

沈阳市环境铅污染对儿童健康的影响

王春梅¹, 欧阳华¹, 王金达², 刘景双², 张学林², 王艳² (1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

摘要:实地调查采样, 结合 GIS 技术进行室内综合分析, 系统研究了沈阳市大气、土壤、灰尘中铅污染对儿童健康的影响。结果表明, 沈阳市环境中铅暴露普遍, 铅污染较严重, 铅浓度空间分异大, 已形成 4 个高浓度中心。并且大气铅浓度有明显的日、季和年变化规律。沈阳市环境铅污染已经影响了儿童健康, 0~10 岁儿童 ($ZPP > 2.3 \mu\text{mol/L}$) 血铅范围是 $10.98 \sim 511.2 \mu\text{g/L}$, 平均值是 $135.59 \mu\text{g/L}$, 40% 的儿童血铅水平超标。儿童血铅与大气铅相关性最大, 其次是土壤和灰尘。实行无铅汽油之后, 大气铅污染有了很大改善, 但是土壤和灰尘中的铅容易以扬尘的方式再次进入大气, 存在潜在风险, 应引起有关部门足够的重视。

关键词:环境毒理; 环境铅污染; 健康效应; 儿童铅中毒; 沈阳市

中图分类号: R994.6, X18 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)05-06-0017

Impact of Lead Pollution in Environment on Children's Health in Shenyang City

Wang Chunmei¹, Ouyang Hua¹, Wang Jinda², Liu Jingshuang², Zhang Xuelin², Wang Yan²

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101;

2. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, 130012)

Abstract: In this thesis, based on field sampling and indoor integrated analysis with GIS technology, the impact of lead pollution in the atmosphere, dust, soil on the children was explored systematically. Results showed that, Lead exposure in environment was widely distributed and Lead pollution was serious in Shenyang city. The spatial variations of Lead, with four high content centers in the soil, dust and atmosphere, were distinct in all the environmental media. Moreover, there were daily, seasonal and annual variations in the atmosphere. The impact of lead pollution in environment on children health was serious in Shenyang city. The blood lead content of the children ($ZPP > 2.3 \mu\text{mol/L}$) with the age of 0~10 ranged from 10.98 to $511.2 \mu\text{g/L}$, and the average of $135.59 \mu\text{g/L}$. The blood content of 40% children was beyond the normal standard. And correlative degree of lead contents between in blood and in atmosphere was highest, secondly in soil, and last in dust. With the implication of non-lead gasoline the lead content in the atmosphere had declined greatly. Along with the flying dust, the lead in the soil and dust was likely to entering into the atmosphere to bring out potential pollution risk.

Keywords: environmental toxicology; environmental lead pollution; health effect; lead intoxication of children; Shenyang city

铅是城市环境中最重要的重金属污染物之一^[1]。我国城市环境铅污染和铅中毒(尤其是儿童铅中毒)相当严重^[2]。城市儿童铅中毒流行率达 51.6%, 主要城市(上海、北京、沈阳等)的工业区内, 儿童血铅水平在 $20 \sim 67.9 \mu\text{g/dL}$ ^[3,4], 而血铅达到 $10 \mu\text{g/dL}$ 水平, 这会造成神经行为毒性作用。沈阳作为重工业城市, 工厂林立, 交通发达, 铅污染无处不在。中国国情调研中心等组织对沈阳市儿童铅污染调查, 近 40% 的 7 岁以下儿童血铅水平超标。沈阳市是我国受铅污

染危害较重的城市之一。20 世纪 60~80 年代一些医学工作者从毒理学的角度研究了沈阳市铅污染对儿童健康的影响^[5], 但是从环境的角度研究铅污染的报道很少。本文从环境角度系统地研究了沈阳市多介质中的铅污染对儿童健康的影响, 以期对城市铅污染有效的管理和铅

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40171089); 中加合作
碳循环研究项目(Z908)

作者简介: 王春梅(1976~), 女, 山东省人, 博士生, 主要从事
环境生态方面的研究。

收稿日期: 2002-12-11; 修订日期: 2003-04-07

中毒的防治提供科学依据。

1 研究区概况

沈阳市位于中国东北地区南部,辽宁省中部,地理坐标为 $122^{\circ}25'9'' \sim 123^{\circ}48'24''\text{E}$, $41^{\circ}11'51'' \sim 43^{\circ}2'13''\text{W}$ 之间。市区面积是 217km^2 ,市区人口为485.0万人,是东北地区的交通枢纽。沈阳市区大部分位于浑河北岸,以平原为主,地势平坦,平均海拔50m左右。沈阳市气候属于北温带受季风影响的半湿润大陆性气候,四季分明:冬季寒冷,干燥漫长,气候稳定,逆温出现的频率高,不利于污染物的扩散;夏季高温多雨,年平均降水量742.1mm。土壤类型主要有棕壤、草甸土、水稻土。沈阳作为一个老的重工业基地,工业技术装备基础雄厚,门类齐全,有一套较为完整的工业体系和格局,机械、化学、冶金、食品、纺织等5个工业部门已成为沈阳工业的支柱,其中机械工业占全部工业总产值的50%^[6]。随着工农业快速的发展,人口的增加,环境污染已是越来越严重。1988年,世界卫生组织(WHO)把沈阳列为世界十大空气污染城市之一(排在第二位),环境污染已经影响了居民的健康。

2 材料与方法

按照布点采样的原则,自2001年1月到11月,采集大气、土壤、灰尘样品。血液样品由沈阳市儿童医院和妇幼保健所普查儿童血铅含量时采集。按照儿童所在幼儿园位置采集大气样品20个,土壤、灰尘样品各54个。采样地点如图1。大气采样使用KC-120H型中流量TSP采样器,流量范围:70~125L/min,流量精度为2.5级,玻璃纤维滤膜孔径为 $0.45\mu\text{m}$,直径为90mm。土壤样品主要采自沈阳市0~10cm表土。灰尘和土壤样点同步,一般采自街道两旁不透水路面。血铅样品由市儿童医院和沈阳市妇幼保健所的专业医生先取末梢血 $2\mu\text{L}$,进行锌原卟啉(ZPP)值测定,大于 $2.3\mu\text{mol/L}$ 的再采集静脉血 $20\mu\text{L}$ 。样品经过硝解后,血铅、大气铅用石墨炉无火焰原子吸收光谱法测定,血样测定检出限为 $0.5\mu\text{g/L}$,灵敏度为 $1.8 \times 10^{-3}\mu\text{g}$ 铅/1%吸收,样品回收率在95%~102%之间;

大气样品的分析方法严格按照空气和废气监测分析方法进行,方法的灵敏敏感度为 $5 \times 10^{-3}\mu\text{g}$ 铅/1%吸收。土壤铅和灰尘铅则采用火焰原子吸收光谱法测定(日产Z-8000日立牌偏光塞曼原子吸收分光光度计)。同时严格进行质量控制,最低检测限是 $0.5\mu\text{g/L}$,回收率是95%~105%。另外,2001年5月于市环保局收集了沈阳市1996~2000年的大气铅浓度资料。

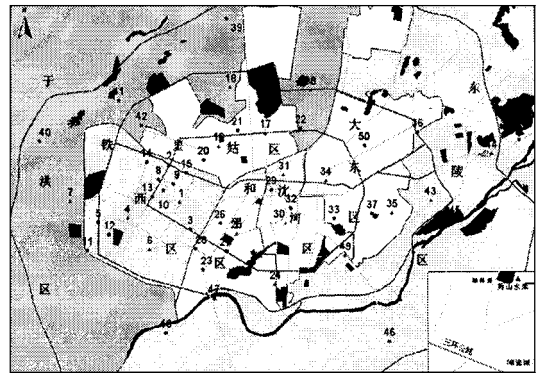


图 1 采样点设置图

Fig.1 The distribution of the sample sites

数据处理是在 Excel 2000、SPSS 10.0、Origin 8.0、Arcview 3.1a、arc/info 8.01 和 Surfer 7.1 平台下操作完成。

3 结果与讨论

3.1 环境中铅的暴露特征

沈阳市大气、土壤、灰尘中铅含量见表1。空气中Pb的浓度范围是 $0.345 \sim 5.330\mu\text{g}/\text{m}^3$,41%的铅浓度值超过居住区大气中铅的日均最高允许浓度 $1.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。土壤和灰尘中铅含量分别为 $22 \sim 2910.6\text{mg}/\text{kg}$ 和 $19.58 \sim 2809.9\text{mg}/\text{kg}$,土壤铅浓度平均值是 $199.72\text{mg}/\text{kg}$,是沈阳市土壤背景值 $22.15\text{mg}/\text{kg}$ 的9.02倍,铅污染较严重。

沈阳市铅污染的空间分异大,从市中心到郊区铅污染由重到轻,局部污染十分严重。大气、土壤、灰尘中铅含量已经形成铁西工业区、大东工业区、和平商业区和崇山小区等4个高浓度中心(图2、3)。不同功能区铅浓度也不相

同:工业区 > 商业区 > 二类混合区 > 一类混合 区 ≈ 居民文教区 > 对照区(图 4) .

表 1 沈阳市各环境介质中铅的浓度

环境介质	N	范围值	平均值	中值	标准偏差	变异系数
空气/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	20	0.345 ~ 5.33	0.877	0.779	1.553	0.827
土壤/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	46	22 ~ 2910.6000	199.72	117.325	212.422	1.063
灰尘/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	46	19.58 ~ 2809.900	220.058	79.105	276.335	1.256

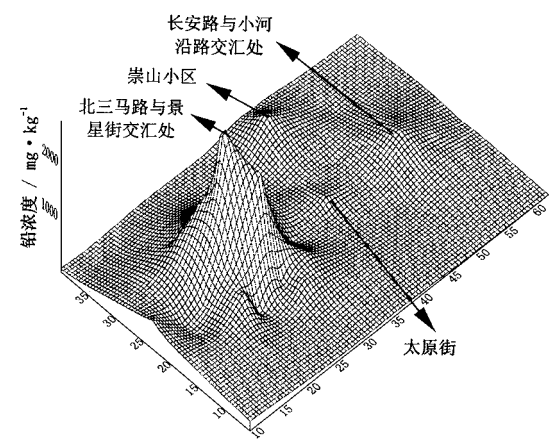


图 2 沈阳市土壤中铅浓度三维分布图

Fig.2 The distribution of lead concentration in soil in Shenyang city

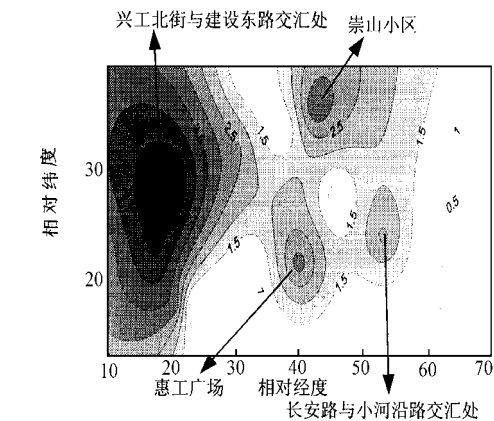
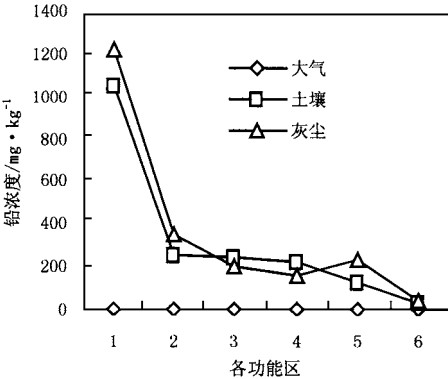


图 3 沈阳市大气铅浓度($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)分布图

Fig.3 The distribution of at mospheric lead ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) in Shenyang city

空气铅浓度有明显的时间变化.一天内铅含量和交通量的变化规律是:小时变化曲线呈双峰型,在 08:00 ~ 09:00,17:00 ~ 18:00 时间

段出现高峰(图 5),即在以汽车尾气污染为主的地方,大气铅含量和交通量是正相关的($r^2 = 0.839, p < 0.01$).1996 ~ 2000 年沈阳市铅浓度季节变化规律是冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季(图 6).冬季铅浓度最高,为 $1.371\mu\text{g}/\text{m}^3$;夏季铅浓度最低,为 $0.861\mu\text{g}/\text{m}^3$.采暖期大气铅平均含量($1.371\mu\text{g}/\text{m}^3$) > 非采暖期大气铅平均含量($1.078\mu\text{g}/\text{m}^3$).1996 ~ 2000 年铅浓度年际变化规律是:1996 年最高($4.61\mu\text{g}/\text{m}^3$),2000 年是最低($0.45\mu\text{g}/\text{m}^3$),自 1996 年以来总体是降低趋势(图 7),说明沈阳市大气铅污染在好转.



1. 工业区 2. 商业区 3. 二类混合区
4. 一类混合区 5. 居民文教区 6. 对照区

图 4 各功能区大气、土壤和灰尘铅含量

Fig.4 Lead content in at mosphere ,soil ,dust in different functional districts

3.2 环境铅污染的健康效应

3.2.1 儿童血铅水平

2000 年 1 月,沈阳市开始对 9 区 4 县的全部孕妇和 35 万多名 7 岁以下儿童铅污染现状进行大规模普查.结果表明,沈阳儿童中约有 50 %为铅污染的高危人群($ZPP > 2.3\mu\text{mol}/\text{L}$ 的

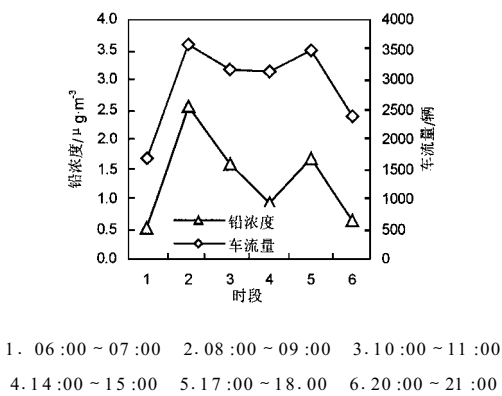
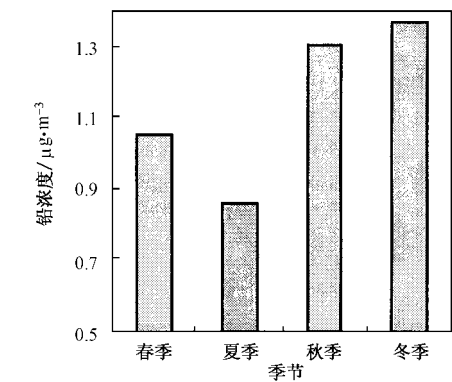


图 5 大气铅浓度日变化图

Fig. 5 Daily variation of at mospheric lead



春季为 3 ~ 5 月;夏季为 6 ~ 8 月
秋季为 9 ~ 10 月;冬季为 12 ~ 次年 2 月

图 6 大气铅含量季节变化

Fig. 6 Seasonal variation of atmospheric lead

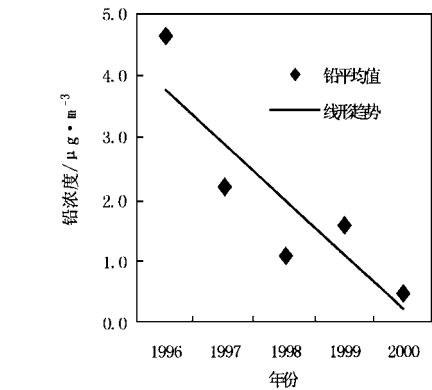


图 7 大气铅含量的年际变化

Fig. 7 Annual variation of the atmospheric

铅水平超过正常标准.在对其中 216 例随机血铅($ZPP > 2.3 \mu\text{mol/L}$)统计中(表 2),0 ~ 10 岁儿童血铅范围是 $10.98 \sim 511.2 \mu\text{g/L}$,平均值是 $135.59 \mu\text{g/L}$,中值 $126.45 \mu\text{g/L}$.

表 2 儿童($ZPP > 2.3 \mu\text{mol/L}$)血铅含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 2 Blood lead concentration in children

($ZPP > 2.3 \mu\text{mol/L}$) bodies/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

参数	N	范围值	平均值	中值	标准偏差	变异系数
铅浓度	216	10.98 ~ 511.2	135.59	126.45	66.77	0.492

血铅浓度有性别差异.所有样本中,男、女性样本数是 124 个和 94 个,血铅浓度分别是 $138.51 \mu\text{g/L}$ 和 $131.73 \mu\text{g/L}$ (图 8),男性高于女性 5.14%.白松恩等认为非职业接触铅人群中,男性的血铅水平高于女性,这是由于人体血液中的铅,主要与血红蛋白分子结合而存在于红细胞中,红细胞中的铅约占血液的 94%,而男性红细胞数、血红蛋白均高于女性,所以男性血铅高于女性^[7,8].再者是因为男孩一般比女孩调皮多动,接触和摄入铅污染物的机会比女孩多.

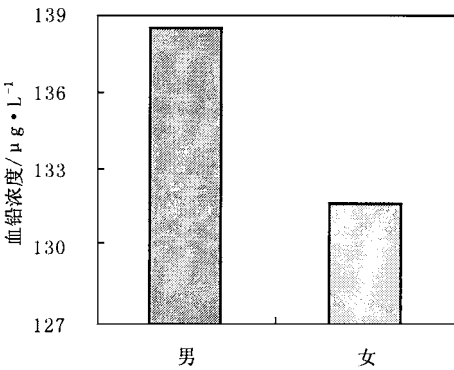


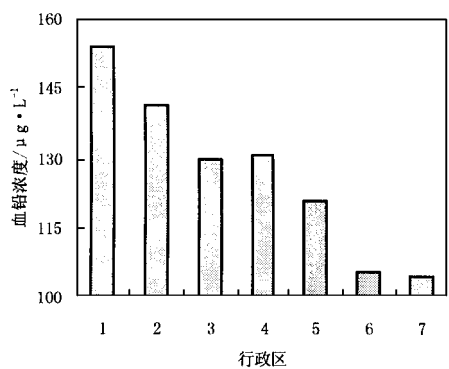
图 8 不同性别间血铅含量

Fig. 8 Blood lead concentration of different genders

不同行政区血铅浓度变化是铁西区 > 和平区 > 于洪区 > 沈河区 > 皇姑区 > 东陵区 > 大东区(图 9),其中铁西区铅浓度值最高达 $154.042 \mu\text{g/L}$,超过界值($100 \mu\text{g/L}$) 54.04%.大东区血铅水平最低是 $104.7 \mu\text{g/L}$,超过界值水

儿童),在接受确诊的人中约有 80 % 的儿童血

平 4.7 %.



1. 铁西区 2. 和平区 3. 沈河区 4. 于洪区
5. 皇姑区 6. 东陵区 7. 大东区
图 9 不同行政区血铅浓度分布图

Fig. 9 Comparison of blood lead concentration
in different function districts

3.2.2 儿童血铅与环境介质中铅浓度的关系

将血铅与土壤、灰尘、大气进行相关性分析,相关系数分别是 0.825,0.724,0.634($p < 0.05$).可见,大气铅与血铅相关系数最大,即大气铅暴露对人体内铅负荷的影响最大,儿童主要是通过呼吸吸收铅,其次是土壤和灰尘.使用无铅汽油后大气中悬浮态铅及其化合态颗粒物浓度出现降低趋势,但土壤中铅在土壤有机质和粘土矿物的吸附作用下,不断在地表积累,加之脱落的油漆、涂料以及“三废”对土壤中铅

的贡献,都会导致街道和家庭灰尘以及土壤铅含量的增加.土壤成为潜在的铅污染源,通过污染地下水、地表水,以及通过扬尘污染大气,且不会在短期消失,将会长期影响人体健康.因而,防止儿童铅中毒仍然是沈阳市以及其它地区应该引起重视的一个社会问题.

3.2.3 儿童铅中毒表征

任何浓度的铅暴露都会对人类和生态系统造成负效应^[9].一定剂量的铅中毒可使肌体各器官、各系统均受到不同程度的伤害,特别是导致儿童不可逆转的神经毒性作用,造成智力迟滞,并且这种影响没有明显的临床症状,具有很强的隐蔽性,阻碍儿童智力发育.

在人体内铅负荷的各生物指标中,ZPP 和 BPb 是非常重要的两大生物指标.ZPP 可用于早期铅中毒的检测指标之一^[10,11],但具体到 ZPP 的正常值上限,各国各地区又有不同的规定,美国一般采用 100μg/dL 作为上限^[12].不过美国疾病防治中心(CDC)建议对儿童铅中毒筛检时,如 Pb 浓度为 10~19μg/dL 时即应做血铅测定^[13].把血铅浓度在 100μg/L 及以上的定为铅中毒.血铅水平分级和根据剂量-效应关系,划分各血铅浓度的级别如表 3.其中,I 级水平的占 28.2%,其余的 71.8%需要用药驱铅.II 级所占比重最大为 58.8%,其中 A 级水平占

表 3 沈阳市高危儿童血铅水平分级

Table 3 Classification of blood lead concentration in children in Shenyang city

血铅浓度级别	I (为可接受水平)	II (轻度铅中毒)		III(中度铅中毒)	IV(重度度中毒)	V(极重度中毒)
		A	B			
铅浓度	<100	100~149	150~199	200~449	450~699	>700
比重/ %	28.2	42.1	16.7	12.5	0.46	0

42.1 %;而 IV和 V级的则占很小比重.沈阳高危人群血铅频数分布如图 10 所示,其拟合方程是:

$$y = 1.8542 x^4 + 29.301 x^3 - 159.49 x^2 + 324.07 x - 129.83$$

($R^2 = 0.9433$)

(2)

王金达等做的长春市血铅频数分布趋势线

呈偏正态分布^[14].由于沈阳市统计的血铅值仅限于高危人群,所以看其最大值的右侧接近正态分布的一部分,可见规律是相似的.

4 结语

综上所述,沈阳市铅的主要来源是工业污染、汽车尾气和燃煤.环境介质中铅污染较重.铅浓度的空间分异大,从市中心到郊区铅污

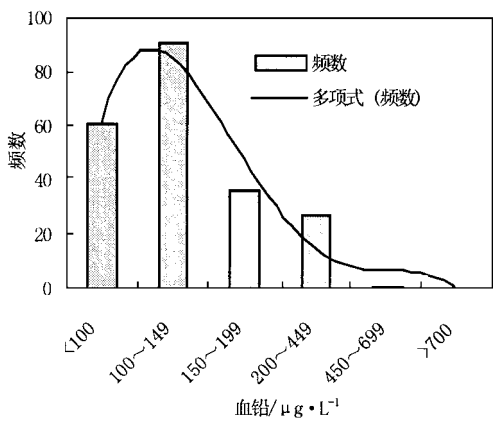


图 10 血铅频数分布图

Fig.10 Distributing graph of blood lead frequency

染由重到轻,局部污染十分严重.各功能区铅的含量特征是:工业区>商业区>二类混合区>一类混合区≈居民文教区>对照区.大气铅浓度有明显的时间变化,1996~2000年铅浓度呈下降趋势.环境中任何剂量的铅暴露对人体都是有害的,沈阳市ZPP>2.3μmol/L的儿童血铅平均浓度是135.59μg/L,40%的儿童血铅水平超标.4~8岁的儿童血铅浓度较高,且男孩高于女孩.儿童血铅与大气铅相关性最大,其次是土壤和灰尘.实行无铅汽油之后,大气铅污染有了很大改善,但是土壤和灰尘中的铅容易再次进入大气,成为二次污染源,长期地影响人们的健康,应引起有关部门足够的重视.

参考文献:

1 Anna O Orlova, Desmond L Bannon, Mark R Farfel, Valene

M Thomas, Lev V Aleschukin, Vlery V Kudashov, James P Shine, Georgy L Kruchkov. Pilot study of sources of lead exposure in Moscow, Russia. *Environmental Geochemistry and health*. 1995, 17:200~210.

2 Shen Xiaoming. Childhood lead poisoning in china. *The Science of the Total Environment*, 1996, 181: 101~109.

3 沈晓明,郭迪,吴圣楣.关于国内儿童铅中毒现状的报告. '96上海国际儿童铅中毒防治研讨会. 1996.11~18.

4 颜崇淮,沈晓明等.上海市儿童血铅水平及其影响因素的流行病学研究. *中华儿科杂志*, 1998, 36(3):92~93.

5 万伯健,刘秋芳,张颖花等.某市环境铅污染对儿童影响的调查研究. *中国环境科学*, 1991, 11(4):314~317.

6 沈阳市计划经济委员会,《沈阳国土资源编委会》编. *沈阳国土资源*. 沈阳:沈阳出版社,1989.1~259.

7 盛叶舟,王簪兰.职业铅接触对女工及其子代的影响. *工业卫生与职业病*, 1987, 13(1):53~57.

8 白松恩,赵子辰,高凤山等.我国三城市(长春、青岛、兰州)居民血铅负荷量调查及其影响因素的研究. *中国大城市环境铅污染类型、特征及生态效应研究(专题报告)*. 中国科学院长春地理研究所,青岛大学. 1990.34~41.

9 John F Rosen. Adverse health effects of lead at (on) exposure levels: Trends in the management of childhood lead poisoning. *Toxicology*, 1995. 16(1):78~80.

10 王簪兰等.铅中毒实验研究——铅毒性筛检指标. *上海第一医学院学报*, 1985, 12(1):31.

11 王簪兰.我国工业铅中毒研究三十六年. *工业卫生与职业病*, 1987, 13(2):79~83.

12 张基美.铅中毒与红细胞锌原卟啉测定. *中国工业医学杂志*, 1990, 3(4):40~42.

13 US CDC. Preventing lead poisoning in young Children. A statement by the CDC. January, 1997.

14 王金达,刘景双,于君宝.长春市环境铅的健康风险评价. *环境科学*, 2001, 22(增刊):49~57.