

2015 年重庆市农村水厂出厂水水质状况分析

赵怡楠¹, 钟晓妮¹, 向新志², 罗书全², 王正虹², 周倩如², 周春碚²

1. 重庆医科大学公共卫生与管理学院, 医学与社会发展研究中心, 健康领域社会风险预测治理协同创新中心, 重庆 400016;

2. 重庆市疾病预防控制中心

摘要: **目的** 全面了解 2015 年重庆市农村水厂出厂水水质现状, 对农村饮水安全提供改进措施和建议。 **方法** 采用分层随机抽样的方法在全市 38 个区县抽取 846 家水厂, 对其基本情况进行调查, 分别于丰水期和枯水期对出厂水 20 项水质指标进行了检测和评价。 **结果** 2015 年共监测水样 1 691 份, 其中丰水期合格率 28.72%, 枯水期合格率 38.11% ($P < 0.0001$)。出厂水微生物指标、消毒剂余量指标和浑浊度合格率低于 70%, 其余指标合格率均高于 90%。同水期中, 江河水合格率高于其他水源, 完全处理的合格率高于其他处理方式, 采用二氧化氯消毒的合格率高于其他方式, 且差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。 **结论** 2015 年重庆市农村水厂出厂水水质合格率总体偏低。应对供水能力 $< 1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 的水厂加强规范化管理; 丰水期应加大消毒剂的使用量; 增加水厂消毒设施的配备并严格按照要求使用, 避免介水传染病的流行或暴发。

关键词: 农村; 出厂水; 水质监测

中图分类号: R123.9 文献标识码: B 文章编号: 1006-3110(2018)02-0249-05 DOI: 10.3969/j.issn.1006-3110.2018.02.035

Quality of finished water of rural water plants in Chongqing Municipality, 2015

ZHAO Yi-nan*, ZHONG Xiao-ni, XIANG Xin-zhi, LUO Shu-quan, WANG Zheng-hong, ZHOU Qian-ru, ZHOU Chun-bei

* School of Public Health and Management, Research Center for Medicine and Social Development,
Innovation Center for Social Risk Governance in Health, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China

Corresponding author: ZHONG Xiao-ni, E-mail: zxn66@vip.sina.com

Abstract: **Objective** To comprehensively investigate the current situation of finished water quality of rural water plants in Chongqing Municipality in 2015, and to provide improvement measures and suggestions for rural drinking water safety. **Methods**

A stratified random sampling method was used to select 846 water plants in 38 districts and counties in Chongqing Municipality, and their general situations were investigated. Finished water samples were collected in wet and dry seasons respectively, and then 20 indicators regarding the quality of finished water were detected and evaluated. **Results** A total of 1,691 water samples were monitored in 2015, of which the qualified rates in wet and dry seasons were 28.72% and 38.11% respectively ($P < 0.0001$). The qualified rates of microbiological indicators, disinfectant residual indicators and turbidity indicator of the finished water samples were all less than 70%, but those of the other indicators were all higher than 90%. Under the same water season, the qualified rate was higher in river water than in other source water, higher in complete-treated water than in other-process-treated water as well as higher in water disinfected by chlorine dioxide than in water disinfected by other methods, with statistically significant differences (all $P < 0.05$). **Conclusions** The qualified rate of finished water of rural water plants in Chongqing Municipality in 2015 was generally low. It is necessary to strengthen the standardized management of water plants with water supply capacity $< 1,000\text{ m}^3/\text{d}$, increase the amount of disinfectant during wet season, add water disinfection facilities and use them in accordance with the requirements so as to avoid the epidemics or outbreaks of water-borne diseases.

Key words: rural area; finished water; water quality monitoring

生活饮用水的安全是关系到百姓身体健康的重要因素^[1]。重庆市自 2008 年起开展城市及农村饮用水

作者简介: 赵怡楠 (1988-), 男, 硕士在读, 研究方向: 流行病学与统计学。

通信作者: 钟晓妮, E-mail: zxn66@vip.sina.com。

(包括出厂水和末梢水) 卫生监测, 水质总体合格率逐年上升。但农村地区由于受自身条件和规模的限制^[2], 仍存在部分水厂处理工艺不规范、消毒措施不到位导致合格率偏低的问题。为全面了解重庆市农村水厂出厂水水质现状, 保证农村居民的饮水安全, 2015

年重庆市疾病预防控制中心开展了 38 个区县的农村饮用水卫生监测,现将结果报告如下。

1 对象与方法

1.1 对象 根据重庆市不同地区人口、经济、地理位置、水源类型等特点,按照分层随机抽样的原则,在全市 38 个区县,每个区县选择 70% 的乡镇,每个乡镇(含所辖村)选取 1~2 个农村水厂作为监测点。

1.2 调查采样 由相关专业技术人员在 2015 年枯水期(1-4 月)和丰水期(6-9 月)分别进行一次调查与采样。调查收集信息包括水厂规模、数量、供水覆盖人口、设计供水能力、处理工艺、消毒方式、水源类型等信息。水样的采集、保存、运输按照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750-2006)^[3]进行。

1.3 检测指标及方法 水质检测指标包括色度、浑浊度、臭和味、肉眼可见物、pH、铁、锰、氯化物、硫酸盐、溶解性总固体、总硬度、耗氧量、氨氮、砷、氟化物、硝酸盐、菌落总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群或大肠埃希菌,以及根据水质消毒所用消毒剂的种类选择的消毒剂余量指标,包括游离余氯和二氧化氯。水质分析按照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750-2006)中的有关检验方法进行。

1.4 水质卫生评价方法 所有水质指标均按照《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)(表 1 水质常规指标及限值)^[4]进行评价。有一项检测指标不合格,即判定该份水样不合格,消毒剂余量指标未纳入水样合格率的计算。

1.5 质量控制 监测前均对项目具体实施人员开展统一培训,对采样、样品运输及保存方法进行统一标准。实验室检测过程均按照相关标准进行空白、平行和加标回收率实验,所有水质检测实验室均通过国家计量认证。

1.6 统计分析 采用 Excel 建立数据库,数据分析采用 SAS 9.13 进行统计学分析。定性资料和等级资料采用频数和构成比进行统计描述,两组及多组间合格率比较采用 χ^2 检验,检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧)。

2 结果

2.1 农村水厂基本信息 本次研究共涉及 846 家水厂,覆盖总人口 566.47 万人。水厂水源以地表水为主,占水厂总数 83.92%,覆盖了 92.88% 的总人口。地表水以水库为主,地下水以泉水为主。供水能力在 200~1 000 m³/d 的水厂数量最多,占 43.97%,供水能力 $\geq 1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 的水厂覆盖了 68.98% 的总人口。

78.72% 的水厂处理工艺为完全处理,覆盖 91.73% 的总人口;有 21 家水厂对水质未做任何处理,覆盖了 3.44 万人。采用二氧化氯消毒农村水厂占 56.62%,覆盖 74.96% 的总人口;有 17.85% 共计 151 家水厂未采取任何消毒措施,覆盖 41.17 万人,见表 1。

表 1 2015 年重庆市饮水监测农村水厂及覆盖人口情况

分类		水厂数 (n=846)	构成比 (%)	覆盖人口 (万人)	构成比 (%)
不同类型水源	水库	333	39.36	325.86	57.52
	溪水	177	20.92	79.77	14.08
	江河	119	14.07	93.89	16.57
	沟塘	52	6.15	16.31	2.88
	湖泊	9	1.06	4.09	0.72
	其它	20	2.36	6.24	1.10
	地表水合计	710	83.92	526.16	92.88
	泉水	122	14.42	37.43	6.61
	深井	9	1.06	1.79	0.32
	浅井	5	0.59	1.09	0.19
供水能力(m ³ /d)	地下水合计	136	16.08	40.30	7.11
	<200	204	24.11	27.48	4.85
	200~	372	43.97	148.23	26.17
	1 000~	231	27.30	260.08	45.91
	5 000~	39	4.61	130.68	23.07
处理工艺	完全处理*	666	78.72	519.61	91.73
	仅沉淀、过滤	130	15.37	37.72	6.66
	仅消毒	29	3.43	5.69	1.00
	未处理	21	2.48	3.44	0.61
消毒方式	二氧化氯	479	56.62	424.62	74.96
	漂白粉	180	21.28	64.65	11.41
	液氯	27	3.19	25.39	4.48
	其它	9	1.06	10.64	1.88
	不消毒	151	17.85	41.17	7.27
合计		846	100.00	566.47	100.00

注: * 完全处理流程为混凝、沉淀、过滤、消毒。

2.2 水质结果

2.2.1 水质监测总体结果 2015 年重庆市农村饮水卫生监测共采集水样 1 691 份,其中丰水期 846 份,合格 243 份,合格率 28.72%;枯水期水样 845 份,合格 322 份,合格率 38.11%。枯水期水样合格率显著高于丰水期,差异有统计学意义($\chi^2=16.73, P<0.000\,1$)。

2.2.2 单项指标合格情况 除浑浊度外,其余理化指标合格率均在 90.00% 以上,丰水期与枯水期各项理化指标合格率差异无统计学意义($P>0.05$);微生物指

标合格率均低于 70.00%,丰水期菌落总数和总大肠 菌群合格率显著低于枯水期($P<0.05$),见表 2。

表 2 2015 年重庆市农村水厂出厂水单项指标合格率

指标	丰水期			枯水期			χ^2 值	P 值
	采样数	合格数	合格率(%)	采样数	合格数	合格率(%)		
色度	846	839	99.17	845	834	98.70	0.90	0.34
浑浊度	846	579	68.44	845	588	69.59	0.26	0.61
pH	846	834	98.58	845	838	99.17	1.32	0.25
总硬度(以 CaCO ₃ 计)	846	842	99.53	845	840	99.41	0.11	0.74
铁	846	844	99.76	845	837	99.05	2.52 *	0.11
锰	846	828	97.87	845	828	97.99	0.03	0.87
硫酸盐	846	838	99.05	845	836	98.93	0.06	0.81
氯化物	846	845	99.88	845	845	100.00	—	1.00 [#]
臭和味	846	844	99.76	845	842	99.64	0.20	0.65
肉眼可见物	846	819	96.81	845	817	96.69	0.02	0.89
溶解性总固体	846	844	99.76	845	844	99.88	0.33	0.56
耗氧量(COD _{Mn} 法,以 O ₂ 计)	846	795	93.97	845	780	92.31	1.83	0.18
氨氮(以 N 计)	846	836	98.82	845	839	99.29	1.01	0.32
砷	846	846	100.00	845	842	99.64	1.34 *	0.25
氟化物	846	846	100.00	845	844	99.88	—	0.50 [#]
硝酸盐(以 N 计)	846	837	98.94	845	829	98.11	2.00	0.16
菌落总数	846	504	59.57	845	572	67.69	12.04	0.000 5
总大肠菌群	846	501	59.22	845	549	64.97	5.94	0.014 8
粪便指示菌(耐热大肠菌群/大肠埃希菌)	846	555	65.60	845	587	69.47	2.88	0.09
游离余氯	330	125	37.88	349	135	38.68	0.05	0.83
二氧化氯	511	407	79.65	469	382	81.45	0.51	0.48

注: * 采用校正的 χ^2 值,下同。#采用 Fisher 确切概率。

2.2.3 不同水源类型出厂水合格率 同水期地表水水源与地下水水源的出厂水合格率差异无统计学意义(丰水期: $\chi^2 = 0.40, P = 0.53$;枯水期: $\chi^2 = 0.32, P = 0.57$)。其中,以地表水为水源的水厂中,水源为江河水的合格率显著高于其他水源类型(丰水期: $\chi^2 = 53.47, P<0.000 1$;枯水期: $\chi^2 = 30.63, P<0.000 1$);以地下水为水源的水厂中,泉水、深井和浅井合格率差异无统计学意义($P>0.05$)。以溪水及泉水为水源的水厂,枯水期出厂水合格率显著高于丰水期($P<0.05$),其他水源类型两个水期间的出厂水合格率差异无统计学意义($P>0.05$),见表 3。

表 3 2015 年重庆市农村水厂出厂水不同水源类型合格率

水源类型	丰水期			枯水期			χ^2 值	P 值
	采样数	合格数	合格率(%)	采样数	合格数	合格率(%)		
水库	333	117	35.14	337	146	43.32	0.22	0.64
溪水	177	23	12.99	176	43	24.43	7.59	0.005 9
江河	119	54	45.38	117	58	49.57	0.42	0.52
沟塘	52	9	17.31	52	12	23.08	0.54	0.46
湖泊	9	1	11.11	9	3	33.33	0.32 *	0.57
其它	20	3	15.00	20	6	30.00	0.57 *	0.45
地表水(合计)	710	207	29.15	711	268	37.69	11.64	0.000 6
泉水	122	33	27.05	120	47	39.17	4.01	0.045 1
深井	9	1	11.11	9	5	55.56	2.25 *	0.13
浅井	5	2	40.00	5	2	40.00	0.00	1.00
地下水(合计)	136	36	26.47	134	54	40.30	5.81	0.016

2.2.4 不同供水能力水厂合格率 同一水期不同供水能力水厂出厂水合格率差异有统计学意义,合格率

最高的为 5 000 ~ m³/d 的水厂。供水能力 5 000 ~ 余供水能力水厂合格率丰水期显著低于枯水期 ($P<0.05$), 其 0.05), 见表 4。

表 4 2015 年重庆市农村不同供水能力水厂出厂水合格率

供水能力 (m ³ /d)	丰水期			枯水期			χ^2 值	P 值
	采样数	合格数	合格率 (%)	采样数	合格数	合格率 (%)		
<200	204	35	17.16	205	61	29.76	9.04	0.002 6
200~	372	96	25.81	381	133	34.91	7.37	0.006 7
1 000~	231	86	37.23	221	105	47.51	4.89	0.027
5 000~	39	26	66.67	38	23	60.53	0.31	0.58
χ^2 值		48.12			23.82			
P 值		<0.000 1			<0.000 1			

2.2.5 不同处理工艺出厂水合格率 完全处理工艺的出厂水合格率显著高于其他处理工艺。采用完全处理工艺的水厂,其枯水期出厂水合格率显著高于丰水期,其他处理工艺的水厂,两水期出厂水合格率差异无统计学意义 ($P>0.05$), 见表 5。

表 5 2015 年重庆市农村不同处理工艺出厂水合格率

处理工艺	丰水期			枯水期			χ^2 值	P 值
	采样数	合格数	合格率 (%)	采样数	合格数	合格率 (%)		
完全处理	666	214	32.13	663	293	44.19	20.48	<0.000 1
沉淀过滤	130	21	16.15	130	21	16.15	0.00	1.00
仅消毒	29	7	24.14	30	6	20.00	0.15	0.70
未处理	21	1	4.76	22	2	9.09	0.002 *	0.97
χ^2 值		23.24			54.59			
P 值		<0.000 1			<0.000 1			

2.2.6 不同消毒方式出厂水合格率 不同消毒方式的出厂水合格率差异有统计学意义,丰水期合格率最高的为其他方式消毒,枯水期合格率最高的为二氧化氯消毒。采用二氧化氯消毒的水厂,丰水期出厂水合格率低于枯水期且差异有统计学意义 ($P<0.000 1$), 见表 6。

表 6 2015 年重庆市农村不同消毒方式出厂水合格率

消毒方式	丰水期			枯水期			χ^2 值	P 值
	采样数	合格数	合格率 (%)	采样数	合格数	合格率 (%)		
二氧化氯	479	177	36.95	477	249	52.20	22.5	<0.000 1
漂白粉	180	32	17.78	181	37	20.44	0.41	0.52
液氯	27	5	18.52	26	9	34.62	1.77	0.18
其他	9	7	77.78	9	4	44.44	0.94 *	0.33
不消毒	151	22	14.57	152	23	15.13	0.02	0.89
χ^2 值		54.31			104.36			
P 值		<0.000 1			<0.000 1			

2.2.7 消毒指标合格率 二氧化氯合格率显著高于游离余氯 ($P<0.000 1$)。不同水期两消毒剂指标的合格率差异无统计学意义 ($P>0.05$), 见表 7。

表 7 2015 年重庆市农村水厂出厂水消毒剂单项指标合格率

消毒剂指标	丰水期			枯水期			χ^2 值	P 值
	采样数	合格数	合格率 (%)	采样数	合格数	合格率 (%)		
余氯	330	125	37.88	349	135	38.68	0.05	0.83
二氧化氯	511	407	79.65	469	382	81.45	0.51	0.48
χ^2 值		150.51			157.37			
P 值		<0.000 1			<0.000 1			

是全面建设小康社会的物质基础和重要保障^[5-6]。受自然条件和经济、社会因素的制约,农村居民饮水困难和饮水安全的问题长期存在,加上我国城乡二元结构发展政策使得农村的供水设施十分薄弱^[7]。重庆地处我国内陆西南部、长江中上游地区,域内水系丰富,流经的重要河流有长江、嘉陵江、乌江等^[8],水源充沛,但受限重庆山地居多的地质构造特点,大型水厂的管网延伸覆盖到广大农村地区十分有限,农村饮用水主要来源于当地小型水厂,水质安全的保障显得尤为重要。

本次调查研究共涉及重庆市 846 家农村水厂,覆盖农村人口 566.47 万人,约占重庆市总人口的 1/6。调查发现,农村水厂以地表水为主要水源,其中以水库水作为水源的水厂,无论是从数量还是从覆盖人口来看都占最高比例。农村水厂仍以小型集中式供水(供水能力<1 000 m³/d)为主,虽然小型水厂覆盖的人口远不及大型水厂,但数量的众多和较大型水厂硬件的不足无疑给小型水厂的水质监测和管理增加了难度。目前,重庆市农村地区水厂采用完全处理工艺的占大多数,仅极个别水厂未做任何处理,这部分水厂供水仍覆盖了 3 万余人,需要引起重视。调查显示,重庆市农村水厂主要采用二氧化氯消毒,二氧化氯因其安全性、高效性和低毒性已成为饮用水消毒的主流方式^[9],但其产生的消毒副产物仍不容忽视。

实验室分析结果显示,2015 年重庆市农村水厂出厂水合格率较其他学者的研究结果偏低^[10-11],原因可能是由于本次研究中,所有水质指标均按照国家《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)(表 1 水质常规指标及限值)的限值标准进行评价,此标准较《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)(表 4 小型集中式供水和分散式供水部分水质指标及限值)更为严格,因此本次调查中农村小型集中式供水(日供水能力在 1 000 m³ 以下)的出厂水合格率偏低,从而造成水质整体合格率较低。调查发现,丰水期出厂水合格率低于枯水期,通过对水源类型、供水能力、处理工艺、消毒方式以及单项指标进行分类比较,发现导致两水期差异的指标为菌落总数和总大肠菌群,推测原因可能是丰水期雨水较多,会将周围更多的泥沙带入水源,导致水源水微生物大量增多;另外丰水期较枯水期水温高,更易于微生物的繁殖^[12]。水源为溪水和泉水的枯水期出厂水合格率明显高于丰水期,提示这两类水源更容易受到水期的影响。通过对水质单项指标合格率的分析,发现影响出厂水水质的主要指标为浑浊度、菌落总数和总大肠菌群,水样中检出粪便指示菌(耐热大

肠菌群/大肠埃希菌),提示水质可能受到粪便的污染,存在疾病传播的风险^[13-14]。本次调查发现水源类型为江河水的出厂水合格率明显高于其他地表水,可能是因为江河较其他地表水拥有更强的自净能力,水质更易处理。供水能力在 5 000 m³/d 以上的水厂拥有比小型水厂更加完善的设备和健全的管理体系及规范的处理流程,因此出厂水合格率最高;小型水厂设备老化,人员专业水平有限,硬软件条件都亟待提升。水质未消毒导致出厂水合格率低是农村地区饮水安全的重要隐患,也是微生物指标超标的主要原因,疾病通过饮水传播的风险需要引起当地部门的高度重视。

可持续获得安全饮用水对于人的生命健康是必不可少的^[15]。针对此次调查结果,应重点关注重庆市农村地区小型水厂,特别是对供水能力<1 000 m³/d 的水厂加强规范化管理,丰水期应较枯水期加大消毒剂的使用量,对一些没有采取任何处理措施的水厂建议及时整改或使用其他大型水厂的管网延伸工程;对水厂工作人员加强相关技能培训,水厂尽量选择安全可靠的水源并注意环境的保护;对水质监测中发现的微生物超标问题应增加消毒设施的配备并严格按照要求使用,避免介水传染病的流行或暴发。

参考文献

- [1] 郑浩,于洋,费娟,等.江苏省 72 份农村饮用水水质全分析[J]. 现代预防医学,2015,42(12):2263-2265.
- [2] 张琦,魏海春,李洪兴,等.农村饮用水水质卫生管理现状及发展[J]. 环境与健康杂志,2013,30(3):3263-265.
- [3] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5750-2006 生活饮用水标准检验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2007:1-6.
- [4] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB 5749-2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社,2007:1-4.
- [5] 吴巍,周孝德,程文,等.水电开发对其影响区内饮用水水源地水质的影响研究[J].水力发电学报,2010,29(1):13-18.
- [6] 陈炼钢,陈敏建,丰华丽.基于健康风险的水源地水质安全评价[J].水利学报,2008,39(1):13-18.
- [7] 范尉尉,陈风格,赵伟,等.140 座农村集中式供水工程水质卫生监测结果分析[J].中国卫生检验杂志,2015,25(8):1244-1246.
- [8] 李云成,杨玲,朱乾德.重庆市水库型饮用水水源地污染源分析与生态修复[J].南水北调与水利科技,2015,13(5):867-870.
- [9] 朱明新,孙铁民,沈丽娜,等.二氧化氯与氯对饮用水中消毒副产物形成的研究[J].南京师大学报(自然科学版),2012,35(4):55-58.
- [10] 周东升,张尧,杜云,等.2012 年十堰市城区农村生活饮用水水质监测分析[J].现代预防医学,2014,41(5):944-945,949.
- [11] 吴基福,吕景佳.2013 年泉州市农村饮水安全工程水质卫生监测结果分析[J].实用预防医学,2016,23(1):94-96.
- [12] 陈志健,蔡建民,王晓峰,等.2013 年浙江省农村水厂出厂水水质卫生监测分析[J].中国卫生检验杂志,2014,24(16):2409-2412,2421.
- [13] 金立坚,朱鸿斌,周自强,等.四川省农村生活饮用水监测结果分析[J].预防医学情报杂志,2009,25(1):26-29.
- [14] 李作宁,籍继颖,姜兆刚,等.2008-2010 年威海市农村生活饮用水集中供水水质监测分析[J].现代预防医学,2012,39(7):1622-1623.
- [15] Abtahi M, Golchinpour N, Yaghmaeian K, et al. A modified drinking water quality index(DWQI) for assessing drinking source water quality in rural communities of Khuzestan Province, Iran[J]. Ecol Indic, 2015, (53):283-291.

收稿日期:2016-12-15