

2017—2019 年广西城市供水水质总硬度监测结果分析

韦日荣, 唐振柱, 黄江平, 黎勇, 黄林, 梁林涵, 许露曦, 黄春光, 钟格梅

广西壮族自治区疾病预防控制中心, 广西南宁 530028

摘要: **目的** 了解广西城市供水水质总硬度状况, 为下一步研究饮用水硬度与健康关系提供科学依据。 **方法** 从全国饮用水水质监测信息系统导出广西 2017—2019 年城市饮用水水质监测数据。其中的供水信息通过查阅资料、现场调查等方式收集, 水样采集、保存、运输和检测按《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750-2006) 进行, 水质检测结果按《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006) 进行评价。 **结果** 2017—2019 年广西城市供水末梢水总硬度检测结果范围在 0.0~266.8 mg/L, 合格率 100.0%。不同年度水质总硬度差异有统计学意义 ($P < 0.001$); 不同区域水质总硬度也存在显著差异 ($P < 0.001$), 最高的是河池市 (210.4 mg/L), 最低的是防城港市 (9.8 mg/L)。不同水源类型水质硬度、同类型水源不同城市水质硬度均存在显著差异 ($P < 0.001$); 地下水源末梢水硬度最高 (165.3 mg/L), 其次是江河水源 (125.0 mg/L), 最低是水库水源 (93.9 mg/L)。末梢水 pH 值与总硬度呈正相关 ($r_s = 0.622, P < 0.001$), 末梢水溶解性总固体与总硬度呈密切正相关 ($r_s = 0.907, P < 0.001$)。 **结论** 广西城市饮用水总硬度均符合国家标准要求, 但不同区域、不同水源类型水质总硬度不同, 应据此情况开展相关人群健康影响研究, 并根据各地饮水特征指导人群合理膳食和健康饮水。

关键词: 饮用水; 硬度; pH; 溶解性总固体; 城市

中图分类号: R123.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-3110(2021)02-0185-05 DOI: 10.3969/j.issn.1006-3110.2021.02.015

Surveillance results of total hardness of municipal water supply in Guangxi, 2017-2019

WEI Ri-rong, TANG Zhen-zhu, HUANG Jiang-ping, LI Yong, HUANG Lin, LIANG Lin-han, XU Lu-xi, HUANG Chun-guang, ZHONG Ge-mei

Guangxi Zhuang Autonomous Region Center for Disease Control and Prevention, Nanning, Guangxi 530028, China

Corresponding author: ZHONG Ge-mei, E-mail: zhmg@163.com

Abstract: **Objective** To understand the status of total hardness of municipal water supply in Guangxi, and to provide a scientific basis for the next research on the relationship between drinking water hardness and health. **Methods** Surveillance data about urban drinking water in Guangxi Province during 2017-2019 were derived from the National Drinking Water Quality Monitoring Information System. The information about water supply was obtained from data collection and on-site survey. All drinking water samples were collected, preserved, transported and tested according to the Standard Examination Methods for Drinking Water (GB/T 5750-2006), and the quality of drinking water was evaluated based on the Hygienic Standard for Drinking Water (GB 5749-2006). **Results** Test results showed that the total hardness of tap water in the urban areas of Guangxi from 2017 to 2019 ranged from 0.0 mg/L to 266.8 mg/L, with a qualified rate of 100.0%. The total hardness of tap water in different years showed statistically significant difference ($P < 0.001$). There were statistically significant differences in the total hardness of tap water from different regions ($P < 0.001$), with the highest being 210.4 mg/L in Hechi City and the lowest being 9.8 mg/L in Fangchenggang City. The hardness of tap water with different types of water sources and the hardness of tap water with same type of water sources in different cities were statistically significantly different ($P < 0.001$). The hardness of tap water with groundwater source was the highest (165.3 mg/L), followed by river water source (125.0 mg/L), and that of tap water with reservoir water source was the lowest (93.9 mg/L). The pH value of tap water was positively correlated with the total hardness ($r_s = 0.622, P < 0.001$), and there was a closely positive correlation between the total dissolved solid and the total hardness ($r_s = 0.907, P < 0.001$). **Conclusions** The total hardness of drinking water in cities of Guangxi meets the national standard, but there are differences in the total hardness of tap water in different regions and with different types of water sources. It is necessary to conduct the research on the impact of drinking water hardness on health of relevant population based on the surveillance results and guide the population to reasonable diet and healthy drinking water according to the drinking water characteristics in different places.

Keywords: drinking water; hardness; pondus hydrogenii; total solvable solid; city

基金项目: 广西医药卫生计划课题 (Z20170138)

作者简介: 韦日荣 (1973-), 男, 广西南宁人, 本科, 主管技师, 主要从事饮用水与环境卫生研究工作。

通信作者: 钟格梅, E-mail: zhmg@163.com。

大量研究结果发现饮用水硬度与心血管疾病发生率和死亡率呈负相关^[1-3]。Wasana 等^[4]也发现饮用水总硬度与慢性肾病、肾结石有关。但由于水质其他成分以及饮食等因素的混杂作用,对硬度与健康的关系尚未能取得一致定论。因此,尽管部分欧盟成员国已从健康角度制定了饮用水硬度相关指标的限值^[5],但 WHO 尚未从健康角度提出生活饮用水硬度基于健康的准则值^[6]。如能从饮水硬度的角度促进人群健康,将对广大公众具有重要意义,因此有必要深入研究各地生活饮用水水质硬度与健康的关系。本文分析广西市级城区饮用水硬度分布特征及相关因素,为今后开展饮用水水质硬度等指标与健康研究及干预提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源 数据资料来源于全国饮用水水质监测信息系统中的广西城市饮用水水质卫生监测网络数据,并选择 2017—2019 年广西 14 个设区市市政供水和自建设施供水的监测数据进行分析。监测点设立在集中式供水的出厂水和末梢水,其中末梢水监测点根据管网分布及其覆盖人口,同时充分考虑距离出厂水近端、中端和远端随机设立。

1.2 内容与方法

1.2.1 基本信息收集 对供水单位或工程的供水类型、水源类型、供水范围等供水基本信息通过查阅资料、现场调查等方式收集。

1.2.2 监测频次与监测指标 每个季度采样检测 1 次。监测指标为《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)中的常规指标(放射性指标除外)和非常规指标

中的氮氮指标。本文仅对其中的总硬度指标进行分析。

1.2.3 水样的采集、保存、运输、检测和评价 水样的采集、保存、运输和检测按照《生活饮用水卫生标准检验方法》(GB/T 5750-2006)进行。检测结果按照《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)进行评价,其中总硬度限值为 450 mg/L。

1.3 统计学分析 数据资料通过 Excel 2010 进行汇总分析、制图,采用 SPSS 23.0 软件进行统计学分析。正态性检验采用单样本 Kolmogorov-Smirnov 方法($P>0.1$ 符合正态分布)。因总硬度、pH、溶解性总固体指标均不服从正态分布,统计描述采用最小值(*Min*)、 P_{25} 、 P_{50} 、 P_{75} 和最大值(*Max*)表示,两样本比较用 Mann-Whitney *U* 检验,多样本比较用克鲁斯卡尔-沃利斯检验(Kruskal-Wallis test),相关性分析采用 Spearman 方法, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同年度供水总硬度情况 2017—2019 年共采集广西市级城区供水水样 5 918 份,各年度水质监测点城区覆盖率 100.0%。其中:出厂水 687 份、末梢水 5 231 份。出厂水总硬度 5.0~299.0 mg/L,末梢水总硬度 0.0~266.8 mg/L,合格率均为 100.0%,出厂水和末梢水总硬度含量差异无统计学意义($Z=-0.333, P>0.05$)。2017—2019 年出厂水总硬度中位数分别为 115.0、110.0 和 99.9 mg/L,年度间差异无统计学意义($\chi^2=3.79, P>0.05$),末梢水总硬度中位数分别为 122.0、113.0 和 116.1 mg/L,年度间差异有统计学意义($\chi^2=24.03, P<0.001$),见表 1。

表 1 2017—2019 年广西城市集中式供水水质总硬度(mg/L)

年度	出厂水						末梢水					
	水样份数(n)	Min	P_{25}	P_{50}	P_{75}	Max	水样份数(n)	Min	P_{25}	P_{50}	P_{75}	Max
2017	241	8.6	63.1	115.0	146.0	299.0	1 767	1.7	61.1	122.0	145.0	248.4
2018	227	8.5	60.3	110.0	139.0	240.0	1 709	0.0	53.0	113.0	137.0	244.0
2019	219	5.0	48.0	99.9	137.0	264.0	1 755	2.0	48.0	116.1	139.0	266.8
合计	687	5.0	56.9	108.0	140.0	299.0	5 231	0.0	54.0	118.0	140.1	266.8
年度比较	$\chi^2=3.79, P=0.150$						$\chi^2=24.03, P<0.001$					
水样类型比较	$Z=-0.333, P=0.739$											

2.2 不同城市供水总硬度分布 14 个城市集中式供水水质总硬度检测结果显示,最高的是河池市(中位数 210.4 mg/L),最低的是防城港市(中位数 9.8 mg/L);各市比较差异有统计学意义($\chi^2=4 624.58, P<0.001$),见图 1。

2.3 不同水源供水末梢水总硬度情况 以江河水为水源的有 11 个市城区,供水人口 7 114 680 人(51.96%),末梢水总硬度中位数为 125.0 mg/L(9.8~172.8 mg/L);以水库水为水源的有 8 个市城区,供水



图 1 2017—2019 年广西城市供水水质总硬度分布

人口 1 649 000 人 (12.04%), 末梢水总硬度中位数为 93.9 mg/L (13.9~122.0 mg/L); 以地下水为水源的有 5 个市城区, 供水人口 4 928 340 人 (35.99%), 末梢水总硬度中位数 165.3 mg/L (50.5~230.0 mg/L)。不同

水源类型末梢水总硬度差异有统计学意义 ($\chi^2 = 1\ 221.96, P < 0.001$)。同一水源类型在不同城市之间比较, 末梢水总硬度差异也有统计学意义 ($P < 0.001$), 见表 2。

表 2 2017—2019 年广西城市不同水源末梢水总硬度 (mg/L)

城市	江河水						水库水						地下水								
	供水人口 (人)	水样份数 (n)	Min	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	Max	供水人口 (人)	水样份数 (n)	Min	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	Max	供水人口 (人)	水样份数 (n)	Min	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	Max
南宁市	3 325 000	306	59.0	133.0	140.0	146.0	201.0	630 000	133	28.0	43.5	63.1	106.5	165.0	1 500	5	66.1	120.6	186.0	202.0	204.0
柳州市	1 298 680	329	1.7	86.0	94.0	106.0	198.0							8 000	12	90.0	117.3	133.5	141.8	186.0	
桂林市	974 500	360	36.0	50.0	62.0	73.0	200.0														
梧州市	370 000	372	54.0	75.1	85.1	129.1	160.1														
北海市								4 000	20	17.4	21.1	23.0	24.3	25.4	2 800 000	336	25.0	43.0	50.5	59.0	79.4
防城港市	200 000	476	5.3	8.8	9.8	11.0	21.1	5 000	12	8.4	10.7	13.9	16.1	27.0							
钦州市								127 000	74	2.0	16.7	22.5	30.4	59.7							
贵港市	309 500	349	85.0	130.0	136.0	141.0	172.0	100 000	46	94.0	101.8	118.0	126.0	147.0	688 840	23	200.0	222.0	230.0	238.0	246.0
玉林市	120 000	85	9.0	100.0	123.0	141.0	175.0	500 000	370	7.0	13.0	17.0	21.0	233.0							
百色市	41 000	122	92.0	123.0	127.0	131.0	145.0	133 000	302	0.0	116.0	122.0	126.0	164.0							
贺州市	180 000	8	110.6	114.5	134.6	154.2	159.6	150 000	147	91.9	99.9	114.5	137.8	159.6							
河池市															1 430 000	344	119.3	194.3	210.4	222.4	266.8
来宾市	196 000	477	161.7	168.0	172.8	178.0	187.0														
崇左市	100 000	523	7.8	125.0	128.0	134.0	164.0														
合计	7 114 680	3407	1.7	71.1	125.0	141.0	201.0	1 649 000	1104	0.0	19.0	93.9	121.4	233.0	4 928 340	720	25.0	51.6	165.3	211.6	266.8
各市比较	$\chi^2=1\ 915.05, P < 0.001$						$\chi^2=655.51, P < 0.001$						$\chi^2=554.09, P < 0.001$								
水源比较	$\chi^2=1\ 221.90, P < 0.001$																				

2.4 水质 pH 与总硬度的关系 14 个市集中式供水末梢水 pH 中位数在 6.72~8.05 之间, 总硬度中位数在 9.8~210.4 mg/L 之间, pH 和总硬度不同城市比较差异均有统计学意义 (均有 $P < 0.001$)。分析显示, 南宁、桂林、北海、钦州、贺州等市城区末梢水 pH 与总硬度无

显著相关 ($P > 0.05$), 柳州、梧州、防城港、贵港、河池、来宾、崇左、玉林等市则呈正相关 ($r_s = 0.129 \sim 0.523, P < 0.05$)。百色市呈负相关 ($r_s = -0.221, P < 0.001$)。总体上, 全区 14 市城区集中式供水末梢水水质 pH 与总硬度呈正相关 ($r_s = 0.622, P < 0.001$), 见表 3。

表 3 2017—2019 年广西城市集中式供水末梢水 pH 与总硬度的关系

所属市	pH						总硬度 (mg/L)						相关性分析	
	水样份数 (n)	Min	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	Max	水样份数 (n)	Min	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	Max	r _s	P 值
南宁市	444	6.50	7.39	7.68	7.94	8.47	444	28.0	109.0	136.0	144.0	204.0	-0.031	0.516
柳州市	341	6.88	7.57	7.79	7.94	8.70	341	1.7	86.4	95.0	107.0	198.0	0.129	0.017
桂林市	360	6.72	7.23	7.42	7.55	8.07	360	36.0	50.0	62.0	73.0	200.0	0.084	0.110
梧州市	372	7.48	7.71	7.79	7.85	8.09	372	54.0	75.1	85.1	129.1	160.1	0.230	<0.001
北海市	356	6.50	6.80	7.01	7.23	7.95	356	17.4	41.9	49.3	58.1	79.4	0.000	0.994
防城港市	488	6.52	6.95	7.02	7.22	8.06	488	5.3	8.8	9.8	11.0	27.0	0.464	<0.001
钦州市	74	6.50	6.56	6.72	6.91	8.04	74	2.0	16.7	22.5	30.4	59.7	-0.159	0.176
贵港市	418	7.29	7.62	7.74	7.84	8.21	418	85.0	128.0	136.0	142.0	246.0	0.190	<0.001
玉林市	455	6.50	6.67	6.91	7.20	8.20	455	7.0	13.0	17.0	31.0	233.0	0.523	<0.001
百色市	424	7.46	7.95	8.05	8.13	8.34	424	0.0	118.0	124.0	128.0	164.0	-0.221	<0.001
贺州市	155	7.33	7.56	7.62	7.85	7.98	155	91.9	100.1	116.1	137.8	159.6	0.066	0.417
河池市	344	7.09	7.65	7.81	7.88	8.25	344	119.3	194.3	210.4	222.4	266.8	0.239	<0.001
来宾市	477	7.28	7.79	7.87	7.95	8.30	477	161.7	168.0	172.8	178.0	187.0	0.494	<0.001
崇左市	523	7.23	7.71	7.79	7.88	8.39	523	7.8	125.0	128.0	134.0	164.0	0.374	<0.001
合计	5 231	6.50	7.25	7.69	7.87	8.70	5231	0.0	54.0	118.0	140.1	266.8	0.622	<0.001
各市比较	$\chi^2=3\ 395.18, P < 0.001$						$\chi^2=4\ 207.30, P < 0.001$							

2.5 水质溶解性总固体与总硬度的关系 14 个市集中式供水末梢水溶解性总固体在 12.0~363.0 mg/L 之间, 总硬度在 0~266.8 mg/L 之间, 溶解性总固体和总硬度不同城市比较差异均有统计学意义 (均有 $P <$

0.001)。总体上, 全区城区集中式供水末梢水溶解性总固体中位数为 153.0 mg/L。分析显示, 总体上溶解性总固体与总硬度呈正相关 ($r_s = 0.907, P < 0.001$), 见表 4。

表 4 2017—2019 年广西 14 个市城市集中式供水末梢水溶解性总固体与总硬度的关系

所属市	溶解性总固体 (mg/L)						总硬度 (mg/L)						相关性分析	
	水样份数 (n)	Min	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	Max	水样份数 (n)	Min	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	Max	r _s	P 值
南宁市	444	41.0	142.0	165.5	177.0	266.0	444	28.0	109.0	136.0	144.0	204.0	0.877	<0.001
柳州市	341	94.0	126.0	143.0	203.5	363.0	341	1.7	86.4	95.0	107.0	198.0	0.511	<0.001
桂林市	360	45.0	76.3	89.0	109.0	272.0	360	36.0	50.0	62.0	73.0	200.0	0.728	<0.001
梧州市	372	103.0	121.0	139.0	184.0	235.0	372	54.0	75.1	85.1	129.1	160.1	0.928	<0.001
北海市	356	43.0	101.0	135.0	173.0	273.0	356	17.4	41.9	49.3	58.1	79.4	0.826	<0.001
防城港市	488	15.0	22.0	25.0	29.0	98.0	488	5.3	8.8	9.8	11.0	27.0	-0.161	<0.001
钦州市	74	58.0	72.0	92.0	124.0	172.0	74	2.0	16.7	22.5	30.4	59.7	0.303	0.009
贵港市	418	100.0	151.0	160.0	169.0	292.0	418	85.0	128.0	136.0	142.0	246.0	0.955	<0.001
玉林市	455	12.0	22.0	28.0	54.0	296.0	455	7.0	13.0	17.0	31.0	233.0	0.931	<0.001
百色市	424	116.0	148.0	156.0	166.0	211.0	424	0.0	118.0	124.0	128.0	164.0	0.58	<0.001
贺州市	155	118.0	128.0	145.0	175.0	197.0	155	91.9	100.1	116.1	137.8	159.6	0.952	<0.001
河池市	344	186.0	239.0	253.0	266.0	315.0	344	119.3	194.3	210.4	222.4	266.8	0.499	<0.001
来宾市	477	221.0	251.0	261.0	275.0	352.0	477	161.7	168.0	172.8	178.0	187.0	0.335	<0.001
崇左市	523	15.0	155.0	169.0	180.0	276.0	523	7.8	125.0	128.0	134.0	164.0	0.489	<0.001
合计	5 231	12.0	101.0	153.0	187.0	363.0	5 231	0.0	54.0	118.0	140.1	266.8	0.907	<0.001
各市比较														

 $\chi^2=3\ 679.82, P<0.001$ $\chi^2=4\ 207.30, P<0.001$

3 讨论

研究发现饮用高硬度的水是健康保护因素^[7-10],水质硬度是人体钙镁的重要来源,后者与骨密度有关;水中钙、镁和碳酸盐可降低高密度脂蛋白和胆固醇浓度^[11],进而与心血管疾病有关;水质硬度与水质氧化还原电位负相关^[12],较高硬度的水质能提高抗氧化酶活性,降低机体氧化损伤^[13]及机体炎症反应,后者与癌症、糖尿病、动脉硬化等多种疾病有关^[13-15]。研究还发现饮用水的Ca²⁺、Mg²⁺和HCO³⁻明显偏高与尿石症高发有关^[16],但也有研究发现长期饮用纯净水也会导致较高的肾结石发病率^[17]。因此,饮水水质硬度与健康关系尚需进一步研究。

广西 2017—2019 年城市供水水质总硬度合格率为 100.0%。出厂水和末梢水总硬度含量差异无统计学意义,提示水质硬度受输水过程影响较小,而与各地较为稳定的地质^[18]和自然条件有关。出厂水总硬度各年度间差异无统计学意义,但末梢水总硬度年度间有显著差异,可能是由于各年度末梢水的采样分布不同。广西 14 个市水质总硬度差异有统计学意义($P<0.001$),河池市最高(中位数 210.4 mg/L),防城港市最低(中位数 9.8 mg/L),相差 20 倍。河池市水质硬度最高可能与该市喀斯特地貌面积居广西首位有关;而防城港市硬度最低,则可能与该市降水量最高^[19]有关。钦州市、北海市降水量较高^[19]水质硬度也较低。值得关注的是,水质硬度最高的河池市是中国首个地级世界长寿市,下辖多个长寿县,包括世界著名长寿县巴马县,水质硬度与长寿的关系有待进一步探讨。不同水源末梢水总硬度差异有统计学意义($P<0.001$)。地下水水

源末梢水总硬度较高(中位数 165.3 mg/L),其次是江河水源(中位数 125.0 mg/L),最低的是水库水源(中位数 93.9 mg/L),与相关研究结果基本一致^[20]。地下水源硬度最高,原因可能是地下水由地表水渗入,经过含钙镁的岩层,在水中溶解的CO₂协同作用下溶进较多离子,且少受雨水稀释;江河水源硬度较低,可能是由于较少接触岩层且易受雨水径流稀释;水库水源硬度最低,可能与地质和降水量有关。湿润多雨的地区土壤酸度大,钙、镁溶解度高淋失强烈,水质硬度就比较低。同一水源类型不同城市末梢水总硬度差异有统计学意义($P<0.001$),原因可能与各地地质及降水量不同有关。

pH 与总硬度呈正相关($r_s=0.622, P<0.001$),与周金华等^[21]的研究一致,原因可能与水质硬度成分之一碳酸氢盐硬度呈碱性有关;有些市水质 pH 与总硬度无相关性,可能是由于该地区水质硬度以中性的硫酸盐、氯化物等为主,含碱性的碳酸氢盐较少;百色市呈负相关可能是由于 pH 的升高使其他离子溶出减少而降低水质总硬度,相关研究也有类似结果^[20]。水质溶解性总固体与总硬度总体上呈密切正相关($r_s=0.907, P<0.001$),与王子豪等^[22]的研究一致。但防城港市水质硬度与溶解性总固体呈负相关,原因可能是该市水质含有较多的碳酸氢盐,伴随硬度的升高 pH 也升高,使得其他离子溶出减少,因而水中溶解性总固体相对降低。进一步分析也发现该市末梢水 pH 与溶解性总固体呈负相关($r_s=-0.322, P<0.01$)。以上提示水质硬度不是单一性状,与其他理化性状及其他离子相关,水质硬度构成及相关性状不同,健康效应可能也不同,研