

应用感官指数和健康指数评价生活饮用水水质

李洁, 李红岩, 王新, 郑蓓, 于建伟

(中国科学院生态环境研究中心 饮用水科学与技术重点实验室, 北京 100085)

摘要: 生活饮用水质量的优劣直接关系到居民的健康水平和生活质量, 公众对生活饮用水的安全性及品质日益关注。饮用水的感官性状作为公众判定水质安全性的最直观指标, 直接影响人们的使用意愿。以北方某城市生活饮用水为例, 应用感官指数和健康指数评价其水质。结果表明, 该市供水水质能够达到安全饮用标准, 但感官品质和健康水平有待提升。适当的硬度和较低的硫酸盐含量是健康、美味饮用水的有益特征。

关键词: 生活饮用水; 感官性状; 感官指数; 健康指数

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)23-0054-05

Evaluation of Drinking Water Quality by Sensory and Health Indices

LI Jie, LI Hong-yan, WANG Xin, ZHENG Bei, YU Jian-wei

(Key Laboratory of Drinking Water Science and Technology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Directly related to health and living conditions, the public attentions on drinking water quality and safety have been constantly increasing. As an intuitive characterization of the supplied water, the levels of sensory parameters are directly correlated to consumers' impression and acceptability of drinking water. In a case study in a city in north China, sensory and health indices were applied to evaluate drinking water quality. The results showed that the sensory level and the health-based quality indices needed to be further improved although it had met the current standards. In addition, suitable hardness and lower sulfate were beneficial characteristics of healthy and tasty drinking water.

Key words: drinking water; sensory property; sensory index; health index

生活饮用水质量不仅直接影响居民健康水平, 而且已经成为衡量一个国家和地区文明程度的标志之一。

我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)规定常规指标包括微生物指标、毒理指标、感官性状和一般化学指标、放射性指标等, 水质的评价一般采用水质指标合格率, 符合饮用水水质标准的水即为安全饮用水。但由于指标繁杂, 公众对水质的直观了解大多仍停留在感官性状方面。饮用水的感官性

状作为公众判定水质安全性的最直观指标, 也是评价饮用水品质优劣的主要手段, 直接影响人们的使用意愿^[1,2]。随着人们生活水平的提高, 公众对生活饮用水的安全性及品质的要求也越来越高。感官性状不良的饮用水, 会使人产生厌恶感和不安全感^[3,4]。在国外饮用水水质健康评价中, 感官性状也都列为重要指标^[5]。

相关研究表明, 饮用水口感的优劣及对健康的影响与其含有的阴阳离子种类及含量存在密切联

系^[6]。Hashimoto 将饮用水的美味度量化,提出感官指数(*O* Index)和健康指数(*K* Index)概念,并通过消费者偏好分析得以验证^[7]。当 *O* Index ≥ 2.0 时,认为该饮用水口感好(美味水);当 *K* Index ≥ 5.2 时,认为该饮用水有益健康(健康水)。两项指数结合能够综合反映水质,对生活饮用水品质提升具有一定参考意义。

$$O \text{ Index} = \frac{Ca^{2+} + K^{+} + SiO_2}{Mg^{2+} + SO_4^{2-}} \quad (1)$$

$$K \text{ Index} = Ca^{2+} - 0.87Na^{+} \quad (2)$$

近年来在我国水质评价相关研究中,水质综合指数(WQI)是一种常用的评价方法,其根据不同水质指标的特点对水质进行分类分析,对各分类的类指数进行加权得到综合指数,可从总体上定量反映水质优劣,通常以 WQI 值是否低于 1.00 作为水质合格与否的标准^[8]。

笔者以北方某城市生活饮用水为例,主要对其感官性状进行考察,并应用感官指数和健康指数评价其水质,旨在为进一步提高生活饮用水质量,保障居民的身体健康提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 水样来源

对北方某城市市区公共供水系统、郊区公共供水系统和自建设施供水单位的共 100 个样品(28 个出厂水和 72 个管网水)进行采集检测,采样时间为 2017 年 6 月—7 月。水样的采集、保存及质量控制参照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750—2006)。

1.2 检测指标及方法

色度、浊度、臭和味、肉眼可见物、pH 值、氯化物、硫酸盐、溶解性总固体、总硬度参照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750—2006)测定; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 、 SiO_2 指标利用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)测定。

2 结果与分析

2.1 感官性状指标检测结果

该市市区公共供水系统、郊区公共供水系统和自建设施供水单位的感官性状指标检测结果如表 1 所示。所有样品均无色、澄清、无味、无肉眼可见物, pH 值在 7.26 ~ 8.38 之间,氯化物、硫酸盐、溶解性总固体、总硬度含量检出结果均符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。

表 1 饮用水感官性状指标检出情况

Tab. 1 Detection results of sensory properties in drinking water

项 目	市区	郊区	自建
色度/度	<5	<5	<5
浊度/NTU	<1	<1	<1
臭和味	无异臭、异味	无异臭、异味	无异臭、异味
肉眼可见物	无	无	无
pH 值	7.39 ~ 7.95	7.26 ~ 8.14	7.29 ~ 8.38
氯化物/ (mg · L ⁻¹)	13.20 ~ 69.64	5.87 ~ 99.31	11.63 ~ 80.99
硫酸盐/ (mg · L ⁻¹)	25.34 ~ 96.09	6.39 ~ 167.42	23.53 ~ 130.57
溶解性总固体/ (mg · L ⁻¹)	185 ~ 591	202 ~ 795	265 ~ 614
总硬度/ (mg · L ⁻¹)	112.1 ~ 338.3	125.9 ~ 435.4	196.0 ~ 380.7

2.2 感官指数和健康指数评价

所有水样的感官指数和健康指数分布情况如图 1 所示。76% 的水样处于健康指数较好区域,4% 的水样处于口感较好区域;口感好且有益健康的水样占全部水样的 4%,其样品无色、澄清、无味、无肉眼可见物, pH 值在 7.55 ~ 7.84 之间,氯化物(5.87 ~ 8.53 mg/L)、硫酸盐(6.39 ~ 8.41 mg/L)、溶解性总固体(245 ~ 285 mg/L)、总硬度(140.1 ~ 225.2 mg/L)含量在所有样品中处于较低水平,采用加权平均法计算的水质综合指数均在 0.50 以下,水质优良。可以看出,该市生活饮用水水质虽然达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求,但水质的感官水平仍待提高。某些指标在一定浓度下对健康无危害,但会影响饮用水的感官性状。

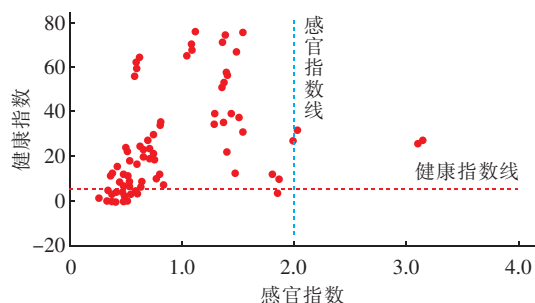


图 1 生活饮用水感官指数和健康指数分布

Fig. 1 Distribution of sensory and health indices of drinking water

所检测水样的感官指数和健康指数情况见表 2。感官指数为 0.3 ~ 3.1,健康指数为 0.5 ~ 75.4。与市区和自建单位相比,郊区公共供水的感官指数和

健康指数均较高。所有样品中,出厂水和管网水的总体感官指数和健康指数无明显差别,管网输配未对饮用水感官指数和健康指数产生明显影响。

表 2 饮用水感官指数和健康指数评价

Tab. 2 Evaluation of sensory and health indices of drinking

water

项 目	感官指数	美味水比例/%	健康指数	健康水比例/%
市区	0.3~0.8	0 (0/38)	0.5~33.3	42 (16/38)
郊区	0.4~3.1	8 (4/51)	5.0~75.4	98 (50/51)
自建	0.4~0.7	0 (0/11)	4.8~28.9	91 (10/11)
出厂	0.4~2.0	7 (2/28)	3.4~75.4	86 (24/28)
管网	0.3~3.1	3 (2/72)	0.5~75.4	72 (52/72)

在符合水质指标限值要求下,饮用水的美味程度与 Ca^{2+} 、 K^{+} 、 SiO_2 呈正相关,与 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 呈负相关。对所测样品的感官指数差异性进行分析,分布于感官指数线两侧的样品的指标检出情况如表 3 所示。可以看出,本次检测的饮用水样品(感官指数 ≥ 2.0 的样品数为 4,感官指数 < 2.0 的样品数为 96)中,感官指数 ≥ 2.0 的样品与其他样品的 Ca^{2+} 、 K^{+} 、 SiO_2 、 Mg^{2+} 指标没有明显的相关和差异,但感官指数 ≥ 2.0 的样品中硫酸盐浓度(6.4~8.4 mg/L)均低于其他水样(8.8~167.4 mg/L)。

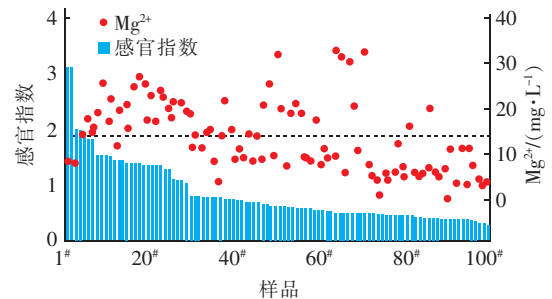
表 3 感官指数差异性分析

Tab. 3 Analysis of differences in sensory indices

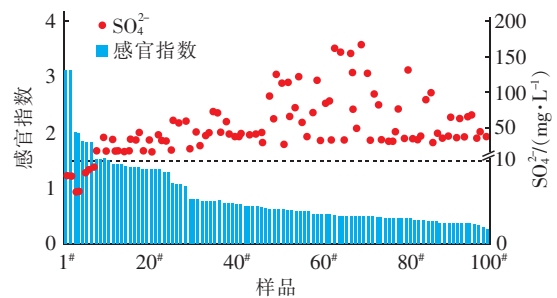
项 目	感官指数 ≥ 2.0			感官指数 < 2.0		
	范围	均值	中值	范围	均值	中值
$\text{Ca}^{2+}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	35.8~41.7	39.2	39.6	11.6~92.7	44.8	41.8
$\text{K}^{+}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.9~1.0	0.9	0.9	0.1~3.3	1.5	1.2
$\text{Mg}^{2+}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	8.3~15.2	11.6	11.4	0.5~32.8	14.0	12.1
$\text{SiO}_2/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	4.3~10.7	7.5	7.5	0.1~8.7	3.0	2.0
$\text{SO}_4^{2-}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	6.4~8.4	7.4	7.4	8.8~167.4	56.0	41.7
感官指数	2.0~3.1	2.6	2.6	0.29~1.87	0.8	0.6

所测样品感官指数与镁离子、硫酸盐浓度的分布情况如图 2 所示。可以看出,该市市区和郊区所检水样中镁离子浓度与感官指数关联性不高,可能与该区域中镁离子浓度整体较低(14.0 mg/L 左右)有关;而按感官指数由高到低排序,处于前 10% 水样的硫酸盐浓度均较低($< 10.0 \text{ mg/L}$),说明该市

饮用水中较高的 SO_4^{2-} 浓度会影响其美味程度,硫酸盐浓度较低的饮用水口感较好。



a. 感官指数与 Mg^{2+} 浓度分布



b. 感官指数与 SO_4^{2-} 浓度分布

图 2 饮用水感官指数与镁离子、硫酸盐浓度分布

Fig. 2 Relationship between sensory index and magnesium and sulfate concentration of drinking water

在符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)水质指标限值要求下,饮用水是否有益健康与 Ca^{2+} 、 Na^{+} 有关。对所测样品的健康指数差异性进行分析,分布于健康指数线两侧的样品的指标检出情况见表 4。可以看出,本次分析的饮用水样品(健康指数 ≥ 5.2 的样品数为 76、健康指数 < 5.2 的样品数为 24)中,健康指数 ≥ 5.2 的样品中 Ca^{2+} 浓度(16.9~92.7 mg/L)相对较高, Na^{+} 浓度与其他样品相差不大,说明该区域 Ca^{2+} 对健康指数的影响大于 Na^{+} 的影响。

表 4 健康指数差异性分析

Tab. 4 Analysis of differences in health indices

项 目	健康指数 ≥ 5.2			健康指数 < 5.2		
	范围	均值	中值	范围	均值	中值
$\text{Ca}^{2+}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	16.9~92.7	50.8	44.5	11.6~64.0	24.9	17.2
$\text{Na}^{+}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	8.6~87.9	24.6	15.6	11.1~68.1	25.1	18.5
总硬度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	112.1~435.4	236.0	240.1	122.1~312.3	194.0	161.9
健康指数	5.9~75.4	29.4	23.4	0.5~5.1	3.1	3.4

所测样品健康指数与钙离子浓度分布情况如图 3 所示。可以看出,健康指数较高的样品,特别是健康指数值 >30 的样品, Ca^{2+} 浓度也处于较高水平;而未达到健康指数 ≥ 5.2 标准的样品, Ca^{2+} 浓度普遍处于较低水平。

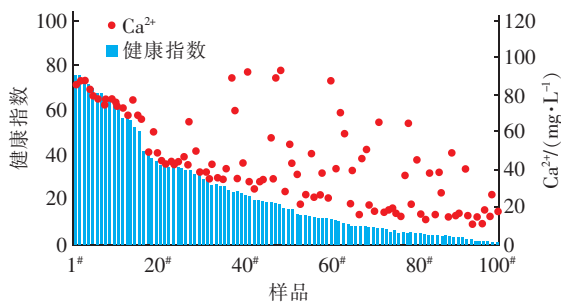


图 3 饮用水健康指数与钙离子浓度分布

Fig. 3 Relationship between health index and calcium concentration of drinking water

钙离子是构成饮用水硬度的重要指标,硬度过高会影响口感,加热后的水会产生明显水垢而影响感官,其实硬度过低对饮用水的健康并不利,因此为改善感官而一味追求低硬度是不合理的,口感好且有益健康的饮用水其硬度应控制在适当范围内。习惯上把水中钙、镁离子的总量定义为总硬度,从健康指数的角度分析, Ca^{2+} 含量至少应在 5.2 mg/L 以上对健康有益,所检饮用水中评价为健康、美味水的 Mg^{2+} 含量平均为 12 mg/L ,将钙、镁离子浓度换算成总硬度(以 CaCO_3 计),对健康有益的饮用水硬度值应大于 60 mg/L ;所检饮用水中评价为健康、美味水的 Ca^{2+} 含量平均为 42 mg/L ,结合与感官指数相关的 K^+ 、 SiO_2 、 SO_4^{2-} 检出情况, Mg^{2+} 含量应小于 21 mg/L ,换算成硬度值为小于 200 mg/L 时饮用水口感较好,该值与澳大利亚饮用水指南中硬度指标基于感官的指导值相一致。

2.3 讨论

从影响饮用水感官性状的指标角度分析,该市供水水质能够满足安全饮用标准,但感官品质和健康水平还有待提升;适当的硬度和较低的硫酸盐是健康、美味饮用水的有益特征。

WHO 指出硫酸盐可以产生引人注意的味道,当浓度非常高时,对敏感者有致泻作用,硫酸盐使水的味道异常的程度随其所结合阳离子的不同而不同,味阈值范围从 250 mg/L (硫酸钠)到 $1\,000 \text{ mg/L}$ (硫

酸钙)。一般认为 SO_4^{2-} 浓度在 250 mg/L 以下时,对水味的影响不大^[9]。但现有资料尚不能确定饮用水中适宜的硫酸盐水平,WHO 没有制订硫酸盐的基于健康的准则值^[9],我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)规定硫酸盐的限值为 250 mg/L ,按照感官指数评价结果,现有样品评价为美味饮用水的硫酸盐浓度应小于 10 mg/L ,远低于国标规定的限值要求。

WHO 指出没有强有力证据表明饮用水的硬度会危害健康,因此未对硬度设限^[9];日本 2015 年开始实施新的饮用水水质标准,在法定项目中规定总硬度的限值为 300 mg/L ,在水质目标管理项目中,将其对应值限定在 $10 \sim 100 \text{ mg/L}$,对总硬度的危害及其对健康的重要性进行了综合考量。由于饮用水中硬度过高,可能会引起结垢及口感问题,进而影响居民接受程度,我国《生活饮用水卫生标准》规定总硬度的限值为 450 mg/L ,但硬度并不是越低越好,结合健康指数和感官指数评价结果,总硬度推荐范围为 $60 \sim 200 \text{ mg/L}$ 。

3 结论

公众对饮用水质量的日益关注,对城市供水管理提出更高的要求,城市供水的发展趋势是在达到饮用水卫生标准的前提下,从安全性、感官性和健康性的角度进一步提升饮用水品质,保障居民获得更优质的生活饮用水。

参考文献:

- [1] Burlingame G A, Dietrich A M, Whelton A J. Understanding the basics of tap water taste[J]. J AWWA, 2007, 99 (5): 100–111.
- [2] Marcussen H, Bredie W L P, Stolzenbach S, et al. Sensory properties of Danish municipal drinking water as a function of chemical composition[J]. Food Res Int, 2013, 54 (1): 389–396.
- [3] 穆春芳, 鲍晨炜, 罗之纲. 饮用水感官评价的研究现状[J]. 食品科技, 2012, 37(5): 77–81.
Mu Chunfang, Bao Chenwei, Luo Zhigang. Current status in research on sensory evaluation of drinking water[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(5): 77–81 (in Chinese).
- [4] Nahar M S, Zhang J. Assessment of potable water quality including organic, inorganic, and trace metal concentrations

(下转第 63 页)