均体重 B 取 28.5 kg,成人 A 为 30 年,儿童 A 为 6 年,铁和锰的 R_f 分别为 0.70 和 0.14^[13-15]。

2 结果与分析

2.1 基本水化学特征

研究区浅层地下水样品中 30 项指标的含量及参数见表 5。由表可见,研究区锌、挥发性酚类、氟化物、汞、镉、铅、铬(六价)、碳酸根等 8 项指标含量未检出,铜、阴离子合成洗涤剂大部分样品未检出,其余 20 项指标均有不同程度的检出。通过变异系数分析,pH、耗氧量、亚硝酸盐、硒、氟化物、砷、溶解性总固体、总大肠菌群、总硬度、硫酸盐、钙、碳酸氢根、钾、氯化物、镁、氨氮变异系数 <1 ,表明研究区地下水这些指标分布相对比较均匀;钠、铁、硝酸盐和锰变异系数 >1 ,表明研究区地下水这些指标变化较大。

研究区浅层地下水 Piper 三线图见图 2。由表 3 和图 2 可得,养殖场周边浅层地下水水化学类型主要为 $SO_4 - Ca$ 型水,地下水阳离子以 Ca^{2+} 为主,阴离子以 SO_4^{2-} 为主。地下水主要阴离子中, Cl^- 浓度的变异系数较大,说明 Cl^- 在地下水中不稳定且受周围环境影响较为敏感。

表 4 单指标污染标准指数分级标准^[9]

Table 4 Classification criteria of single factor standard index of pollution

污染类别	污染等级	P_{ki}
未污染	I	≤ 0
轻污染	II	$0 < P_{ki} \leq 0.2$
中污染	III	$0.2 < P_{ki} \leq 0.6$
较重污染	IV	$0.6 < P_{ki} \leq 1.0$
严重污染	V	$1.0 < P_{ki} \leq 1.5$
极重污染	VI	$1.5 < P_{ki}$

表5 研究区浅层地下水各指标含量参数

Table 5 Component content parameters of shallow groundwater in the study area

项目	最大值	最小值	均值	标准差	变异系数(%)
pH	7	6.7	6.82	0.11	1.61
耗氧量	1	0.8	0.86	0.09	10.40
亚硝酸盐	0.005	0.004	0.0045	0.0007	15.71
硒	0.0006	0.0004	0.000525	0.00010	18.24
氟化物	0.39	0.24	0.294	0.07	22.12
砷	0.001	0.0005	0.00074	0.00023	31.11
溶解性总固体	1770	626	1269.2	424.07	33.41
总大肠菌群	30	10	20	7.07	35.36
总硬度	983	344	686.4	259.56	37.82
硫酸盐	606	165	491.2	186.83	38.03
钙	321	95	235.8	98.17	41.63
碳酸氢根	501	164	281.6	146.91	52.17
钾	3.56	1.02	2.122	1.12	52.75
氯化物	58.7	17.1	34.64	19.22	55.48
镁	111	16.8	55.6	34.63	62.28
氨氮	0.554	0.138	0.2695	0.19	71.43
钠	318	13.2	96.62	129.34	133.86
铁	5.22	0.19	1.319	2.18	165.59
硝酸盐	4.65	0.095	1.173	1.96	167.13
锰	1.37	0.008	0.3116	0.59	190.27
铜	0.008	0.008	0.008	/	/
阴离子合成洗涤剂	0.072	0.072	0.072	/	/
锌	/	/	/	/	/
挥发性酚类	/	/	/	/	/
氰化物	/	/	/	/	/
汞	/	/	/	/	/
镉	/	/	/	/	/
铅	/	/	/	/	/
铬(六价)	/	/	/	/	/
碳酸根	/	/	/	/	/

注:最大值、最小值、均值单位为 mg/L;“/”表示未检出或无统计值。

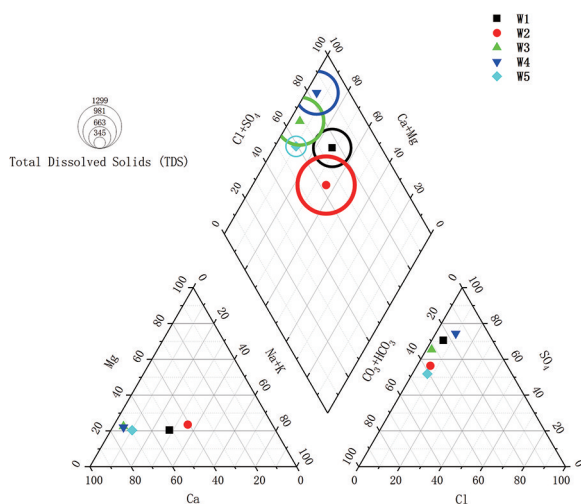


图2 养殖场周边浅层地下水 Piper 三线图

Fig. 2 Piper three-line diagram of the shallow groundwater Total Dissolved Solids (TDS)表示总硬度;图中显示6个离子组的毫克当量百分数,分别是钙、镁和钠加钾阳离子,以及硫酸盐、氯化物和碳酸盐加碳酸氢根阴离子

地下水各化学指标的相互关系可以说明离子来源^[16],根据地下水水化学参数 Pearson 相关系数矩阵(图3)可以看出,研究区的 TDS 与特征离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 指标极强相关,相关系数分别为 0.94、0.92 和 0.90,说明 TDS 大小主要受这些离子的控制,且研究区地下水环境中 TDS 的变化在一定程度上受到人类活动的影响。 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 的相关性为 0.91,说明具有共同的来源,反映了研究区石膏的溶解,阳泉市地层中不仅含有丰富的煤炭资源,还包括硫铁矿、石膏等资源。

2.2 地下水质量评价

除了钾、钙、镁、碳酸根、碳酸氢根这5项指标列入《地下水质量标准》(GB/T14848—2017),其他指标均按照地下水《地下水质量标准》(GB/T14848—2017)进行单因子评价,根据指标限值范围确定地下水质量类别,指标限值相同时,从优不从劣。结果表明,养殖场周边的地下水类别以Ⅳ类和Ⅴ类为主,研

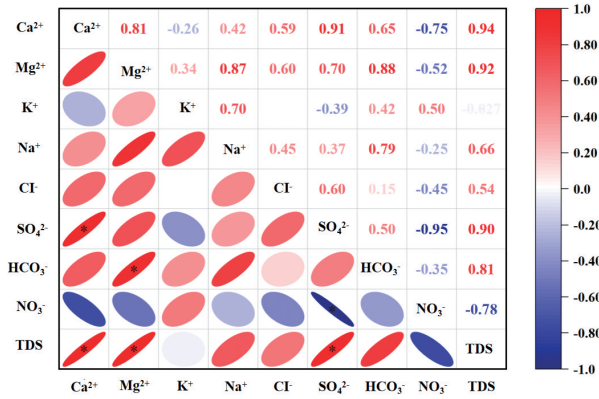


图 3 地下水水化学参数 Pearson 相关系数矩阵

Fig. 3 Pearson correlation coefficient matrix of the groundwater chemical parameters

* 表示在 0.05 水平上呈显著相关

究区 5 组浅层地下水样品均有不同程度的超标,其中溶解性总固体、总大肠菌群、总硬度、硫酸盐、氨氮、钠、铁、锰指标超出地下水Ⅲ类标准限值(图 4)。总大肠菌群、溶解性总固体、总硬度、硫酸盐的超标率较高,分别为 100%、80%、80%和 80%,检出最大浓度分别为 30 CFU/100 mL、1770 mg/L、983 mg/L 和 606 mg/L,是导致单因子水质评价结果较差的主要因素。地下水质量综合评价分析结果:5 个浅层地下水样品中 F 为 4.31~7.22,经过和表 3 比对可得,研究区浅层地下水属于较差和极差类。

2.3 地下水污染现状评价

地下水背景值的确定是地下水污染评价的基

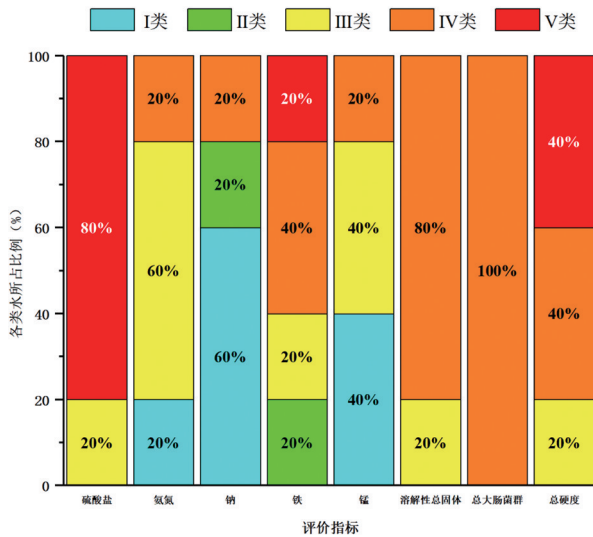


图 4 主要超标因子在各类水中所占比例

Fig. 4 Proportion of the main standard-exceeding factors in different types of water

础。根据研究区浅层地下水流向,本次评价主要选用 W1 作为背景点,该点位位于场区上游(图 1)。本次主要针对地下水质量评价中超出Ⅲ类标准的 8 项指标进行地下水污染评价,分别为溶解性总固体、总大肠菌群、总硬度、硫酸盐、氨氮、钠、铁、锰。根据式 3 计算各个点位对应的 P,经过与表 4 对照确定污染级别,对评价结果进行统计绘制成图 5,除氨氮指标没有污染,其余指标都有不同程度的污染。极重污染程度的指标主要为为铁、锰和总大肠杆菌,污染指数高达 16.47、13.03 和 6.67。值得注意的是,总大肠菌群 4 个点位污染情况都比较严重,且背景点 W1 的值较高,这可能与养殖场定期产生的粪便有关,养殖场产生的粪便中含有大量的细菌,存在迁移污染浅层地下水的可能性^[17]。另外,研究区浅层地下水铁锰指数超标,可能是由于饲料加工厂通常在饲料中加入一定剂量的重金属来提高饲喂收益和饲料转化率,导致粪便中重金属含量较高^[1],最终导致污染浅层地下水。

2.4 地下水风险评估

由表 6 可知,在饮水暴露途径下,对于成人和儿童而言,铁和锰指标的非致癌风险单项指数均 < 1,同时其非致癌风险指数之和(H_{total})也 < 1,处于可接受水平。非致癌风险从大到小依次为锰、铁,其中锰对于 H_{total} 的贡献值最大。成人的非致癌风险(0.695)高于儿童(0.666),说明铁和锰对健康风险的影响不可忽略。

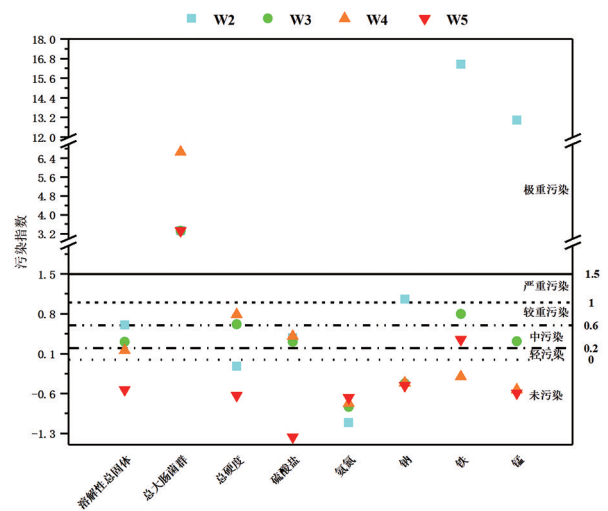


图 5 地下水污染指数图

Fig. 5 Groundwater pollution index diagram

表6 地下水非致癌健康风险评价结果

Table 6 Non-carcinogenic health risk evaluation of groundwater

评价指标	成人		儿童	
	范围	平均	范围	平均
铁	0.011~0.301	0.076	0.010~0.288	0.073
锰	0.002~0.395	0.090	0.002~0.378	0.086
合计(H_{total})	0.015~0.695	0.166	0.014~0.666	0.159

3 污染成因分析

地下水质量及污染评价结果表明,研究区浅层地下水中溶解性总固体、总硬度、硫酸盐、总大肠菌群、钠、铁和锰指标超标且污染程度较高。本次污染成因分析主要从地质成因和人为成因两方面进行分析。

(1)地质成因。研究区地下水水化学类型主要为 $SO_4 - Ca$ 型水,且溶解性总固体、总硬度、硫酸盐的变异系数 <1 ,分布较为均匀,推测可能与阳泉市地层岩性有关。阳泉市地层中含有石膏等资源,经过浅层地下水长期的侵蚀和强烈的水岩交互作用,导致研究区钙离子和硫酸盐含量较高,进而导致研究区总硬度、溶解性总固体指标超标。

(2)人为成因。研究区浅层地下水总大肠菌群5个点位均有不同程度的超标,且污染程度较高,分布较为均匀,这可能与养殖场定期产生的粪便有关,养殖场产生的粪便中含有大量的细菌,通过迁移转化的途径污染浅层地下水的可能性较高。其余污染因子,除去地质背景影响外,场区东侧W2点位钠、铁和锰严重超标,该点位距离养殖场和农田较近,养殖场会将养殖过程中产生的粪便运输至场区周边的农田用作施肥处理,而饲料加工厂通常在饲料中加入一定剂量的重金属来提高饲喂收益和饲料转化率,导致粪便中重金属含量较高,重金属迁移转化进而污染浅层地下水。

4 结语

(1)养殖场周边5组浅层地下水样品中pH较稳定,水化学类型主要为 $SO_4 - Ca$ 型水,地下水阳离子以 Ca^{2+} 为主,阴离子以 SO_4^{2-} 为主,地下水中pH、耗氧量、亚硝酸盐等指标变异系数 <1 ,表明研究区地下水这些指标分布相对比较均匀;而钠、铁、

硝酸盐和锰变异系数 >1 ,表明研究区地下水这些指标变化较大。

(2)地下水质量及污染评价结果表明,5组地下水样品中均存在不同程度的超标,研究区浅层地下水属于较差和极差类。地下水主要污染因子为溶解性总固体、总硬度、硫酸盐、总大肠菌群、钠、铁和锰,这些超标且污染程度较高,其中溶解性总固体、总硬度和硫酸盐主要是地质成因,总大肠菌群、钠、铁和锰主要是人为成因,也就是与养殖场有关。

(3)在饮水暴露途径下,养殖场周边浅层地下水中典型污染因子铁和锰对于成人和儿童没有产生明显的非致癌健康风险,处于可接受水平,其中铁和锰指标最高非致癌风险值较高,今后要加强对铁和锰指标的监测和控制。

参考文献:

- [1] 陈家玉. 畜禽养殖场浅层地下水水环境质量评价[D]. 安徽理工大学, 2023. DOI:10.26918/d.cnki.gnhgc.2023.000403.
- [2] 李舒涵. 鸡粪DOM对抗生素在紫色土中吸附迁移的影响[D]. 西南交通大学, 2020. DOI:10.27414/d.cnki.gxjnu.2020.001402.
- [3] 王宣,申剑. 畜禽养殖场污染状况监测与评价[J]. 中国环境监测, 2007(3):94-96. DOI:10.19316/j.issn.1002-6002.2007.03.026.
- [4] Cao S, Fei Y, Tian X, et al. Determining the origin and fate of nitrate in the Nanyang Basin, Central China, using environmental isotopes and the Bayesian mixing model [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(35):1-19.
- [5] Jiutan L, Yuming P, Changsuo L, et al. Characterization of the hydrochemistry of water resources of the Weibei Plain, Northern China, as well as an assessment of the risk of high groundwater nitrate levels to human health [J]. Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987), 2020, (prepublish): 115947-115947.
- [6] 杨艳鲜,张丹,雷宝坤,等. 洱海近岸菜地浅层地下水动态变化特征及影响因素[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(12):101-109. DOI:10.13522/j.cnki.gggs.2017.12.017.
- [7] 石国伟,李亚松,刘雅慈,等. 南阳市某畜禽养殖场地下水污染因子识别及风险评价[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(3):157-164. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2023.03.025.
- [8] 梁风娇,周金龙,贾瑞亮,等. 新疆巴里坤-伊吾盆地平原区地下

- 水质量评价及分析[J]. 新疆农业大学学报, 2016, 39(3): 253 - 258.
- [9] 张兆吉, 费宇红, 郭春艳, 等. 华北平原区域地下水污染评价[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(5): 1456 - 1461. DOI: 10.13278/j.cnki.jjuese.2012.05.014.
- [10] 周巾枚, 蒋忠诚, 徐光黎, 等. 崇左响水地区地下水水质分析及健康风险评估[J]. 环境科学, 2019, 40(6): 2675 - 2685. DOI: 10.13227/j.hjcx.201810234.
- [11] Juanjuan W, Jianmin B, Hanli W, *et al.* Health risk assessment of groundwater nitrogen pollution in Songnen Plain [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 207: 111245 - .
- [12] Lin G, Guanxing H, Lixin P, *et al.* Distributions, origins, and health-risk assessment of nitrate in groundwater in typical alluvial-pluvial fans, North China Plain [J]. *Environmental science and pollution research international*, 2021, 29(12): 17031 - 17048.
- [13] 陈仁祥, 高杨, 宋勇, 等. 龙南足洞稀土矿区地下水水质特征及健康风险评估[J]. 有色金属(矿山部分), 2021, 73(3): 111 - 118.
- [14] 张艳杰. 天津某典型开发区地下水水质及健康风险评估[J]. 山东化工, 2021, 50(5): 255 - 257 + 261. DOI: 10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2021.05.105.
- [15] Zeng G, Liang J, Guo S, *et al.* Spatial analysis of human health risk associated with ingesting manganese in Huangxing Town, Middle China [J]. *Chemosphere*, 2009, 77(3): 368 - 375.
- [16] 张涛, 何锦, 李敬杰, 等. 蛤蟆通河流域地下水化学特征及控制因素[J]. 环境科学, 2018, 39(11): 4981 - 4990. DOI: 10.13227/j.hjcx.201804070.
- [17] 汪清平, 王晓燕. 畜禽养殖污染及其控制[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2003(2): 96 - 101. DOI: 10.19789/j.1004-9398.2003.02.020.

Quality evaluation and genetic analysis of shallow groundwater of a livestock and poultry farm in Yangquan City

AN Sheng, TIAN Dezhi, WANG Yong, HOU Biao, HE Wencheng

(The Third Geological Exploration Institute of China Metallurgical Geology Bureau, Taiyuan 030002, Shanxi province, China)

Abstract: This paper deals with underground of a livestock and poultry farm in Yangquan City. 5 shallow groundwater samples were collected in surroundings of the farm. 30 indicating indexes are tested. Chemical analysis of the groundwater is carried out, and the quality evaluation, pollution and health risk assessment systematically conducted with mathematical statistics, Piper diagram, correlation analysis, pollution index, ecological and health risk assessment methods. The results show that the characteristic pollution factors of the groundwater include total dissolved solids, total hardness, sulfate, total coliform bacteria, sodium, iron and manganese, which exceeded the standard and the pollution degree was high. The health risk assessment showed that the non-carcinogenic risk was mainly caused by oral intake of iron and manganese, and the maximum non-carcinogenic health risk index, 0.695 and 0.666, approximate to the risk threshold. Finally a conclusion is drawn that the pollution is mainly caused by geological and artificial factors.

Key Words: shallow groundwater; pollution factors; health risk assessment; livestock and poultry farms; Yangquan City