

2018—2022 年广东省农村饮用水硝酸盐暴露水平分析

黄锦叙¹, 蒋静¹, 许雪丹¹, 陈秋霞¹, 李文洋², 王道钦¹, 陈曦³, 屠鸿薇¹

1. 广东省疾病预防控制中心, 环境与学校卫生所, 广东 广州 511430; 2. 南方医科大学公共卫生学院;
3. 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所, 北京 100021

摘要:目的 分析广东省农村饮用水硝酸盐的人群外暴露水平, 为农村供水安全管理提供技术支撑。方法 对 2018—2022 年广东省农村饮用水供水单位的出厂水和末梢水进行监测, 依据《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2022) 对水质硝酸盐达标情况进行评价。运用 Kolmogorov-Smirnov 检验来判定数据的正态性, 不符合正态分布的数据用中位数描述, 采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法分析不同组间率的差异, Mann-Whitney U 检验用于比较两组间硝酸盐暴露水平差异, Kruskal-Wallis H 检验用于比较多组间硝酸盐暴露水平差异。结果 共监测水样 62 998 份, 总体达标率为 99.52%, 硝酸盐暴露水平为 0.001 ~ 63.80 mg/L, 其在不同年份 ($H=445.586, P<0.01$)、区域 ($H=2\ 050.151, P<0.01$)、水源类型 ($Z=-5.268, P<0.01$)、水样类型 ($Z=-11.888, P<0.05$)、供水能力 ($Z=-33.794, P<0.01$)、水处理方式 ($H=27.750, P<0.01$) 和有无深度处理间 ($Z=-2.121, P<0.05$) 存在显著差异。结论 广东省农村饮用水硝酸盐达标率总体较高, 但需特别关注粤西和粤东部分地区、地下水源、分散式及小型集中式供水的硝酸盐污染, 关注婴幼儿的高暴露风险。

关键词:硝酸盐; 农村饮用水; 暴露水平

中图分类号: R123.1 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2025)03-436-06

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202406146

Analysis of nitrate exposure levels in rural drinking water in Guangdong Province from 2018 to 2022

HUANG Jin-xu*, JIANG Jing, XU Xue-dan, CHEN Qiu-xia, LI Wen-yang, WANG Dao-qin, CHEN Xi, TU Hong-wei

*Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Institute of Environmental and School Health, Guangzhou, Guangdong 511430, China

Abstract: Objective To analyze the external exposure levels of nitrate in rural drinking water in Guangdong Province and provide technical support for the safety management of rural water supply. **Methods** Monitoring was conducted on the finished water and terminal water from rural drinking water supply units in Guangdong Province from 2018 to 2022. The compliance of nitrate levels in water quality was evaluated according to the Standards for Drinking Water Quality (GB 5749-2022). The Kolmogorov-Smirnov test was used to determine the normality of the data. For non-normally distributed data, the median was used for description. The chi-square test or Fisher's exact test was employed to analyze differences in rates between groups. The Mann-Whitney U test was used to compare nitrate exposure levels between two groups, and the Kruskal-Wallis H test was applied for comparisons among multiple groups. **Results** A total of 62 998 water samples were monitored, with an overall compliance rate of 99.52%. The nitrate exposure levels ranged from 0.001 to 63.80 mg/L. Significant differences in nitrate exposure levels were observed across different years ($H=445.586, P<0.01$), regions ($H=2\ 050.151, P<0.01$), water source types ($Z=-5.268, P<0.01$), sample types ($Z=-11.888, P<0.05$), water supply capacities ($Z=-33.794, P<0.01$), water treatment methods ($H=27.750, P<0.01$), and the presence or absence of advanced treatment ($Z=-2.121, P<0.05$). **Conclusion** The overall compliance rate of nitrate levels in rural drinking water in Guangdong Province is relatively high. However, special attention should be paid to nitrate pollution in certain areas of western and eastern Guangdong, groundwater sources, decentralized and small-scale centralized water supplies, as well as the high exposure risks for infants and young children.

Keywords: Nitrate; Rural drinking water; Exposure level

基金项目: 国家自然科学基金项目(82003487); 广东省医学科研基金(C2023003)

作者简介: 黄锦叙(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 环境卫生学

通信作者: 陈曦, E-mail: chenxi@nieh.chinacdc.cn; 屠鸿薇, E-mail: amilycandy@foxmail.com; 陈曦与屠鸿薇为共同通信作者

随着人们生活水平的不断提高, 农村饮用水中的硝酸盐越来越受到关注。作为饮用水中一种关键的毒理指标, 硝酸盐的过量摄入会对人类健康构成严峻威胁, 特别是对婴幼儿群体, 可能诱发蓝婴综合症等严重疾病。尽管已有研究关注广东省局部地区地下水硝

酸盐的含量、来源和影响,但未见全省农村饮用水硝酸盐暴露水平分析的报道,本文首次从不同水源、年份、区域、水期、水样类型、供水方式、供水能力、水处理工艺、是否深度处理等不同角度,对 2018—2022 年广东省农村饮用水中硝酸盐暴露水平进行分析。本研究的创新性在于多层次暴露风险的深入分析,旨在为农村供水安全管理提供技术支撑。

1 对象与方法

1.1 检测对象和方法 2018—2022 年每季度(全年分枯水期、丰水期)在广东省全部乡镇每个乡镇采集 2~4 个份生活饮用水,水样类型包括出厂水和末梢水。按照《生活饮用水卫生标准检验方法》(GB/T5750—2006)^[1]开展对水样进行采集、保存、运输和检测,采用离子色谱进行分析。

1.2 达标情况评价方法 按照现行《生活饮用水卫生标准》(GB 5749)^[2]规定的硝酸盐(以 N 计)不超过 10 mg/L 判定为达标,超过 10 mg/L 判定为不达标。

1.3 统计分析 数据分析采用了 SPSS 21.0 软件。使用 Kolmogorov-Smirnov 检验数据的正态性,采用中位数对不符合正态分布的数据进行统计描述。使用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法分析不同组间率的差异。使用 Mann-Whitney *U* 检验比较两组间硝酸盐暴露水平的差异,使用 Kruskal-Wallis *H* 检验比较多组间硝酸盐暴露水平的差异,双侧检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 饮用水中硝酸盐暴露水平 2018—2022 年共监测水样 62 998 份,饮用水中硝酸盐总体达标率为 99.52%,人群总体暴露水平为 0.001~63.80 mg/L。根据 Kolmogorov-Smirnov 正态性检验结果,硝酸盐含量的分布显著偏离正态分布($P<0.05$),表明其变异性不符合正态分布的假设,全省农村饮用水硝酸盐(以 N 计)中位数为 0.73 mg/L,见表 1、2。

2.2 不同年份硝酸盐的暴露水平 2018—2022 年水质硝酸盐达标率范围为 99.09%~99.70%,年份间硝酸盐达标率的比较显示,存在显著的统计学差异($P<0.01$),年份间硝酸盐的达标率差异有统计学意义($P<0.01$),无明显的上升或下降趋势。进一步进行年份间达标率间两两比较,2018 与 2019 年、2019 与 2020 年、2019 与 2021 年、2019 与 2022 年、2021 与 2022 年硝酸盐达标率的差异均具有统计学上的显著性(P 值均 <0.05),其中 2019 年水质硝酸盐达标率(99.09%)最低,2022 年水质硝酸盐达标率(99.70%)最高,其余年份间硝酸盐达标率差异均无统计学意义(P 值均 >0.05)。本研究中,不同年度间的硝酸盐暴露水平分布存在显著的统计学差异($P<0.01$)。进一

步进行多重比较分析显示,2018 与 2019 年、2021 与 2022 年的硝酸盐暴露水平分布差异在统计学上不显著($P>0.05$),其余各年间差异均有统计学意义(P 值均 <0.05),其中 2019 年的硝酸盐的暴露水平最高,中位数为 0.78 mg/L,见表 1、2。

2.3 不同区域硝酸盐的暴露水平 广东省珠三角地区、粤东地区、粤西和粤北地区监测水样分别为 17 758、9 419、14 416 和 21 405 份,地区水质硝酸盐达标率范围为 98.54%~99.99%,达标率差异有统计学意义($P<0.01$)。进一步进行多重比较,粤东地区与粤北地区间硝酸盐达标率的差异无统计学意义($P>0.05$),其余地区之间差异显示出显著的统计学差异(P 值均 <0.01)。不同区域间的硝酸盐暴露水平的分布差异表现出显著的统计学意义($P<0.01$),其中珠三角水质硝酸盐达标率(99.99%)最高,粤西水质硝酸盐达标率(98.54%)最低。通过应用 Mann-Whitney *U* 检验对不同地区间的硝酸盐暴露水平进行多重比较分析,结果为粤西地区 $>$ 粤东地区 $>$ 珠三角地区 $>$ 粤北地区,表明地区差异具有显著的统计学意义(P 值均 <0.01),见表 1、2。

2.4 不同水期硝酸盐的暴露水平 丰水期、枯水期监测水样分别为 31 408 和 31 590 份,水质硝酸盐达标率分别为 99.54%、99.49%,两个水期硝酸盐达标率和暴露水平分布差异不具有统计学意义(P 值均 >0.05),说明硝酸盐暴露水平与水期无关。见表 1、2。

2.5 不同水源硝酸盐的暴露水平 地表水、地下水分别监测 50 458 和 12 540 份,硝酸盐达标率为地表水 99.89% $>$ 地下水 98.02% ($P<0.01$);地下水硝酸盐的暴露水平分布均大于地表水($P<0.01$)。见表 1、2。

2.6 不同水样类型硝酸盐的暴露水平 出厂水、末梢水监测水样分别为 19 884 和 43 114 份,水质硝酸盐达标率分别为 99.50%、99.52%,两种水样类型间达标率的差异不具有统计学意义($P>0.05$);末梢水硝酸盐的暴露水平分布均大于出厂水($P<0.05$)。见表 1、2。

2.7 不同供水能力硝酸盐的暴露水平 小型、大型集中式供水监测水样分别为 55 023 和 7 975 份,水质硝酸盐达标率分别为 99.46%、99.90%,两者间差异有统计学意义($P<0.01$);两者的硝酸盐的暴露水平分布均为小型集中式供水 $>$ 大型集中式供水($P<0.01$)。见表 1、2。

2.8 不同水处理方式硝酸盐的暴露水平 集中式供水常规处理(含混凝、沉淀、过滤、消毒)、沉淀过滤、仅消毒、未处理和分散式供水(含人力取水、手压泵、机器取水)监测水样分别为 39 581、18 210、1 087、3 891 和 229 份,不同水处理方式间硝酸盐达标率存

在差异($P < 0.01$),水质硝酸盐达标率范围为 88.65% ~ 99.92%。进一步进行多重比较,常规处理与仅消毒、沉淀过滤和仅消毒间差异无统计学意义(P 值均 < 0.05),其中分散式供水水质硝酸盐达标率最低,为 88.65%。不同水处理方式间硝酸盐的暴露水平分布存在差异($P < 0.01$)。采用 Mann-Whitney U 检验进行进一步多重比较发现,沉淀过滤与仅消毒间这两种水处理方式间硝酸盐的暴露水平分布无差异(P 值均 > 0.05),其中分散式供水的硝酸盐暴露水平最高,其硝酸盐中位数为 2.20 mg/L。见表 1、2。

2.9 有无深度处理硝酸盐的暴露水平 为了进一步提高饮用水的质量,部分农村大型水厂在制水常规工艺(混凝、沉淀、过滤和消毒)的基础上,采用活性炭等方式对饮用水中的污染物进行深度处理。深度处理和无深度处理监测水样分别为 1 290 和 62 869 份,硝酸盐达标率分别为 100%和 99.51%,两者间的差异不具有统计学意义($P > 0.05$)。硝酸盐的暴露水平分布在有无深度处理间均存在差异($P < 0.05$),为无深度处理 $>$ 有深度处理。见表 1、2。

表 1 2018—2022 年广东省农村地区饮用水硝酸盐达标情况

Table 1 The compliance status of nitrate in drinking water in the rural areas of Guangdong Province from 2018 to 2022

分组	水样份数	达标率(%)	供水点数量	超标供水点比例(%)	χ^2 值	P 值
年份(年)						
2018	7 549	99.48	1 913	1.31	40.554	< 0.01
2019	7 470	99.09	1 792	2.12		
2020	17 274	99.58	2 117	1.51		
2021	15 293	99.48	1 878	2.24		
2022	15 412	99.7	1 821	1.59		
区域						
粤北	21 405	99.66	1 043	0.58	389.853	< 0.01
粤东	9 419	99.78	1 463	3.08		
粤西	14 416	98.54	1 509	6.23		
珠三角	17 758	99.99	1 044	0.10		
水期						
枯水期	31 590	99.49	4 815	1.95	0.856	> 0.05
丰水期	31 408	99.54	4 708	1.76		
水源类型						
地表水	50 458	99.89	3 360	0.98	724.864	< 0.01
地下水	12 540	98.02	1 747	6.47		
水样类型						
出厂水	19 884	99.5	3 609	1.86	0.213	> 0.05
末梢水	43 114	99.52	4 969	2.76		
供水能力						
小型集中式供水	55 023	99.46	4 727	2.98	27.92	< 0.01
大型集中式供水	7 975	99.9	670	0.75		
水处理方式						
常规处理	39 581	99.92	2 046	0.73	1 288.78	< 0.01
沉淀过滤	18 210	99.33	2 257	2.70		
仅消毒	1 087	99.91	195	0.51		
未处理	3 891	96.84	758	6.46		
分散式取水	229	88.65	93	21.51		
深度处理						
无深度处理	62 869	99.51	5 056	2.89	0.025	> 0.05
有深度处理	1 290	100	50	0.00		
合计	62 998	99.52	5 056	2.89		

3 讨论

本研究结果显示,2018—2022 年广东省农村饮用水水质硝酸盐暴露水平范围为 0.001 ~ 63.80 mg/L,

总体达标率为 99.52%,与同期北京市(2017—2020 年北京市密云区农村,达标率 93.75%)、大连市(2014—2019 年全市 6 个涉农市区县,达标率

表 2 2018—2022 年广东省农村地区饮用水硝酸盐暴露水平

Table 2 Nitrate exposure levels in drinking water in the rural areas of Guangdong Province from 2018 to 2022

类别	水样份数	暴露水平 (mg/L)			Z 值 /H 值	P 值
		95%CI	范围	M(IQR)		
年份(年)						
2018	7 549	1.27 ~ 1.35	0 ~ 63.80	0.75 (1.50)	445.586	<0.01
2019	7 470	1.29 ~ 1.38	0 ~ 27.00	0.78 (1.37)		
2020	17 274	1.15 ~ 1.98	0 ~ 26.68	0.67 (1.54)		
2021	15 293	1.25 ~ 1.30	0 ~ 24.92	0.76 (1.43)		
2022	15 412	1.19 ~ 1.24	0 ~ 21.09	0.74 (1.42)		
区域						
粤北	21 405	1.04 ~ 1.08	0 ~ 20.61	0.54 (1.10)	205 0.151	<0.01
粤东	9 419	1.08 ~ 1.10	0 ~ 21.09	1.00 (1.25)		
粤西	14 416	1.64 ~ 1.72	0 ~ 18.09	1.05 (1.65)		
珠三角	17 758	1.38 ~ 1.46	0 ~ 63.80	0.60 (1.72)		
水期						
枯水期	31 590	1.23 ~ 1.27	0 ~ 27.00	0.71 (1.38)	-1.240	>0.05
丰水期	31 408	1.22 ~ 1.26	0 ~ 63.80	0.75 (1.35)		
水源类型						
出厂水	19 884	1.14 ~ 1.19	0 ~ 26.50	0.65 (1.27)	-11.888	<0.01
末梢水	43 114	1.26 ~ 1.30	0 ~ 63.80	0.78 (1.41)		
供水能力						
小型集中式供水	55 023	1.38 ~ 1.44	0 ~ 21.09	1.26 (1.37)	-33.794	<0.01
大型集中式供水	7 975	1.20 ~ 1.23	0 ~ 63.80	0.68 (1.34)		
水处理方式						
常规处理	39 581	1.20 ~ 1.23	0 ~ 21.09	0.85 (1.39)	27.750	<0.01
沉淀过滤	18 210	1.08 ~ 1.32	0 ~ 63.80	0.50 (1.20)		
仅消毒	1 087	1.11 ~ 1.34	0 ~ 14.24	0.53 (1.14)		
未处理	3 891	1.95 ~ 2.14	0 ~ 27.00	0.95 (2.05)		
分散式取水	229	3.42 ~ 4.76	0 ~ 26.28	2.20 (4.40)		
深度处理						
无深度处理	62 869	1.23 ~ 1.26	0 ~ 63.80	0.73 (1.36)	-2.121	<0.05
有深度处理	1 290	1.01 ~ 1.43	0 ~ 3.79	1.25 (1.54)		
合计	62 998	1.23 ~ 1.26	0 ~ 63.80	0.73 (1.36)		

87.72%)、淄博市(2016—2020 年全市 3 个涉农市辖区, 达标率 89.24%)、晋中市(晋中市 2018 年—2020 年农村, 达标率 98.91%)、宝鸡市(2018—2020 年宝鸡市, 达标率 99.46%)、辽宁省(2015—2019 年, 达标率 94.20%)、陕西省(2018—2020 全省, 达标率 98.91%)、河北省(2016—2029 年河北省全省农村, 达标率 95%)、武汉市(2015—2018 年 4 个涉农市辖区, 达标率 99.88%) 农村饮用水达标率调查结果持平^[3-12], 但硝酸盐的暴露水平在不同年份、区域、水源类型、水处理方式、供水能力和有无深度处理间存在显著差异 ($P<0.05$), 存在超标情况, 提示硝酸盐氮污染持续监测的重要性。这一发现对于未来的水质监控和管理具有重要的指导意义。

2018—2022 年广东省农村地区饮用水中硝酸盐的暴露水平在不同年份之间并未表现出明显的升高或下降趋势, 总体上保持稳定, 这可能反映了广东省在农村饮用水水质管理方面的持续努力和有效控制。从地理分布角度来看, 农村饮用水硝酸盐超标率从高到低的城市依次为 ZJ 市 3.47% (185/5 328)、YJ 市 0.79% (15/1 888)、HY 市 0.70% (41/5 883)、CZ 市 0.65% (15/2 299)、MZ 市 0.47% (24/5 119)、MM 市 0.23% (10/4 307)、JY 市 0.15% (5/3 244)、SG 市 0.08% (5/6 065)、QY 市 0.07% (3/4 338)、ST 市 0.07% (1/1 532)、FS 市 0.06% (1/1 644)。粤西地区饮用水中硝酸盐暴露水平最高, 其次是粤东地区, 而珠三角与粤北地区相对较低。值得注意的是, 粤西 ZJ 市超标供水

点数占全省超标供水点数的 51.37%(75/146), 超标水样数占全省超标水样数的 60.66%(185/305), 约有 3 万居民受到硝酸盐污染威胁。硝酸盐暴露水平最高(63.80 mg/L)的超标供水点也在 ZJ 市, 该供水点以地下水为水源, 采用沉淀、过滤处理工艺, 供水能力 640 吨/d, 覆盖人口 3 200 人, 现场调查发现硝酸盐超标是由输水管网破损, 周边生活污水进入管网引起, 随后当地有关部门立即对管网进行修复。高浓度的硝酸盐可能会导致 6 个月以下婴儿患高铁血红蛋白血症或“蓝婴”综合征, 儿童长期饮用硝酸盐含量高的水, 则听力和视觉的条件反射都会比较迟钝^[13]。因此, 粤西和粤东地区(尤其是 ZJ 市)的农村饮用水硝酸盐污染问题亟需政府相关部门的密切关注, 通过防护水源污染、更改水源或完善水处理工艺等方式控制硝酸盐污染^[14-15], 保障当地居民的饮水安全。

此外, 广东省农村地下水中的硝酸盐暴露水平普遍超过地表水, 尤其值得关注的是, 在所有超标水样中, 81.31%(248/305)水样来源于地下水, 有报道称广东地区的地下水受到了硝酸盐污染^[16]。硝酸盐在地下水中是常见的不达标化学污染物之一, 粪便污水和农业施肥是地下水中硝酸盐不达标的主要原因^[17-18], 应采取措施防止生活污水和农业肥料污染地下水源。本研究中, 分散式供水硝酸盐超标的比例高达 21.51%, 暴露水平显著高于其他水处理方式, 这与分散式供水多取自地下水有关。另外, 采用常规处理工艺处理硝酸盐超标的水样仅占 10.82%(33/305), 常规处理工艺对硝酸盐可能具有一定的去除效果。小型集中式供水的硝酸盐暴露水平高于大型集中式供水, 这与后者通常采用更为先进的常规处理工艺和以地表水为水源有关, 本研究所有超标水样中, 97.38%(297/305)来源于小型集中式供水。因此, 应考虑逐步取消分散式供水和小型集中式供水, 改为采用常规处理工艺的大型集中式供水, 以降低硝酸盐的暴露风险。此外, 与深度处理相比, 无深度处理的水样硝酸盐暴露水平较高, 提示有条件的地区可以采用深度处理去除饮用水中硝酸盐^[19], 提高水质安全性。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5750.1-2006-GB/T 5750.13-2006 生活饮用水标准检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 5750.1-2006-GB/T 5750.13-2006 Standard for drinking water [S]. Beijing: Standards Press Of China, 2006.(In Chinese)
- [2] 中华人民共和国卫生健康委员会. GB 5749-2022 生活饮用水卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.

Ministry of Health of the PR China. GB 5749-2022 Standards for drinking water quality [S]. Beijing: Standards Press of China, 2022. (In Chinese)

- [3] 刘芳盈, 赵志强, 孟超, 等. 淄博市生活饮用水中硝酸盐暴露及其健康风险的时空分布特征[J]. 山东大学学报: 医学版, 2021, 59(12): 50-57.
Liu FY, Zhao ZQ, Meng C, et al. Spatiotemporal distribution characteristics of nitrates and health risks in drinking water in Zibo City [J]. Journal of Shandong University (Health Science), 2021, 59(12): 50-57.(In Chinese)
- [4] 程俊丽, 孙瑞贞, 郝志红. 晋中市 2018 年—2020 年农村生活饮用水水质不合格指标卫生学分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2022, 32(7): 880-884.
Cheng JL, Sun RZ, Hao ZH. Hygienic analysis of unqualified indicators of rural drinking water quality in Jinzhong City from 2018 to 2020 [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2022, 32(7): 880-884.(In Chinese)
- [5] 雷佩玉, 郑晶利, 贾茹, 等. 陕西省农村饮用水硝酸盐氮污染水平及健康风险评估[J]. 首都公共卫生, 2022, 16(6): 342-345.
Lei PY, Zheng JL, Jia R, et al. Assessment of nitrate Nitrogen pollution levels and health risks in rural drinking water in Shaanxi province[J]. Capital Journal of Public Health, 2022, 16(6): 342-345. (In Chinese)
- [6] 李军, 宋丽扬, 滕克强. 北京市密云区农村饮用水中硝酸盐分布特征调查分析[J]. 智慧健康, 2021, 7(19): 191-193.
Li J, Song LY, Teng KQ. Investigation and analysis of distribution characteristics of nitrate in rural drinking water in Miyun district of Beijing[J]. Smart Healthcare, 2021, 7(19): 191-193.(In Chinese)
- [7] 敬燕燕, 张来颖, 武鑫, 等. 北京市某区中小学校饮用水水质风险调查研究[J]. 中国卫生工程学, 2021, 20(4): 538-541.
Jing YY, Zhang LY, Wu X, et al. Investigation and study on drinking water pollution risk of primary and middle school in a district of Beijing [J]. Chinese Journal of Public Health Engineering, 2021, 20(4): 538-541.(In Chinese)
- [8] 丁婷婷, 王苏玮, 安玉琴, 等. 2018—2020 年河北省农村饮用水水质分析[J]. 环境卫生学杂志, 2022, 12(11): 811-814, 820.
Ding TT, Wang SW, An YQ, et al. Analysis of drinking water quality in rural areas of Hebei Province, China, 2018—2020 [J]. Journal of Environmental Hygiene, 2022, 12(11): 811-814, 820.(In Chinese)
- [9] 陈喆霄, 武永平, 张宝芳, 等. 2018—2020 年宝鸡市农村生活饮用水监测结果分析[J]. 职业与健康, 2022, 38(5): 659-662.
Chen ZX, Wu YP, Zhang BF, et al. Analysis on monitoring results of rural drinking water in Baoji City from 2018-2020 [J]. Occupation and Health, 2022, 38(5): 659-662.(In Chinese)
- [10] 李继芳, 王舒, 崔仲明. 2015—2019 年辽宁省农村饮用水硝酸盐污染状况及分布特征[J]. 职业与健康, 2021, 37(5): 665-668, 673.
Li JF, Wang S, Cui ZM. Nitrate pollution and distribution characteristics of rural drinking water in Liaoning Province from 2015-2019[J]. Occupation and Health, 2021, 37(5): 665-668, 673. (In Chinese)
- [11] 李程程, 黄丹, 徐振杰. 2014—2019 年大连市农村饮用水硝酸盐含量监测及健康风险评估[J]. 预防医学情报杂志, 2022, 38(4): 497-501.
Li CC, Huang D, Xu ZJ. Nitrate monitoring and health risk

(下转第 470 页)

- [21] 刘杏,周玉梅,徐惠丽,等. 中青年重症脑卒中患者主要照顾者预期性悲伤影响因素的结构方程模型构建[J]. 中国康复理论与实践,2024,30(4):454-461.
Liu X, Zhou YM, Xu HL, et al. Structural equation model of influencing factors of anticipatory grief among main caregivers of young and middle-aged patients with severe stroke [J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2024, 30 (4): 454-461.(In Chinese)
- [22] 黎娟娟,黎文华. 无家何以育:破解青年低生育率的家庭路径[J]. 中国青年研究,2024(6):52-59, 51.
Li JJ, Li WH. How to have children without a family: The family path to cracking the low fertility rate of young people [J]. China Youth Study, 2024, (6): 52-59, 51.(In Chinese)
- [23] 杨凡,郭品锐,刘甲楠. 中国不婚、不育和少育的状况、影响因素与政策应对——中国不婚不育少育群体专项调查主要数据分析[J]. 人口研究,2024,48(2):30-43.
Yang F, Guo PR, Liu JN. The situation, influencing factors, and policy responses to singlehood, childlessness, and low fertility in China: findings from a specialized survey [J]. Population Research, 2024, 48(2): 30-43.(In Chinese)
- [24] 乐茵,杨昕. 夫妻生育分歧对家庭生育行为的影响研究——解释生育意愿和生育行为偏离的新视角[J]. 人口学刊,2023,45(4):30-40.
Yue H, Yang X. The impact of fertility disagreement on behavior of couples: a new perspective to explain the deviation between fertility desire and behavior [J]. Population Journal, 2023, 45 (4): 30-40.(In Chinese)
- [25] 王金营,张龙飞. 生育率回升的公共政策:约束、激励和扶持[J]. 人口与发展,2024,30(1):2-12.
Wang JY, Zhang LF. Public policies for fertility recovery: constraints, incentives and support[J]. Population and Development, 2024, 30(1): 2-12.(In Chinese)

收稿日期:2024-07-27

(上接第 440 页)

- assessment of drinking water in rural areas of Dalian from 2014 to 2019 [J]. Journal of Preventive Medicine Information, 2022, 38(4): 497-501.(In Chinese)
- [12] 孙言凤,刘俊玲,王怀记,等. 2015-2018 年武汉市农村饮用水硝酸盐和氟化物暴露水平评价[J]. 现代预防医学,2020,47(10): 1888-1891.
Sun YF, Liu JL, Wang HJ, et al. Assessment of nitrate and fluoride exposure and health risk in rural Wuhan, China, 2015-2018 [J]. Modern preventive medicine, 2020, 47(10): 1888-1891.(In Chinese)
- [13] 梁国庆,李书田,译. 硝酸盐与人类健康[M]. 北京:中国农业出版社,2005.
Liang GQ, Li ST. Nitrates and human health [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005.(In Chinese)
- [14] 倪亚杰,解名环,何英华. 吉林省某市地下水硝酸盐污染情况调查[J]. 中国卫生工程学,2021,20(5):716-718.
Ni YJ, Xie MH, He YH. Study of nitrate contamination of groundwater of a city in Jilin province [J]. Chinese Journal of Public Health Engineering, 2021, 20(5): 716-718.(In Chinese)
- [15] 李继芳,王舒,崔仲明. 2015-2019 年辽宁省农村饮用水硝酸盐污染状况及分布特征 [J]. 职业与健康,2021,37(5): 665-668, 673.
Li JF, Wang S, Cui ZM. Nitrate pollution status and distribution characteristics of rural drinking water in Liaoning province from 2015 to 2019 [J]. Occupational and Environmental Health, 2021, 37 (5): 665-668, 673.(In Chinese)
- [16] Zhai YZ, Lei Y, Wu J, et al. Does the groundwater nitrate pollution in China pose a risk to human health? A critical review of published data[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2017, 24(4): 3640-3653.
- [17] 涂春霖,陈庆松,尹林虎,等. 我国地下水硝酸盐污染及源解析研究进展[J]. 环境科学,2024,45(6):3129-3141.
Tu CL, Chen QS, Yin LH, et al. Research advances of groundwater nitrate pollution and source apportionment in China [J]. Environmental Science, 2024, 45(6): 3129-3141.(In Chinese)
- [18] 申文超. 基于随机森林法的某平原区地下水硝酸盐污染风险评估与防治分区研究[D]. 长春:吉林大学,2024.
Shen WC. Groundwater nitrate pollution risk assessment and remediation zoning study based on random forest method in a plain area[D]. Changchun: Jilin University, 2024.(In Chinese)
- [19] 陈诗琦,刘成,黄俊亮,等. XC 水厂硝酸盐去除应急工程实例[J]. 净水技术,2024,43(6):89-94, 126.
Chen SQ, Liu C, Huang JL, et al. XC Water plant nitrate removal emergency engineering case study[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(6): 89-94, 126.(In Chinese)

收稿日期:2024-06-12