

上海闵行区城市供水水质健康风险评价

丁克颖, 应圣洁, 张佳维, 张鑫毅

摘要: [目的] 通过对水源水和出厂水的健康风险评价, 阐述闵行区目前城市供水水质状况和对人体健康的影响。[方法] 选取 2009 年上海市闵行区黄浦江和大治河城市供水水源地水和该地区水厂出厂水检测数据, 应用环境健康风险评估模型对通过饮水途径所引起的健康风险进行评价。[结果] 城市供水水质基因毒物质个人健康年风险以六价铬最大, 砷次之, 镉最小, 六价铬与砷合计占该类年总风险的 98.33%, 风险值均高于部分机构推荐的最大可接受风险水平 $1 \times 10^{-6}/a$, 而低于国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受值 $5 \times 10^{-5}/a$; 躯体毒物质个人健康年风险按大小顺序依次为氟化物>铜>铅>(硝酸盐、氨氮、铁、锰、汞)>锌>氟化物>硒>挥发酚, 其中氟化物、铜、铅合计占该类年总风险的 78% 以上, 各毒物风险值均远低于国际机构推荐的最大可接受值 $1 \times 10^{-6}/a$, 属于比较安全的范围; 水质健康风险以基因毒物质为主, 超过年总风险的 99%。[结论] 闵行区城市供水水质健康风险以基因毒物质六价铬与砷污染物为主, 应加以优先检测与控制。

关键词: 健康风险评估; 城市供水; 水质; 毒物质

Health Risk Assessment on Urban Water Supply in Minhang District of Shanghai DING Ke-ying, YING Sheng-jie, ZHANG Jia-wei, ZHANG Xin-yi (Minhang District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 201101, China)

Abstract: [Objective] To assess the health risk in urban water supply and illustrate the condition of basic water quality according to monitoring data of source water and finished water in Minhang district of Shanghai. [Methods] According to the monitoring data of source water and finished water of the waterworks in Minhang District of Shanghai in 2009, health risk assessment was made with the environment-health risk assessment model. [Results] The person-year risk for chemical carcinogenic substances with genetic toxicity in drinking water ranked from high risk to low risk as: chromium(Cr^{6+}), arsenic(As) and cadmium(Cd). The risk caused by Cr^{6+} and As accounted for 98.33% of total risk of the carcinogenic substances. The total risk of the three carcinogenic substances was higher than the maximal acceptable risk value recommended by World Health Organization(WHO) and Environment Protection Agency(EPA) and was lower than the maximal acceptable value of International Commission on Radiological Protection(ICRP). The person-year risk for chemicals with non-genetic toxicity ranked from high to low as $F > Cu > Pb > (NO_3^-, NH_3-N, Fe, Mn, Hg) > Zn > CN^- > Se > Volatile phenol$. The risk caused by F, Cu and Pb accounted for 78% of total risk for chemicals with non-genetic toxicity. The total risk for non-genetic toxic substances was far lower than the acceptable risk value recommended by WHO, EPA, and ICRP and was at a relative safe level. The health risk caused by genetic toxic substances accounted for a considerable proportion(99%) in total health risk. [Conclusion] The health risk of urban water supply in Minhang District of Shanghai is mainly caused by carcinogenic substances with genetic toxicity such as Cr^{6+} and As, which should be controlled in high priority.

Key Words: health risk assessment; urban water supply; water quality; toxic substances

人类癌症百分之九十是由化学致癌物引起的, 环境污染已成为影响人类健康的四大主要因素之一^[1]。环境健康风险评估是环境科学的一个新兴研究领域, 它以风险度作为评价指标, 把环境污染与人体健康联系起来, 定量描述一个人在污染环境暴露时受到危害的风险^[2]。生活饮用水是人类生活中不可缺少的必需品, 与人体健康密切相关。本研究拟对 2009 年上海闵行区城市供水水源地水和出厂水水质的检测结果, 应用健康风险评估模型, 揭示目前该区城市供水水质污染物状况及其

对人体健康的影响。

1 材料与方法

1.1 研究对象

上海市闵行区居民日常生活用水制水水源主要取自黄浦江闵行江川段和大治河浦江鲁汇段, 于 2009 年 2、5、8、11 月份分别对该两段城市供水水源地水和地区水厂出厂水进行采样, 由闵行区疾病预防控制中心实验室进行分析检测, 以一年内 4 次采样检测结果的平均值作为该年闵行区居民日常生活用水的毒物浓度。

1.2 水样检测方法

按照国家《生活饮用水标准检测方法》(GB/T 5750—2006)

[基金项目] 上海市闵行区自然科学基金(编号: 2009MHZ053)

[作者简介] 丁克颖(1964—), 男, 学士, 副主任医师; 研究方向: 环境与职业卫生; E-mail: dky641414@hotmail.com

[作者单位] 上海市闵行区疾病预防控制中心, 上海 201101

进行检测。

1.3 毒物因子和评价模型^[1-4]

1.3.1 毒物因子筛选 根据国际癌症研究机构 (IARC) 通过全面评价化学有毒物质致癌性而编制的分类系统可知, 属于 1 组和 2A 组化学物质为化学致癌物, 其它为非致癌化学有毒物质。前者和放射性污染物属于基因毒物质, 对于放射性污染物, 在一般水体中, 尤其是作为水源地的水体中, 其污染程度很轻, 通常检测不出, 因此, 这里仅考虑化学致癌物; 后者为躯体毒物质^[1]。根据文献报道^[1-4]的国内常用评价指标与本区实际水质检测项目情况, 本次研究选取基因毒物质的化学致癌物为镉、砷和六价铬, 躯体毒物质为铁、锰、酚、氰化物、氟化物、铅、汞、氨氮、硝酸盐、铜、锌、硒。

1.3.2 基因毒物质的化学致癌物健康危害风险评价模型 $R^c = \sum_{i=1}^k R_i^c$; $R_i^c = [1 - \exp(-D_i q_i)] / 81.73$, 式中: R_i^c 为基因毒物质 i 通过饮水途径所产生的人均致癌年风险, a^{-1} ; D_i 为基因毒物质 i 通过饮水途径的单位体重日均暴露剂量, $mg/(kg \cdot d)$; q_i 为基因毒物质通过饮水途径致癌系数, $mg/(kg \cdot d)$; 81.73 为上海市居民 2009 年平均期望寿命, a 。

1.3.3 躯体毒物质所致健康危害风险的评价模型 $R^s = (D_i / RfD_i) \times 10^{-6} / 81.73$, 式中: R^s 为躯体毒物质 i 通过饮水途径所产生的人均健康危害年风险, a^{-1} ; D_i 为躯体毒物质 i 通过饮水途径的单位体重日均暴露剂量, $mg/(kg \cdot d)$; RfD_i 为躯体毒物质 i 通过饮水途径的参考剂量, $mg/(kg \cdot d)$; 81.73 为上海市居民 2009 年平均期望寿命, a 。

1.3.4 饮水途径单位体重日均暴露剂量 (D_i) $D_i [mg/(kg \cdot d)] = 2.2 \times C_i / 70$, 式中: 2.2 为成人每日平均饮水量, L; C_i 为相关毒物质 i 的浓度, mg/L ; 70 为人体体重, kg 。

1.4 评价参数

根据 IARC、世界卫生组织 (WHO) 编制的分类系统和美国环保署 (USEPA) 综合风险信息系统 (IRIS) 的分类信息^[1, 3, 5], 基因毒物质镉、砷、六价铬的致癌强度系数分别为 6.1、15、41 $mg/(kg \cdot d)$ 。躯体毒物质参考剂量见表 1。

表 1 躯体毒物质参考剂量 RfD_i (饮水途径)
Table 1 RfD_i of non-genetic toxic substances (via drinking water)

非致癌物名称 (Non-carcinogen)	$RfD_i [mg/(kg \cdot d)]$
汞 (Hg)	3.0×10^{-4}
铅 (Pb)	1.4×10^{-3}
氰化物 (CN ⁻¹)	3.7×10^{-2}
氨氮 (NH ₃ -N)	9.7×10^{-1}
酚 (Volatile phenol, VP)	3.0×10^{-1}
铜 (Cu)	4.0×10^{-2}
氟 (F)	6.0×10^{-2}
硝酸盐 (NO ₃ ⁻)	1.6
铁 (Fe)	3.0×10^{-1}
锰 (Mn)	1.4×10^{-1}
硒 (Se)	5.0×10^{-3}
锌 (Zn)	3.0×10^{-1}

1.5 数据分析

用 Excel 建立数据库和计算模型, 对检测结果进行汇总与

计算。

2 结果

2.1 供水水质检测结果

2009 年水质相关评价指标检测结果表明, 黄浦江和大治河两处水源水质中的基因毒物质和躯体毒物质中部分指标, 在自来水厂处理前后其毒物浓度差异不大 (表 2)。

表 2 2009 年上海闵行区水质相关指标检测结果 (mg/L)

Table 2 The results of monitoring for water quality in Minhang District of Shanghai, in 2009

项目 Item	黄浦江 Huangpu river		大治河 Dazhi river	
	源地水 Source water	出厂水 Finished water	源地水 Source water	出厂水 Finished water
铁 (Fe)	0.19	0.050	0.14	0.050
锰 (Mn)	0.070	0.057	0.025	0.091
挥发酚 (VP)	0.001 0	0.001 0	0.001 0	0.001 0
氰化物 (CN ⁻¹)	0.002 2	0.001 0	0.001 0	0.001 0
氟化物 (F ⁻)	0.81	0.67	0.79	0.72
铅 (Pb)	0.003 2	0.002 5	0.002 5	0.002 5
汞 (Hg)	0.000 05	0.000 34	0.000 12	0.000 4
氨氮 (NH ₃ -N)	0.89	0.68	0.67	0.53
硝酸盐 (NO ₃ ⁻)	2.20	1.68	2.81	2.60
铜 (Cu)	0.10	0.10	0.10	0.10
锌 (Zn)	0.025	0.025	0.025	0.025
硒 (Se)	0.000 13	0.000 13	0.000 13	0.000 13
砷 (As)	0.000 50	0.000 50	0.000 50	0.000 50
六价铬 (Cr ⁶⁺)	0.002 0	0.002 0	0.002 0	0.002 0
镉 (Cd)	0.000 25	0.000 25	0.000 25	0.000 25

2.2 基因毒物质

风险评价结果表明, 不同源地水与出厂水基因毒物质中化学致癌物六价铬、砷和镉个人年风险平均分别为 $3.15 \times 10^{-5}/a$ 、 $2.88 \times 10^{-6}/a$ 和 $5.86 \times 10^{-7}/a$, 以六价铬最大, 砷次之, 镉最小, 分别占这 3 种毒物年总风险的 90.09%, 8.24% 及 1.67%, 合计健康风险 $3.50 \times 10^{-5}/a$ 。源地水经水厂工艺处理后, 出厂水各基因毒物质中化学致癌物个人危害风险没有发生变化 (图 1)。

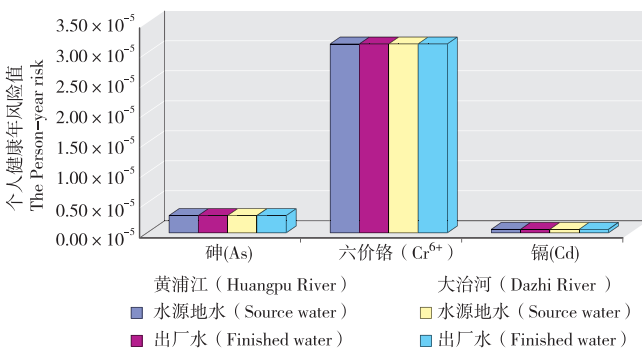


图 1 基因毒物质饮水途径健康危害的个人年风险, a^{-1}

Figure 1 The Person-year risk of genetic toxic substances in drinking water, a^{-1}

2.3 躯体毒物质

从表 3 可知, 不同水质躯体毒物质经饮水途径所致健康危害的个人年风险按大小顺序排列为氟化物 > 铜 > 铅 > (硝酸

盐、氨氮、铁、锰、汞) > 锌 > 氰化物 > 硒 > 挥发酚, 前 3 位和最后 4 位大小顺序排列相同, 硝酸盐、氨氮、铁、锰、汞不同水质排列有一定差异。不同水质前 3 位躯体毒物质氟化物、铜、铅均超过该类毒物各自年总风险的 78%。各种躯体毒物质个人健康年风险均小于 $10^{-8}/a$ 。黄浦江源水经过某市政水厂工艺处理后, 氟化物、硝酸盐、铁、锰、氰化物、铅、氨氮、汞等危害因素的风险出现了不同程度的下降, 大治河源水经过某镇水厂工艺处理后, 仅有氟化物、铁、氨氮、硝酸盐等危害因素的风险出现了下降, 明显少于市政水厂, 可能与制水工艺技术和水处理设备不同有关。

表 3 躯体毒物质饮水途径健康危害的个人年风险 (a^{-1})
Table 3 The person-year risk of non-genetic toxic substances in drinking water(a^{-1})

项目 Item	黄浦江 Huangpu river		大治河 Dazhi river	
	水源水 Source water		水源水 Source water	
	Finished water		Finished water	
铁 (Fe)	2.44×10^{-10}	6.41×10^{-11}	1.79×10^{-10}	6.41×10^{-11}
锰 (Mn)	1.92×10^{-10}	1.57×10^{-10}	6.87×10^{-11}	2.50×10^{-10}
挥发酚 (VP)	3.85×10^{-12}	3.85×10^{-12}	3.85×10^{-12}	3.85×10^{-12}
氰化物 (CN^{-1})	2.29×10^{-11}	1.04×10^{-11}	1.04×10^{-11}	1.04×10^{-11}
氟化物 (F^{-})	5.19×10^{-9}	4.29×10^{-9}	5.06×10^{-9}	4.61×10^{-9}
铅 (Pb)	8.79×10^{-10}	6.87×10^{-10}	6.87×10^{-10}	6.87×10^{-10}
汞 (Hg)	6.41×10^{-11}	4.36×10^{-10}	1.54×10^{-10}	5.13×10^{-10}
氨氮 (NH_3)	3.53×10^{-10}	2.70×10^{-10}	2.66×10^{-10}	2.10×10^{-10}
硝酸盐 (NO_3^{-})	5.29×10^{-10}	4.04×10^{-10}	6.75×10^{-10}	6.25×10^{-10}
铜 (Cu)	9.61×10^{-10}	9.61×10^{-10}	9.61×10^{-10}	9.61×10^{-10}
锌 (Zn)	3.20×10^{-11}	3.20×10^{-11}	3.20×10^{-11}	3.20×10^{-11}
硒 (Se)	1.00×10^{-11}	1.00×10^{-11}	1.00×10^{-11}	1.00×10^{-11}
合计风险 (Total)	8.48×10^{-9}	7.33×10^{-9}	8.11×10^{-9}	7.98×10^{-9}

2.3 毒物总风险

评价结果表明, 不同水质的基因毒物质个人健康年总风险均为 $3.50 \times 10^{-5}/a$, 躯体毒物质个人健康年总风险分别在 $7.33 \times 10^{-9}/a \sim 8.48 \times 10^{-9}/a$ 之间, 不同水质合计各类毒物个人健康年总风险均为 $3.50 \times 10^{-5}/a$ 。各类毒物个人健康年总风险均以基因毒物质为主, 超过个人健康年总风险的 99% (图 2)。

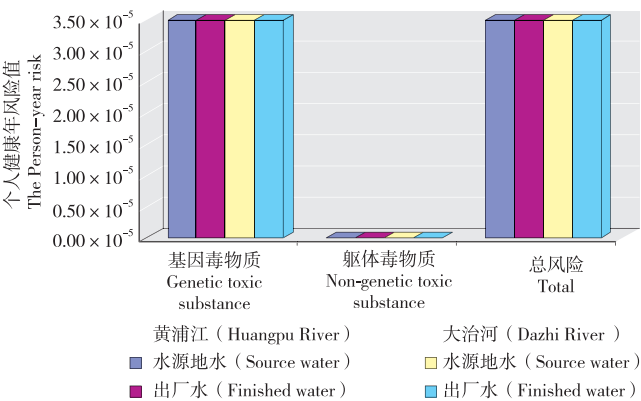


图 2 各类毒物饮水途径健康危害的个人年总风险, a^{-1}

Figure 2 The total person-year risk of toxic substances in drinking water, a^{-1}

3 讨论

通过对水质健康风险的评价, 可直接得出环境质量的综合结论 (以对人体健康危害的年风险表示), 更加客观地确定污染物的主次和治理的优先与否, 从而为环境风险管理提供科学依据和主要决策对象。虽然各种毒物在人们日常饮用水中含量很低, 但如果长期低剂量暴露也会严重危害人体的健康, 所以这方面的研究也越来越受到人们的重视^[2]。

铬是人体必需的微量元素, 但如果摄入过量又会引起肾脏、肝脏受损等; 砷是当前环境中使人致癌的最普遍、危害性最大的毒物之一, 与皮肤癌之间存在紧密的因果关系; 镉会干扰雌激素的分泌, 可在人体内有组织地积累并有致癌性^[3, 6]。本次研究发现水体基因毒物质中化学致癌物以六价铬为主, 占该类毒物年总风险的 90.09%, 高于相关研究结果^[1, 7], 健康危害风险最大, 砷次之, 镉最小。该三种毒物的健康危害风险次序与相关研究报道相似^[1, 5-7], 各基因毒物质个人健康年风险值均低于国际辐射防护委员会 (ICRP) 推荐的最大可接受值 $5 \times 10^{-5}/a$, 但六价铬和砷超过了瑞典环保局、荷兰建设和环境部推荐的最大接受水平 $1.0 \times 10^{-6}/a$ ^[1]。其中, 六价铬超过其最大接受水平 31 倍多。根据 USEPA 综合风险信息系统 (IRIS) 的分类信息, 六价铬与砷属于 A 类致癌污染物, USEPA 建议以 1.00×10^{-6} 进行风险控制^[3, 8], 提示应重点关注基因毒物质六价铬和砷对人体所产生的健康风险。

躯体毒物质能够对人体造成不同程度的危害, 如过量吸入氟化物会引起骨质疏松症和氟中毒。铜过量会引起儿童肝内胆汁淤积, 贫血等。铅会干扰人体生殖腺的分泌功能, 损害人体造血、心血管系统等^[6]。本次评价所涉及的躯体毒物质以氟化物、铜、硝酸盐为主, 占该类毒物年总风险的 78% 以上。该类毒物健康风险均远远小于瑞典环保局、荷兰建设和环境部推荐的最大接受水平 $1.0 \times 10^{-6}/a$ 限值^[1], 表明水中该类毒物含量浓度对人体不会产生非致癌慢性毒害效应, 属于比较安全的区域。另外, 水源水通过水厂工艺技术处理后, 出现氟化物等躯体毒物质指标风险值下降, 表明目前水处理技术对降低躯体毒物质在水中的含量是有一定帮助的。

水质个人健康危害的总风险为基因毒物质和躯体毒物质所产生的健康风险之和。本次不同水源水质基因毒物质中化学致癌物所产生的健康风险的数量级在 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ 之间, 躯体毒物质的健康风险的数量级在 $10^{-12} \sim 10^{-9}$ 之间, 因为其不到各种毒物个人健康年总风险的 1%, 又远远低于瑞典环保局、荷兰建设和环境部推荐的最大接受水平 $1.0 \times 10^{-6}/a$ 的风险限值^[1], 可以考虑剔除其对健康总风险的影响, 因此水质健康总风险的数量与基因毒物质所产生的健康风险几乎相等, 总风险的年度变化情况也与基因毒物质所产生的健康风险变化直接相关, 而基因毒物质中化学致癌物六价铬和砷所产生的健康风险又超过该类个人健康年总风险的 98%, 所以这两种毒物应被列为该地区饮用水源地水和水厂制水过程中优先检测和控制的致癌污染物, 一方面要保护水源水周边环境, 减少污染物的排放, 另一方面水厂应积极采取相应的技术手段去除这些污染物, 降低饮用水的健康风险度。

本次主要以水源水及其为源水制水的出厂水所产生

的健康风险来推断人体直接饮用所产生的健康风险,没有考虑出厂水通过管网、供水距离^[9]及水箱后污染对水质的影响,也未考虑通过皮肤吸收、饮水暴露风险与人们的消费习惯及职业类型间关系^[10],即人体实际的暴露剂量可能会更高,这部分影响需用多因素更复杂的暴露方法来对污染因子进行健康风险评估,对此尚有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 钱家忠,李如忠,汪家权,等.城市供水源地水质健康风险评估[J].水利学报,2004,(8): 90-93.
- [2] 黄奕龙,王仰麟,谭启宇,等.城市饮用水源地水环境健康风险评估及风险管理[J].地学前缘,2006,13(3): 162-167.
- [3] 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(2): 235-239, 244.
- [4] 上海市卫生局.2009年上海市卫生数据[EB/OL].[2010-02-22].

<http://wsj.sh.gov.cn/website/b/53088.shtml>.

- [5] 郑德凤,史延光,崔帅.饮用水源地水污染物的健康风险评估[J].水电能源科学,2008,26(6): 48-50, 57.
- [6] 孙超,陈振楼,张翠,等.上海市主要饮用水水源地水重金属健康风险初步评价[J].环境科学研究,2009,22(1): 60-65.
- [7] 李珊珊,田考聪.饮用水源水中重金属的健康风险评估[J].重庆医科大学学报,2008,33(4): 450-452, 456.
- [8] USEPA.Integrated risk information system (IRIS)[EB/OL].[2010-01-12]. <http://www.epa.gov/ncea/iris/intro.htm>.
- [9] 杨德军,张土乔,郭帅,等.供水管网水质健康风险评估模型及实例[J].中国给水排水,2009,25(5): 84-88.
- [10] 高继军,张力平,黄圣彪,等.北京市饮用水水源地重金属污染物健康风险的初步评价[J].环境科学,2004,25(2): 47-50.

(收稿日期: 2010-03-04)

(编辑: 洪琪; 校对: 徐新春)

(上接第 348 页)

为的干预不能仅仅局限于家庭的范围,而应该扩展到学校、社区和社会^[7]。

增加知识和积极行动可以帮助学生减少与肥胖相关的行为。本次调查发现对肥胖相关知识掌握程度的高低影响着家长对改变学生肥胖相关行为的意愿,知识掌握的程度越好,改变行为的意愿越强烈。家长的文化程度有可能会影响肥胖相关知识的掌握,文化程度越高知识掌握得可能越好。对知识的掌握也是克服和改变行为中存在的困难的有效方法。因此,开展学生和家长的健康教育是科学性、可行性较好的干预措施。

研究还发现,在过去 7 d 中陪伴孩子锻炼身体的家长,改变孩子行为的意愿相对较低。这样的家长已经采取积极的行动培养孩子的好习惯,对改变行为的意愿和迫切性相对较低;相反,7 d 内给孩子买过零食的家长改变孩子行为的意愿也越强。这个现象表明,多数家长内心不愿意孩子吃零食,但是由于种种原因又不得以而为之,以一种被动的姿态培养了孩子不良的饮食行为。因此,在家庭的干预当中,家长作为孩子行为的引导者只有采取积极的行为应对不利于健康的行为,才有可能取得较好的结果。家长的引导作用不应只是停留在知识的掌握和口头的教育,而要以身作则,意志坚定地落实到行动,才能对改变行为有促进作用^[8]。

参考文献:

- [1] 季成叶. 中国青少年健康相关/危险行为调查综合报告 2005[M].

北京: 北京大学医学出版社, 2007: 2-58.

- [2] 余小鸣,周凯,王嘉,等.中学生健康相关危险行为的调查研究[J].中国学校卫生,1998,4(2): 135-137.
- [3] DAVIS SM, CLAY T, SMYTH M, et al. Pathways curriculum and family interventions to promote healthful eating and physical activity in American Indian schoolchildren[J]. Prev Med, 2003, 37(6Pt2): S24-S34.
- [4] FITZGIBBON ML, STOLLEY MR, DYER AR, et al. A Community-based obesity prevention program for minority children: rationale and study design for Hip-Hop to health Jr[J]. Prev Med, 2002, 34(2): 289-297.
- [5] SAHOTA P, RUDOLF MC, DIXEY R, et al. Evaluation of implementation and effect of primary school based intervention to reduce risk factors for obesity[J]. BMJ, 2001, 323(7320): 1027-1029.
- [6] 罗春燕,彭宁宁,冯晓刚,等.上海市青少年肥胖相关饮食行为的变迁[J].环境与职业医学,2010,27(2): 65-69.
- [7] 张智. 儿童青少年问题行为的有效干预[J]. 中国全科医学, 2005, 8(1): 40-42.
- [8] 文孝忠,陈维清,梁彩花,等.健康促进学校干预模式对学校和家庭控烟环境的影响[J].中国学校卫生,2007,28(3): 207-209.

(收稿日期: 2009-12-14)

(编辑: 丁瑾瑜; 校对: 徐新春)