

我国水源水与饮用水微囊藻毒素-LR非致癌健康风险研究

吕晨, 曾惠, 王佳, 舒为群

摘要:

[目的] 研究和比较我国水源水和饮用水微囊藻毒素-LR(MC-LR)污染导致的非致癌健康风险。

[方法] 收集和整理国内外公开发表的我国水源水和饮用水中MC-LR质量浓度(简称为浓度)数据,采用美国环保署推荐的评价模型进行非致癌健康风险评价。

[结果] 1998年至2016年间我国湖泊(水库)水中MC-LR浓度范围为ND~54.898 µg/L, HQ范围为0~50.996;江河水中MC-LR浓度范围为ND~1.360 µg/L, HQ范围为0~1.263;井水中MC-LR浓度范围为ND~0.780 µg/L, HQ范围为0~0.725;水厂出厂水中MC-LR浓度范围为ND~1.270 µg/L, HQ范围为0~1.180;末梢水中MC-LR浓度范围为ND~0.860 µg/L, HQ范围为0~0.799;瓶(桶)装水中MC-LR浓度范围为ND~0.795 µg/L, HQ范围为0~0.738。可见我国湖泊(水库)水、江河水和出厂水HQ最大值都大于1,可能存在MC-LR污染导致的非致癌健康风险;而井水、末梢水和瓶(桶)装水HQ范围都小于1,非致癌健康风险都在可接受范围内,但值得注意的是瓶(桶)装水中MC-LR非致癌健康风险水平并不比末梢水小。

[结论] 需要加强我国湖泊(水库)水、江河水和出厂水中MC-LR污染监测和防护以及瓶(桶)装水中微囊藻毒素污染的健康风险研究。

关键词: 微囊藻毒素-LR; 水源水; 饮用水; 非致癌健康风险

引用: 吕晨, 曾惠, 王佳, 等. 我国水源水与饮用水微囊藻毒素-LR非致癌健康风险研究[J]. 环境与职业医学, 2018, 35(9): 841-848.

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.18295

Assessment on non-carcinogenic health risks of microcystin-LR in source water and drinking water in China Lǚ Chen, ZENG Hui, WANG Jia, SHU Wei-qun (Department of Environmental Hygiene, College of Military Preventive Medicine, Army Medical University, Chongqing 400038, China). Address correspondence to SHU Wei-qun, E-mail: xm0630@sina.com • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract:

[Objective] To compare and assess the non-carcinogenic health risks of microcystin-LR (MC-LR) in source water and drinking water in China.

[Methods] We collected and collated data of reported MC-LR concentrations in source water and drinking water in China from publicly released domestic and foreign studies. Hazard quotient (HQ) recommended by the United States Environmental Protection Agency (EPA) was adopted to assess the non-carcinogenic risks of MC-LR by consuming contaminated source water and drinking water.

[Results] The results showed that in China from 1998 to 2016 the concentrations of MC-LR in lake (reservoir) water ranged from ND to 54.898 µg/L, and the HQ of lake water was from 0 to 50.996; the concentrations of MC-LR in river water ranged from ND to 1.360 µg/L, and the HQ of river water was from 0 to 1.263; the concentrations of MC-LR in well water ranged from ND to 0.780 µg/L, and the HQ of well water was from 0 to 0.725; the concentrations of MC-LR in finished water of waterworks ranged from ND to 1.270 µg/L, and the HQ of finished water was from 0 to 1.180; the concentrations of MC-LR in peripheral water ranged from ND to 0.860 µg/L, and the HQ of peripheral was from 0 to 0.799; the concentrations of MC-LR in bottled water ranged from ND to 0.795 µg/L, and the HQ of bottle water was from 0 to 0.738. The maximums of HQ for lake (reservoir) water, river water, and finished water in China were all greater than 1, indicating that MC-LR had non-carcinogenic health risks. The maximums of HQ for well water, peripheral water, and bottled water were less than 1, indicating that the related non-carcinogenic health risks of MC-LR were acceptable. However, the

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(编号: 81230064)

[作者简介] 吕晨(1983—), 男, 硕士生; 研究方向: 微囊藻毒素对人群健康危害及风险评估; E-mail: 93437510@qq.com

[通信作者] 舒为群, E-mail: xm0630@sina.com

[作者单位] 陆军军医大学军事预防医学院环境卫生教研室, 重庆 400038

non-carcinogenic health risk of MC-LR in bottled water was not less than that in peripheral water.

[Conclusion] We suggest strengthening the monitoring of MC-LR concentrations in lake (reservoir) water, river water, and finished water of waterworks, and protecting people from MC-LR pollution. Moreover, we recommend that more studies on the health risk of MC-LR in bottled water should be conducted.

Keywords: microcystin-LR; source water; drinking water; non-carcinogenic health risk

Citation: LÜ Chen, ZENG Hui, WANG Jia, et al. Assessment on non-carcinogenic health risks of microcystin-LR in source water and drinking water in China[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2018, 35(9): 841-848. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.18295

水体富营养化导致的蓝藻异常繁殖生长是全球面临的重大环境污染问题之一。微囊藻毒素(microcystins, MCs)是各地蓝藻水华产生的最为常见的毒素,目前有240多种亚型,其中微囊藻毒素-LR(MC-LR)最为常见,毒性也比较强^[1]。《生活饮用水卫生规范》和《地表水环境质量标准》规定饮用水和水源水中MC-LR的安全限值为1 µg/L。研究显示,在我国太湖、巢湖、长江等大量水源水和上海、杭州等地大量饮用水中都检出MC-LR,然而目前我国仅有对太湖^[2]、杭州贴沙河^[3]、重庆某区2个水库^[4]以及江南某城市饮用水^[5]等个别水源水和饮用水MC-LR的非致癌健康风险评价研究。所以,本研究拟对我国水源水和饮用水MC-LR污染进行较为全面的非致癌健康风险评价,了解我国水源水和饮用水中MC-LR污染整体情况和健康风险,为保障饮水安全提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据收集和整理

本研究以“水源水”“饮用水”“微囊藻毒素-LR”为关键词,检索时间设为1998年至2016年,检索中国生物医学文献数据库、中国期刊全文数据库、万方期刊数据库和维普中文科技期刊数据库;以“source water”“drinking water”“microcystin-LR”为关键词,检索时间设为1998年至2016年,检索PubMed、Science Direct、荷兰医学文摘和Google学术,收集国内外所有公开发表的关于我国境内水源水[包括湖泊(水库)水、江河水、井水]和饮用水[包括水厂出厂水、末梢水和瓶(桶)装水]中MC-LR污染的文献,然后对文献进行评估。以同一时间、同一采样地点的水样中游离MC-LR质量浓度(简称为浓度)为一个样本数据(单位为µg/L,数值保留到小数点后3位),并排除未检测出MC-LR浓度数值和重复出现的MC-LR浓度数据的文献。整理后共纳入57篇报道水源水中MC-LR污染数据的文献和20篇报道饮用水中MC-LR污染数据的文献。按照水体类型、时间、采样地点等对数据进行整理。

1.2 非致癌健康风险评价方法

日常情况下,人体暴露于MCs最常见的途径是饮水暴露,其次是食物暴露和娱乐暴露等。本研究主要评价饮水暴露途径引起的人群健康风险。

1.2.1 暴露评估模型构建 根据美国环保署关于人体暴露于饮水中化学物质的暴露评估模型^[6],饮水途径化学物质日暴露量的计算公式如下:

$$CDI_i = (C_i \times IR \times EF \times ED) / (BW \times AT) \quad (1)$$

式中, CDI_i 为饮水中化学物*i*的每日摄入量,mg/(kg·d); C_i 为饮水中化学物*i*的浓度,mg/L; IR 为每日饮水摄入量,L/d; EF 为暴露频率,d/年,取值为365d/年; ED 为暴露的持续时间,年,非致癌物取值为30年(即10950d),致癌物取值为70年(即25550d); BW 为人体体重,kg; AT 为平均暴露时间,d^[7]。本研究每日饮水摄入量和体重采用《中国人群暴露参数手册(成人卷)》提供的全国人群平均值,分别为2.3 L/d和61.9 kg^[8]。

1.2.2 非致癌健康风险评估 采用危害商(hazard quotient, HQ)进行描述。采用美国环保署推荐的单一毒物非致癌健康风险评价模型进行评价^[6],其计算公式如下:

$$HQ = CDI / RfD \quad (2)$$

式中, HQ 即危害商,为日均暴露剂量与参考剂量的比值。当 $HQ < 1$ 时,认为其非致癌健康风险水平是可以接受的;反之,则认为存在非致癌健康风险^[9]。 CDI 为某毒物经某途径的日均暴露剂量,mg/(kg·d); RfD 为某毒物经某途径的参考暴露剂量,mg/(kg·d)。目前尚无国际公认的MC-LR的 RfD ,根据美国环保署指导建议,在无 RfD 的情况下,可以采用每日可耐受摄入量(tolerable daily intake, TDI)代替。根据WHO的推荐,MC-LR的TDI为0.04 µg/(kg·d)^[10]。

2 结果

2.1 水源水MC-LR污染的非致癌健康风险

表1是我国水源水中MC-LR污染情况和非致癌健康风险评价结果。结果显示,自1998年4月到2016年

6月间在我国太湖、巢湖、淀山湖、滇池、长江、珠江等大多数主要的水源水体中都检出MC-LR,其浓度范围为未检出(ND)~54.898 $\mu\text{g/L}$,HQ范围为0~50.996。对不同水体类型水源水分析可以发现,1998年4月至2015年11月间湖泊(水库)水中MC-LR浓度范围为ND~54.898 $\mu\text{g/L}$,HQ范围为0~50.996;1998年8月至2016年6月间江河水中MC-LR浓度范围为ND~1.360 $\mu\text{g/L}$,HQ范围为0~1.263;1998年7月至2015年8月井水中MC-LR浓度范围为ND~0.780 $\mu\text{g/L}$ (其中所有深井水中未检测出MC-LR),HQ范围为0~0.725。

表1 我国水源水中MC-LR污染状况和危害商(HQ)

水体类型	采样地点	文献	采样时间	检测方法	样本个数	检出率(%)	浓度($\mu\text{g/L}$)	危害商(HQ)
湖泊 (水库)水	江苏省某湖周围水厂水源水	[11]	1998.4—1999.1	ELISA	28	78.6	ND~1.865	0~1.732
	福建省同安县水库水	[12]	1998.8	ELISA	3	66.7	0.026~0.876	0.024~0.814
淀山湖			2000.8	ELISA	3	66.0	ND~0.166	0~0.154
			1998.8	HPLC	88	—	0.865*	0.804
			2002.6—2006.10	HPLC	30	—	0.044~0.136	0.041~0.126
			2003.7—2004.3	HPLC	24	87.5	ND~1.740	0~1.616
			2008.5—2008.9	HPLC	40	25	ND~0.065	0~0.060
			2008.6—2008.10; 2009.6—2009.10	HPLC	100	32	ND~0.070	0~0.065
			2013.3—2013.10	HPLC	35	88.6	ND~0.072	0~0.067
			1999.5—2000.4	ELISA	—	—	ND~54.898	0~50.996
			2001.1—2001.12	ELISA	72	—	0~15.600	0~14.491
			2001.7; 2001.11	ELISA	12	100	0.064~14.188	0.060~13.179
太湖			2004.7—2004.12	HPLC	—	—	0.077 Δ	0.072
			2007.3—2007.12	LC-MS	32	25	ND~0.522	0~0.485
			2007.7	HPLC-ESI-MS	9	100	4.330~12.270	4.022~11.398
			2008.5	HPLC	2	100	0.091~0.094	0.085~0.087
			—	ELISA	4	100	0.617~3.033	0.573~2.817
			2009.7—2010.6	TRFIA	180	—	—~0.740*	—~0.687
			2010.1—2011.12	TRFIA	360	100	0.004~0.312	0.004~0.290
			2010.8	ELISA	34	73.5	ND~0.960	0~0.892
			2011.8	HPLC	17	—	—~2.558	—~2.376
			—	ELISA	24	54.2	ND~2.280	0~2.118
滇池			2003.4—2003.12	HPLC	90	—	0.030~0.890	0.028~0.827
			—	HPLC	—	—	26.200 Δ	24.338
广东供水水库等16个水体			2003.6—2003.12	HPLC	48	—	0~0.396	0~0.368
			2003.7—2004.3	HPLC	6	83.3	ND~0.560	0~0.520
陈行水库			2004.7—2004.11	ELISA	60	—	ND~0.930	0~0.864
			2006.7—2006.11	ELISA	118	100	0.200~0.890	0.186~0.827
重庆涪陵区乡镇水厂水源水			2013.5; 2013.9	ELISA	8	100	0.060~0.290	0.056~0.269
			2004.8	HPLC	7	86	0.070~0.440	0.065~0.409
三峡库区			2010.9	ELISA	4	100	0.086~0.197	0.080~0.183
			2005.3—2006.1	ELISA	15	60	ND~0.251	0~0.233
花园口调蓄池		[40]	2005.4—2005.11	LC-MS-MS	30	—	ND~0.041	0~0.038
密云水库		[41]	2005.5; 2005.10	HPLC	12	91.7	ND~1.080	0~1.003
汾河一库和二库		[42]	2005.12—2006.1	ELISA	3	100	0~0.002	0~0.002
红枫湖		[43]	2006.4; 2006.7	ELISA	13	100	0.040~0.090	0.037~0.084
鄱阳湖		[44]	2007.7—2007.8	UPLC-MS-MS	98	—	ND~0.840	0~0.780
姚江和梅湖		[45]	2007.7—2007.8	ELISA	49	100	0.130~0.930	0.121~0.864
秦皇岛市洋河水库		[46]	2008.3; 2008.9; 2009.3; 2009.9; 2010.3; 2010.9	HPLC	115	4.3	ND~0.115	0~0.107
广东省某市水源水			2008.5	HPLC	101	12.9	ND~0.428	0~0.398
			2008.6—2009.5	ELISA	66	100	0.015~0.121	0.014~0.112
浙江省101个水源地		[25]	2008.7—2008.12	HPLC	—	86	ND~1.403	0~1.303
武汉市南湖等11个水体		[48]	—	HPLC	—	—	0.013~0.020	0.012~0.019
山仔水库		[49]	2009.1—2010.12	LC	92	54.3	ND~0.301	0~0.280
松花坝水库		[33]	2009.7—2010.6	TRFIA	24	75	ND~0.264	0~0.245
厦门市水源水		[50]	2009.7—2010.6	TRFIA	36	58.3	ND~0.240	0~0.223
无锡市水源水		[51]	2009.7—2010.6	TRFIA	60	55	ND~0.272	0~0.253
苏州市水源水		[51]	2010.6—2011.5	UPLC-MS-MS	12	66.7	ND~0.033	0~0.031
湖州市水源水		[51]	2011.6	LC	—	—	0.029*	0.027
茂名市水源水		[52]	2011.8—2012.7	HPLC	12	—	0.020~2.800	0.019~2.601
官厅水库		[53]	2012.1—2014.12	UPLC-MS-MS	432	—	0.001~0.319*	0.001~0.296
巢湖		[54]	2012.8—2012.12	UPLC-MS-MS	15	100	0.001~0.019	0.001~0.018
青草沙水库		[55]	2015.8—2015.11	ELISA	42	33.3	ND~0.410	0~0.381
江南某市水源水		[56]						
洱海		[57]						

续表 1

水体类型	采样地点	文献	采样时间	检测方法	样本个数	检出率(%)	浓度(μg/L)	危害商(HQ)
江河水	江南某市水源水	[58]	1998.8—1999.6	HPLC	36	8.3	ND~0.450	0~0.418
	无锡市河水	[21]	2001.7; 2001.11	ELISA	9	66.7	0.056~0.089	0.052~0.083
	黄浦江	[15]	2003.7—2004.3	HPLC	12	91.7	ND~0.650	0~0.604
	广西省8个地市水源水	[59]	2004.9—2004.10	HPLC	34	70.6	ND~0.719	0~0.668
	黄浦江	[60]	2005.8—2005.12	HPLC	—	—	0.020~0.189	0.019~0.176
	赣江	[44]	2006.4; 2006.7	ELISA	23	100	0.040~1.360	0.037~1.263
	太原市引黄河水	[61]	2006.5	HPLC	1	100	0.945	0.878
	太湖地区运河水	[26]	—	ELISA	4	100	0.311~0.557	0.289~0.517
	长江涪陵段	[62]	2009.9	ELISA	5	—	0.204*	0.189
	淮河	[63]	2012.4—2013.3	HPLC	48	100	0.040~0.670	0.037~0.622
	杭州贴沙河	[3]	2014.9	UPLC-MS-MS	6	100	0.002~0.010	0.002~0.009
	扶绥县水源水	[64]	2015.6—2015.8	ELISA	5	—	0.017 [△]	0.016
	珠江	[65]	2016.1—2016.6	HPLC	90	47.8	ND~0.280	0~0.260
井水	泰兴市浅井水	[66]	1998.7	ELISA	5	100	0.109*	0.101
			1998.11	ELISA	3	66.7	0.116*	0.108
	福建省同安县浅井水	[12]	1998.8	ELISA	49	77.5	ND~0.696	0~0.647
			2000.8	ELISA	49	7.0	ND~0.077	0~0.072
	无锡市深井水	[21]	2001.7; 2001.11	ELISA	7	0	ND	0
	无锡市浅井水		2001.7; 2001.11	ELISA	61	14	ND~0.323	0~0.300
	重庆市涪陵区乡镇浅井水	[35]	2004.7—2004.11	ELISA	65	—	ND~0.560	0~0.520
		[36]	2006.7—2006.11	ELISA	122	—	0.090~0.530	0.084~0.492
		[37]	2014.5; 2014.9	ELISA	49	100	0.020~0.780	0.019~0.725
	贵阳市深井水	[43]	2005.12	ELISA	3	0	ND	0
	扶绥县浅井水	[64]	2015.6—2015.8	ELISA	5	—	0.015 [△]	0.014

[注] ELISA: 酶联免疫法; HPLC: 高效液相色谱法; HPLC-ESI-MS: 高效液相色谱-电喷雾飞行时间质谱联用分析方法; TRFIA: 时间分辨荧光分析法; LC-MS-MS: 液相色谱-串联四极杆质谱法; UPLC-MS-MS: 超高效液相色谱-串联四极杆质谱法; LC: 液相色谱法; —: 缺失; *: 月平均值; △: 采样期间平均值; ND: 未检出。

2.2 饮用水 MC-LR 污染的非致癌健康风险

表2是我国饮用水中MC-LR污染情况和非致癌健康风险评价结果。结果显示,自1998年4月到2015年11月我国饮用水中MC-LR浓度范围为ND~1.270 μg/L, HQ范围为0~1.180。对不同类型饮用水分析发现,1998年4月至2014年9月间自来水

出厂水中MC-LR浓度范围为ND~1.270 μg/L, HQ范围为0~1.180; 1998年8月至2015年8月间自来水末梢水中MC-LR浓度范围为ND~0.860 μg/L, HQ范围为0~0.799; 2009年7月至2014年9月间市售瓶(桶)装水中MC-LR浓度范围为ND~0.795 μg/L, HQ范围为0~0.738。

表2 我国饮用水中MC-LR污染状况和危害商(HQ)

类型	采样地点	文献	采样时间	检测方法	样本个数	检出率(%)	浓度(μg/L)	危害商(HQ)
出厂水	江苏省某湖水厂	[11]	1998.4—1999.1	ELISA	28	78.6	ND~0.132	0~0.123
	太湖水厂	[19]	1999.5—2000.4	ELISA	—	—	ND~0.643	0~0.597
	无锡市	[21]	2001.7; 2001.11	ELISA	16	31.3	ND~0.076	0~0.071
	昆山市	[31]	—	ELISA	24	45.8	ND~0.250	0~0.232
	上海市	[15]	2003.7—2004.3	HPLC	12	83.3	ND~1.270	0~1.180
	广西省8个地市	[59]	2004.9—2004.10	HPLC	34	44.1	ND~0.498	0~0.463
	太原市	[61]	2006.5	HPLC	1	100	0.110	0.102
	广东省某市	[47]	2008.3; 2008.9; 2009.3; 2009.9; 2010.3; 2010.9	HPLC	66	6.1	ND~0.103	0~0.096
	厦门市	[50]	2009.1—2010.12	LC	69	52.2	ND~0.288	0~0.268
	无锡市	[51]	2009.7—2010.6	TRFIA	36	13.9	ND~0.166	0~0.154
	苏州市	[51]	2009.7—2010.6	TRFIA	72	30.6	0~0.180	0~0.167
	湖州市	[51]	2009.7—2010.6	TRFIA	48	37.5	ND~0.169	0~0.157
	巢湖市	[54]	2011.8—2012.7	HPLC	12	—	ND~0.400	0~0.372
	江南某市	[56]	2012.8—2012.12	UPLC-MS-MS	15	36	ND~0.007	0~0.007
	重庆市涪陵区	[37]	2013.5; 2013.9; 2014.5; 2014.9	ELISA	8	100	0.060~0.220	0.056~0.204

续表 2

类型	采样地点	文献	采样时间	检测方法	样本个数	检出率(%)	浓度(μg/L)	危害商(HQ)
末梢水	福建省同安县末梢水	[12]	1998.8	ELISA	4	100	0.060~0.292	0.056~0.271
			2000.8	ELISA	4	20	ND~0.051	0~0.047
	无锡市	[21]	2001.7; 2001.11	ELISA	90	18	ND~0.273	0~0.254
	重庆市涪陵区	[35]	2004.7—2004.11	ELISA	60	—	ND~0.830	0~0.771
			2006.7—2006.11	ELISA	110	100	0.160~0.860	0.149~0.799
		[37]	2013.5; 2013.9; 2014.5; 2014.9	ELISA	21	100	0.030~0.210	0.028~0.195
	太原市	[61]	2006.5	HPLC	15	—	0.060*	0.056
	广东省某市	[47]	2008.3; 2008.9; 2009.3; 2009.9; 2010.3; 2010.9	HPLC	67	4.6	ND~0.103	0~0.096
	太湖地区	[26]	2009.7—2010.6	ELISA	5	100	0.052~0.071	0.048~0.066
	江南某市	[5]	2010.6—2011.5	UPLC-MS-MS	156	67.3	ND~0.014	0~0.013
瓶(桶)装水	扶绥县	[64]	2015.6—2015.8	ELISA	28	—	0.014 [△]	0.013
	太湖地区	[26]	2009.7—2010.6	ELISA	80	73.8	ND~0.088	0~0.082
	重庆市涪陵区	[37]	2013.5; 2013.9; 2014.5; 2014.9	ELISA	8	100	0.040~0.100	0.037~0.093
	贵阳市	[67]	2015.11	ELISA	36	100	0.170~0.795	0.158~0.738

[注] ELISA: 酶联免疫法; HPLC: 高效液相色谱法; UPLC-MS-MS: 超高效液相色谱-串联四极杆质谱法; LC: 液相色谱法; TRFIA: 时间分辨荧光分析法; —: 缺失; *: 月平均值; △: 采样期间平均值; ND: 未检出。

3 讨论

根据国际癌症研究中心(International Agency for Research on Cancer, IARC)的划分,目前MC-LR为2B类物质,即可能对人体致癌,在动物实验中发现的致癌性证据尚不充分,对人体的致癌性的证据有限。所以本研究仅对我国水源水和饮用水中MC-LR污染进行非致癌健康风险评价。

针对水源水的研究显示,有关MC-LR污染数据的57篇文献中有44篇水源水HQ都小于1,表明这些水源水MC-LR污染产生的非致癌健康风险水平是可以接受的,其余13篇文献中水源水(包括太湖、滇池、赣江某城市段等)HQ最大值都大于1,说明这些水源水体某些时段都存在MC-LR污染产生的非致癌健康风险。对HQ数值最大(1999年8月太湖水样测得值)的水源水体MC-LR污染情况进行详细分析发现,该水源水1999年5月至2000年4月之间MC-LR浓度年均值为4.759 μg/L^[19],其年平均HQ为4.736,说明排除可能存在的个别时期个别样本检出的极值影响,该水源水全年存在非致癌健康风险,而且健康风险较高。对水源水分布地点分析可以看出,我国水源水MC-LR污染主要发生在秦岭淮河以南地区,这可能与这些地区温暖潮湿的环境适宜水体中藻类生长有关。

不同水体类型水源水MC-LR污染情况和HQ数据表明,深井水中MC-LR的非致癌健康风险最小;浅井水中MC-LR非致癌健康风险也在可接受范围之内。江河水和湖泊(水库)水HQ最大值都大于1,即都存在

非致癌健康风险,但比较两者可以发现,湖泊(水库)水的HQ最大值远大于河水,这可能与湖泊(水库)水易受到污染且不易消除有关。

对同一水源水不同时间HQ分析发现,水源水HQ最大值随时间存在减小的趋势。其中淀山湖的HQ在2008年之后均小于1;而同样处于水华状态的太湖水2011年HQ最大值明显小于2007年。这可能与我国湖泊(水库)营养状态得到改善有关。中国环境状况公报显示,2007年富营养湖泊占53.8%,其中重度富营养湖泊(水库)占7.7%,中度富营养占11.5%,轻度富营养占34.6%^[68]。而2016年富营养湖泊(水库)占23.1%^[69],与2007年相比富营养化状态得到改善。

针对饮用水的研究显示,MC-LR污染也主要发生在秦岭淮河以南地区,其HQ最大值大于1,表明我国饮用水也存在MC-LR污染导致的非致癌健康风险。其中出厂水HQ最大值(根据上海西岑水厂出厂水2003年10月的水样检测结果^[15]计算得出)大于1,提示我国部分供水系统出厂水某些时段存在MC-LR污染导致的非致癌健康风险。而水厂末梢水和瓶(桶)装水HQ数值都小于1,说明其非致癌健康风险水平都是可以接受的。但值得注意的是,目前我国市售瓶(桶)装水中MC-LR污染的检测数据很少,而且市售瓶(桶)装水HQ最大值大于大部分末梢水,提示需要对瓶(桶)装水中MC-LR污染导致的非致癌健康风险重新认识并引起关注。

对同一供水系统的水源水、出厂水和末梢水HQ

数据进行分析可以看出,当太湖水厂等水源水HQ数值远大于1时,其出厂水HQ数值小于1,显示水厂供水处理系统减小了水源水MC-LR污染导致的非致癌健康风险。而出厂水和末梢水的HQ并未出现大幅变化,提示水厂输水系统并未增加MC-LR污染的非致癌健康风险。

本研究收集整理了我国已发表文献中水源水和饮用水中的MC-LR浓度检测数据,并进行了非致癌健康风险评价和比较,但这些数据检测并未采用统一的检测方法,而是以ELISA和色谱分析法两种方法为主。其中高效液相色谱法及液相色谱/质谱联用法是定量检测和分析MC-LR浓度最经典、可靠的技术,检测限在微克级以下,准确度和选择性较高,但预处理过程烦琐,设备昂贵。ELISA方法灵敏度高,操作方便,但受多种干扰因素的影响,易产生假阳性结果,而且商品化试剂盒品种较多,其可靠性有待检验。

因为目前国际上只有MC-LR有TDI数值,尚没有其他MCs亚型的TDI,所以本研究仅对水源水和饮用水中MC-LR污染进行了非致癌健康风险评价。然而MC-LR只是水体中蓝藻产物的一种,实际上许多水体中都存在MC-RR等其他亚型,甚至这些亚型才能是该水体中主要的MCs亚型,但是这些毒素导致的健康风险研究很少,建议加强水源水和饮用水中其他MCs亚型的健康风险研究,以便更加全面科学地评价MCs的健康风险。

综上所述,我国水源水中的湖泊(水库)水、江河水以及饮用水中的水厂出厂水都存在MC-LR污染导致的非致癌健康风险,建议持续加强水源水和饮用水MC-LR污染的监测和防护,尤其是存在非致癌健康风险的湖泊(水库)水、江河水和水厂出厂水。此外,值得注意的是,市售瓶(桶)装水中MC-LR污染导致的非致癌健康风险水平并不比末梢水小。随着我国瓶(桶)装水消费量越来越大,迫切需要对其进行MC-LR污染导致的非致癌健康风险研究。

参考文献

- [1] SVIRČEV Z, DROBAC D, TOKODI N, et al. Toxicology of microcystins with reference to cases of human intoxications and epidemiological investigations of exposures to cyanobacteria and cyanotoxins[J]. Arch Toxicol, 2017, 91(2): 621-650.
- [2] 范亚民, 姜伟立, 刘宝贵, 等. 蓝藻水华暴发期间太湖贡湖湾某水厂水源水及出厂水中微囊藻毒素污染分析及健康风险评价[J]. 湖泊科学, 2018, 30(1): 25-33.
- [3] 张明, 唐访良, 徐建芬, 等. 杭州贴沙河微囊藻毒素污染特征及健康风险评价[J]. 环境监测管理与技术, 2016, 28(1): 27-31.
- [4] 杨晓红, 蒲朝文, 张仁平, 等. 水体微囊藻毒素污染对人群的非致癌健康风险[J]. 中国环境科学, 2013, 33(1): 181-185.
- [5] 刘敏, 殷浩文. 江南某城市饮用水中微囊藻毒素调查及初步健康风险评价[J]. 环境与职业医学, 2013, 30(12): 893-898.
- [6] EPA. Risk assessment guidance for superfund. Volume I: human health evaluation manual (Part A)[R]. Washington, DC: EPA, 1989.
- [7] LIU Y, ZHENG B, FU Q, et al. Risk assessment and management of arsenic in source water in China[J]. J Hazard Mater, 2009, 170(2/3): 729-734.
- [8] 赵秀阁, 段小丽. 中国人群暴露参数手册(成人卷)概要[M]. 北京: 中国环境出版社, 2014.
- [9] ZHANG LE, HUANG D, YANG J, et al. Probabilistic risk assessment of Chinese residents' exposure to fluoride in improved drinking water in endemic fluorosis areas[J]. Environ Pollut, 2017, 222: 118-125.
- [10] CHORUS I, BARTRAM J. Toxic cyanobacteria in water—a guide to their public health consequences, monitoring and management[M]. London and New York: Spon Press, 1999.
- [11] 连民, 俞顺章, 陈传伟, 等. 淡水湖泊周围水厂源水及出厂水微囊藻毒素的季节性调查[J]. 中国公共卫生, 2001, 17(9): 797-798.
- [12] 陈华, 陈昱, 汪家梨, 等. 福建省部分水源微囊藻毒素污染调查[J]. 福建医科大学学报, 2006, 40(5): 514-516.
- [13] 连民, 陈传伟, 俞顺章, 等. 淀山湖夏季微囊藻毒素分布状况及其影响因素[J]. 中国环境科学, 2000, 20(4): 323-327.
- [14] 张志红, 赵金明, 蒋颂辉, 等. 淀山湖夏秋季微囊藻毒素-LR和类毒素-A分布状况及其影响因素[J]. 卫生研究, 2003, 32(4): 316-319.
- [15] 吴和岩, 郑力行, 苏瑾, 等. 上海市供水系统微囊藻毒素LR含量调查[J]. 卫生研究, 2005, 34(2): 152-154.
- [16] 郁晞, 高红梅, 彭丽霞, 等. 淀山湖微囊藻毒素-LR的污染状况及居民肝功能的调查[J]. 环境与职业医学, 2010, 27(3): 153-155.
- [17] 郁晞, 王霞, 彭丽霞, 等. 淀山湖富营养状态调查和湖区微囊藻毒素污染现况研究[J]. 环境卫生学杂志, 2011, 1(3): 5-10.

- [18] 郁晞, 姚新民, 黎桂福, 等. 淀山湖地区藻类细胞计数及微囊藻毒素污染现状调查[J]. 环境卫生学杂志, 2016, 6(1): 76-78, 81.
- [19] 穆丽娜, 陈传伟, 俞顺章, 等. 太湖水体微囊藻毒素含量调查及其处理方法研究[J]. 中国公共卫生, 2000, 16(9): 803-804.
- [20] XU Q, CHEN W, GAO G. Seasonal variations in microcystin concentrations in Lake Taihu, China[J]. Environ Monit Assess, 2008, 145(1/2/3): 75-79.
- [21] 林玉娣, 俞顺章, 徐明, 等. 无锡太湖水域藻类毒素污染与人群健康关系研究[J]. 上海预防医学杂志, 2003, 15(9): 435-437.
- [22] 纪荣平, 李先宁, 吕锡武. 太湖梅梁湾水源水中微囊藻毒素浓度的变化[J]. 环境监测管理与技术, 2007, 19(3): 20-22.
- [23] XIAO FG, ZHAO XL, TANG J, et al. Determination of microcystin-LR in water from Lake Tai, China[J]. Bull Environ Contam Toxicol, 2009, 82(2): 230-233.
- [24] ZHANG H, ZHANG J, ZHU Y. Identification of microcystins in waters used for daily life by people who live on Tai Lake during a serious cyanobacteria dominated bloom with risk analysis to human health[J]. Environ Toxicol, 2009, 24(1): 82-86.
- [25] 王伟琴, 金永堂, 吴斌, 等. 水源水中微囊藻毒素的遗传毒性与健康风险评价[J]. 中国环境科学, 2010, 30(4): 468-476.
- [26] 周宇. 太湖地区市售饮用水中微囊藻毒素-LR含量水平调查分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2010, 22(1): 68-69.
- [27] 丁新良, 何恩奇, 钮伟民, 等. 太湖水体中微囊藻毒素-LR污染状况调查[J]. 现代预防医学, 2012, 39(17): 4375-4377.
- [28] 周伟杰, 丁新良, 黄春华, 等. 太湖水体微囊藻毒素-LR及相关因子时空分布[J]. 实用预防医学, 2016, 23(9): 1048-1051.
- [29] SAKAI H, HAO A, ISERI Y, et al. Occurrence and distribution of microcystins in Lake Taihu, China[J]. Sci World J, 2013, 2013: 838176.
- [30] 毛敬英, 陈志明, 莫招育, 等. 巢湖和太湖微囊藻毒素差异性研究[J]. 环境污染与防治, 2014, 36(12): 21-26.
- [31] 沈建国, 童建. 昆山市水源水藻类及藻类毒素污染水平调查[J]. 预防医学情报杂志, 2003, 19(2): 97-99.
- [32] 潘晓洁, 常锋毅, 沈银武, 等. 滇池水体中微囊藻毒素含量变化与环境因子的相关性研究[J]. 湖泊科学, 2006, 18(6): 572-578.
- [33] 刘桂明, 邓义敏. 昆明地区水源水微囊藻毒素和溶解性有机碳监测结果分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2009, 19(2): 380-381.
- [34] 王朝晖, 林少君, 韩博平, 等. 广东省典型大中型供水水库和湖泊微囊藻毒素分布[J]. 水生生物学报, 2007, 31(3): 307-311.
- [35] 蒲朝文, 韩林, 封雷, 等. 重庆市涪陵区城乡饮用水中微囊藻毒素的污染[J]. 环境与健康杂志, 2007, 24(3): 153-155.
- [36] 蒲朝文, 封雷, 张仁平, 等. 重庆市涪陵区城乡居民饮用水微囊藻毒素污染现状及消除方法调查[J]. 卫生研究, 2007, 36(4): 471-472.
- [37] 田应桥, 蒲朝文, 康晓丽, 等. 重庆市涪陵区不同饮用水及鱼鸭中微囊藻毒素监测[J]. 预防医学论坛, 2015, 21(7): 481-482, 486.
- [38] 许川, 舒为群, 曹佳, 等. 重庆市及三峡库区水体微囊藻毒素污染研究[J]. 中国公共卫生, 2005, 21(9): 1050-1052.
- [39] 蒲朝文, 李恒, 张仁平, 等. 三峡库区水及鱼体中微囊藻毒素污染现状[J]. 职业与健康, 2011, 27(7): 804-805.
- [40] 班海群, 巴月, 程学敏, 等. 黄河花园口某调蓄池产毒微囊藻和微囊藻毒素污染监测[J]. 卫生研究, 2007, 36(5): 532-534.
- [41] 郑和辉, 钱城, 邵兵, 等. 北京密云水库富营养化和微囊藻毒素污染水平初步调查分析[J]. 卫生研究, 2007, 36(1): 75-77.
- [42] 张志红, 乔果果, 刘海芳. 太原市大型水库微囊藻毒素-LR污染调查[J]. 环境与健康杂志, 2008, 25(8): 693-694.
- [43] 王凤, 陆朝国, 舒强, 等. 贵阳市某些区域居民饮用水微囊藻毒素含量调查[J]. 贵阳医学院学报, 2007, 32(5): 531-532.
- [44] 金静, 刘小真, 李明俊. 赣江及鄱阳湖春夏两季微囊藻毒素的污染研究[J]. 公共卫生与预防医学, 2007, 18(4): 4-6.
- [45] 傅晓钦, 徐能斌, 朱丽波, 等. 宁波市两水源地水中微囊藻毒素污染调查[J]. 环境与健康杂志, 2008, 25(8): 695-696.
- [46] 杨希存, 王素凤, 霍长友, 等. 秦皇岛洋河水库微囊藻毒素污染状况初探[J]. 环境与健康杂志, 2009, 26(1): 54-55.
- [47] 张彩虹, 苏宇亮. 生活饮用水系统微囊藻毒素LR含量调查及气候因素影响[J]. 中国热带医学, 2011, 11(12): 1448-1449.
- [48] 刘诚, 彭小雪, 明小艳, 等. 武汉市区主要湖泊微囊藻毒

- 素-LR污染现状调查[J]. 环境与健康杂志, 2011, 28(2): 142-144.
- [49]王菲凤, 仝川, 杨芳, 等. 福州山仔水库水华微囊藻毒素时空分布特征[J]. 环境科学学报, 2011, 31(3): 533-546.
- [50]骆和东, 洪专, 黄晓淳, 等. 厦门市主要水源水及出厂水中微囊藻毒素调查[J]. 环境与健康杂志, 2014, 31(11): 1008-1011.
- [51]周伟杰, 丁新良, 钮伟民, 等. 环太湖城市水源水及出厂水中微囊藻毒素污染监测[J]. 环境与健康杂志, 2012, 29(4): 332-334.
- [52]李秋霞, 刘辉, 蔡超海, 等. 茂名市水源水及出厂水中藻毒素污染调查[J]. 环境与健康杂志, 2012, 29(4): 335-337.
- [53]张世禄, 周绪申, 许维, 等. 官厅水库水体富营养化现状及变化趋势分析[J]. 海河水利, 2012(2): 25-26.
- [54]SHANG L, FENG M, XU X, et al. Co-occurrence of microcystins and taste-and-odor compounds in drinking water source and their removal in a full-scale drinking water treatment plant[J]. *Toxins*(Basel), 2018, 10(1): E26.
- [55]姜蕾, 黄昌飞, 蔡海芸. 青草沙水库水体微囊藻毒素的分布特征及与环境因子的关系[J]. 给水排水, 2017(8): 28-32.
- [56]王超, 彭涛, 吕怡兵, 等. 江南某城市饮用水及其水源水中微囊藻毒素调查及初步健康风险评估[J]. 环境化学, 2014, 33(7): 1237-1238.
- [57]万翔, 邵义萍, 王瑞, 等. 洱海水华期间饮用水源区产毒微囊藻和微囊藻毒素-LR的分布特征[J]. 环境科学学报, 2017, 37(6): 2040-2047.
- [58]吴静, 王玉鹏, 蒋颂辉, 等. 城市供水藻毒素污染水平的动态研究[J]. 中国环境科学, 2001, 21(4): 322-325.
- [59]吕榜军, 潘洁, 吴升善, 等. 广西饮用水源水及出厂水微囊藻毒素含量调查[J]. 中国自然医学杂志, 2005, 7(4): 313-314.
- [60]刘成, 高乃云, 严敏, 等. 黄浦江源水中藻类和微囊藻毒素状况调查[J]. 中国给水排水, 2006, 22(15): 5-8.
- [61]张志红, 刘海芳, 金雪龙, 等. 太原市引黄供水体系水体富营养化调查[J]. 中国公共卫生, 2008, 24(9): 1076-1077.
- [62]张仁平, 舒为群, 蒲朝文, 等. 不同水体富营养化程度与水中鱼鸭体内微囊藻毒素相关分析[J]. 预防医学情报杂志, 2010, 26(9): 681-683.
- [63]虞聪聪, 伍晨, 郑唯韡, 等. 淮河流域沈丘县地表水藻类及其毒素污染状况研究[J]. 环境与健康杂志, 2013, 30(11): 967-971.
- [64]李科志, 邓伟, 李云西, 等. 广西肝癌高发区不同水源微囊藻毒素含量调查[J]. 中国癌症防治杂志, 2016, 8(6): 387-390.
- [65]王阳, 徐明芳, 耿梦梦, 等. 基于 Monte Carlo 模拟法对水源水体中微囊藻毒素的健康风险评估[J]. 环境科学, 2017, 38(5): 1842-1851.
- [66]连民, 刘颖, 俞顺章, 等. 饮水中微囊藻毒素对人群健康影响的横断面研究[J]. 中华流行病学杂志, 2000, 21(6): 437-440.
- [67]金庭旭, 汪小斌, 张华. 贵阳市售瓶装水中微囊藻毒素调查[J]. 贵州医科大学学报, 2016, 41(10): 1159-1161.
- [68]中华人民共和国环境保护部. 中国环境状况公报(2007年)[J]. 环境经济, 2008(9): 4-17.
- [69]中华人民共和国环境保护部. 2016年中国环境状况公报[J]. 环保工作资料选, 2017(6): 17-31.
- (收稿日期: 2018-04-22; 录用日期: 2018-06-29)
- (英文编辑: 汪源; 编辑: 汪源; 校对: 邱丹萍)