

2015—2019 年湖南省洞庭湖区饮用水中氨氮水平及其影响因素分析

张杏娥, 黄涛, 周纯良, 吕玲双

湖南省疾病预防控制中心环境与健康科, 湖南 长沙 410005

摘要: **目的** 了解湖南省洞庭湖区饮用水中氨氮含量水平及其影响因素。 **方法** 利用 2015—2019 年湖南省洞庭湖区生活饮用水水质监测网络直报数据, 通过比较不同时间、采样类型、水源类型、供水方式、水样类型的氨氮含量, 分析洞庭湖区饮用水中氨氮含量及其影响因素。 **结果** 2015—2019 年湖南省洞庭湖区氨氮浓度中位数为 0.040 (0.010, 0.100) mg/L, 总合格率为 98.54%, 不同年份间氨氮合格率差异有统计学意义 ($\chi^2 = 19.724, P = 0.001$), 其中 2015—2018 年呈上升趋势 ($\chi^2_{趋势} = 16.477, P < 0.001$)。与农村饮用水比较, 城市饮用水氨氮浓度较低 ($Z = -107.403, P < 0.001$), 合格率较高 ($\chi^2 = 16\ 136.000, P < 0.001$)。不同水源类型、供水方式和水样类型的饮用水中氨氮浓度和合格率比较, 差异均有统计学意义 ($P < 0.001$); 多因素 logistic 逐步回归分析结果表明, 农村水 ($OR = 7.569, 95\% CI: 1.008 \sim 56.864$)、地下水 ($OR = 4.702, 95\% CI: 2.397 \sim 9.224$) 及分散式供水 ($OR = 6.28, 95\% CI: 2.251 \sim 17.519$) 是湖南省洞庭湖区饮用水中氨氮超标的危险因素。 **结论** 2015—2019 年湖南省洞庭湖区饮用水中氨氮平均浓度符合生活饮用水中氨氮限值标准, 有时间性差异, 采样类型、水源类型和供水方式均是其影响因素。

关键词: 洞庭湖区; 饮用水; 氨氮; 影响因素

中图分类号: R123.9 文献标识码: A 文章编号: 1006-3110(2021)11-1336-04 DOI: 10.3969/j.issn.1006-3110.2021.11.014

Ammonia nitrogen concentration and its influencing factors in drinking water in Dongting Lake area in Hunan Province, 2015–2019

ZHANG Xing-e, HUANG Tao, ZHOU Chun-liang, LYU Ling-shuang

Department of Environment and Health, Hunan Provincial Center for Disease Control and Prevention, Changsha, Hunan 410005, China

Author contributions: ZHANG Xing-e and HUANG Tao contributed equally to this paper

Corresponding author: ZHOU Chun-liang, E-mail: hncdc4305761@sina.com

Abstract: **Objective** To investigate the concentration of ammonia nitrogen and its influencing factors in drinking water in Dongting Lake area in Hunan Province. **Methods** Based on the data about drinking water in Dongting Lake area in Hunan Province during 2015–2019 and directly reported by Hunan Drinking Water Quality Monitoring Network, we analyzed the concentration of ammonia nitrogen and its influencing factors in drinking water in Dongting Lake area through comparing ammonia nitrogen concentration of water samples collected from different years, sampling types, water sources, water supply types and water types. **Results** The median of ammonia nitrogen concentration in drinking water in Dongting Lake area in Hunan Province during 2015–2019 was 0.040 (0.010, 0.100) mg/L, with a total qualified rate of 98.54%. The qualified rates in different years showed statistically significant differences ($\chi^2 = 19.724, P = 0.001$), with an increased trend from 2015 to 2018 ($\chi^2_{trend} = 16.477, P < 0.001$). Compared with the rural drinking water, the concentration of ammonia nitrogen was lower in the urban drinking water ($Z = -107.403, P < 0.001$), but the qualified rate was higher in the urban drinking water ($\chi^2 = 16\ 136.000, P < 0.001$). There were statistically significant differences in the concentration of ammonia nitrogen and the qualified rate in drinking water from different water sources, water supply types and water types (all $P < 0.001$). The results of multivariate logistic stepwise regression analysis revealed that rural water ($OR = 7.569, 95\% CI: 1.008 \sim 56.864$), underground water ($OR = 4.702, 95\% CI: 2.397 \sim 9.224$) and non-central water supply ($OR = 6.28, 95\% CI: 2.251 \sim 17.519$) were risk factors for the exceeding standard of ammonia nitrogen in drinking water in Dongting Lake area in Hunan Province. **Conclusion** The average concentration of ammonia nitrogen in drinking water in Dongting Lake area in Hunan Province during 2015–2019 met the national standard, with annual differences. Sampling types, water sources and water supply types were all the factors influencing ammonia nitrogen concentration in drinking water.

Keywords: Dongting Lake area; drinking water; ammonia nitrogen; influencing factor

作者简介: 张杏娥 (1986–), 女, 主管医师, 主要从事公共卫生研究工作; 黄涛 (1971–), 男, 副主任医师, 主要从事公共卫生研究工作; 两人同为第一作者。

通信作者: 周纯良, E-mail: hncdc4305761@sina.com。

随着经济的快速发展,工农业废水排放日益增多,我国大部分地表水和地下水受到了不同程度的污染,其中,氨氮是主要的污染物之一^[1-2]。水中的氨氮系含氮有机物在微生物和在有氧作用下分解的中间产物。一般情况下,水中氨氮浓度增高提示水质近期可能受到有机物的污染。洞庭湖是我国第二大淡水湖,作为目前长江中游荆江段唯一与长江干流直接相通的湖泊,其水质的好坏直接影响洞庭湖区乃至长江中下游人民群众的身体健康。有研究显示,氨氮是洞庭湖主要污染物之一^[3-4]。为了解湖南省洞庭湖区生活饮用水中氨氮水平及其影响因素,对 2015—2019 年该地区饮用水中氨氮的监测结果进行了分析。

1 材料与方法

1.1 资料来源 数据来源于“全国饮用水水质卫生监测系统”,从系统中收集 2015—2019 年湖南省洞庭湖区 31 个县市区城乡生活饮用水氨氮监测数据。31 个县市区具体包括:安乡县、常德经济技术开发区、鼎城区、汉寿县、津市市、澧县、临澧县、石门县、桃源县、武陵区、西洞庭管理区、西湖管理区、安化县、大通湖区、赫山区、南县、桃江县、沅江市、资阳区、华容县、君山区、临湘市、汨罗市、平江县、屈原管理区、湘阴县、岳阳经济技术开发区、岳阳楼区、岳阳县、云溪区和望城区。

1.2 方法

1.2.1 监测点的设置 按照 2015—2019 年湖南省城乡饮用水卫生监测工作方案要求设置监测点,城市饮用水监测点的设置覆盖城区内全部的市政供水和部分

自建设施供水,水样类型包括出厂水、末梢水和传统水箱式二次供水。农村饮用水监测点的设置优先选择农村饮水安全集中式供水工程,其次是其他集中式供水和分散式供水,水样类型包括出厂水和末梢水。

1.2.2 水样的采集、保存、运输和检测按照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750-2006)进行。

1.2.3 检测结果按照《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006,以下简称《标准》)进行评价。氨氮的标准限值为 0.5 mg/L。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 20.0 软件进行统计分析。氨氮浓度呈非正态分布,统计描述采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,两样本比较用 Mann-Whitney U 检验,多样本比较用 Kruskal-Wallis H 检验,进一步进行组间两两比较采用 Nemenyi 检验。率和构成比的组间比较采用 χ^2 检验,进一步进行组间两两比较采用 Bofferoni 检验。不同年份间率的变化趋势采用趋势性 χ^2 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本情况 共监测饮用水水样 16 136 份,氨氮浓度中位数为 0.040(0.010,0.100)mg/L,总合格率为 98.54%。不同年份间总的氨氮合格率差异有统计学意义($\chi^2 = 19.724, P = 0.001$),其中 2015—2018 年呈上升趋势($\chi^2_{趋势} = 16.477, P < 0.001$)。

从采样类型来看,与农村饮用水比较,城市饮用水氨氮浓度较低($Z = -107.403, P < 0.001$),合格率较高($\chi^2 = 16\ 136.000, P < 0.001$),见表 1。

表 1 2015—2019 年湖南省洞庭湖区生活饮用水中氨氮监测结果

时间 (年)	农村饮用水			城市饮用水			总计		
	样本数(份)	$M(P_{25}, P_{75})$ (mg/L)	合格率(%)	样本数(份)	$M(P_{25}, P_{75})$ (mg/L)	合格率(%)	样本数(份)	$M(P_{25}, P_{75})$ (mg/L)	合格率(%)
2015	2 393	0.050(0.010,0.120)	97.53	522	0.030(0.010,0.070)	99.81	2 915	0.050(0.010,0.110)	97.94
2016	2 390	0.045(0.010,0.100)	97.99	557	0.036(0.010,0.080)	99.82	2 947	0.040(0.010,0.100)	98.34
2017	2 395	0.040(0.010,0.110)	98.91	574	0.040(0.010,0.054)	100.00	2 969	0.040(0.010,0.090)	99.12
2018	2 131	0.030(0.010,0.110)	98.73	575	0.020(0.010,0.050)	100.00	2 706	0.030(0.010,0.090)	99.00
2019	3 481	0.030(0.010,0.100)	97.90	1 118	0.030(0.010,0.050)	100.00	4 599	0.030(0.010,0.090)	98.41
合计	12 790	0.040(0.010,0.110)	98.18	3 346	0.030(0.010,0.050)	99.94	16 136	0.040(0.010,0.100)	98.54

2.2 不同水源类型饮用水中氨氮水平 不同水源类型的饮用水中氨氮浓度和合格率比较,差异均有统计学意义($\chi^2 = 501.651, P < 0.001; \chi^2 = 232.722, P < 0.001$)。与地下水相比,以地表水为水源的水样中氨氮平均浓度较低($Z = -13.166, P < 0.001$),合格率较高($\chi^2 = 179.806, P < 0.001$),其中以浅井为水源的水样氨

氮平均浓度最高,其次为深井,二者间差异无统计学意义($\chi^2 = -235.277, P = 0.378$),溪水最低。以地下水为水源的城市饮用水氨氮合格率高于农村饮用水($\chi^2 = 6.772, P = 0.009$),以地表水为水源的城市饮用水氨氮平均浓度低于农村饮用水($Z = -11.243, P < 0.001$),合格率高于农村饮用水($\chi^2 = 13.668, P < 0.001$)。见表 2。

表 2 不同水源类型的饮用水中氨氮分析

水源 类型	农村饮用水			城市饮用水			总计		
	样本数(份)	$M(P_{25},P_{75})$ (mg/L)	合格率(%)	样本数(份)	$M(P_{25},P_{75})$ (mg/L)	合格率(%)	样本数(份)	$M(P_{25},P_{75})$ (mg/L)	合格率(%)
地表水	6 137	0.040(0.010,0.090)	99.48	3 065	0.030(0.010,0.050)	99.97	9 202	0.030(0.010,0.080)	99.64
池塘	18	0.040(0.010,0.060)	100.00	—	—	—	18	0.040(0.010,0.060)	100.00
湖泊	32	0.060(0.020,0.103)	100.00	2 101	0.030(0.010,0.123)	100.00	50	0.035(0.019,0.113)	100.00
江河	1 380	0.021(0.010,0.070)	98.77	918	0.028(0.010,0.050)	99.95	3 481	0.025(0.010,0.050)	99.48
水库	3 857	0.050(0.010,0.100)	99.61	28	0.030(0.010,0.080)	100.00	4 775	0.040(0.010,0.100)	99.69
溪水	850	0.010(0.010,0.070)	100.00	8	0.010(0.010,0.049)	100.00	878	0.010(0.010,0.068)	100.00
地下水	6 653	0.050(0.010,0.130)	96.98	281	0.050(0.010,0.090)	99.64	6 934	0.050(0.010,0.123)	97.09
浅井	1 564	0.050(0.020,0.130)	95.84	273	0.105(0.050,0.338)	100.00	1 572	0.050(0.020,0.130)	95.87
泉水	433	0.020(0.010,0.060)	100.00	—	—	—	433	0.020(0.010,0.060)	100.00
深井	4 656	0.040(0.010,0.140)	97.08	18	0.050(0.010,0.090)	99.63	4 929	0.040(0.010,0.140)	97.22

2.3 不同供水方式的饮用水中氨氮水平 不同供水方式的水样中氨氮浓度和合格率比较,差异均有统计学意义($\chi^2 = 395.134, P < 0.001; \chi^2 = 24.358, P < 0.001$),与分散式供水相比,采用集中式供水的水样中氨氮浓度较低($Z = 11.550, P < 0.001$),合格率较低($\chi^2 = 11.890, P = 0.001$)。农村饮用水中机器取水的水样氨氮浓度更高,城市饮用水中未处理的水样氨氮浓度高于常规处理和仅消毒处理($\chi^2 = 1\,127.891, P = 0.01; \chi^2 = 1\,851.396, P < 0.001$)。见表 3。

表 3 不同水处理工艺的饮用水中氨氮分析

水处理 工艺	农村饮用水			城市饮用水			总计		
	样本数(份)	$M(P_{25},P_{75})$ (mg/L)	合格率(%)	样本数(份)	$M(P_{25},P_{75})$ (mg/L)	合格率(%)	样本数(份)	$M(P_{25},P_{75})$ (mg/L)	合格率(%)
集中式供水	11 251	0.040(0.010,0.102)	97.99	3 346	0.030(0.010,0.050)	99.94	14 597	0.040(0.010,0.090)	98.44
常规处理	8 520	0.050(0.010,0.120)	97.86	3 258	0.030(0.010,0.050)	99.94	11 778	0.040(0.010,0.100)	98.44
仅消毒	711	0.020(0.010,0.080)	99.02	77	0.010(0.010,0.010)	100.00	788	0.010(0.010,0.070)	99.11
沉淀、过滤	1 495	0.010(0.010,0.064)	97.73	4	0.020(0.010,0.075)	100.00	1 499	0.010(0.010,0.064)	97.73
未处理	525	0.010(0.010,0.050)	99.43	7	0.160(0.050,0.360)	100.00	532	0.010(0.010,0.050)	99.44
分散式供水	1 539	0.060(0.020,0.110)	99.55	—	—	—	1 539	0.060(0.020,0.110)	99.55
机器取水	1 037	0.060(0.020,0.150)	99.32	—	—	—	1 037	0.060(0.020,0.150)	99.32
人力取水	141	0.060(0.040,0.070)	100.00	—	—	—	141	0.060(0.040,0.070)	100.00
手压泵	361	0.040(0.020,0.070)	100.00	—	—	—	361	0.040(0.020,0.070)	100.00

2.4 不同水样类型饮用水中氨氮水平 不同水样类型氨氮浓度和合格率差异均有统计学意义($\chi^2 = 171.567, P < 0.001; \chi^2 = 24.324, P < 0.001$),二次供水水样中氨氮浓度低于出厂水和末梢水($\chi^2 = 2\,120.524, P < 0.001; \chi^2 = 2\,141.753, P < 0.001$),合格率依次为出厂水<末梢水<二次供水($P > 0.05$)。见表 4。

表 4 不同水样类型的饮用水中氨氮分析

水样 类型	农村饮用水			城市饮用水			总计		
	样本数(份)	$M(P_{25},P_{75})$ (mg/L)	合格率(%)	样本数(份)	$M(P_{25},P_{75})$ (mg/L)	合格率(%)	样本数(份)	$M(P_{25},P_{75})$ (mg/L)	合格率(%)
出厂水	4 945	0.040(0.010,0.100)	97.82	477	0.030(0.010,0.080)	99.79	5 422	0.040(0.010,0.100)	97.99
末梢水	7 845	0.040(0.010,0.110)	98.41	2 050	0.030(0.010,0.059)	100.00	9 895	0.040(0.010,0.100)	98.74
二次供水	—	—	—	819	0.020(0.010,0.050)	99.88	819	0.020(0.010,0.050)	99.88

2.5 氨氮影响因素的 logistic 回归分析 以氨氮合格情况为因变量(合格=0,不合格=1),将单因素分析有统计学意义的 4 个因素(采样类型、水源类型、水处理工艺和水样类型)纳入多因素 logistic 逐步回归分析中,设定入选标准为 0.05,排除标准为 0.10。结果表明农村水($OR = 7.569, 95\% CI: 1.008 \sim 56.864$)、地下水($OR = 4.702, 95\% CI: 2.397 \sim 9.224$)及分散式供水($OR = 6.28, 95\% CI: 2.251 \sim 17.519$)是湖南省洞庭湖区氨氮超标的危险因素。见表 5。

表 5 氨氮影响因素多因素 logistic 逐步回归分析

变量	比较组	参照组	β 值	SE	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
截距	—	—	-8.634	1.187	52.894	<0.001	0.000	—
采样类型	农村水	城市水	2.024	1.029	3.870	0.049	7.569	1.008~56.864
水源类型	地下水	地表水	1.548	0.344	20.270	<0.001	4.702	2.397~9.224
水处理工艺	分散式供水	集中式供水	1.837	0.523	12.322	<0.001	6.280	2.251~17.519
水样类型	末梢水	出厂水	0.293	0.391	0.564	0.453	1.341	0.623~2.884
	二次供水	出厂水	-0.318	0.481	0.438	0.508	0.727	0.283~1.867

3 讨 论

有研究^[3-4]显示,氨氮是洞庭湖主要污染物之一,甚至有浅层地下水样中氨氮超标达 820 倍,而洞庭湖区生活饮用水中氨氮含量水平暂未见文献报道,本研究首次对湖南省洞庭湖区饮用水中氨氮水平及其影响因素进行了分析。

分析结果显示 2015—2019 年湖南省洞庭湖区饮用水中氨氮浓度中位数为 0.040(0.010, 0.100) mg/L, 低于广州^[5]、北京^[6]等地的研究结果,说明洞庭湖区饮用水中氨氮水平不高,比国内部分大城市的有机物污染水平低。2015—2018 年氨氮合格率呈上升趋势,2018 年氨氮合格率高可能与湖南省自 2018 年开始实施洞庭湖生态环境专项整治三年行动计划(2018—2020 年)有关,采取了推进农业方面污染防治、集中整治工业污染、加强水源地污染整治等一系列保障饮水安全的措施,尤其是生活污水(氨氮的主要来源)处理率的提高,导致总体进入水环境中的氨氮减少有关。2019 年氨氮合格率降低可能与 2019 年洞庭湖以及多条支流发生超警戒水位洪水,大量生活污水排入湖内导致水源水中氨氮浓度升高有关。

从采样类型来看,与农村饮用水相比,城市饮用水中氨氮浓度更低,合格率更高,可能与市政供水的水源主要是大江大河,水处理设施完善,部分水厂还使用了活性炭吸附技术有关,研究报道^[7]活性炭对水中的氨氮有一定的去除能力,降低水中的氨氮含量。从水源类型来看,地下水来源的饮用水中氨氮含量高于地表水,可能原因在于:一方面地层中的硝酸盐可在厌氧微生物的作用下使氨氮浓度增加;另一方面地下水中微生物含量较少,因此氨氮存在时间较长^[8]。浅井中氨氮平均含量最高,说明该区域氨氮污染主要在浅层地下水,这与皮建高等^[9]对洞庭湖浅层地下水的研究结论一致。从供水方式来看,与集中式供水相比,采用分散式供水的水样中氨氮浓度中位数更高,可能原因在于:一方面该地区 75.70% 分散式供水水源为浅井水,如前所述,以浅井为水源的水样中氨氮含量较高;另一方面,与分散式供水相比,采用集中式供水的水厂处理工艺更完善,研究报道采用常规净水工艺对氨氮的处理效率为 15%^[10]。从水样类型来看,单因素结果显示:出厂水水样中氨氮合格率低于末梢水和二次供水,在排除了采样类型和水源类型等因素的影响后,出厂水与末梢水和二次供水中氨氮合格率差异无统计学

意义,与文献报道^[11]一致,提示管网和供水系统可能不是饮用水中氨氮污染来源。

本研究对 2015—2019 年湖南省洞庭湖区饮用水中氨氮水平进行了描述分析,饮用水水质与水源水的水质密切相关,需结合水源水质进行深入研究了解氨氮污染来源,为采取针对性干预措施提供依据。另外饮用水中的氨氮可转化为亚硝酸盐和硝酸盐,对人体产生危害,为了解洞庭湖区饮用水中氨氮对人体产生的健康风险,可结合亚硝酸盐氮和硝酸盐氮等指标进一步开展健康风险评估。

综上所述,湖南省洞庭湖区生活饮用水中氨氮水平不高,建议重点关注农村地区以地下水为水源或采用分散式供水的饮用水中氨氮变化水平,同时结合水源水质状况,及时采取针对性措施确保饮用水中氨氮达标。

参考文献

- [1] 张辉.某市水源水和出厂水化学污染物健康风险评估与应用[D].武汉:华中科技大学,2012.
- [2] 王松松,王玖,刘磊,等.烟台市城市饮用水源地水环境健康风险评估[J].实用预防医学,2020,27(6):686-688.
- [3] 钟振宇,陈灿.洞庭湖水质及富营养状态评价[J].环境科学与管理,2011,36(7):169-173.
- [4] 皮建高,陈新国,刘长明.洞庭湖区浅层地下水质量现状与安全供水研究[J].中国地质,2010,37(2):536-541.
- [5] 李兰芳,陈海珍,潘翊,等.广州市主城区饮用水中“三氮”含量及健康风险评估[J].环境与健康杂志,2012,29(10):923-925.
- [6] 刘波,张艳,高静.北京市通州区农村地下水氨氮浓度及其影响因素[J].环境与健康杂志,2006,23(4):328-330.
- [7] 崔笑颖.活性炭改性方法及其对水中氨氮吸附性能的技术研究[D].张家口:河北建筑工程学院,2019.
- [8] 李焯,李建民,潘涛.地下水氨氮污染及处理技术综述[J].环境工程,2011,29(S1):100-102.
- [9] 皮建高,陈新国,刘长明.洞庭湖区浅层地下水质量现状与安全供水研究[J].中国地质,2010,37(2):536-541.
- [10] 赵兴茹,付青,郑丙辉,等.中国集中式饮用水源水中氨氮的水质特征[A].中国土木工程学会、中国工程院土木水利与建筑工程学部、中国土木工程学会水工业分会给水委员会.饮用水安全控制会议暨中国土木工程学会水工业分会给水专业委员会第14届年会论文集[C].中国土木工程学会、中国工程院土木水利与建筑工程学部、中国土木工程学会水工业分会给水委员会:中国土木工程学会,2015:7.
- [11] 郭影清,郑瑶,刘臻.高层建筑二次供水水质卫生学调查与分析[J].中国当代医药,2015,22(33):156-158.

收稿日期:2021-05-29