

应用综合指数法评价上海市黄浦区生活饮用水水质

杜向阳¹, 李朋昆¹, 阚海东²

摘要: [目的] 为防止水源性疾病的发生, 调查上海市黄浦区生活饮用水水质情况。[方法] 选用最差因子判别法、内梅罗法、加权平均法计算水质综合指数, 对辖区内 2008—2010 年每季度水源水、出厂水、管网水和二次供水进行水质分析和结果评价。[结果] 2010 年水源水水质为 3 年中最差但生活饮用水水质在 3 年中最佳, 其中生活饮用水有机污染指标改善最为明显。第三季度生活水质为全年最佳。[结论] 本区生活饮用水水质总体优良, 符合国家卫生标准。

关键词: 生活饮用水; 综合指数法; 水质监测

Evaluation of Drinking Water Quality in Huangpu District of Shanghai by Integrated Index Method DU Xiang-yang¹, LI Peng-kun¹, KAN Hai-dong² (1. Huangpu District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200011, China; 2. Department of Environmental Health, School of Public Health, Fudan University, Shanghai 200032, China)

Abstract: [Objective] To investigate the drinking water quality in Huangpu District of Shanghai, and to prevent the occurrence of waterborne diseases. [Methods] The quality of source water, finished water, tap water and secondary water supply in Huangpu District from 2008 to 2010 was analyzed and evaluated with an integrated index using Nemerow index, minimum operator and weighted average methods. [Results] The source water quality was the worst, while the drinking water quality was the best in 2010, and the indices of organic pollution were improved most significantly of all. Drinking water quality was best in autumn of the year round. [Conclusion] Generally, the drinking water quality is good in Huangpu District and meets relevant national standards.

Key Words: drinking water; integrated index method; water quality surveillance

生活饮用水与人们的生活密切相关, 其卫生质量的好坏, 直接影响居民的身体健康, 因此人们越来越关注饮用水水质的安全卫生。同时提供优质的生活饮用水不仅可满足人们的生活需要, 对防止水源性疾病, 提高居民的健康水平亦有重要意义。2010 年世博会在上海举行, 市政府为保障饮用水水质安全卫生, 加强水源地保护、建设, 逐步更新供水管网。黄浦区作为 2010 年上海世博会承办地之一, 改造区域内水厂(原南市自来水厂)的制水工艺, 更新供水管网, 保障世博会期间的饮用水卫生安全, 确保世博会顺利举行。黄浦区疾病预防控制中心每年对饮用水水质开展监测, 本研究拟对 2008—2010 年黄浦区生活饮用水水质监测结果进行统计、分析, 并用综合指数法进行评价。

1 材料与方法

1.1 监测点设定

黄浦区有一家自来水厂, 即原南市自来水厂, 为全区供水,

其水源水为黄浦江水。根据《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)^[1]释义, 在本区设立水质监测点, 包括水源水监测点 1 个, 出厂水监测点 1 个, 管网水监测点 19 个以及二次供水监测点 17 个。每季度对所有的监测点全覆盖一次, 一年监测 4 次。

1.2 监测项目

水源水的监测项目依据《中华人民共和国地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[2], 共 14 个指标, 出厂水、管网水和二次供水的监测项目依据《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)^[3]中的水质常规指标, 共 28 个指标。

1.3 检测方法和评价标准

水样按《生活饮用水标准检验方法》(GB 5750—2006)进行检测。水源水依据《中华人民共和国地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[2]进行评价, 以第三类水标准为合格标准; 出厂水、管网末梢水、二次供水依据《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)^[1]进行评价。

1.4 饮用水水质综合指数评价法

水源水计算模式参考陈仁杰等^[4]、生活饮用水计算模式参考袁东等^[5], 增减部分水质指标, 略作修改。用水质综合指数对水源水和饮用水不同年份和不同季度水质进行评价, 水质综合指数用水质量指标(water quality index, WQI)表示, 各分类的综合指数用 WQI_i 表示。

1.4.1 分指数 首先计算各指标分指数(index_i, I_i), 以各指标

[基金项目] 上海市黄浦区第二届卫生系统拔尖人才培养项目

[作者简介] 杜向阳(1970—), 男, 学士, 主管医师; 研究方向: 环境卫生; E-mail: xydu001@126.com

[作者单位] 1. 上海市黄浦区疾病预防控制中心环境与职业卫生科, 上海 200011; 2. 复旦大学公共卫生学院环境卫生教研室, 上海 200032

的实测值浓度除以相应的标准限值, 即 $I_i = C_i/S_i$, 式中 C_i 为 i 指标的实测浓度, S_i 为相应的国家标准。

1.4.2 各分类水质综合指数 (1)生活饮用水: 根据检测指标的卫生学意义, 将评价指标分为五大类, 感官和一般化学指标、有机污染指标、一般毒性指标、各类致癌性指标和肠道传染性指标, 由于其对健康危害较大, 采用最差因子判别法进行评价, 公式为: $WQI = I_{j, \max} \circ I_{j, \max}$ 为分指数中的最大值; 感官和一般化学类指标, 由于其并不能对居民健康产生较大危害, 因此采用内梅罗法进行评价, 公式为: $WQI = \sqrt{[(I_{j, \text{average}})^2 + (I_{j, \max})^2]/2}$, 其中 $I_{j, \text{average}}$ 和 $I_{j, \max}$ 分别表示各分指数的均值和最大值。(2)水源水: 根据指标的卫生学意义, 将评价指标分为三大类, 即有机污染指标、毒理学指标和一般化学指标, 前二者对人体危害程度较大, 采用最差因子判别法进行评价; 后者由于其并不能对居民健康产生较大危害, 因此采用内梅罗法进行评价, 公式同(1)。

1.4.3 水质综合指数 对各分类的综合指数进行赋权^[3-4], 见表 1 和表 2, 并进行加权综合, 得到水质综合评价指数, 公式为 $WQI = \sum_{i=1}^n w_i I_i$, 其中 w_i 为各分类的相对权重值。

表 1 生活饮用水水质指标分类和权重

Table 1 Category and weight coefficients of indices of drinking water

分类 Category	指标 Indices	权重 Weight coefficient
感官和一般化学指标 Sensory and chemical indices	色度、浊度、pH 值、总硬度、臭和味、肉眼可见物、铝、铁、锰、氯化物、硫酸盐、溶解性总固体、总硬度、挥发酚类	0.10
有机污染指标 Organic pollution indices	耗氧量、氨氮	0.15
致癌指标 Carcinogen indices	I 类: 砷; II A 类: 硝酸盐氮; II B 类: 铅、镉、氯仿、四氯化碳; III 类: 氯化物、汞	0.32; 其中 I 类: 0.50; II A 类: 0.30; II B 类: 0.14; III 类: 0.06
一般毒性指标 Generally toxic indices	砷、硝酸盐氮、铅、氯仿、四氯化碳、氯化物、汞	0.20
肠道传染性指标 Enteric infection indices	细菌总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群、大肠埃希氏菌、游离余氯	0.23

表 2 水源水水质指标分类和权重

Table 2 Category and weight coefficients of indices of source water

分类 Category	指标 Indices	权重 Weight coefficient
一般化学指标 Chemical indices	pH 值、铁、锰、氯化物、挥发酚类、高锰酸盐指数	0.18
有机污染指标 Organic pollution indices	总磷、总氮、氨氮	0.33
毒理学指标 Toxic indices	硝酸盐氮、铅、镉、汞	0.49

1.4.4 一些特殊指标分类指数的计算方法 当分指数小于 0.10 或实测值低于最低检出限时, 一律定义为 0.10。对于细菌总数, 当实测值低于限值(100 cfu/mL)时, 以实测值除以 100 作为分指数 I_i ; 当实测值高于检出限时, 按照公式 $I_i = 1.00 + \log_{10}(C_i/S_i)$ 计算。肉眼可见物若检出, 统一定义分指数为 1.50, 对于总大肠菌群, 若检出, 则计算方法为 $I_i = 1.00 + 0.50(n-1)$ 。

对于游离余氯, 由于国家标准中规定的是最低限值, 分指

数 $I_i = S_i/C_i$ 。

对于 pH 值, 其分指数 $I_i = |C_i - (S_{\max} + S_{\min})/2| / [(S_{\max} - (S_{\max} + S_{\min})/2)]$, 式中 $S_{\max}$ 为标准上限值, $S_{\min}$ 为标准下限值。

1.4.5 评价级别 生活饮用水水质以 WQI 是否低于 1.00 作为是否合格的标准^[4], 见表 3。

表 3 生活饮用水评价级别的划分及其意义

Table 3 Classification and explanations of water quality grades

项目 Item	分级 (Grade)				
	1	2	3	4	5
WQI 范围 Scope of WQI	0~0.50	0.51~1.00	1.01~1.50	1.51~2.00	>2.00
意义 Explanation	水质优良, 可放心饮用	水质较好, 可放心饮用	轻度污染, 可酌情饮用	中度污染, 深度处理且检验合格后方能饮用	重度污染, 一般不能饮用

1.5 统计方法

用 Excel 表格进行数据整理, SPSS 12.0 对结果进行统计, 采用 Student-Newman-Keuls 法对饮用水水质进行年度和季度比较。

2 结果

2.1 水源水水质变化趋势分析

2008—2010 年水源水水质综合指数年平均值分别为 1.39、1.46 和 1.47, 2010 年水质为 3 年中的最差。水源水水质 3 年同期比较, 2010 年水质季度波动减小, 其一、二季度水质稍优于 2008 年、2009 年, 三季度水质为 3 年中最差, 四季度水质差于 2009 年而优于 2008 年, 见图 1。水源水主要不合格指标为有机类, 其中总磷 2009 年合格率最高, 仅一季度不合格, 2010 年其次, 三、四季度合格, 2008 年最差, 四个季度均不合格; 总氮 12 个季度均不合格, 平均浓度最高的是 2009 年, 为 3.63 mg/L; 2010 年其次, 为 3.53 mg/L; 2008 年最低, 为 3.30 mg/L。

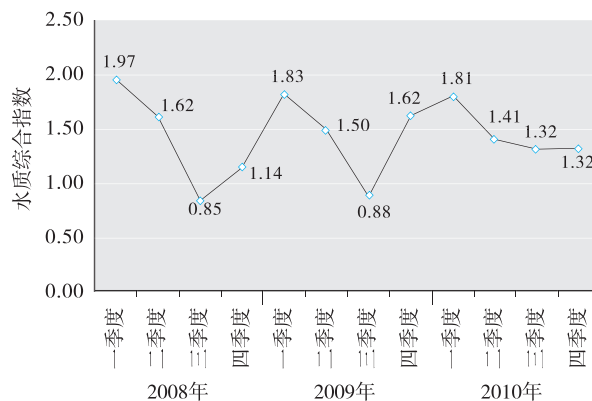


图 1 2008—2010 年水源水水质综合指数

Figure 1 Integrated index of source water quality for 2008–2010

2.2 生活饮用水水质的年度与季度趋势分析

生活饮用水水质综合指数按季度和年份分别统计, 结果见表 4。出厂水、管网水和二次供水水质综合指数年度平均值都小于 0.50, 黄浦区饮用水水质达到优良标准。

2.2.1 生活饮用水不同年度水质分析 出厂水3年水质综合指数合格率均达100%，从2008年到2010年水质逐年提高，水质综合指数从0.41降至0.36。出厂水主要不合格指标为耗氧量，2008年至2010年合格率分别为25%、50%和100%。管网水和二次供水同样以2010年水质最优，综合指数均为0.37，差异有统计学意义($P<0.05$)。管网水和二次供水各有一个不合格样品，且均出现在2009年，其余年份合格率为100%。

2.2.2 生活饮用水不同季度水质分析 由于2009年12月底原南市自来水厂开始采用新工艺供水，新设备和工艺需要一定时间完善和稳定，2010年水质与2008年、2009年可能存在异质性，因此仅分析2008年和2009年数据。表4显示，对不同季度水质的比较，出厂水、管网水和二次供水水质均是三季度最优，但差别无统计学意义。两个不合格样品出现在四季度和二季度。

2.2.3 生活饮用水水质变化趋势分析 由图2可见，出厂水、管网水和二次供水变化趋势基本一致，三年同期比较，2010年一

季度生活饮用水综合指数与2008年、2009年同期相当或略高，从2010年第二季度开始水质明显好转，二、三、四季度出厂水质均较优于2008年和2009年同期。

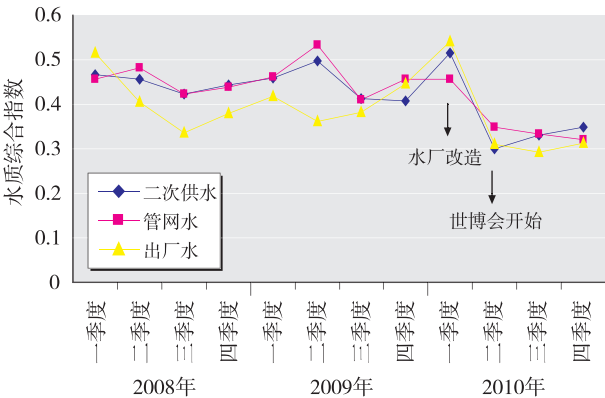


图2 2008—2010年生活饮用水水质综合指数

Figure 2 Integrated index of drinking water quality for 2008-2010

表4 不同水样类别的水质综合指数与合格率

Table 4 Integrated index values and qualification rates of various categories of water samples

分类 Categorization		出厂水 (Finished water)			管网水 (Tap water)			二次供水 (Secondary water supply)		
		$\bar{x} \pm s$	合格率 (%) Qualification rate	水样数 Simple size	$\bar{x} \pm s$	合格率 (%) Qualification rate	水样数 Simple size	$\bar{x} \pm s$	合格率 (%) Qualification rate	水样数 Simple size
年份 Year	2008	0.41 ± 0.08	100	4	0.45 ± 0.08	100.0	76	0.45 ± 0.08	100.0	68
	2009	0.40 ± 0.04	100	4	0.46 ± 0.15	98.7	76	0.44 ± 0.13	98.5	68
	2010	0.36 ± 0.11	100	4	0.37 ± 0.12*	100.0	76	0.37 ± 0.12*	100.0	68
季度 Quarter	一季度	0.47 ± 0.07	100	2	0.45 ± 0.06	100.0	38	0.46 ± 0.09	100.0	34
	二季度	0.38 ± 0.03	100	2	0.50 ± 0.12	100.0	38	0.48 ± 0.15	97.1	34
	三季度	0.36 ± 0.03	100	2	0.41 ± 0.13	100.0	38	0.42 ± 0.05	100.0	34
	四季度	0.41 ± 0.05	100	2	0.45 ± 0.14	97.4	38	0.42 ± 0.11	100.0	34

[注]*: 与2008年、2009年比较 (Compared with 2008 and 2009), $P<0.05$ 。

3 讨论

生活饮用水监测指标众多，各种有害物质性质各异，对人类健康的危害程度也各不相同，因此选用一套科学合理的评价方法来客观反映饮用水总体水质状况十分重要。综合指数法作为一种成熟的环境评价方法，有着计算简单、意义明确等优点，可以用一个简单的数值来反映环境质量的总体水平，便于对水质综合质量进行描述和比较^[5]，是一种非常适用的评价方法^[6]。在《上海市环境质量报告书》^[7]中对地表水水质的评价就是采用“水质污染综合指数法”，该方法是计算分指数的算术平均值作为综合指数，判断水质污染程度。在本研究中，根据各类污染物的性质，灵活采用内梅罗法、最差因子判别法对分指数进行统计，并通过加权平均计算综合指数。最差因子判别法直接以各指标中最大的分指数作为综合指数值，因此该法不存在掩盖污染的问题，适用于饮用水中毒理学^[8]等某些健康危害较大的指标，但可能会遗失其他信息。内梅罗指数法兼顾了最高分指数和平均分指数的影响，具有一定的合理性，但由于综合指数低于最大分指数值，无法完全避免掩盖污染的危险性，因此该法可运用于评价饮用水中健康危害不明显的指标如感官和一般化学类指标。值得注意的是由于各分类权重由德尔菲法得到，因此在专家选择方面给结果带来一定

的不确定性^[9]，可能会掩盖某方面污染。

以黄浦江上游原水作为水源水，目前有机污染较严重，黄浦区原南市自来水厂的水处理工艺2009年以前还采用混凝、沉淀、过滤、消毒等常规工艺，有机物去除能力有限，导致耗氧量不能有效降低，水中常量存在的无害有机物很大可能成为去除有害微量有机物的障碍^[10]。作为世博园区浦西部分唯一的自来水供应源，原南市自来水厂出厂水水质已无法适应2010年上海举办世博会的需求，也无法满足上海供水专业规划所提出的2010年上海水质目标的要求。根据供水专业规划及黄浦江两岸发展的规划，原南市自来水厂新的加工工艺已在2009年12月底开始并网供水。新设备采用国际先进的臭氧活性炭联用深度处理技术，这项技术兼有化学氧化、物理吸附和生物降解三个作用，对出厂水的色度、嗅味、氨氮和有机污染物等指标均将有明显的改善。新工艺完全投入使用后，大大地提高了饮用水的质量。从2010年12月30日开始，水源水由黄浦江上游原水改用优质的青草沙水库的长江原水，出厂水水质有望进一步提高。

本研究结果可见，2008年和2009年两年间出厂水水质相当，2010年较之有了一定提高，经分析，主要原因为水厂新加工工艺在2009年12月底开始启用后，以耗氧量为代表的有

机污染指标合格率有较大提高,污染物的浓度水平显著降低。2010 年水源水主要有机物指标总磷、总氮分别劣于 2009 年和 2008 年,但 2010 年出厂水耗氧量合格率达 100%,明显优于 2008 年和 2009 年合格率。水体耗氧量是饮用水水质十分重要的一个有机指标,其大体上与水中有机物总量呈正相关关系,降低水的耗氧量可降低水的臭味和消毒副产物^[11]。2010 年二、三、四季度生活饮用水水质均优于 2008 年、2009 年同期,但 2010 年一季度出厂水水质为三年同期最劣,经分析,主要原因是因为使用最差因子判别法分析水质时,权重较大的氨氮在第一季度超标接近一倍,为三年中最高,导致出厂水水质综合指数升高。出厂水氨氮超标严重与第一季度水源水氨氮较高有很大关系,同时,由于氨氮的去除主要是通过消化细菌的作用来完成,张群等^[12]对生物活性炭滤池的研究表明,在活性炭运行初期,对氨氮的去除率较低,随着活性炭上生物膜的生长,对氨氮有明显的去除效果。在一季度检测时,水厂新加工工艺刚启用运行不到一个月,去除氨氮起关键作用的活性发生物膜尚未有效形成和稳定,生物作用较弱,导致氨氮浓度超标。在其后的几次检测时,生物膜已经完成和稳定,生物作用成熟,氨氮浓度明显下降。

对水质各季度的分析结果可见,第一季度出厂水水质最差,可能的原因是由于 1—3 月是黄浦江的枯水期,水流量较小,污染物无法得到及时有效的稀释,因此导致水源水水质明显下降,另外可能和春种期间沿江农田的化肥使用对水源水水质影响有关。因此在春季水厂应该加大水质处理力度,以确保饮用水质的稳定。

本研究结果表明,管网水和二次供水水质变化趋势同出厂水基本一致,水质略差于出厂水,其中个别季度出现管网水和二次供水水质优于出厂水水质的情况,可能与出厂水样本量太小、代表性不够以及出厂水采样时间与管网水、二次供水采样时间不一致有关。经分析,合格率较低的主要为色度、浑浊度和锰、铁。这 4 个指标在出厂水中全部达标,造成其超标的原因很大程度上归因于管网本身,管网内壁的老化、锈蚀将直接影响以上指标,二次供水设施的使用,进一步加大对水质的影响。自 2006 年开始,黄浦区已逐步开展对辖区内供水管网、水箱进行改造,以改善居民的饮用水质。

生活饮用水安全是关系广大市民健康的重要民生项目,也

是疾控中心的主要工作之一,借助上海世博会的契机,黄浦区不仅加快了水厂以及管网的改造,提前供给居民更优质的饮用水,更在其间积累了饮用水安全保障和监管的经验,这些都是世博会留给我们的宝贵遗产。这份世博遗产不仅对今后大型活动的举办具有借鉴作用,更促进了饮用水安全的硬件建设和管理经验的积累,让市民每天享受到安全、健康的饮用水,使市民切身体会到城市,让生活更美好。

参考文献:

- [1] 国家环境保护总局. GB 3838—2002 中华人民共和国地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [2] 金银龙. GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》释义[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 167-168.
- [3] 陈仁杰, 钱海雷, 袁东, 等. 改良综合指数法及其在上海市水源水水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2010, 30(2): 431-437.
- [4] 袁东, 陈仁杰, 钱海雷, 等. 城市生活饮用水综合指数评价方法建立及其应用[J]. 环境与职业医学, 2010, 27(5): 257-260.
- [5] 贾玉霞. 环境质量综合指数评价方法的应用[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(S1): 10-11.
- [6] 梁德华, 蒋火华. 河流水质综合评价方法的统一和改进[J]. 中国环境监测, 2002, 18(2): 63-66.
- [7] 上海市环境保护局. 上海市环境质量报告书[R]. 上海, 2008: 121-122.
- [8] NAGELS JW, DAVIES-COLLEY RJ, SMITH DG. A water quality index for contact recreation in New Zealand[J]. Water Sci Technol, 2001, 43(5): 285-292.
- [9] 谭玲, 何松谕, 杨练, 等. 德尔菲法在评价大型医用设备利用情况中的应用[J]. 卫生软科学, 2010, 24(3): 221-223.
- [10] 岳舜琳. 提高自来水水质的策略[J]. 中国住宅设施, 2003(9): 30-32.
- [11] 岳舜琳. 水的耗氧量的卫生学意义[J]. 给水排水, 2004, 30(6): 37-39.
- [12] 张群, 陈伟, 杨玲, 等. 生物活性炭滤池的换炭方式研究[J]. 中国给水排水, 2007, 23(5): 101-103.

(收稿日期: 2010-05-09)

(英文编审: 薛寿征; 编辑: 张晶; 校对: 葛宏妍)

【告知栏】

《食品与药品》2012 年征订启事

《食品与药品》是面向国内外发行的科学技术期刊,是中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊),收录于中国核心期刊(遴选)、美国 CA、英国 CABI 和波兰 IC 等数据库。刊号: ISSN1672-979X/CN37-1438/R。

《食品与药品》杂志科技版每本定价 15 元(含邮费),全年 6 期,邮发代号: 24-74。

邮局汇款地址: 山东省济南市高新区新泺大街 989 号《食品与药品》编辑部 邮编: 250101

银行汇款: 户名为《食品与药品》杂志社 开户行: 招商银行济南分行营业部 账号: 632082 3149 10001

联系方式: 电话 0531-88779125; 电子邮箱 food_drug@sina.com