

中国部分地区铅暴露儿童健康风险评价

董兆敏,吴世闽,胡建英* (北京大学城市与环境学院,北京 100871)

摘要: 通过解析我国现有血铅浓度数据,采用无阈值剂量效应曲线,计算了我国部分地区轻度智力发育迟缓(MMR)的发生概率.最后利用MMR 发生率以及生命周期表,计算了相应的伤残调整寿命年.结果表明:我国儿童血铅浓度几何均值和几何标准差分别为 5.94,1.58 $\mu\text{g}/\text{dL}$,超标率为 12.74%,而由于铅暴露污染所导致的儿童 MMR 发生率和伤残调整寿命年(DALYs)分别为 0.78%和 0.10a.计算结果表明,我国儿童的铅暴露风险低于非洲,南美以及部分中东地区,远高于北美以及欧洲,与除日本以外的其他亚洲国家基本持平.

关键词: 血铅; 儿童; 伤残调整寿命年; 风险评价; 中国

中图分类号: X503.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2011)11-1910-07

Health risk assessment for children due to lead exposure in some region of China. DONG Zhao-min, WU Shi-min, HU Jian-ying* (Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China). *China Environmental Science*, 2011,31(11): 1910~1916

Abstract: In the present study, mild mental retardation (MMR) rates for Chinese children in some regions were assessed based on the distribution of blood lead levels in Chinese children and a non-threshold dose-response curve. And then the corresponding disability-adjusted life years (DALYs) were calculated using the MMR rate and the life timetable. Based on the data collected, the geometric mean (GM) and the geometric standard deviation (GSD) of blood lead levels in Chinese children were 5.94 $\mu\text{g}/\text{dL}$ and 1.58 $\mu\text{g}/\text{dL}$, respectively. The rate higher than safety value of exposure for children in China was 12.74% and the corresponding MMR rate and DALYs were 0.78% and 0.1a, respectively. These results showed that the risk in Chinese children was lower than Africa, South America and partial Mideast, and similar with other Asian countries, except for Japan, but much higher than North America and Europe.

Key words: blood lead; children; disability-adjusted life years; risk assessment; China

铅被广泛应用于涂料、工业、蓄电池等领域.据世界卫生组织(WHO)报告显示,由于铅污染造成的疾病负担占总疾病负担的 0.9%,在所有疾病负担种类中列第 16 位,且大部分铅污染集中于不发达国家^[1].高血铅(>60 $\mu\text{g}/\text{dL}$)易对人体造成急性毒性,包括胃肠道症状、嗜睡和易怒、脑病和死亡;而低浓度血铅(<10 $\mu\text{g}/\text{dL}$)的毒性多体现在慢性毒性上,而并无明显的临床症状^[2-5].当人类长期暴露在低浓度的铅污染环境,容易对神经系统,血压,心脏血管,肾等造成长期的累积影响^[2-5].由于儿童脆弱的免疫系统,特殊的口手习惯,与人相比更高的吸收系数,目前儿童铅污染问题已经受广泛关注^[6-7].

从 20 世纪 70 年代开始,针对儿童血铅浓度过高的状况,美国开展了一系列的铅防治措施,如

限制油漆中铅含量,制定严格的土壤铅标准等,而其中最为有效的措施为含铅汽油的禁止使用.含铅汽油被认为是儿童血铅污染的最为重要源之一^[8].而伴随着一系列措施的出台,儿童的血铅污染得到了很好的控制.从 1976 年到 1980 年期间,儿童血铅浓度下降幅度达到 39%,其浓度均值已经控制到 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 以下^[6].而进入 21 世纪以来,血铅浓度几何均值降到了 2 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 以下,而儿童血铅超标率更是降到了 2% 以下^[9].与此同时,儿童血铅标准也 20 世纪 60 年代的 60 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 严控到 1991 年的 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ^[10].

20 世纪 90 年代以来,伴随着快速的工业化,

收稿日期: 2011-03-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40632009);国家“973”项目(2007CB407304)

* 责任作者, 教授, huji@urban.pku.edu.cn

我国儿童血铅浓度在 21.8~67.9 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ^[11],普遍超标率(美国 EPA 标准,即 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 作为儿童血铅可接受水平^[10]。在本研究中,定义血铅浓度超过 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 为超标,血铅浓度超过 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 定义为中毒)在 64.9%~99.55%之间^[11]。从 1998 年开始,我国开始逐渐取消含铅汽油的使用,儿童的血铅污染也因此得到较好控制。由中国卫生部与世界卫生组织在我国开展的监测报告显示,在 2004~2006 年这 3 年间,我国部分城市的儿童血铅水平分别为 5.95,5.78,5.67 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ^[12]。然而,在局部地区仍有高血铅暴露事件发生。如在广州某地区,由于电子产品的污染,儿童血铅浓度均值达到了 15.3 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ^[13]。2008 年夏季以来,我国爆发了多起血铅中毒事件。在陕西凤翔,血铅浓度超过 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 的儿童比例达到 22.7%,而超标率更是高达 84.13%;在湖南嘉禾县,有 250 名儿童血铅超标。血铅事件的频繁发生,折射出我国局部地区铅污染依然严重。

我国当前对于血铅污染仅限于流行病学调查,缺乏系统风险评价过程。为评估血铅污染所带来的风险并便于物质间的横向比较,本研究选取了由智力发育轻度延缓(MMR)疾病所导致的伤残调整寿命年作为风险指标。所谓 MMR 疾病,即指在标准智力测试中,儿童智力得分低于 70 分的一种疾病。血铅污染易对儿童神经发育造成影响,从而增加 MMR 疾病的发生率。而伤残调整寿命年,是国际上通行的一种用于衡量化学物质所导致的疾病负担指标^[14]。本研究以我国 19 个城市 0~6 岁儿童为研究对象,并以智力损失为评价指标,计算基于血铅-智力损失效应曲线计算疾病 MMR 发生率。在此基础上,计算中国儿童由于血铅污染而所导致的伤残调整寿命年(DALYs)。

1 研究方法

1.1 方法概述

本研究主要包括血铅数据收集,MMR 疾病发生率计算以及 DALYs 计算。首先,以严格的文献筛选原则,收集 0~6 岁儿童血铅数据。在此基础上,利用概率法,计算了各年龄段的 MMR 疾病发生率。在得到了各年龄段的 MMR 疾病发生率的基础上,选用了由 2006 年人口统计数据而制成的

生命周期表,进而计算了中国儿童由于血铅污染所导致的 DALYs。

1.2 血铅数据收集

血铅浓度在儿童中呈典型的对数正态分布^[15]。选取中国知网(CNKI)以及科学引文索引(SCI)两个数据库作为搜索引擎,以血铅、儿童以及各城市名(如北京,上海,天津)为关键词,0~6 岁儿童为研究对象,以下面 3 条文献筛选标准进行文献筛选:1)血铅测量结果必须是可靠科学的,如测量方法必须为石墨炉原子吸收或原子荧光方法,有严格的实验室质量控制等;2)血铅样本量必须大于 500,并且是随机分层采样;3)血铅结果必须有科学表示方法,并且有足够的统计参数,以便可以利用对数正态分布的统计规律,转换为几何均值和几何标准差,便于描述儿童血铅的分布状况。最后,获取了 19 个城市的儿童血铅数据。以样本量以及几何方差倒数为权重的方法^[16],将 19 个城市的数据合并为全国尺度上的儿童血铅数据。

1.3 MMR 疾病发生率计算

利用概率法,计算 MMR 疾病发生率:

$$R = k \cdot \int_0^{\infty} f(x)G(g(x))dx \quad (1)$$

式(1)^[17]中: R 为 MMR 疾病发生率; k 为各地区调整因子,中国的默认因子为 3.03^[16]; $f(x)$ 为血铅的概率分布密度函数; $g(x)$ 为血铅-IQ 的剂量效应曲线; $G(g(x))$ 表示为 MMR 发生率的计算方式,如下式所示:

$$G(t) = \Phi((t-100)/15) - \Phi((70-100)/15) \quad (2)$$

式中: Φ 为标准正态分布($N(0,1)$)累积概率密度函数;100,15 分别为普通人群智力分布的均值和标准差^[18];70 为 MMR 疾病发生的阈值点。式(2)表示为由于受铅污染,原智力>70 的而降低到 70 以下的儿童概率。如图 1 所示^[15]。

1.4 DALYs 的计算

DALYs 计算可用公式 3 表示:

$$\text{DALYs} = \text{YLLs} + \text{YLDs} \quad (3)$$

式中:YLLs 表示由于死亡所导致的伤残调整寿命年;YLDs 是指由于伤残所致的伤残调整寿命年。对于儿童血铅污染,在目前的风险评价中仅考虑由于 MMR 所引起的 YLDs,因此 YLLs 默认为 0,而 YLDs 的计算如下:

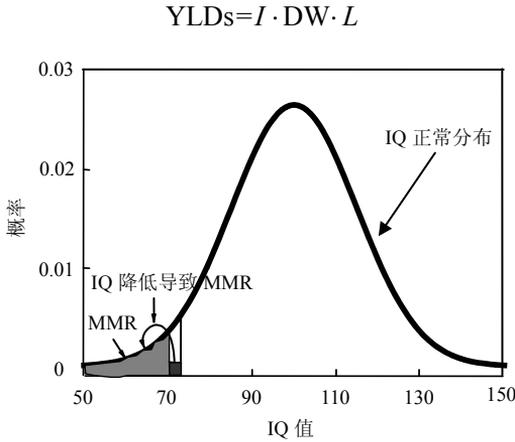


图1 智力下降所导致的 MMR 下降示意
Fig.1 Shift to MMR as a result of IQ loss

式中: I 为受影响的人群数; DW 为疾病损失折算因子,对于 MMR,WHO 组织默认 DW 为 0.361;而 L 为发病持续时间.

式(4)中 I 的计算中,必须考虑到时间折算(γ)和年龄折算(β)两个因子.其具体展开比较复杂,可参考文献 14.这里只给出 YLDs 的最终计算式:

$$YLDs = I \cdot DW \cdot \{K \cdot [C \cdot e^{r \cdot a} / (\beta + r)^2 \cdot (e^{-(\beta+r)(L+a)} \cdot (-(\beta+r) \cdot (L+a) - 1) - (e^{-(\beta+r)a} \cdot ((\beta+r) \cdot a - 1)) + (1 - K) \cdot (1 - e^{-r \cdot L}) / r]\}$$

(4) 式中: K 为 0 或 1,当 K 取 0 的时候,不考虑年龄权重;而当 K 取 1 的时候,即考虑年龄权重. C 为公式常量,选为 0.17; a 为发病年岁,在本研究中, γ, β 采取默认值 0.03 和 0.04^[14].对于 MMR 疾病,其为终身携带,故而 L 为各年龄段儿童的寿命期望.对于寿命期望的计算,选取了 2006 年的分年龄段的死亡率以及人口数,利用 WHO 给定的生命周期表方法^[14, 17],分别计算了 0~6 岁的寿命期望分别为 69.18,69.11,68.21,67.27,66.23,65.35,64.39 岁.0~6 岁的发病持续时间分别默认为 68.68,67.61,66.71,65.77,64.73,63.85,62.89 岁.

计算平台主要为 Matlab 2008b 软件.

2 结果与讨论

2.1 血铅暴露水平

由表 1 可见,我国不同地区不同年龄段的儿童血铅浓度几何均值为 4.48~10.22 $\mu\text{g}/\text{dL}$,超标率为 7.27%~51.62%.由图 2 可见,我国血铅污染并没有明显的区域特征.血铅浓度比较高的典型区域有沈阳,南昌,云南等带,而血铅浓度低的主要区域有广东,安徽等地.从全国尺度上来讲,血铅均值和几何标准差分别为 5.94 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 和 1.58 $\mu\text{g}/\text{dL}$,超标率为 12.74%,高于欧美国家 1%~5%的超标率^[6].

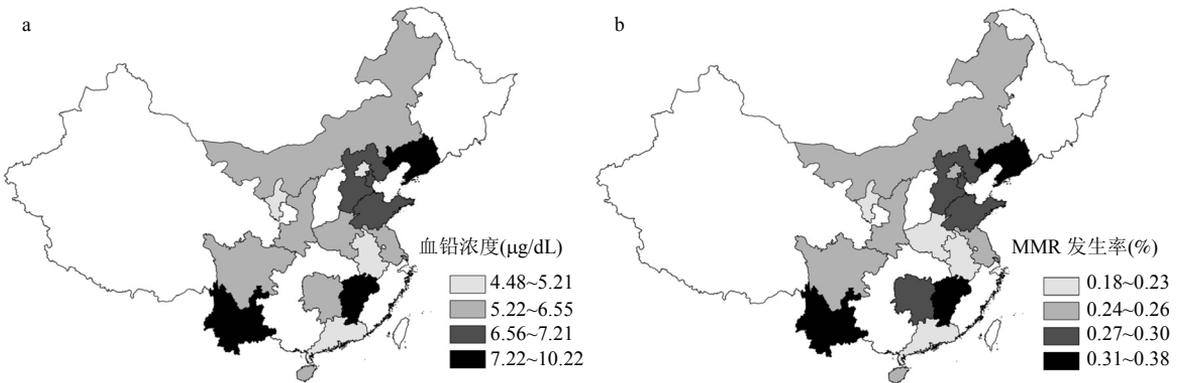


图2 我国儿童血铅与 MMR 分布

Fig.2 Occurrences of blood lead level and MMR rate in children in China

由于数据采集原因,本研究中未研究儿童血铅 的男女差异.但是儿童的血铅浓度呈现着明显的年

龄差异.从图 3 可以看出,血铅浓度和年龄有着很明显的正相关.与其他国家相比,美国的铅浓度最大值出现在儿童的 2~3 岁^[38].而在一些研究指出,中国的

血铅增高主要来源于食物暴露^[39],而儿童的食物摄入量是随着年龄增加有呈明显增加,这也可能是导致儿童血铅浓度随着年龄增加而增加的因素之一.

表 1 中国各省 0~6 岁儿童血铅浓度(μg/dL)分布状况

Table 1 Childhood blood lead level (μg/dL) for children aged 0~6 in different provinces of China

城市	采样年份	方法	样本量 (例)	年龄(单位:岁)							
				0~6	0	1	2	3	4	5	6
成都 ^[19]	2004	AAS	1509	5.91±1.57	4.52±1.69	5.04±1.58	5.70±1.51	5.76±1.79	6.51±1.49	6.37±1.56	6.29±1.50
呼和浩特 ^[20]	2004	AAS	1192	5.63±1.49	4.97±1.52	5.34±1.52	4.95±1.64	5.48±1.46	5.62±1.59	6.14±1.43	6.17±1.44
南昌 ^[21]	2005	AAS	1653	9.38±1.50	8.89±1.53	8.70±1.50	9.30±1.49	9.66±1.56	9.54±1.48	9.79±1.51	10.05±1.47
广州 ^[22]	2003~2005	AAS	18163	4.54±1.72	3.09±2.06	3.99±1.83	4.58±1.66	4.94±1.65	5.04±1.64	5.19±1.60	5.44±1.56
天津 ^[23]	2000~2003	AAS	5456	7.15±1.43	5.65±1.42	6.24±1.38	6.71±1.42	7.57±1.45	7.75±1.46	8.26±1.45	8.49±1.45
北京 ^[24]	2005~2006	AAS	2122	5.21±1.57	4.61±1.82	4.54±1.81	5.23±1.38	4.72±2.05	4.74±2.13	5.78±1.40	6.48±1.37
温州 ^[25]	2004~2005	AAS	1263	5.82±1.58	5.05±1.66	5.31±1.62	5.77±1.55	5.90±1.58	6.41±1.60	6.02±1.51	6.17±1.57
沈阳 ^[26]	2000	AAS	1084	9.30±1.46				9.08±1.47	8.89±1.45	9.60±1.48	9.52±1.45
石家庄 ^[27]	2005	AAS	1581	6.99±1.36			7.24±1.37	6.95±1.36	6.97±1.32	6.81±1.43	
青岛 ^[28]	2004	AAS	1814	7.21±1.52				6.77±1.64	6.96±1.50	7.38±1.48	7.65±1.54
昆明 ^[29]	2002~2004	AAS	814	10.22±1.71			12.6±1.64	8.89±1.81	8.86±1.72	9.89±1.75	12.2±1.64
西宁 ^[30]	2005~2006	AAS	2000	5.80±1.61				5.65±1.57	5.49±1.65	6.30±1.60	6.10±1.72
合肥 ^[31]	2006	AAS	988	4.91±1.66			4.77±1.29	4.22±1.68	4.68±1.70	4.84±1.65	5.78±1.66
郑州 ^[32]	2003~2004	AAS	2312	5.84±1.69	5.14±1.75	6.17±1.67	7.00±1.57	6.49±1.72			
长沙 ^[33]	2004~2005	HGAF	1431	6.55±1.72	4.88±1.89	6.23±1.69	5.72±1.77	7.29±1.65	8.21±1.59	6.24±1.89	
银川 ^[34]	2006	AAS	1158	4.48±2.07	3.84±1.72	4.79±1.62	4.81±1.87	4.90±2.20	4.97±3.18	4.68±2.28	6.34±2.05
哈尔滨 ^[35]	2004~2006	AAS	1276	5.05±1.70	3.81±1.93	4.19±2.00	4.79±1.86	5.29±1.61	5.45±1.59	5.38±1.63	4.90±1.78
海口 ^[36]	2007	AAS	2271	5.99±1.54	3.33±1.76	4.44±1.57	5.32±1.49	5.89±1.54	6.32±1.56	6.26±1.52	6.25±1.51
西安 ^[37]	2004~2006	AAS	2673	5.27±1.56	4.37±1.56	5.08±1.52	5.21±1.56	5.32±1.66	5.59±1.53	5.50±1.57	5.37±1.52
全国				5.94±1.58	4.48±1.77	5.10±1.65	5.69±1.53	6.14±1.58	6.36±1.55	6.52±1.54	6.89±1.52

注:AAS,原子荧光;HGAF,原子石墨炉;数据表示为几何均值(GM)±几何标准差(GSD)

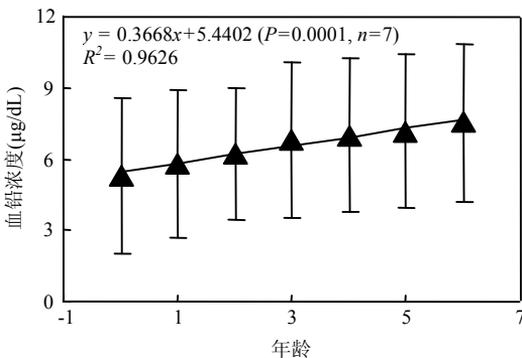


图 3 儿童血铅浓度与年龄相关性

Fig.3 Correlation between blood lead levels and age in children

2.2 毒性评价

Schwartz^[40]指出铅的阈值(即无影响浓度)为

5μg/dL,而当血铅浓度从 5μg/dL 上升到 20μg/dL 时,智力下降 3.25 点,而当血铅浓度>20mg/dL 时,其智力下降为恒定值,即 3.25 点(图 4).然而,越来越多的研究表明,并没有足够的证据说明铅是一种有阈值的污染物.并且,儿童在低血铅浓度时,单位浓度所受影响的程度往往高于高浓度下的值.因此,不能简单用线性关系去描述血铅浓度和智力下降剂量曲线.为此,Lanphear^[3]在 2005 年综合了大量的血铅与神经发育方面的文献研究进行 pooled 分析,得出当儿童血铅浓度从 2.4μg/dL 上升到 10μg/dL,从 10μg/dL 上升到 20μg/dL 以及从 20μg/dL 上升到 30μg/dL 时,儿童智力发育分别下降 3.9 点,1.9 点,1.1 点.该研究表明,血铅-IQ

下降呈明显的对数-线性关系.目前,该研究已经

被广泛认同^[41].然而,此效应剂量曲线并不适用于血铅浓度接近于 0 的情况,因为当血铅浓度接近于 0($\lim_{x \rightarrow 0} \ln(x)$)时,其对数会有发散以致极限不存在的情况出现.考虑到铅可能为无阈值物质,因此,需要对血铅浓度-智力下降之间关系进行低剂量浓度外推.参考美国 EPA 关于致癌物质的风险评价,用线性回归(截距为 0)模拟血铅浓度低于 2.4 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 的效应曲线(图 4).最终,得到了如下剂量效应曲线(式 6)用于 MMR 疾病发生率的计算:

$$g(x) = \begin{cases} 1.125x & x \leq 2.4 \\ 2.7\ln(x/2.4) + 2.7 & x > 2.4 \end{cases} \quad (6)$$

2.3 健康风险评价

根据式(1)并结合表 1 中的铅各年龄段的暴露数据,我们计算了中国部分地区的 MMR 发生率(图 2b).可以看出,图 2b 和图 2a 的颜色分布一致,这说明在目前情况下,相对几何均值,几何标准差对 MMR 的计算影响更小.从计算结果来看,

我国由于铅污染所引起的 MMR 发生率分布在 0.55%~1.15%之间,平均值为 0.78%.世界各地的 MMR 在 0.07%~1.32%范围内.我国的暴露铅风险低于非洲,南美以及部分中东地区,远高于北美以及欧洲,与除日本以外的其他亚洲国家持平(图 5)^[17-18].

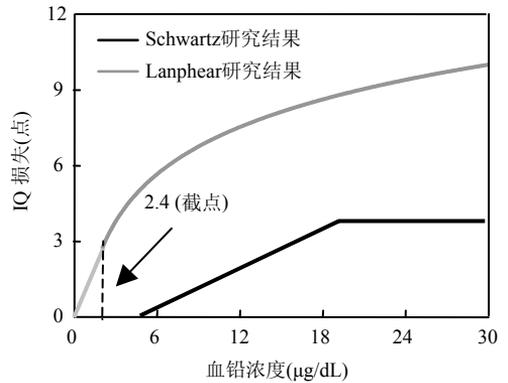


图 4 血铅-智力损失关系示意

Fig.4 IQ loss, by blood lead levels

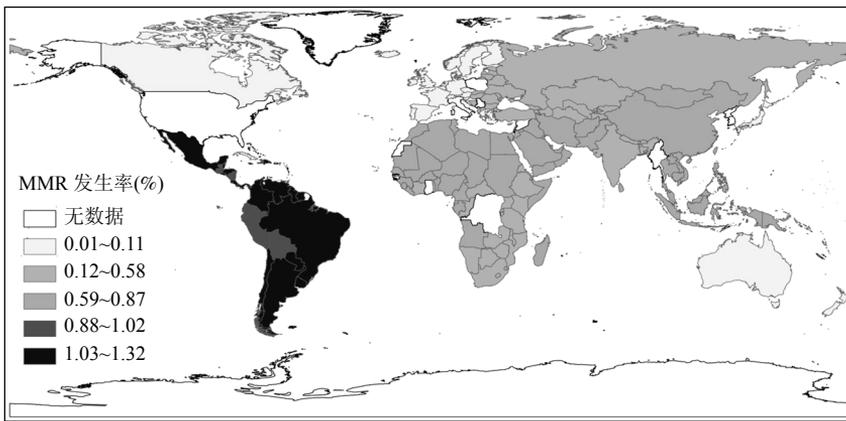


图 5 全球各国基于铅污染而导致的儿童 MMR 发生率

Fig.5 Lead-induced MMR rate in children at global scale, by country

虽然获得了血铅污染所引起的 MMR 发生率,但是这样的数据不足与其他物质进行横向比较.因此,以伤残调整寿命年为评价指标,根据式(4)和式(5),结合 0~6 岁的寿命期望,计算了血铅污染所引起的伤残调整寿命年.各地区的伤残调整寿命年在 0.086~0.14a/人之间,平均值为 0.10a/人.与世界各地相比较,0.016~2.36a/人^[17],我国的污染处于中等水平.

在 WHO 最近公布的一份主要健康风险因子的报告中^[42],铅依然是环境风险中的 5 种关注物质之一.报告显示,全球疾病负担的化学物质中,铅的 DALYs 高达 0.90a/人(这里的 DALYs 计算不仅仅是儿童风险,也包括了一些成人方面的心血管疾病,肠胃疾病甚至是 YLLs),在列取的 5 种重点关注的环境风险中(饮用水安全,室外空气污染,室内燃料污染,铅,全球气候变化)中,排列第

四.可以说,铅污染依然需要关注.

3 结语

3.1 我国儿童仍然处于较高的铅污染中.各地区儿童血铅浓度为 4.48~10.22 $\mu\text{g}/\text{dL}$,超标率为 7.27%~51.62%. 数据合并后表明,全国儿童血铅水平为(5.94 \pm 1.58) $\mu\text{g}/\text{dL}$,超标率为 12.74%.

3.2 我国 MMR 发生率处于世界中等水平.各地区由于铅污染而导致的 MMR 发生率分布在 0.55%到 1.15%之间,平均值为 0.78%.MMR 发生率主要受血铅浓度影响,而与血铅几何标准差相关性不强.

3.3 各地区的 DALYs 在 0.086~0.14a/人之间,平均值为 0.10a/人.

参考文献:

- [1] WHO. Environmental burden of disease: Introduction and methods [EB/OL]. <http://www.emro.who.int/ceha/media/powerpoint/part1.pps>, 2004.
- [2] Navas-Acien A, Guallar E, Silbergeld E K, et al. Lead exposure and cardiovascular disease. A systematic review [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2007,115(3):472-482.
- [3] Lanphear B P, Hornung R, Khoury J, et al. Low-level environmental lead exposure and children's intellectual function: An international pooled analysis [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2005,113(7):894-899.
- [4] Lidsky T I, Schneider J S. Adverse effects of childhood lead poisoning: The clinical neuropsychological perspective [J]. *Environmental Research*, 2006,100(2):284-293.
- [5] Jusko T A, Henderson C R, Lanphear B P, et al. Blood lead concentrations < 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ and child intelligence at 6 years of age [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2008,116(2):243-248.
- [6] Levin R, Brown M J, Kashtock M E, et al. Lead exposures in US children, 2008: Implications for prevention [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2008,116(10):1285-1293.
- [7] Koller K, Brown T, Spurgeon A, et al. Recent developments in low-level lead exposure and intellectual impairment in children [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2004,112(9):987-994.
- [8] Thomas V M, Socolow R H, Fanelli J J, et al. Effects of reducing lead in gasoline: An analysis of the international experience [J]. *Environmental Science and Technology*, 1999,33(22):3942-3948.
- [9] Lin G Z, Peng R F, Chen Q, et al. Lead in housing paints: An exposure source still not taken seriously for children lead poisoning in China [J]. *Environmental Research*, 2009,109(1): 1-5.
- [10] Gilbert S G, Weiss B. A rationale for lowering the blood lead action level from 10 to 2 $\mu\text{g}/\text{dL}$ [J]. *Neurotoxicology*, 2006, 27(5Sp. Iss. SI): 693-701.
- [11] Shen X M, Rosen J F, Guo D, et al. Childhood lead poisoning in China [J]. *Science of the Total Environment*, 1996,181(2):101-109.
- [12] Lee D. A China Environmental Health Project Research Brief [EB/OL]. http://www.wilsoncenter.org/topics/docs/lead_may08.pdf, 2007-04-02.
- [13] Huo X, Peng L, Xu X J, et al. Elevated blood lead levels of children in Guiyu, an electronic waste recycling town in China [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2007,115(7):1113-1117.
- [14] WHO. National Burden of Disease Studies: A Practical Guide [EB/OL]. <http://www.who.int/healthinfo/nationalburdenofdiseases/emanual.pdf>, 2001-10.
- [15] WHO. Lead: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels [EB/OL]. http://www.who.int/quantifying_chimpacts/publications/en/leadebd2.pdf, 2003.
- [16] Jarosinska D, Biesiada M, Muszynska-Graca M. Environmental burden of disease due to lead in urban children from Silesia, Poland [J]. *Science of the Total Environment*. 2006,367(1):71-79.
- [17] 胡建英,安伟,曹红斌,等.化学物质的风险评价 [M]. 北京:科学出版社,2010.
- [18] Fewtrell L J, Pruss-Ustun A, Landrigan P, et al. Estimating the global burden of disease of mild mental retardation and cardiovascular diseases from environmental lead exposure [J]. *Environmental Research*, 2004,94(2):120-133.
- [19] 杨凡,杨惠,毛萌,等.成都地区 0~8 岁儿童血铅水平及相关危险因素分析 [J]. *中国儿童保健杂志*, 2007,15(1):83-84.
- [20] 杨纓,王志芬,骆学东,等.呼和浩特市 0~7 岁儿童血铅水平及影响因素调查 [J]. *中国儿童保健杂志*, 2005,13(3):262-263.
- [21] 龚引萍,熊丽萍,胡祥炬.南昌市儿童血铅水平及影响因素调查分析 [J]. *中国妇幼保健*, 2008,23(23):3300-3301.
- [22] 林涛,李颖能,邝珂玲,等.广州市 23019 名儿童血铅水平调查 [J]. *现代临床医学生物医学工程杂志*, 2006,12(2):197-199.
- [23] 刘冬冬,赵志成,叶涛,等.0~15 岁儿童血铅水平调查 [J]. *中国妇幼保健*, 2005(16):2112-2114.
- [24] 刘兆秋,于咏梅,郑东旖.北京酒仙桥地区 0~6 岁散居儿童矿物质元素检测结果分析 [J]. *职业与健康*, 2007,23:2190-2191.
- [25] 郑美琴,赵长容,曹建明,等.2956 例温州地区儿童全血铅水平测定 [J]. *医学研究杂志*, 2006,35(1):52-53.
- [26] 董艳虹,常虹,朱琳,等.沈阳市城区 3~6 岁儿童铅污染流行情况调查 [J]. *中国儿童保健杂志*, 2004,8(2):26-30.
- [27] 马书军,沙翠,马东云,等.2~6 岁儿童全血微量元素和铅含量调查 [J]. *中国妇幼保健*, 2007,22(4):521-524.
- [28] 张立琴,何怡峰,宋扬,等.青岛市部分学龄前儿童血铅调查情

- 况分析 [J]. 中国妇幼保健, 2007,22(2):270-271.
- [29] 石世同,马越明,刘洪玉,等.云南不同地区幼儿血铅水平及影响因素分析 [J]. 中国学校卫生, 2006,27(5):450-451.
- [30] 胡艾莉.西宁市 3~6 岁儿童血铅状况及相关因素分析 [J]. 中国妇幼保健, 2008,23(8):1093-1094.
- [31] 傅苏林,张黎明,朱梅,等.合肥市儿童血铅水平现状研究 [J]. 安徽预防医学杂志, 2006,112(5):294-297.
- [32] 翟连臣,阎臻,路娜,等.郑州市 2553 例儿童血铅水平分析 [J]. 中国儿童保健杂志, 2005,13(6):503-504.
- [33] 李介民,易著文,罗雪梅,等.长沙市 0~6 岁儿童铅污染的流行病学研究 [J]. 中华流行病学杂志, 2006,27(7):643-644.
- [34] 王宝珍,李娟,席文军,等.银川市儿童血铅水平 3 年监测结果分析 [J]. 中国妇幼保健, 2008,23(32):4637-4639.
- [35] 杜娟,郑桂兰,尹英.哈尔滨市儿童铅中毒防治项目调查 [J]. 中国妇幼保健, 2005,20(12):1525-1526.
- [36] 徐家正.海口市儿童血铅水平及相关因素分析 [J]. 中国热带医学, 2007,7(7):1246-1247.
- [37] 贾卉,马西,马晓旗,等.西安市 0~6 岁儿童铅中毒调查结果分析 [J]. 中国儿童保健杂志, 2008,16(1):98-100.
- [38] U. S. CDC Health Disparities and Inequalities Report — United States [EB/OL] <http://www.cdc.gov/nceh/lead/publications/#insurance>, 2001-01-14.
- [39] Zheng N, Wang Q C, Zhang X W, et al. Population health risk due to dietary intake of heavy metals in the industrial area of Huludao city, China [J]. Science of the Total Environment, 2007,387(1-3):96-104.
- [40] Schwartz J. Low-level lead-exposure and children's IQ — a meta analysis and search for a threshold [J]. Environmental Research, 1994,65(1):42-55.
- [41] Rothenberg S J, Rothenberg J C. Testing the dose-response specification in epidemiology: Public health and policy consequences for lead [J]. Environmental Health Perspectives, 2005,113(9):1190-1195.
- [42] WHO. Global Health Risks: Mortality and burden of disease attributable to selected major risks [EB/OL]. http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalHealthRisks_report_full.pdf, 2009.
- 作者简介:** 董兆敏(1987-),男,江西赣州人,北京大学城市与环境学院博士研究生,主要从事化学物质风险评价研究。

环境问题需通盘考虑

在我国,除了海水淡化,苦咸水的淡化也不容忽视.因为,除了地下水和地表水的开采之外,苦咸水的利用成本最低.相比之下,废水的再生利用和海水淡化都是比较高级的水资源利用手段,相对成本也比苦咸水开发高.

凯丹公司作为以色列最大的海水淡化企业之一,早就看到了苦咸水开发成本低等优势,在中国开始了苦咸水的开发利用.2006 年,凯丹公司中标天津市静海县的苦咸水淡化项目,共建设三套淡化装置,每套装置日产水量从 1000 吨~3000 吨不等.虽然产量不大,但苦咸水淡化的稳定性很高.

此外,凯丹水务的母公司泰合集团还与天津市水利科学研究院共同开发了集装箱式苦咸水机动脱盐淡化系统,并得到有关专业部门认可.这套系统能将高含氟苦咸水转化为安全的饮用水,为居住在海滨农村地区的人口解决饮用水安全问题.

李雪飞表示,他们不仅关注市场发展,也非常关注环境问题.在全球范围内,很多淡化水厂将浓盐水直接排放到近海域,造成了海水浓度急剧增高.因此,淡化水厂浓盐水处理成为新的环境问题.

在环境方面,李雪飞认为,政府应该考虑通过全流域、全海域的概念治理浓盐水排放问题.首先考虑每个流域、海域要建设多大规模日处理能力的海水淡化厂、这些厂要排放多少浓盐水、浓盐水对水体种生物的影响有多大等.在做了初步预计之后,再通过水厂与相关部门的合作来确定浓盐水处理方法和工艺路线,以实现流域、海域的科学利用、科学发展.

摘自《中国环境报》

2011-11-01