

上海市生活饮用水水质指数研究

应亮

摘要: [目的] 探索建立适合上海实际的生活饮用水水质指数,为生活饮用水信息化建设提供方法。[方法] 对比不同水质指数的计算式和参数,作适当修改,并对上海市生活饮用水水质检测数据进行水质指数计算,观察和分析各水质指数的合理性。[结果] 利用5种计算公式分别对上海市水质监测结果进行指数计算,显示经修正的含“惩罚项”的指数计算方法,所得指数能反映水质实际情况。利用五色等级法,对不同公式所得指数以色彩表示,同样验证了上述结果。[结论] 提出以袁志彬法为基础,根据新版《生活饮用水卫生标准》修正的含“惩罚项”的指数计算方法,既考虑了每个指标对指数的贡献,又通过增加“惩罚项”反映超标项目对生活饮用水水质的影响,比较符合上海水质的实际情况。借鉴五色等级分类法,还能使指数更简便易懂。

关键词: 生活饮用水;水质指数;信息公开

A Study of Drinking Water Quality Index in Shanghai YING Liang(Office of Production Health Supervision, Agency for Public Health Inspection, Shanghai Municipal Health Bureau, Shanghai 200050, China)

Abstract: [Objective] To establish a scientific and objective index of drinking water quality and to make it in accord with the actual situation in Shanghai. It may lay a foundation for the information construction of drinking water. [Methods] After the properties of drinking water quality in Shanghai were taken into consideration, proper water quality indices were chosen and then calculated by using water quality testing data in Shanghai into a theory based on the comparison and adjustment of several different calculating theories of water quality index. [Results] Five different water quality indices were calculated by using water quality testing data in Shanghai, the index calculated in the modified“ penalty term ”calculating method could reflect the actual situation of water quality. The above conclusion was also verified by the results of the five colors grade classification method. [Conclusion] The new index of drinking water quality should be calculated as follows : use the“ penalty term ”calculating method based on the YUAN Zhi-bin method and modified according to the new edition of“ Standards for drinking water quality ”. This method accords with the actual situation of water quality in Shanghai in that the contribution of all the items to the index has been considered and the influence of exceed-limit-items on drinking water quality has been shown by adding‘ penalty term ’. The new index is also easy to understand by taking the five colors grade classification method as reference.

Key Words: drinking water; water quality index; information disclosure

随着社会公众对生活质量要求的不断提高,公众对城市饮用水水质信息公开的要求越来越强烈。建立一个符合上海实际情况且科学客观的生活饮用水水质指数(drinking water quality index ,DWQI),是综合评价上海生活饮用水水质,分析生活饮用水变化趋势,进一步开展生活饮用水信息化建设的前提。本研究拟比较分析我国现有水质指数的各项研究,提出建立上海市生活饮用水水质指数的方法。

1 材料与方法

1.1 材料

以上海市卫生监督机构2007年度生活饮用水重点监督检查的水质数据为分析材料,共选取8个水厂出厂水水质检测数据。包括3家市级水厂、1家区级水厂、3个乡镇级水厂和1家

自建水厂,检测指标包括了菌落总数、总大肠菌群、浑浊度等17项指标,其中消毒剂指标根据该供水单位使用消毒工艺不同分为游离氯和总氯(一氯胺)。

1.2 方法

1.2.1 指数计算式的选择 选用的方法包括袁志彬^[1]、王思峰^[2]、徐幼云^[3]等分别提出的水质指数计算法(下文凡提及这些计算法,均以方法提出者命名,如袁志彬法,等)。由于GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》修订后,部分指标和限值都有所改变,因此对上述各方法均进行了修正,形成以下计算公式:

(1)公式一(基于袁志彬法的修正):

$$DWQI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}} \times \sqrt{I_{i,\max}} \times I_{i,\text{exceed}}$$

式中: $I_i = C_i/S_i$ (I_i 为单项指标指数, C_i 为单项指标检测结果, S_i 为该指标的标准值,当 $C_i < S_i$ 的1/10或低于检测限的, $I_i = 0.1$,下同); $I_{i,\max}$ 是最大指数值, $I_{i,\text{exceed}}$ 为单项指标超标项目的指数值(全部指标均合格时不计算该值,下同); n 为单项

[作者简介] 应亮(1972-),男,学士,主管医师;研究方向:公共卫生监督;E-mail: liangyingsh@vip.sina.com

[作者单位] 上海市卫生局卫生监督所产品卫生监督科,上海 200050

指数项数；当微生物指标合格的， $I=1$ ；不合格的，菌落总数 $I=1+\lg(C_i/100)$ ，总大肠菌群和大肠埃希菌 $I=1+\lg(C_i/0.3)$ ；

对上下限都有标准的指标，合格的， $I=0.1$ ，不合格的，则 $I=(C_i-D)/(D)$ (上限或下限 $-D$) D 为上限和下限的均值，下同)。

(2)公式二，计算方法同公式一，与公式一不同的是，菌落总数合格的， $I=1$ ；不合格的， $I=1+\lg(C_i/100)$ 。总大肠菌群和大肠埃希氏菌合格的， $I=0$ ；不合格的， $I=1$ 。

(3)公式三，计算方法同公式一，与公式一不同的是，菌落总数合格的， $I=1$ ；不合格的， $I=1+\lg(C_i/100)$ 。总大肠菌群和大肠埃希氏菌合格的， $I=0$ ；不合格的， $I=1+\lg C_i$ 。

(4)公式四(基于王思峰法的修正)：

将指标按照标准，分为感官性状、化学毒理和细菌学指标， $DWQI=0.1 \times$ 感官类指数 $+0.5 \times$ 化学毒理类指数 $+0.4 \times$ 细菌类指数，其中感官性状、化学毒理指标的类指数 $=\frac{1}{n} \sum(C_i/S_i)$ ，细菌学指标的类指数 $=\sqrt{[(C_i/S_i)_{ar}]^2 + [(C_i/S_i)_{max}]^2}$ 。

式中： $(C_i/S_i)_{ar}$ 、 $(C_i/S_i)_{max}$ 分别为平均值和最大值，下同；

当 $C_i < S_i$ 的 1/10 或低于检测限的，指标指数 $=0.1$ ；当微生物指标合格的，指标指数 $=1$ ；不合格的，菌落总数指数 $=1+\lg(C_i/100)$ 。总大肠菌群和大肠埃希氏菌指数 $=1+\lg(C_i/0.3)$ ，下同；对上下限都有标准的指标，合格的，指标指数 $=0.1$ ；不合格的，则指标指数 $=\frac{C_i-D}{D}$ (上限或下限 $-D$)，下同。

(5)公式五(基于徐幼云法的修正)：

将指标按照标准，分为感官性状、化学毒理和细菌学指标，

$DWQI = \sqrt{(C_{类}/S_{类})_{ar} \times (C_{类}/S_{类})_{max}}$ ，类指数 $= \sqrt{(C_i/S_i)_{ar} \times (C_i/S_i)_{max}}$ ，式中 $(C_{类}/S_{类})_{ar}$ 、 $(C_{类}/S_{类})_{max}$ 为类指数平均值和最大值。

1.2.2 指数等级评价 根据与国际接轨的公共信息图形符号标志，按照表 1 对 DWQI 值进行分级^[1]。DWQI > 1(黄色)作为水质污染的界值。

表 1 五色等级分类法对 DWQI 值分级

级别	颜色	DWQI 值	含义
1级(优)	绿色	<0.5	水质优良,达到了饮用水水质要求
2级(良)	蓝色	0.5~	水质良好,符合水质标准要求,消费者可以放心使用
3级(较差)	黄色	1.0~	水质较差,部分指标出现超标现象,虽然短期内对人体健康不会产生明显的危害,但应采取有关措施尽快加以解决
4级(差)	红色	2.0~	水质差,应当停止使用(采用替代水源或者进行再次处理)
5级(很差)	黑色	4.0~	水质很差,将严重影响人体健康和社会稳定

2 结果

2.1 出厂水质量

按照 GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》的规定，8 件样品中存在指标超标的有样品 1、2、3、6、7 和 8 共 6 件。其中样品 8 不仅致病菌超标，而且有 6 项指标超标；样品 7 仅次于样品 8，有 4 项指标超标；样品 2 有消毒剂余量、耗氧量超标；样品 6 有铁、锰超标；样品 1 锰超标；样品 3 耗氧量超标，见表 2。

表 2 2007 年上海市 8 家集中式供水单位出厂水检测结果

项目	标准 [*]	样品序号							
		1	2	3	4	5	6	7	8
总大肠菌群(MPN/100mL)	不得检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	2
大肠埃希氏菌(MPN/100mL)	不得检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	2
菌落总数(cfu/mL)	100	0	1	0	1	<1	0	10	4
三氯甲烷(mg/L)	0.06	0.006	0.002	0.031	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
四氯化碳(mg/L)	0.002	0.0012	0.0005	0.0005	<0.0002	<0.0002	0.00045	0.00046	0.00045
色度(铂钴色度单位)	15	10	5	5	5	5	12	8	10
浑浊度(NTU)	1	0.49	0.2	0.1	0.4	0.6	0.3	0.4	0.6
pH	不小于 6.5 且不大于 8.5	7.13	7.52	7.39	7.62	7.62	8.1	7.6	7.62
铝(mg/L)	0.2	0.086	0.04	0.054	0.065	0.034	0.044	0.032	0.041
铁(mg/L)	0.3	<0.02	0.05	0.05	0.05	0.04	0.36	<0.02	0.22
锰(mg/L)	0.1	0.13	0.05	0.05	<0.02	0.01	0.24	0.19	0.14
氯化物(mg/L)	250	56.5	100	110	76.4	38.3	176.7	742.6	329.7
硫酸盐(mg/L)	250	71.7	130	110	43.8	41	28	82.2	37.5
溶解性总固体(mg/L)	1000	501	591	507	346	296	796	2604	1154
总硬度(mg/L)	450	158	163	170	295	144	114	875	335
耗氧量(mg/L)	3	2.83	3.9	4.5	1.26	2.4	1.2	1.7	1.1
消毒剂余量	总氯(一氯胺)(mg/L)	0.5 且 3	0.9	0.35	—	—	0.7	—	—
	游离氯(mg/L)	0.3 且 4	—	—	0.3	0.3	—	0.3	0.3

[注]^{*}：水质标准为 GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》；[△]：该指标超标；MPN：最大可能数；cfu：菌落形成单位；NTU：散射浊度单位。

2.2 DWQI 及五色等级

运用公式二至五分别计算各样品 DWQI 值，结果显示，公式一和三反映出共有 6 件样品超标，与实际情况相符。公式二和四未反映出样品 1 超标情况，公式五未反映出样品 1、3、6、

7 的超标情况。公式一和三评价结果主要区别在样品 8，样品 8 有致病菌和消毒剂指标双双超标，符合红色、黑色的分级定义，而公式三计算结果样品 6 的 DWQI 值反而大于样品 8，两者分级色均为红色，显然没有反映出两者的实际差异。公式一评价

样品 6 为红色, 样品 8 为黑色, 因此综合分析认为公式一的计算结果较符合实际情况, 见表 3。

表 3 不同公式计算所得的 DWQI 及五色等级

样品序号	公式一	公式二	公式三	公式四	公式五
1	1.19(黄色)	0.96(蓝色)	1.19(黄色)	0.96(蓝色)	0.34(绿色)
2	1.28(黄色)	1.07(黄色)	1.28(黄色)	1.07(黄色)	1.68(黄色)
3	1.44(黄色)	1.14(黄色)	1.44(黄色)	1.14(黄色)	0.30(绿色)
4	0.70(蓝色)	0.52(蓝色)	0.70(蓝色)	0.52(蓝色)	0.22(绿色)
5	0.68(蓝色)	0.51(蓝色)	0.68(蓝色)	0.51(蓝色)	0.21(绿色)
6	3.81(红色)	3.19(红色)	3.81(红色)	3.19(红色)	0.40(绿色)
7	48.86(黑色)	43.13(黑色)	48.86(黑色)	43.13(黑色)	0.60(绿色)
8	8.86(黑色)	1.80(黄色)	3.66(红色)	8.61(黑色)	2.08(红色)

[注]: 该指标超标。

3 讨论

水质指数法来源于环境质量指数法, 近 30 多年来, 国外先后发表了不少水质指数, 包括美国的 Brown 指数(1970 年)和 Nemerow 水质指数(1974 年)、意大利的 Prati 指数(1971 年)等, 这些水质指数在指标选择、指标评分及加权等方面均有很大的主观性, 有些指标也非我国习惯测定的项目。而国内在这方面的研究更多地集中在对河流湖泊等地面水水质的研究, 在生活饮用水水质指数方面研究较少, 有必要进行更多的探索和研究。

建立生活饮用水水质指数需要明确两点, 一是建立指数计算方法, 二是指标的选择。本研究主要内容是对指数计算方法的选择。通过文献检索, 我国目前有袁志彬、王思峰、徐幼云、李春生^[4]等提出的水质指数算法, 李春生提出的水质指数算法涉及到增补系数, 该增补系数使用的是边秀兰^[5]等提出的指标权重系数, 由于本研究选择的指标和标准均来自新修订的饮水标准, 部分指标在文献中缺少权重系数, 故本研究未采用李春生法。这些方法基本上都采用了 Nemerow 水质指数法原理, 即以指标实测浓度与评价标准的比值作为分指数, 然后采用适当的数学方法对分指数进行运算得到综合指数。对这些方法进行研究, 王思峰、徐幼云等提出的方法都是将水质指标分为感官、理化、细菌等不同类, 在单项指数、类指数的基础上再计算综合指数, 但是王思峰法(公式四)只对细菌学指标的最大值进行了考虑, 对感官和毒化指标的最大值(常出现在超标情况下)都没有考虑, 且两者(公式四、五)均未考虑超标指标对指数的影响, 因此在反映水质情况时都有所欠缺。本研究结果显示, 以袁志彬提出的含“惩罚项”的饮用水水质指数为基础的指数算法(公式一)较符合实际情况, 该法既考虑了每个指标对指数的贡献, 又通过增加“惩罚项”反映超标项目对生活饮用水水质的影响, 这样的“惩罚项”也有助于对供水企业提出警示作用。

由于袁志彬法的提出在 GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》修订实施前, 因此针对新修订的饮水标准中部分指标和限值的变化, 如取消粪大肠菌群指标, 增加大肠埃希菌和耐热大肠菌; 增加总氯(一氯胺); 对游离氯和总氯不仅规定了最小值,

也规定了最大值; 总大肠菌群的限值从 3 个/L 改为 100 mL 中不得检出等, 对袁志彬法做出修正。从表 3 来看, 公式一对总大肠菌群和大肠埃希氏菌以 0.3 为 Si 值较可行(实验证明, 当大肠菌群降到 10 个/L 时, 水中伤寒杆菌、副伤寒杆菌、痢疾杆菌等病原体已被杀灭, 每升水中大肠菌群不超过 3 个在流行病学上是安全的^[6]), 当然也可以通过今后更多的数据加以验证。

由于生活饮用水水质指数不够直观, 不利于非专业人士的解读, 研究借鉴五色等级分类法, 使指数简便易懂。根据此法, 表 3 所示的各样品中, 样品 4 和 5 为蓝色, 提示水质良好, 符合水质标准要求, 消费者可以放心使用; 样品 1、2、3 为黄色, 提示水质较差, 部分指标出现超标现象; 样品 6 为红色, 提示水质差, 应当停止使用; 样品 7、8 为黑色, 提示水质情况最差, 绝对不能饮用。样品 1 和 6 均为锰超标, 但两者一为黄色, 一为红色, 这主要是因为样品 6 的锰含量近 2 倍于样品 1, 有研究表明锰含量低于 0.1 mg/L, 色度小于 5 度, 可令用户对水质满意, 超过 0.2 mg/L, 色度将为 10 度^[8], 高含量的锰使水产生金属涩味, 样品 6 锰含量达 0.24 mg/L, 2 倍于标准值, 从感官情况来看已不适合饮用, 因此样品 1 和 6 所示颜色是不同的。

随着《中华人民共和国政府信息公开条例》的颁布和实施, 饮水水质信息公开势在必行, 水质信息公开的基础就是建立一个符合实际情况、简便易懂的生活饮用水水质指数。本研究以袁志彬提出的含“惩罚项”的饮用水水质指数为基础的经修正的指数算法, 基本能反映上海生活饮用水水质的实际情况。当然, 由于水质还受到了如气温、水文等诸多因素的影响, 生活饮用水水质指数的研究还有很多路要走, 需要通过不断地实践和研究, 在今后日常工作中加以完善和改进。

(致谢: 在此向对本文提供大力帮助指导的中科院科技政策与管理科学研究所袁志彬老师表示感谢!)

参考文献:

- [1] 袁志彬. 我国城市供水水质指数与信息公开制度探讨[J]. 中国公共卫生, 2005, 21(2): 249-251.
- [2] 王思峰, 张常武, 魏飞, 等. 水质指数法对城乡生活饮用水水质综合分析[J]. 临沂医学专报, 1997, 19(1): 37-38.
- [3] 徐幼云. 以卫生标准为依据应用水质指数综合评价水源水质的方法[J]. 环境科学与技术, 1982(21): 1-13.
- [4] 李春生, 李在厚, 杨光哲. 改良 Nemerow 水质指数法评价生活饮用水质量[J]. 中国公共卫生, 2001, 17(2): 167-168.
- [5] 边秀兰, 张晗旭, 李才广. 用专家意见法确定生活饮用水各项指标权重系数的研究[J]. 中华预防医学杂志, 1996, 30(1): 56.
- [6] 陈学敏. 环境卫生学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2004: 108.
- [7] 王占生. 饮用水卫生与管理[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 100.
- [8] 龙必能. 文山县饮用水水源铁锰超标调查研究、处理方法及建议[J]. 环境科学导刊, 2007, 26(2): 91-93.

(收稿日期: 2009-02-23)

(编辑: 王晓宇; 校对: 吴德才)