

2014-2017年湖南省城市饮用水浑浊度影响因素及其对消毒效果的影响

胡冀, 陈彦华, 黄涛, 张杏娥

湖南省疾病预防控制中心, 湖南 长沙 410005

摘要: **目的** 探究影响湖南省城市饮用水浑浊度的主要因素,分析浑浊度对消毒效果的影响。 **方法** 利用2014-2017年湖南省城市生活饮用水水质监测网络直报数据,分析饮用水浑浊度的影响因素,通过相关分析以及线性回归分析浑浊度与耗氧量、菌落总数、余氯和二氧化氯之间的关系,以及对消毒效果的影响。 **结果** 2017年湖南省城市饮用水浑浊度超标率(2.97%)明显低于2014(6.69%)、2015(7.29%)和2016(5.77%) ($P<0.001$);经过完全处理(含混凝、沉淀、过滤、消毒)的饮用水浑浊度超标率(5.38%)较低;地下水源饮用水浑浊度超标率(16.78%)明显高于地表水源饮用水(4.95%) ($P<0.001$),其中未经处理的地下水源饮用水浑浊度超标率最高,达50%;二次供水浑浊度超标率(2.7%)较出厂水(7.16%)和末梢水(6.21%)低($P<0.001$);浑浊度与菌落总数、耗氧量存在正相关性及线性回归关系($r=0.177, 0.094, P<0.001$);与余氯和二氧化氯存在负相关性及线性回归关系($r=-0.03, -0.196, P<0.001$)。 **结论** 2014-2017年湖南省城市饮用水浑浊度的主要影响因素是水源类型、水源水质情况、水处理工艺和管网,浑浊度与有机污染物以及微生物污染有着密切的关联,浑浊度增加会影响饮用水消毒效果。

关键词: 城市饮用水; 浑浊度; 超标率; 相关分析; 线性回归分析

中图分类号: R123.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-3110(2019)05-0559-05 **DOI:** 10.3969/j.issn.1006-3110.2019.05.013

Factors affecting turbidity of urban drinking water and its impact on disinfection effect in Hunan Province, 2014-2017

HU Ji, CHEN Yan-hua, HUANG Tao, ZHANG Xing-e

Hunan Provincial Center for Disease Control and Prevention, Changsha, Hunan 410005, China

Corresponding author: CHEN Yan-hua, E-mail: 30463659@qq.com

Abstract: **Objective** To explore the main factors influencing turbidity of urban drinking water in Hunan Province, and to analyze the impact of turbidity on disinfection effect. **Methods** The factors influencing turbidity of drinking water were analyzed by using the data from Hunan Urban Drinking Water Quality Monitoring Network (2014-2017). Correlation and linear regression analyses were performed to assess the relationship between turbidity and oxygen consumption, colony count, residual chlorine and chlorine dioxide and the impact of turbidity on disinfection effect. **Results** The exceeding standard rate of turbidity of urban drinking water in Hunan Province was significantly lower in 2017 (2.97%) than in 2014 (6.69%), 2015 (7.29%) and 2016 (5.77%) ($P<0.001$). The exceeding standard rate of turbidity of drinking water with full processing treatment (including coagulation, precipitation, filtration and disinfection) was lower (5.38%). The exceeding standard rate of turbidity of drinking water from underground sources was significantly higher than that from surface sources (16.78% vs. 4.95%, $P<0.001$), and the exceeding standard rate of turbidity of drinking water from untreated underground sources was the highest (50%). The exceeding standard rate of turbidity of secondary water supply (2.7%) was lower than factory water (7.16%) and terminal water (6.21%) ($P<0.001$). Positive correlation and linear regression relationship were found between turbidity and colony count and oxygen consumption ($R=0.177, R=0.094, P<0.001$), but negative correlation and linear regression relationship between turbidity and residual chlorine and chlorine dioxide ($R=-0.03, R=-0.196, P<0.001$). **Conclusions** The main factors influencing turbidity in urban drinking water in Hunan Province during 2014-2017 are the types and quality of water sources, water treatment technology and water supply pipe network. Turbidity is closely related to organic pollutants and microbial contamination, and increasing turbidity will affect the disinfection effect of drinking water.

Key words: urban drinking water; turbidity; exceeding standard rate; correlation analysis; linear regression analysis

作者简介: 胡冀(1982-),女,湖南郴州人,硕士,研究方向:环境卫生学。

通信作者: 陈彦华, E-mail: 30463659@qq.com。

近年来湖南省城市饮用水水质卫生质量情况良好,在一定程度上反映了城市饮用水的监督监管得力,但仍存在一些不足,如浑浊度、总大肠菌群、菌落总数为目前影响湖南省城市饮用水水质卫生质量的主要因素,其中浑浊度的超标情况较多。浑浊度是生活饮用水水质的一项重要感官指标,经过常规净化处理后的出厂水一般应该在 3 度以下^[1]。降低浑浊度对除去某些有害物质,提高消毒效果,确保供水安全等方面有着积极的作用^[2]。

本文以 2014–2017 年湖南省城市饮用水水质监测数据为基础,分析浑浊度特征,探究影响城市饮用水浑浊度的主要因素,并分析浑浊度对消毒效果的影响。

1 资料与方法

1.1 资料来源 2014–2017 年的湖南省 14 个市州、123 个县(市)区城区内供水单位枯水期和丰水期的生活饮用水水质监测网络直报数据。

1.2 方法 按枯水期(3–5 月)、丰水期(6–9 月)各采样 1 次,水样包括城市饮用水中的出厂水、末梢水、二次供水。水质检测结果中浑浊度按 GB 5749–2006《生活饮用水卫生标准》中限值为 1 UNT 进行浑浊度单项指标合格情况评价。收集水样的水处理工艺、水

源类型、消毒类型等相关资料,比较不同水期、不同水样类型、不同水处理工艺、不同水源类型的水样浑浊度的合格率,以及浑浊度检测结果与消毒效果指标检测结果之间的相关性分析。

1.3 统计学分析 采用 Excel 2010 建立数据库,采用 SPSS 20.0 软件进行统计分析。率和构成的组间比较采用 χ^2 检验,检测指标间相关性采用相关分析以及线性回归分析,检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧)。

2 结果

2.1 水样及水源类型 2014–2017 年监测城市饮用水共计 10 270 份水样,其中丰水期 5 071 份,枯水期 5 199 份。出厂水共计 1 495 份,占 14.56%;二次供水 2 073 份,占 20.19%;末梢水 6 702 份,占 65.26%,见表 1。城市饮用水水源类型以江河最多,共计 7 269 份,占 70.78%(7 269/10 270)。不同水源类型,其水处理工艺差异有统计学意义($\chi^2=2 915.65, P<0.001$),以地表水为水源的饮用水中,99.13%的采用完全处理(含混凝、沉淀、过滤、消毒);而以地下水为水源的饮用水中,仅 59.32%采用完全处理,33.56%仅进行消毒处理,见表 2。

表 1 2014–2017 年湖南城市饮用水监测份数

年份	丰水期				枯水期				总计			
	出厂水	二次供水	末梢水	合计	出厂水	二次供水	末梢水	合计	出厂水	二次供水	末梢水	合计
2014	180	254	740	1 174	183	283	813	1 279	363	537	1 553	2 453
2015	178	277	795	1 250	201	266	806	1 273	379	543	1 601	2 523
2016	193	239	882	1 314	190	272	858	1 320	383	511	1 740	2 634
2017	182	238	913	1 333	188	244	895	1 327	370	482	1 808	2 660
合计	733	1 008	3 330	5 071	762	1 065	3 372	5 199	1 495	2 073	6 702	10 270

表 2 2014–2017 年湖南城市饮用水各类水源饮用水处理工艺情况

水处理工艺	地表水										地下水				合计				
	湖泊		江河		水库		溪水		小计		浅井		泉水			深井		小计	
	例数	构成比(%)	例数	构成比(%)	例数	构成比(%)	例数	构成比(%)	例数	构成比(%)	例数	构成比(%)	例数	构成比(%)		例数	构成比(%)	例数	构成比(%)
完全处理	18	100.00	7 187	98.87	2 337	99.91	54	100.00	9 596	99.13	57	78.08	0	0.00	293	61.68	350	59.32	9 946
沉淀、过滤	0	0.00	3	0.04	2	0.09	0	0.00	5	0.05	0	0.00	4	9.52	18	3.79	22	3.73	27
仅消毒	0	0.00	79	1.09	0	0.00	0	0.00	79	0.82	6	8.22	30	71.43	162	34.11	198	33.56	277
未处理	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	10	13.70	8	19.05	2	0.42	20	3.39	20
合计	18	0.18 (18/10 270)	7 269	70.78 (7 269/10 270)	2 339	22.78 (2 339/10 270)	54	0.53 (54/10 270)	9 680	94.26 (9 680/10 270)	73	0.71 (73/10 270)	42	0.41 (42/10 270)	475	4.63 (475/10 270)	590	5.74 (590/10 270)	10 270

注:构成比为各类水源饮用水水样占有所有水样的比例。

2.2 浑浊度 2014–2017 年监测城市饮用水 10 270 份水样,浑浊度检测值的中位数为 0.40 NTU, P_{25} 为

0.25 NTU, P_{75} 为 0.70 NTU。其中 579 份水样浑浊度超标,超标率为 5.64%,见表 3。

2.3 浑浊度影响因素

2.3.1 采样时间 2014-2017 年间, 浑浊度的总超标率、丰水期和枯水期超标率差异均有统计学意义 ($P <$

0.05), 2017 年较前三年浑浊度超标率水平明显降低, 并出现了枯水期明显高于丰水期的情况 ($P < 0.001$), 见表 3。

表 3 2014-2017 年湖南城市饮用水丰、枯水期浑浊度超标情况

年份	样本数	$M(P_{25} \sim P_{75})$	超标数	超标率(%)	丰水期			枯水期			χ^2 值	P 值
					样本数	超标数	超标率(%)	样本数	超标数	超标率(%)		
2014	2 453	0.50(0.25~0.80)	164	6.69	1 174	76	6.47	1 279	88	6.88	0.16	0.687
2015	2 523	0.42(0.25~0.74)	184	7.29	1 250	93	7.44	1 273	91	7.15	0.08	0.778
2016	2 634	0.38(0.25~0.70)	152	5.77	1 314	68	5.18	1 320	84	6.36	1.71	0.191
2017	2 660	0.32(0.25~0.61)	79	2.97	1 333	24	1.80	1 327	55	4.14	12.68	<0.001
合计	10 270	0.40(0.25~0.70)	579	5.64	5 071	261	5.15	5 199	318	6.12	-	-
χ^2 值			53.73				48.276			12.786		
P 值			<0.001				<0.001			0.005		

2.3.2 管网 2014-2016 年, 三年间每年湖南城市饮用水出厂水、二次供水、末梢水浑浊度超标率差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 二次供水浑浊度超标率较其他

两类水样低。但 2017 年则三类水样浑浊度超标率差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。四年间出厂水和末梢水的超标率差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$), 见表 4。

表 4 2014-2017 年湖南城市饮用水出厂水、二次供水、末梢水浑浊度超标情况

年份	出厂水			二次供水			末梢水			χ^2 值	P 值
	样本数	超标数	超标率(%)	样本数	超标数	超标率(%)	样本数	超标数	超标率(%)		
2014	363	34	9.37	537	14	2.61	1 553	116	7.47	20.029	<0.001
2015	379	38	10.03	543	18	3.31	1 601	128	8.00	18.065	<0.001
2016	383	24	6.27	511	17	3.33	1 740	111	6.38	6.971	0.031
2017	370	11	2.97	482	7	1.45	1 808	61	3.37	4.876	0.087
总计	1 495	107	7.16	2 073	56	2.70	6 702	416	6.21	44.015	<0.001
χ^2 值			17.567			44.417			38.058		
P 值			0.001			0.220			<0.001		

2.3.3 水源类型以及水加工工艺 地表水浑浊度超标率 4.95%; 地下水浑浊度超标率 16.78%, 地下水明显高于地表水 ($P < 0.001$)。地表水中溪水来源的城市饮用水浑浊度超标率最高, 地下水中泉水来源的城市饮用水浑浊度超标率最高, 其次为浅井。

超标率差异有统计学意义 ($\chi^2 = 198.83, P < 0.001$), 其中经过完全处理的饮用水浑浊度超标率最低 (5.38%), 未经处理的饮用水浑浊度超标率最高 (50.00%)。

10 270 份城市饮用水以完全处理为主 (经过混凝、沉淀过滤、消毒处理), 占 96.85% (9 946/10 270), 只经过沉淀、过滤的水样占 0.26% (27/10 270), 仅消毒的水样占 2.70% (277/10 270), 未处理的水样占 0.194% (20/10 270)。四类水处理方式的城市饮用水浑浊度

地表水水源中, 不同水加工工艺其浑浊度超标情况差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。但地下水源中, 三类水源的不同水加工工艺的浑浊度超标率差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。其中, 以浅井为水源的水样经完全处理的浑浊度超标率最高; 以泉水和深井为水源的水样未经处理的浑浊度超标率最高。见表 5。

表 5 不同水源类型以及不同水加工工艺浑浊度超标情况

水源类型	样本数	超标率 (%)	水加工工艺												χ^2 值	P 值	
			完全处理			沉淀、过滤			仅消毒			未处理					
			样本数	超标数	超标率(%)	样本数	超标数	超标率(%)	样本数	超标数	超标率(%)	样本数	超标数	超标率(%)			
地表水	湖泊	18	0.00	18	0	0.00	0	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-
	江河	7 269	3.62	7 187	261	3.63	3	0	0.00	79	2	2.53	0	0	0.00	0.384	0.825
	水库	2 339	7.91	2 152	185	8.60	2	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0.172	0.678
	溪水	54	59.26	54	32	59.26	0	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-
小计	9 680	4.95	9 411	478	5.08	5	0	0.00	79	2	2.53	0	0	0.00	1.33	0.515	
地下水	浅井	73	38.36	57	28	49.12	0	0	0.00	6	0	0.00	10	0	0.00	12.75	0.002
	泉水	42	52.38	0	0	0.00	4	2	50.00	30	12	40.00	8	8	100.00	9.125	0.010
	深井	475	10.32	293	29	9.90	18	5	27.78	162	13	8.02	2	2	100.00	24.295	<0.001
	小计	590	16.78	350	59	16.92	22	7	31.82	198	25	12.63	20	10	50.00	28.21	<0.001
合计	10 270	5.64	9 946	535	5.38	27	7	25.93	277	27	9.75	20	10	50.00	198.83	<0.001	
χ^2 值			145.75			607.75			2.989			37.081			20.00		
P 值			<0.001			<0.001			0.393			<0.001			<0.001		

2.3.4 出厂水中各类水源类型以及水处理工艺浑浊度超标情况 出厂水中,各类水源类型采取的不同水处理工艺中,浑浊度超标差异无统计学意义($P>0.05$),见表 6。

表 6 出厂水中不同水源类型以及水处理工艺浑浊度超标情况

出厂水 水源类型	完全处理			沉淀、过滤			仅消毒			未处理			χ^2 值	P 值
	样本数	超标数	超标率(%)	样本数	超标数	超标率(%)	样本数	超标数	超标率(%)	样本数	超标数	超标率(%)		
湖泊	10	0	0.00	0	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-
江河	919	49	5.33	0	0	-	16	0	0.00	0	0	-	0.147	0.702
浅井	6	2	33.33	0	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-
泉水	-	-	-	2	1	50.00	14	6	42.86	4	4	100.00	5.632	0.06
深井	97	6	6.19	4	0	0.00	43	3	6.98	0	0	-	0.554	0.758
水库	374	34	9.09	0	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-
溪水	6	2	33.33	0	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-
总计	1 412	931	6.59	6	1	16.67	73	9	12.33	4	4	100.00		

2.4 浑浊度与菌落总数、耗氧量、余氯、二氧化氯关系

2.4.1 相关性分析 将菌落总数、耗氧量、余氯、二氧化氯与浑浊度两两相关分析,显示 2014-2017 年湖南城市饮用水浑浊度与菌落总数、耗氧量存在正相关性,与余氯和二氧化氯存在负相关性,菌落总数与耗氧量存在正相关,见表 7。

表 7 浑浊度与菌落总数、耗氧量、余氯、二氧化氯相关性分析

相关指标	例数	r 值	P 值
浑浊度与菌落总数	10 270	0.177	<0.001
浑浊度与耗氧量	10 270	0.094	<0.001
菌落总数与耗氧量	10 270	0.037	<0.001
浑浊度与余氯	7 314	-0.03	<0.001
浑浊度与二氧化氯	2 779	-0.196	<0.001

2.4.2 线性回归分析 浑浊度每增加一个单位,菌落总数对数值增加 0.134 个单位,耗氧量增加 0.027 个单位,余氯减少 0.01 个单位,二氧化氯减少 0.01 个单位。此外,菌落总数对数值每增加 1 个单位,浑浊度增加 0.216 个单位。见表 8。

表 8 浑浊度与菌落总数、耗氧量、余氯、二氧化氯线性关系分析

相关指标	回归方程	F 值	P 值
浑浊度与菌落总数	$\log(\text{菌落总数}) = 0.427 + 0.134 \times \text{浑浊度}$ $\text{浑浊度} = 0.476 + 0.216 \times \log(\text{菌落总数})$	305.75	<0.001
浑浊度与耗氧量	$\text{耗氧量} = 1.062 + 0.027 \times \text{浑浊度}$	12.648	<0.001
浑浊度与余氯	$\text{余氯} = 0.196 - 0.01 \times \text{浑浊度}$	6.449	<0.001
浑浊度与二氧化氯	$\text{二氧化氯} = 0.124 - 0.01 \times \text{浑浊度}$	33.564	<0.001

3 讨论

导致生活饮用水浑浊度增高的因素较多,包括有机物、无机物、浮游生物、微生物、泥土等。此外,输水管网材料、末梢水的滞留时间、温度、降雨等因素都可能影响着饮用水的浑浊度^[3-4]。

2014-2017 年调查结果显示,湖南省城市饮用水浑浊度超标情况到 2017 年有所改善,但由于 2017 年 5 月

湖南省各市州出现强降雨,造成大面积洪涝灾害,使供水水厂以及饮用水水源受到较为严重的影响,出现源水浑浊、水厂处理能力受限等问题,导致 2017 年枯水期(3-5 月)浑浊度明显高于丰水期(6-9 月),但在气候和降雨正常的年份,丰、枯水期并未对城市饮用水的浑浊度造成影响(枯水期和丰水期的时间界定由国家疾病预防控制中心饮用水监测项目制定,与湖南省实际枯水期和丰水期恰好相反)。

通常情况下,地下水水质往往优于地表水,但如果水处理工艺不完善,也可导致水质不达标情况加重。分析发现,湖南省采用地下水为水源的城市饮用水浑浊度超标率明显高于以地表水为水源的饮用水,其中以泉水为水源的饮用水为甚。但进一步分析出厂水的不同水源以及不同水处理工艺情况下浑浊度超标情况,发现不同水源采取不同的水处理工艺对出厂水浑浊度没有造成明显的影响,说明水源水原本质量对浑浊度影响较大。

水的浊度是表达水中悬浮物、胶体物质、浮游生物和微生物等杂质对光所产生效应的参数^[1]。如果饮用水在供水设施中停留的时间延长,其水中的杂质可产生一定的沉淀,而使得水的浑浊度降低^[5]。一般情况下,饮用水在供水管网内停留时间相对较短,而当管网水进入二次供水后,会在二次供水设施中停留较长时间,从而使得二次供水的饮用水浑浊度下降,出现二次供水的饮用水浑浊度超标率低于出厂水和直接由管网入户的末梢水。

将菌落总数、耗氧量、余氯、二氧化氯与浑浊度两两相关分析,发现 2014-2017 年湖南城市饮用水浑浊度与菌落总数、耗氧量存在正相关性,与余氯和二氧化氯存在负相关性,且均存在线性回归关系。耗氧量是反映水体中有机物含量的间接指标,菌落总数是反映水体微生物污染程度的参考指标^[6-8],分析结果表明湖南省城市饮用水的浑浊度与有机污染物以及微生物污