

陕西省农村学校饮用水重金属指标分析

雷佩玉, 郑晶利, 丁勇, 孟昭伟

陕西省疾病预防控制中心环境健康研究与评价所, 西安 710054

【摘要】 目的 了解陕西省农村学校饮用水重金属指标达标状况和变化趋势, 为保障农村学校饮用水卫生安全提供科学依据。**方法** 2017—2019 年累计对陕西省 697 所农村学校供水工程末梢水中重金属指标进行检测, 参照《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 按照不同年份、不同区域对砷、镉、六价铬、铅和汞等 5 项重金属指标进行分析评价。**结果** 3 年累计采集分析有效水样 2 298 份, 除铅、汞全部达标外, 砷、镉和六价铬等重金属指标达标率分别为 98.83%, 99.91% 和 96.95%。与陕北高原和陕南相比, 关中平原水砷达标率较低(χ^2 值分别为 5.67, 13.59, P 值均 <0.01)。陕南六价铬达标率最高, 关中平原次之, 陕北高原最低(χ^2 值分别为 20.48, 17.05, 48.32, P 值均 <0.01)。2 份镉超标水样均来自于陕北高原。**结论** 陕西省农村学校饮用水重金属指标超标存在明显地域特点, 应重点关注陕北高原和关中平原砷、六价铬等重金属对学生健康带来的危害, 还应持续关注局部地区饮用水中镉、汞的平均浓度, 从水源选择和水处理技术等方面保障学校饮水安全。

【关键词】 饮水; 质量指标; 卫生保健; 学生保健服务; 水污染; 化学性; 金属; 农村卫生

【中图分类号】 R 123.1 R 446 G478 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2020)07-1066-04

Analysis of heavy metals in drinking water of rural schools in Shaanxi Province/LEI Peiyu, ZHENG Jingli, DING Yong, MENG Zhaowei. Institute of Environment Health Research and Evaluation, Shaanxi Center for Disease Control and Prevention, Xi'an (710054), China

【Abstract】 Objective To understand the status and trend of heavy metal indicators of drinking water in rural schools in different regions of Shaanxi Province, so as to provide scientific basis for safety of drinking water in rural schools. **Methods** In 2017–2019, 697 rural school water supply projects in Shaanxi Province were tested for heavy metal indicators in the peripheral water. According to the sanitary standard for drinking water (GB 5749—2006), five heavy metal indicators, including arsenic, cadmium, hexavalent chromium, lead and mercury, were analyzed and evaluated in different years and regions. **Results** A total of 2 298 valid water samples were collected and analyzed in 3 years. Except that lead and mercury are all up to standard, the standard rates of other heavy metals such as arsenic, cadmium and hexavalent chromium were 98.83%, 99.91% and 96.95% respectively. Compared with the Northern Shaanxi plateau and Qinba mountain area, the standard rate of water arsenic in Guanzhong Plain was lower ($\chi^2 = 5.67, 13.59, P < 0.01$). The standard rate of hexavalent chromium was the highest in Qinba mountain area, followed by Guanzhong Plain, and the lowest in Northern Shaanxi plateau ($\chi^2 = 20.48, 17.05, 48.32, P < 0.01$). Two samples of cadmium exceeding standard were from the Northern Shaanxi plateau. **Conclusion** The heavy metal index of drinking water in rural schools in Shaanxi Province exceeds the standard, which has obvious regional characteristics. We should focus on the harm of arsenic, hexavalent chromium and other heavy metals to the health of students in the Northern Shaanxi plateau and Guanzhong Plain. Cadmium and mercury in drinking water in local areas should be paid continued attention. Safety of drinking water in schools should be ensured from the aspects of water source selection and water treatment technology.

【Key words】 Drinking; Quality indicators, Health care; Student health services; Water pollution, chemical; Metals; Rural health

在环境与健康领域所说的重金属主要是指汞、铅、镉、铬以及具有重金属特性的类金属砷等生物毒性显著的元素^[1]。因重金属无色无味且具有高毒性

和持久性^[2], 不易被饮水用户判断水质是否受到此类物质的污染, 长期暴露可对身体健康带来慢性危害^[3]。儿童作为环境重金属暴露的易感人群, 生长发育可能受这类物质的严重损害, 因此应重点关注学校饮用水中重金属指标的污染情况, 为掌握陕西省农村学校饮用水中重金属指标的达标情况和变化趋势, 现对 2017—2019 年陕西省农村学校饮用水中砷、镉、六价铬、铅、汞等 5 项重金属指标进行检测分析, 结果报道如下。

【基金项目】 陕西省公共卫生检测监测服务平台项目(2016FWPT-12)。

【作者简介】 雷佩玉(1985—), 女, 陕西渭南人, 硕士, 主管医师, 主要从事环境卫生工作。

【通讯作者】 孟昭伟, E-mail: mzw20442237@163.com。

DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2020.07.029

1 资料来源与方法

1.1 资料来源 2017—2019 年在陕西省全部涉农县(区)辖区设置农村学校饮用水监测点,每个县随机选择 3 所农村学校检测末梢水,其中包括农村饮水安全工程覆盖的学校和采用自建设施供水的学校。于每年 4—6 月枯水期和 7—9 月丰水期分别采集水样,按照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750.5—2006, GB/T 5750.6—2006, GB/T 5750.8—2006)^[4]进行检测分析,通过“全国饮用水水质卫生监测信息系统”收集整理水质检测结果。2017—2019 年共监测农村学校供水工程 697 处,分别在关中平原、陕北高原和秦巴山区采集检测水样 1 128,540 和 630 份,累计分析有效水样 2 298 份。

1.2 方法 陕西省根据地理位置划分为关中平原、陕北高原和陕南秦巴山区,以下简称“关中”“陕北”和“陕南”。按照不同年份和不同区域,参照《生活饮用水卫生标准》^[5](GB 5749—2006)对砷、镉、六价铬、铅、汞等 5 项重金属指标进行评价。

1.3 质量控制 参加水质卫生监测的工作人员由省级疾病预防控制中心统一培训。检测实验室通过计量认证,建立了实验室管理制度,检测仪器、设备经过定期校准,标准品在有效使用期限内。数据全部通过省、市、县三级审核。

1.4 统计分析 通过 Excel 2013 对数据进行整理,使用 SPSS 25.0 进行统计分析。计数资料用百分数表示,采用 χ^2 检验分析百分率之间差异有无统计学意义,采用 Bonferroni 检验水准调整法进行百分率的多重比较($\alpha=0.016\ 9$)。采用线性趋势 χ^2 检验分析重金属指标达标率是否随着时间的推移而变化,不符合正态分布的组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验,采用 Mann-Whitney 检验进行中位数的两两比较,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 农村学校饮用水砷指标检测结果 2017—2019 年陕西省农村学校饮用水砷整体达标率为 98.83%(2 271/2 298),不同年份间水砷达标率差异有统计学意义($\chi^2=13.94, P<0.01$),与 2017 和 2019 年相比,2018 年水砷达标率最低(χ^2 值分别为 11.66, 4.89, P 值均 <0.05)。关中平原、陕北高原和陕南秦巴山区水砷达标率分别为 97.87%, 99.44% 和 100.00%,不同地区间水砷达标率差异有统计学意义($\chi^2=18.09, P<0.01$),与陕北高原和陕南秦巴山区相比,关中平原水砷达标率较低(χ^2 值分别为 5.67, 13.59, P 值均 <0.01)。见表 1。

表 1 陕西省不同区域各年份农村学校饮用水中重金属达标情况							
地区	年份	水样数	砷	镉	铬	铅	汞
关中	2017	346	344(99.42)	346(100.00)	333(96.24)	346(100.00)	346(100.00)
	2018	390	374(95.90)	390(100.00)	382(97.95)	390(100.00)	390(100.00)
	2019	392	386(98.47)	392(100.00)	383(97.70)	392(100.00)	392(100.00)
陕北	2017	178	178(100.00)	176(98.88)	166(93.26)	178(100.00)	178(100.00)
	2018	176	174(98.86)	176(100.00)	160(90.91)	176(100.00)	176(100.00)
	2019	186	185(99.46)	186(100.00)	174(93.55)	186(100.00)	186(100.00)
陕南	2017	200	200(100.00)	200(100.00)	200(100.00)	200(100.00)	200(100.00)
	2018	222	222(100.00)	222(100.00)	222(100.00)	222(100.00)	222(100.00)
	2019	208	208(100.00)	208(100.00)	208(100.00)	208(100.00)	208(100.00)
全省	2017	724	722(99.72)	722(99.72)	699(96.55)	724(100.00)	724(100.00)
	2018	788	770(97.72)	788(100.00)	764(96.95)	788(100.00)	788(100.00)
	2019	786	779(99.11)	786(100.00)	765(97.33)	786(100.00)	786(100.00)

注:()内数字为达标率/%。

全省水砷的平均水平为 0.001 0 mg/L,不同区域间水砷平均水平差异有统计学意义($\chi^2=14.26, P<0.01$),关中平原水砷的平均水平高于秦巴山区($Z=-3.67, P<0.01$)。见表 2。

2.2 农村学校饮用水镉指标检测结果 2017—2019 年陕西省农村学校饮用水镉整体达标率为 99.91%(2 228/2 298),关中平原和秦巴山区的水镉达标率均为 100.00%,陕北高原水镉达标率为 99.63%。2017 年在陕北高原监测 2 份水样镉超标。见表 1。

全省水镉的平均水平为 0.000 3 mg/L,不同区域间水镉平均水平差异有统计学意义($\chi^2=234.27, P<0.01$),秦巴山区水镉平均水平最高,关中平原次之,陕北地区最低(P 值均 <0.01)。见表 2。

2.3 农村学校饮用水六价铬指标检测结果 2017—

2019 年陕西省农村学校饮用水六价铬整体达标率为 96.95%(2 228/2 298),不同年份间水中六价铬达标率差异无统计学意义($\chi^2=0.78, P=0.67$);不同区域间水中六价铬达标率差异有统计学意义($\chi^2=55.14, P<0.01$),陕南秦巴山区六价铬达标率最高,关中平原次之,陕北高原最低(χ^2 值分别为 20.48, 17.05, 48.32, $P<0.016\ 9$)。见表 1。

全省六价铬的平均水平为 0.004 0 mg/L,不同区域间水中六价铬平均水平差异有统计学意义($\chi^2=531.47, P<0.01$),陕北高原水中六价铬平均水平最高,关中平原次之,秦巴山区最低($P<0.01$)。见表 2。

2.4 农村学校饮用水铅指标检测结果 2017—2019 年陕西省农村学校饮用水铅整体达标率为 100.00%(2 228/2 298),关中平原、陕北高原和秦巴山区的水

铅达标率均为 100.00%。见表 1。

全省水铅的平均水平为 0.001 3 mg/L,不同区域间水铅平均水平差异有统计学意义 ($\chi^2 = 80.08, P < 0.01$),与陕北高原和秦巴山区相比,关中平原水铅平均水平较低 ($P < 0.01$)。见表 2。

2.5 农村学校饮用水汞指标检测结果 2017—2019 年陕西省农村学校饮用水汞整体达标率为 100.00% (2 228/2 298),关中平原、陕北高原和秦巴山区的水汞达标率均为 100.00%。见表 1。

全省水汞的平均水平为 0.000 1 mg/L,不同区域间水汞平均水平差异有统计学意义 ($\chi^2 = 35.75, P < 0.01$),关中平原最高,秦巴山区次之,陕北高原最低 ($P < 0.01$)。见表 2。

表 2 陕西省 2017—2019 年不同区域农村学校饮用水中重金属水平/(mg · L⁻¹)

指标	区域	最大值	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅
砷	关中	0.032 0	0.000 5	0.001 0	0.000 5
	陕北	0.014 0	0.000 5	0.001 0	0.004 0
	陕南	0.005 0	0.000 5	0.000 5	0.005 0
	全省	0.032 0	0.000 5	0.001 0	0.005 0
镉	关中	0.005 0	0.000 1	0.000 3	0.002 0
	陕北	0.005 8	0.000 3	0.000 3	0.000 3
	陕南	0.005 0	0.000 3	0.002 0	0.002 5
	全省	0.005 8	0.000 3	0.000 3	0.002 0
铬	关中	0.206 0	0.002 0	0.006 0	0.020 0
	陕北	0.394 0	0.002 0	0.010 7	0.024 0
	陕南	0.039 0	0.002 0	0.002 0	0.002 0
	全省	0.394 0	0.002 0	0.004 0	0.016 3
铅	关中	0.010 0	0.000 5	0.001 3	0.005 0
	陕北	0.009 7	0.001 3	0.002 5	0.002 5
	陕南	0.009 0	0.001 2	0.002 5	0.005 0
	全省	0.010 0	0.000 5	0.001 3	0.005 0
汞	关中	0.001 0	0.000 1	0.000 3	0.000 5
	陕北	0.001 0	0.000 1	0.000 1	0.000 3
	陕南	0.000 9	0.000 1	0.000 1	0.000 5
	全省	0.001 0	0.000 1	0.000 1	0.000 5

3 讨论

调查显示,陕西省砷整体达标率为 98.83%,与陕北高原和陕南秦巴山区相比,关中平原水砷达标率较低,且连续多年出现砷超标水样,可能与局部地区为传统的砷病区有关。同时在项目开展的土壤重金属监测工作中,也在关中平原发现了砷超标的土壤^[6]。因此,要警惕关中平原砷超标的风险。砷污染物的来源可能与有色金属的开发与冶炼、工业排放废气或煤的燃烧有关^[7]。长期暴露于砷环境或饮用砷超标的水,可能会引发身体多部位癌变,或通过胎盘屏障致出生缺陷等^[8-9]。建议对水源进行排查,识别高砷水源,增设离子交换术和膜技术等特殊除砷工艺^[10],以保障学生用水安全和健康。

陕西省镉整体达标率为 99.91%,仅在陕北高原监测发现 2 份水样镉超标,关中平原和陕南秦巴山区均未发现镉超标水样。虽然陕南秦巴山区镉的达标率为 100.00%,但与其他 2 个区域比较,镉的平均水平最高。水体的镉污染主要来自工业废水和矿石冶炼。镉已被国际癌症研究机构(IARC)列为 I 类致癌物,镉

进入人体后主要引起肾脏和骨骼损伤^[11]。由于镉具有生物富集性、高毒性和持久性等特点,严重危害健康,属于优先控制的重金属污染物^[12]。

陕西省六价铬整体达标率为 96.65%,在本次监测的 5 项指标中达标率最低。达标率陕南秦巴山区>关中平原>陕北高原,除陕南秦巴山区外,关中平原和陕北高原均连续多年出现铬超标水样,平均浓度陕北高原>关中平原>陕南秦巴山区。表明陕北高原和关中平原地区已经受到较为严重的饮水六价铬污染。铬是公认的致癌致突变物质,在体内发挥毒作用的器官主要是肝脏和肾脏^[13-14]。铬超标的原因除与工业废水污染和地质背景有关外,含铬工业废水、地下水在不同岩层的流速和地下水过度开采量等因素,都会引发地下水六价铬污染问题^[15-16]。近年来开发出的多种铬还原的电子供体材料则有更高的去除能力和效率^[17-18]。针对饮用水六价铬超标现状,笔者项目组目前正在关中平原开展六价铬人群健康危害的现状调查,后期将对其健康风险进行评估,提出有效措施应对关中平原和陕北高原的铬污染问题。

全省铅整体达标率为 100.00%,关中平原、陕北高原和陕南秦巴山区未出现铅超标水样,与陕北高原和陕南秦巴山区相比,关中平原铅平均水平较低,陕北高原和陕南秦巴山区汞的平均水平是关中平原的 2 倍。全省铅污染程度较轻。

全省汞整体达标率为 100.00%,关中平原、陕北高原和陕南秦巴山区未出现汞超标水样。平均浓度关中平原>陕南秦巴山区>陕北高原。关中平原汞平均水平是其他 2 个区域的 5 倍。神经系统是汞攻击的主要靶目标,一方面通过血脑屏障损伤中枢神经,另一方面通过胎盘屏障致胎儿全身广泛损伤^[19]。因此,要警惕关中平原可能出现汞超标的风险。

综上所述,陕西省农村学校饮用水重金属指标超标存在明显地域特点,其中六价铬和砷超标较为严重,提示应重点关注陕北高原和关中平原砷、六价铬等重金属对学生健康的危害。其次,还应持续关注局部地区饮用水中镉、汞的平均浓度。建议地方政府组织环保、水利、卫生等相关单位对污染来源和健康风险进行科学研判,必要时应采取切断污染源、更换供水水源或在水厂实施针对性的水处理措施,控制供水的健康风险。

4 参考文献

[1] 侯秀娟,王玉姣,周琴,等.廊坊市各县区生活饮用水中重金属污染物健康风险评价[J].饮料工业,2019,22(4):70-73.

[2] 仇珍珍.洪湖水体中重金属的模糊健康风险评价与管理[D].武汉:中南财经政法大学,2018.

[3] 金银龙.《生活饮用水卫生标准 GB 5749—2006》释义[M].北京:中国标准出版社,2007:1-272.

[4] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.生活饮用水标准检验方法 GB 5750—2006[S].北京:中国标准出版,2007.

(下转第 1071 页)

等有利于视力的发展^[19]; 广西省在 2014 年呈低低聚集, 原因可能是相邻贵州的近视率与其相差较小; 2010 年的天津和新疆与 2014 年的河北呈低高模式, 可能与周边城市的近视率相差较大有关。近视率热点分析结果也支持了局部分析, 但并不是所有“高高”或“低低”聚集地区都是热点或冷点, 可能与周围城市近视率差异较小, 空间溢出性不明显或样本量大小有关^[21]。

本研究具有一定的偏倚, 主要研究空间对近视率的影响, 忽略了近视率的其他影响因素, 如屈光系统的变化^[22]、年龄、性别、睡眠时间^[23]等。本文利用 Arc-GIS 10.2 软件分析近视率的地理分布特征, 可为今后近视率的防控提供一些线索和依据。

4 参考文献

- [1] 董彦会, 刘慧彬, 王政和, 等. 2005—2014 年中国 7~18 岁儿童青少年近视流行状况与变化趋势[J]. 中华预防医学杂志, 2017, 51(4): 285-289. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2017.04.002.
- [2] WU P C, CHUANG M N, CHOI J, et al. Update in myopia and treatment strategy of atropine use in myopia control[J]. Eye (Lond), 2019, 33(1): 3-13. DOI: 10.1038/s41433-018-0139-7.
- [3] HOLDEN B A, FRICKE T R, WILSON D A, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050[J]. Ophthalmology, 2016; S0161642016000257.
- [4] GRZYBOWSKI A, KANCLERZ P, TSUBOTA K, et al. A review on the epidemiology of myopia in school children worldwide[J]. BMC Ophthalmol, 2020, 20(1): 1-11.
- [5] 樊泽民, 刘立京, 张伟, 等. 教育部落实《综合防控儿童青少年近视实施方案》进展综述[J]. 中国学校卫生, 2019, 40(10): 1449-1452.
- [6] 中国学生体质与健康研究组. 2005 年中国学生体质与健康调研报告[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [7] 中国学生体质与健康研究组. 2010 年中国学生体质与健康调研报告[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [8] 中国学生体质与健康研究组. 2014 年中国学生体质与健康调研报告[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.

- [9] 李冰, 王萍, 谢波文. 江山市 2011—2017 年肺结核流行状况及空间自相关分析[J]. 上海预防医学, 2019(11): 1-4. DOI: 10.19428/j.cnki.sjpm.2019.18763.
- [10] 王玲玲, 张丹丹, 宋玉珍, 等. 北京市小学生视力不良空间自相关分析[J/OL]. [2019-12-06]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1346.r.20190718.1401.056.html.
- [11] 刘湘南, 黄方, 王平. GIS 空间分析原理与方法[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2008: 189-193.
- [12] ZULU L C, KALIPENI E, JOHANNES E. Analyzing spatial clustering and the spatiotemporal nature and trends of HIV/AIDS prevalence using GIS: the case of Malawi, 1994-2010[J]. BMC Infect Dis, 2014, 14(1): 285.
- [13] 王鲁. 山东省中小学生学习健康状况综合评价与空间统计分析研究[D]. 济南: 山东大学, 2018.
- [14] 刘佳帅, 马军, 付连国, 等. 中国汉族中小学生学习近视现状及增长速度数学模型分析[J]. 中国学校卫生, 2013, 34(2): 152-155.
- [15] 唐莹莹, 王建宏, 王新玲. 乌鲁木齐市 7~18 岁学生近视检出现状及趋势分析[J]. 预防医学情报杂志, 2019, 35(9): 1014-1017.
- [16] 季成叶. 中国学生视力不良和疑似近视流行的动态分析[J]. 中国学校卫生, 2008, 29(8): 677-680.
- [17] 修璟威, 刘晓迪, 李望晨, 等. 2012—2017 年中国孕产妇死亡率空间分布特征[J]. 中国妇幼保健, 2019, 34(13): 2905-2907.
- [18] 彭中, 吴学庆, 吴思芮, 等. 2008—2017 年成都市 HIV/AIDS 空间自相关分析[J]. 现代预防医学, 2019, 46(20): 3665-3669.
- [19] 杨慧欣, 赵晨皓, 雒静静, 等. 2011—2018 年我国登革热疫情时间序列分析及空间自相关分析[J]. 中华疾病控制杂志, 2019, 23(10): 1250-1254.
- [20] 祝宪庭, 马家国, 刘凤亭, 等. 2016 年山东省成人高血压患病的空间分布研究[J]. 实用预防医学, 2019, 26(5): 521-524.
- [21] 谢红莉, 谢作措, 叶景, 等. 我国青少年近视现患率及相关因素分析[J]. 中华医学杂志, 2010, 90(7): 439-442. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2010.07.003.
- [22] MATAIA, JYOTI, FRANCIS, et al. Role of age and myopia in simultaneous assessment of corneal and extraocular tissue stiffness by air-puff applanation[J]. J Refr Surg, 2016, 32(7): 486-493.
- [23] 陶然, 温勃, 董彬, 等. 中国汉族 7~18 岁学生睡眠情况与视力不良的关系[J]. 中国学校卫生, 2019, 40(10): 1514-1516, 1520.

收稿日期: 2020-01-18; 修回日期: 2020-02-10

(上接第 1068 页)

- [5] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 生活饮用水卫生标准 GB 5749—2006[S]. 北京: 中国标准出版, 2007.
- [6] 孟昭伟, 郑晶利, 雷佩玉, 等. 陕西省 1 800 份农村土壤样品重金属监测结果分析[J]. 现代预防医学, 2019, 46(24): 4435-4439.
- [7] 孔畅, 杨林生, 虞江萍, 等. 内蒙古某地区饮用水中砷含量与人体暴露及致癌风险分析[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(5): 456-462.
- [8] 曾磊, 汪永萍. 全球两亿人饮用水中砷超标[J]. 生态经济, 2018, 34(11): 6-9.
- [9] 杜晓妍. 长期饮用水中砷暴露对脑皮质和海马 DNA 表观遗传的影响[A]//中国化学会. 第 21 届全国色谱学术报告会及仪器展览会会议论文集, 2017: 1.
- [10] 李莉, 王业耀, 孟凡生. 饮用水中砷去除技术综述[J]. 四川环境, 2008, 27(1): 87-90, 101.
- [11] 杨克政. 环境毒理学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2007: 1-494
- [12] 邵坤, 赵改红, 赵朝辉. 腐植酸改性强化磁铁矿吸附水体中铅镉的

- 实验研究[J]. 岩矿测试, 2019, 38(6): 715-723.
- [13] 张丹梅, 卢世勇, 李雪, 等. 饮水铬暴露对人体肝肾功能及氧化应激影响的调查[J]. 环境卫生学杂志, 2015, 5(1): 51-54.
- [14] 贾欢欢, 曾业文, 罗挺, 等. 不同浓度含铬垫料对小鼠血液学及脏器的毒性观察[J]. 实验动物与比较医学, 2019, 39(6): 454-461.
- [15] 董一鸣, 闫子涵, 张琇琇, 等. 咸阳市地下水重点污染物分布与污染因素分析[J]. 地下水, 2018, 40(6): 80-83.
- [16] 马晓蕾. 地下水过度开采引起六价铬污染危害及治理措施探析[J]. 地下水, 2017, 39(5): 85-87.
- [17] 宋晓俊, 李新勇, 肇启东. 磁性碳材料制备及其对六价铬吸附性能[J]. 大连理工大学学报, 2019, 59(6): 559-566.
- [18] 徐海玉, 张明青, 陈翌昱. 有机凹凸棒石负载纳米零价铁去除水中六价铬[J]. 中国环境科学, 2019, 39(12): 5079-5084.
- [19] 李玄, 王锐, 尹大强. 饮用水汞暴露对小鼠免疫系统的毒性[J]. 环境化学, 2014, 33(9): 1427-1432.

收稿日期: 2020-02-19; 修回日期: 2020-03-20