

荣昌县镇街饮用水源地主要污染物健康风险评价

王秋娟, 张官丽 (荣昌县环境监测站, 重庆 404100)

摘要 [目的]评价荣昌县饮用水源地主要污染物的健康风险。[方法]选取荣昌县8个镇街饮用水源地进行水质监测分析及污染源调查,应用目前美国环保局推荐的健康风险评价模型对各饮用水源地的水环境主要污染物进行评价。[结果]在所监测的水库中,水体均存在不同程度的N、P、有机物污染,未出现重金属等指标污染。非致癌物的个人年风险最大为 $\text{NH}_3\text{-N}$,其次为Hg、氰化物,最低为挥发酚,但在枯水期和丰水期均低于ICRP推荐的最大可接受风险水平; Cr^{6+} 在枯丰水期的个人年风险值均高于ICRP推荐的最大可接受风险水平,As的个人年风险值低于最大可接受风险水平。[结论]化学致癌物对人体健康的风险远超过非致癌物, Cr^{6+} 是对人体有健康风险的主要有毒污染物,对 Cr^{6+} 的管理和控制是保证镇街饮用水源地水体安全的有效举措。

关键词 饮用水源地;健康风险评价

中图分类号 S181.3;X52 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)23-080-04

Health Risk Assessment of Main Pollutants in Sources of Drinking Water in Rongchang County

WANG Qiu-juan, ZHANG Guan-li (Rongchang Environmental Monitoring Station, Chongqing 404100)

Abstract [Objective] To assess the health risk of main pollutants in sources of drinking water in Rongchang County. [Method] Water quality and pollution sources of eight sources of drinking water in Rongchang County were monitored and investigated, and the main pollutants in water environment of each source of drinking water were evaluated preliminarily by using the health risk assessment model recommended by the US Environmental Protection Agency (EPA). [Result] There were different levels of pollution from nitrogen, phosphorus and organic matter in the monitored reservoirs, and there was no heavy metal pollution. The highest individual risk of non-carcinogens was ammonia nitrogen, followed by mercury and cyanide, while the lowest was volatile phenol, but they were lower than the maximum acceptable risk level recommended by ICRP in the dry and wet season. The individual risk of hexavalent chromium was higher than the maximum acceptable risk level recommended by ICRP in the dry and wet season, while the individual risk of arsenic was lower than the maximum acceptable risk level recommended by ICRP in the dry and wet season. [Conclusion] The damage of chemical carcinogens to human health is far more than that of non-carcinogens, and hexavalent chromium is the main toxic pollutant to human health, so the management and control of hexavalent chromium is an effective measure to ensure the safety of water at sources of drinking water.

Key words Drinking water; Assessment of health risk

安全的水源供给是人类生存和区域发展的重要自然基础,是人们生活、生产用水的源头。目前,我国饮用水源地污染事件频发,水体中污染物质通过多种暴露途径威胁饮用人群的身心健康^[1-3]。据世界卫生组织(WHO)统计,全球80%的疾病与直接饮用不清洁的饮用水有关^[4]。医学研究也表明,环境因素与构成癌症发病因素密切相关,饮用水污染与癌症发病率存在相关性^[5]。2007年国务院编制的《全国城市饮用水源地环境保护规划》充分体现了饮用水源安全与人体健康和社会稳定息息相关^[6]。张大元等^[7]对重庆镇街饮用水源地进行安全评价时指出,荣昌县断面水质安全比例低于60%,因此急需开展荣昌县镇街饮用水水质安全调查,确保镇街饮用水源地水质安全。

为了进一步保护荣昌县镇街饮用水源地水质和居民饮用水源安全,笔者在对荣昌县21个镇街饮用水源地枯水期和丰水期水质进行调查分析的基础上,选取8个镇街为研究区域,采用美国环保局(USEPA)推荐的健康风险评价方法,对荣昌县水环境主要污染物进行健康评价,旨在为镇街饮用水源地水质安全调查与评价提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集与测定 对荣昌县21个镇街饮用水源地在枯水期和丰水期各进行随机采样1次,选取荣昌县8个镇街饮用水源地为研究区域,采用国家现行环境监测分析方法标

准进行监测分析。

1.2 水环境健康风险评价模型 水环境健康风险评价是以风险度作为评价指标,把环境污染与人体健康联系起来,定量描述污染对人体产生健康危害的风险。该研究根据健康风险评价模型对致癌物和非致癌物通过饮水途径进入人体后所引起的健康风险进行定量评价。

1.2.1 化学致癌物的健康风险评价方法^[8-9]。根据国际癌症研究机构(IARC)和世界卫生组织(WHO)通过全面评价化学物质致癌性可靠程度而编制的分类系统,化学致癌物主要有Cd、As和 Cr^{6+} ,来自于饮水的平均个人健康危害风险计算方法为:

$$R^c = \sum_{i=1}^k R_{ig}^c \quad (1)$$

$$R_{ig}^c = [1 - \exp(-D_{ig} \times Q_{ig})] / ED \quad (2)$$

式中, R^c 为通过饮水所致的平均个人致癌年风险值, a^{-1} ; D_{ig} 为某种化学致癌物通过饮水的单位体重日均暴露剂量, $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$; Q_{ig} 为某种化学致癌物通过饮水的致癌强度系数, $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ^[10]; ED 为人均寿命, a ,取70 a ;成人平均日饮水量,2.2 L。化学致癌物的 Q_{ig} : Cd 6.1 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$, As 15.0 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$, Cr^{6+} 41.0 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。

1.2.2 非致癌物的健康风险评价方法。非致癌物主要是Pb、Hg、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、CN和挥发酚,其通过饮用途径所致平均个人健康风险计算方法为:

$$R^n = \sum_{i=1}^n R_{ig}^n \quad (3)$$

$$R_{ig}^n = (D_{ig} \times 10^{-6} / RfD_{ig}) / 70 \quad (4)$$

作者简介 王秋娟(1986-),女,陕西渭南人,工程师,硕士,从事环境监测技术研究。

收稿日期 2016-06-13

式中, D_{ig} 为某种非致癌物通过饮用所致的平均个人致癌年风险值, a^{-1} ; RfD_{ig} 为一种非致癌物通过饮用的参考剂量, $mg/(kg \cdot d)$, 其饮用途径参考剂量: Pb $1.4 \times 10^{-3} mg/(kg \cdot d)$, Hg 为 $3.0 \times 10^{-4} mg/(kg \cdot d)$, Cu 为 $5.0 \times 10^{-3} mg/(kg \cdot d)$, $NH_3 - N$ 为 $9.7 \times 10^{-1} mg/(kg \cdot d)$, CN 为 $3.7 \times 10^{-2} mg/(kg \cdot d)$, 挥发酚为 $1.0 \times 10^{-1} mg/(kg \cdot d)$ [11]。

$$D_{ig} = 2.2 \times C_i / BW \quad (5)$$

式中, C_i 为化学致癌物/非化学致癌物的质量浓度, mg/L ; BW 为平均体重, kg (取 70 kg)。

2 结果与分析

2.1 水质污染状况

荣昌县镇街饮用水源地水质监测项目有溶解氧、高锰酸盐指数、 Cr^{6+} 、COD、Hg 等 21 项指标。监测时间为 2012 年 4 月 (枯水期) 和 2012 年 9 月 (丰水期), 各污染物监测数据及达标率见表 1。由表 1 可知, 各水库丰水期超标率明显低于枯水期, 但均存在超标现象, 其中双河街道海棠寺水库水质超标率最低, 丰水期和枯水期均为 4.76%, 盘龙镇豆腐桥水库水质超标率最高, 丰水期和枯水期均为 28.57%。

COD_{Mn} 常被作为表示地表水受有机污染物污染程度的综合指标 [12], 有研究表明, 当水体中 COD_{Mn} 大于 4.00 mg/L 时表示水体已受到有机污染 [13]。由表 1 可知, 除了双河街道海棠寺水库丰水期的高锰酸盐指数低于 4.00 mg/L 外, 其余水库在丰水期和枯水期均大于 4.00 mg/L , 这表明所调查的各个水库均存在不同程度的有机物污染。 COD_{Cr} 作为有机物相对含量的指标之一, 除双河街道海棠寺水库外, 其余水库均存在不同程度的 COD_{Cr} 超标现象, 这与 COD_{Mn} 调查结果相似, 即各水库存在不同程度的有机物污染。污染源调查中发现, 所有水库周边均存在养殖场, 养殖场中鸡鸭鱼等饲料或

粪便等有机污染物未经完全处理排入水库, 导致水库水体中出现有机污染。

N、P 是造成水体富营养化的主要元素, 水体中 N、P 含量过高会造成浮游植物过度繁殖, 消耗水中溶解氧, 使得水体水质恶化。因此, N、P 含量是衡量潜在水质富营养化的重要指标, 当水体中 TN、TP 含量分别达到 0.20、0.02 mg/L 以上时, 水体有发生富营养化的风险。笔者在监测中发现, 所调查水库均存在不同程度的 N、P 超标现象, TN、TP 含量为 0.20、0.02 mg/L , 因此, 各水库水体均存在较高的水体富营养化风险。这主要是由于畜禽养殖粪便及生活污水排入水库导致水库出现 N、P 含量超过富营养化限值, 各镇街水库水体均未出现重金属超标。

2.2 化学致癌物健康风险

由于在水质监测中未对 Cd 进行监测, 故只针对 Cr^{6+} 和 As 进行化学致癌物健康风险评价, 荣昌县镇街饮用水源地化学致癌物通过饮用途径造成的平均个人年风险值及总风险值如图 1 所示。从图 1 可以看出, 化学致癌物通过饮用途径所致健康危害的个人风险以丰水期 Cr^{6+} 最大, 除豆腐桥水库枯水期外, 其余均高于国际辐射防护委员会 (ICRP) 推荐的最大可接受风险水平 ($5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$)。As 的个人风险值在 $1.65 \times 10^{-6} \sim 2.01 \times 10^{-4} a^{-1}$, 丰水期和枯水期水体中 As 的个人年风险值均低于国际辐射防护委员会 (ICRP) 推荐的最大可接受风险水平 ($5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$)。这说明化学致癌物 Cr^{6+} 是各水库饮用水源地对人体健康产生危害的主要有毒污染物, 这与周晓铁等 [14] 的研究结果相似。虽然饮用水中 Cr^{6+} 的含量满足《地表水环境质量标准》Ⅲ类水质的要求, 长期的低剂量摄入仍然会严重危害人体健康 [15], 应将其作为供水厂饮用水处理的重点对象。

表 1 荣昌县各镇街饮用水源地污染物监测值及其超标率

Table 1 Monitoring values and rate of exceeding the standard of pollutants at the sources of drinking water in Rongchang County

饮用水源地 Sources of drinking water	时期 Period	pH	溶解氧 Dissolved oxygen mg/L	高锰酸盐指数 Permanganate Index mg/L	COD mg/L	$NH_3 - N$ mg/L	挥发酚 Volatile phenol mg/L	石油类 Petroleum mg/L	TP mg/L	氟化物 Fluoride mg/L	粪大肠菌群 Fecal coliform 个	5 日生化 需氧量 BOD ₅ mg/L
荣隆镇水冲水库 Shuichong Reservoir in Ronglong Town	枯水期	8.20	5.73	9.80	48.80	0.815	0.001 4	0.025	0.18	0.330	4 900	3.5
	丰水期	7.95	6.92	12.00	23.30	0.577	0.001 2	0.010	0.09	0.319	7 900	2.8
安富街道李家沟水库 Lijia-gou Reservoir at Anfu Street	枯水期	9.09	6.81	9.70	38.80	0.981	0.001 7	0.025	0.07	0.590	1 700	6.6
	丰水期	8.05	5.93	7.30	21.70	0.729	0.001 0	ND	0.07	0.286	500	2.5
双河街道海棠寺水库 Haitangsi Reservoir at Shuanghe Street	枯水期	8.91	4.78	4.40	9.40	0.252	0.000 7	0.025	0.04	0.240	3 300	2.3
	丰水期	7.87	7.22	3.60	11.50	0.417	0.000 3	ND	0.03	0.240	1 700	3.7
仁义镇三奇寺水库 Sanqishi Reservoir in Renyi Town	枯水期	9.20	3.25	7.30	17.10	0.270	0.000 7	0.025	0.13	0.360	500	3.0
	丰水期	7.59	7.13	6.80	36.90	0.342	0.000 8	ND	0.04	0.257	92 000	5.4
观胜镇宝积寺水库 Baojishi Reservoir in Guansheng Town	枯水期	9.40	8.71	6.60	22.10	0.326	0.001 0	0.025	0.04	0.330	4 900	4.2
	丰水期	7.55	7.09	6.10	23.30	0.328	0.000 6	ND	0.08	0.315	500	2.4
盘龙镇豆腐桥水库 Doufu-qiao Reservoir in Panlong Town	枯水期	9.97	9.59	8.70	33.40	0.244	0.000 5	0.025	0.07	0.350	1 700	4.4
	丰水期	9.33	7.45	12.80	39.80	0.382	0.001 8	ND	0.16	0.274	1 700	6.0
远觉镇罗家桥水库 Luojiaqiao Reservoir in Yuanjue Town	枯水期	9.20	4.66	5.80	10.80	0.225	0.000 7	0.025	0.06	0.360	200	2.2
	丰水期	8.70	7.22	6.80	27.70	0.399	0.000 7	ND	0.10	0.277	500	3.0
龙集镇观音岩水库 Guanyin-yan Reservoir in Longji Town	枯水期	8.96	4.40	7.10	13.50	0.219	0.000 6	0.025	0.05	0.400	700	3.1
	丰水期	8.77	6.88	6.60	22.80	0.383	0.001 0	ND	0.05	0.284	500	3.5
GB 3838—20021	6~9	≤5	≤6	≤20	≤1.0	≤0.005	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤1.0	≤10 000	≤4

续下表

续表1

饮用水源地 Sources of drinking water	时期 Period	硫酸盐 Sulfate mg/L	硫化物 Sulfide mg/L	氰化物 Cyanide mg/L	TP mg/L	氯化物 Chloride mg/L	硝酸盐氮 Nitrate nitrogen mg/L	Cr ⁶⁺ mg/L	As mg/L	Se mg/L	Hg mg/L	超标率 Rate of exceeding the standard %
荣隆镇水冲水库 Ronglong Town Shuichong Reservoir	枯水期	22.40	0.076	0.002	1.180	10.80	0.18	0.010	0.001 400	0.000 475	0.000 051 6	19.05
	丰水期	28.40	0.122	ND	0.708	21.20	0.33	0.009	0.000 383	0.000 616	0.000 052 1	14.29
安富街道李家沟水库 Lijiagou Reservoir at Anfu Street	枯水期	15.50	0.065	0.002	1.630	9.91	0.45	0.009	0.001 090	0.000 788	0.000 096 3	28.57
	丰水期	28.20	0.035	ND	1.240	21.70	0.45	0.017	0.000 497	0.000 442	0.000 050 6	19.05
双河街道海棠寺水库 Haitangsi Reservoir at Shuanghe Street	枯水期	23.90	0.027	0.002	0.789	7.93	0.24	0.002	0.000 706	0.000 420	0.000 082 8	4.76
	丰水期	27.20	0.074	ND	1.850	20.40	0.41	0.009	0.000 357	0.000 480	0.000 048 1	4.76
仁义镇三奇寺水库 Sanqishi Reservoir in Renyi Town	枯水期	14.60	0.012	0.002	1.070	7.92	0.21	/	0.004 070	0.001 430	0.000 127 0	23.81
	丰水期	28.30	0.880	ND	1.410	19.50	0.31	0.004	0.000 353	0.000 527	0.000 045 2	28.57
观胜镇宝积寺水库 Baojishi Reservoir in Guan-sheng Town	枯水期	18.40	0.028	0.002	0.751	6.10	0.10	0.006	0.000 679	0.000 605	0.000 112 0	19.05
	丰水期	28.00	0.070	ND	1.790	12.80	0.34	0.004	0.000 334	0.000 603	0.000 051 2	19.05
盘龙镇豆腐桥水库 Doufuqiao Reservoir in Panlong Town	枯水期	13.50	0.034	0.002	1.310	8.94	0.29	0.002	0.000 298	0.002 180	0.000 100 0	28.57
	丰水期	28.60	0.108	0.004	2.830	26.00	0.29	0.030	0.000 421	0.000 677	0.000 059 2	28.57
远觉镇罗家桥水库 Luojiqiao Reservoir in Yuanjue Town	枯水期	21.10	0.039	0.002	0.684	10.40	0.08	0.005	0.002 390	0.001 830	0.000 128 0	14.29
	丰水期	28.40	0.061	ND	1.770	18.40	0.36	ND	0.000 347	0.000 559	0.000 049 0	19.05
龙集镇观音岩水库 Guanyinyan Reservoir in Longji Town	枯水期	15.00	0.009	0.002	0.913	9.52	0.08	0.005	0.002 450	0.001 370	0.000 114 0	9.52
	丰水期	28.10	0.061	ND	1.170	18.80	0.30	ND	0.000 387	0.000 616	0.000 051 3	14.29
GB 3838—20021		≤250	≤0.2	≤0.2	≤1.0	≤250	≤10	≤0.050	≤0.05	≤0.01	≤0.000 1	19.05

注:ND表示未检出。

Note: "ND" stands for being not detected.

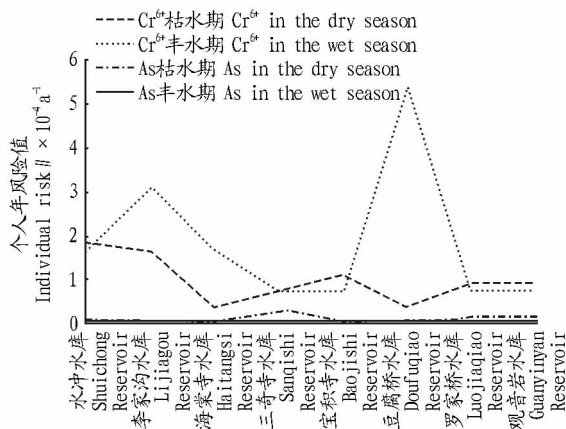


图1 各水库枯水期与丰水期化学致癌物的个人年风险值

Fig. 1 Individual risk of carcinogens in each reservoir in the dry and wet season

荣昌县各镇街饮用水源地水体各枯水期和丰水期中化学致癌物所致的健康危害的总风险值为 $3.88 \times 10^{-5} \sim 5.45 \times 10^{-4} a^{-1}$, 除豆腐桥水库枯水期外均超过 $5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$ (国际辐射防护委员会推荐的最大可接受限值)。由此可知, 各镇街水库由于化学致癌物所致的健康风险已不容忽视。

2.3 非致癌物健康风险 荣昌县各镇街饮用水源地水体在枯水期和丰水期通过饮用非致癌物所造成的平均个人年风险值及总风险值见图2、3。从图2、3可以看出, 各水库丰水期和枯水期非致癌物通过饮水对人体所造成的健康风险以 NH_3-N 最大, 但均在 $10^{-9} a^{-1}$ 左右, 远低于国际辐射防护委员会推荐的最大可接受风险水平。可见, 非致癌物通过饮水对人体所造成的危害较小, 且化学致癌物比非化学致癌物健康风险值高出3~4个数量级, 说明与化学致癌物相比, 非化

学致癌物所引起的健康风险甚微, 不会对暴露人群构成危险, 这与前人研究结果一致^[16-17]。

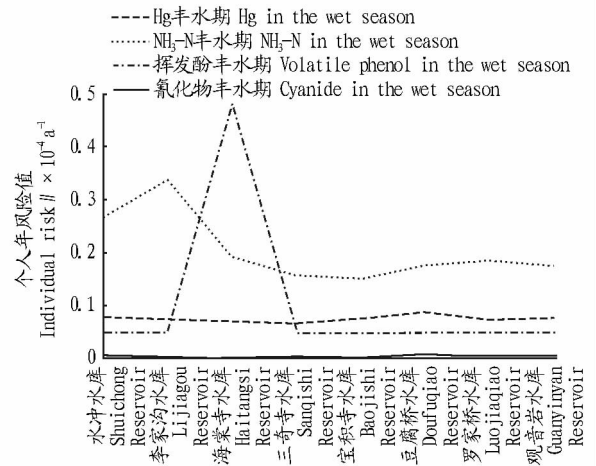


图2 各水库丰水期非化学致癌物的个人年风险值

Fig. 2 Individual risk of non-carcinogens in each reservoir in the wet season

3 结论

(1) 荣昌县各镇街饮用水源地水体中均存在不同程度的N、P及有机物污染, 未出现重金属污染。

(2) 在荣昌县各镇街饮用水源地中, Cr^{6+} 通过饮用水对人体所致的健康最大, 且高于ICRP推荐的最大可接受风险水平, 是构成人体健康风险的主要化学致癌物, 应将其作为首要的环境健康风险管理控制指标。

(3) 各水库非致癌物的个人年风险值在枯水期和丰水期从大到小依次为 NH_3-N 、Hg、氰化物、挥发酚, 其值均低于ICRP推荐的最大可接受风险水平。

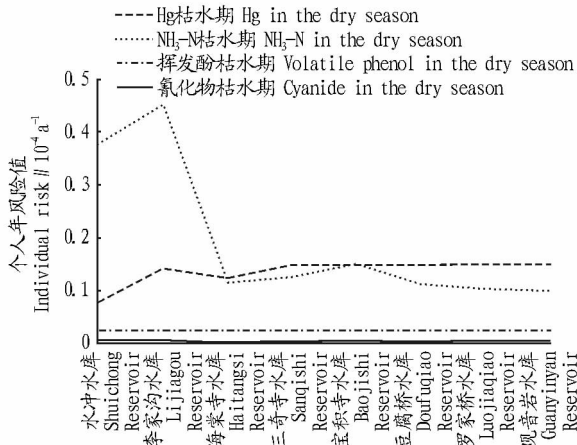


图3 各水库枯水期非化学致癌物的个人年风险值

Fig.3 Individual risk of non-carcinogens in each reservoir in the dry season

(4) 荣昌县各镇街饮用水源地水体中化学致癌物通过饮用途径所造成的健康风险远高于非致癌物。

(5) 为了确保荣昌县各镇街饮用水源地水质的安全, 加强治理和控制化学致癌物(特别是 Cr^{6+}) 是降低饮用水源地健康风险的有效办法, 同时应对各水库周边畜禽养殖及生活污水排放进行治理和控制, 实现污染物集中化处理。

参考文献

- [1] 王大坤, 李建新. 健康危害评价在环境质量评价中的应用[J]. 环境污染与防治, 1995, 17(6): 9-12.
- [2] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 等. 基于“源—汇”生态过程的景观格局识别方法: 景观空间负荷对比指数[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2406-2413.

(上接第 46 页)

4 结语

红茶是世界茶叶市场的主销茶类, 红茶的饮用文化促进了世界红茶的生产与消费。通过对红茶香气成分的分析及对影响红茶香气的因素探讨可以看出, 茶叶中的香气成分会受到各个方面因素的影响, 从生态环境到加工工艺等一系列因素都会影响红茶的香气。因此, 在前人已有的研究基础上进行深入分析, 使红茶的香气品质能有更大的提升是今后研究红茶香气的方向和目标, 从而使红茶香气物质在更多的领域得到应用, 使我国红茶品质在国际市场上的地位得到更广泛的认可。

参考文献

- [1] 李真, 刘政权, 刘紫燕, 等. 国外红碎茶的香气特征[J]. 安徽农业大学学报, 2015(5): 692-699.
- [2] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 107.
- [3] 袁海波, 尹军峰, 叶国柱, 等. 茶叶香型及特征物质研究进展[J]. 中国茶叶, 2009(8): 14-15.
- [4] 施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 36-37.
- [5] 廖书娟, 童华荣. 不同茶树品种脂肪酸和糖苷类香气前体分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2008, 30(8): 62-66.

- [3] 陈敏建, 陈炼钢, 丰华丽. 基于健康风险评价的饮用水水质安全管理[J]. 中国水利, 2007(7): 12-15.
- [4] World Health Organization. Meeting MDG drinking water and sanitation target: The urban and rural challenge of the decade [M]. Geneva, Switzerland: World Health Organization; New York: United Nations Children's Fund, 2006.
- [5] 王家玲, 运路珈, 郑红俭, 等. D 湖水中有机污染物致突变性的研究[J]. 环境科, 1985, 6(1): 2-5.
- [6] 韩梅, 付青, 陈艳卿. 城市地表饮用水源地水质健康风险综合指数评价方法研究[C]//姜艳萍, 王国清. 2012 中国环境科学学会学术年会论文集(第四卷). 北京: 中国农业大学出版社, 2012: 3012-3017.
- [7] 张大元, 刘兰玉. 重庆市乡镇饮用水水源地安全评价与控制对策[J]. 水资源保护, 2011, 27(3): 38-74.
- [8] EPA. Superfund public health evaluation manual [R]. EPA/540/186060, 1986.
- [9] The US EPA. Available information on assessment exposure from pesticides in food [R]. U. S. Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs, 2000.
- [10] US Environmental Protection Agency. Guidelines for exposure assessment [R]. Washington DC: Office of Health and Environmental Assessment, 1992.
- [11] STRENDE L, CHAMBERLAIN P J. Multimedia environmental pollutant assessment system; Exposure pathway and human health impact assessment models [R]. Richland, Washington: Pacific Northwest National Laboratory, 1995.
- [12] 刘瑞祥, 常惠丽. 浊漳河三典型支流的水质对比研究[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(5): 55-62.
- [13] 刘健康. 东湖生态学(二) [M]. 北京: 科学出版社, 1990: 63-226.
- [14] 周晓铁, 王嘉, 孙世群, 等. 饮用水水源地健康风险研究和实例分析[J]. 四川环境, 2010, 29(4): 24-28.
- [15] 杨全锁, 郑西来, 许延营, 等. 青岛市黄岛区饮用水源健康风险评价[J]. 安全与环境学报, 2008, 8(2): 83-86.
- [16] 曾光明, 李新民. 水环境健康风险评估模型及其应用[J]. 水电能源科学, 1997, 15(4): 28-33.
- [17] 孙超, 陈振楼, 张翠, 等. 上海市主要饮用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.

- [6] 周斌, 任洪涛, 秦达峰, 等. 不同提取方法在滇红香气成分分析中的对比研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(7): 850-855.
- [7] 雷攀登, 黄建琴, 丁勇, 等. 不同区域祁门红茶品质特点分析[J]. 食品科学, 2015(10): 144-149.
- [8] 山西贞, 相版博子, 小管光子. 祁门红茶和锡兰红茶香气成分的比较[J]. Agri Biol Chem, 1978, 42(11): 11.
- [9] 竹尾忠一, 周静舒, 李生富. 中国红茶香气构成的特征[J]. 蚕桑茶叶通讯, 1984(2): 32-34.
- [10] 方维亚, 陈萍. 不同地区红茶特异性香气成分比较研究[J]. 茶叶, 2014(3): 138-145.
- [11] 杨盛美, 许致, 唐一春, 等. 云南不同茶区茶树种质资源的红碎茶香气成分研究[J]. 中国农学通报, 2015(11): 156-161.
- [12] 王山贞. 茶叶香气受产地、品种、施肥量、制茶法左右 [J]. 茶(日本), 1994(1): 18-24.
- [13] 任洪涛, 周斌, 方林江, 等. 云南红茶加工过程中香气成分的变化[J]. 食品与发酵工业, 2013(3): 187-191.
- [14] 张贝贝, 艾仄宜, 曲凤凤, 等. 黄光萎凋对红茶品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2016(2): 108-114.
- [15] MAHANTA P K, BARUAH S. 萎凋与红茶香气特征的关系[J]. J Sci Food Agric, 1989, 46: 461-468.
- [16] 赵和涛. 红茶发酵时主要化学变化及不同发酵方法对工夫红茶品质的影响[J]. 蚕桑茶叶通讯, 1989(2): 10-13.
- [17] 陈慧, 王登良. 红茶的香气成分及其在加工中的变化[J]. 广东茶业, 2012(21): 13-15.
- [18] 王秋霜, 陈栋, 吴华玲. 红茶香气研究进展[J]. 广东农业科学, 2011(18): 86-88.