

贵阳市表层土壤中铅的环境地球化学基线研究

王 济¹, 王世杰², 欧阳自远²

1. 贵州师范大学地理与生物科学学院, 贵州 贵阳 550001; 2. 中国科学院地球化学研究所/环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550001

摘要: 以土壤环境地球化学研究为主线, 以贵州省贵阳市 8 064 km² 为研究区域, 将土壤重金属污染元素铅的空间分布规律与环境地球化学机理研究相结合, 建立区域土壤环境地球化学基线, 选用合适的判别指标判识自然作用过程与人类活动过程对土壤环境的影响。得到以下结论: 贵阳市表层土壤中铅的基线值为 14.8 mg·kg⁻¹, 样品中铅元素含量大于 70.1 mg·kg⁻¹ 的样品可能遭受人为污染的影响。地质累积指数分析结果显示贵阳市 18% 的表层土壤未受铅的污染, 47% 的表层土壤在无污染到中度污染之间, 28% 的中度污染, 6% 的表层土壤介于中度污染到强污染之间, 1% 的强污染。污染程度指数分析则显示贵阳市 49.9% 的表层土壤未受到铅的污染, 铅的污染程度最大为 8.11, 总污染程度略大于 0, 即受到轻微污染。

关键词: 铅; 基线; 污染; 贵阳; 土壤**中图分类号:** X142**文献标识码:** A**文章编号:** 1672-2175 (2007) 04-1154-06

环境地球化学基线 (environmental geochemical baseline) 一词出现在国际地质对比计划的国际地球化学填图项目 (IGCP259) 和全球地球化学基线项目 (IGCP360) 中, 在国际地球化学填图计划中, 环境地球化学基线的定义为地球表层物质中化学物质 (元素) 质量分数的自然变化^[1]。但随着人们对环境地球化学基线问题研究的深入, 环境地球化学基线的定义也不断明确: 地球化学基线将某一地区或数据集合作为参照时某一元素在特定物质中 (土壤、沉积物、岩石) 的自然丰度, 并可以表述为区分地球化学背景和异常的单一的极限^[2]。

环境地球化学基线需要建立当前地球表层环境的状态档案, 并提供了监测环境变化的数据库。环境地球化学旨在确定矿物及化学元素的自然变化, 以便与人类活动诱发的影响进行对比。环境地球化学基线提供了地球化学的自然空间变异的定义, 它既是为了指导政策制定者制定环境问题的政策, 也是为了教育那些对环境问题感兴趣的公众^[3]。

地球化学基线研究在各国受到了普遍重视, 并开展了一系列研究, 较有代表性的是欧洲的环境地球化学基线填图。为配合全球地球化学研究, 我国于 1992 年启动了“中国环境地球化学监控网络和全国动态地球化学填图”项目, 此后, 在国土资源大调查中开展了“成都平原多目标地球化学调查”项目^[4]。

本文选择铅 (Pb) 作为研究对象。铅在地壳

中的平均丰度为 12.5 mg·kg⁻¹。土壤铅含量一般在 2 ~ 200 mg·kg⁻¹, 平均变化幅度为 13 ~ 42 mg·kg⁻¹^[5]。铅的污染源一般是土壤原生富铅、汽车尾气^[6]、矿物、有机肥料、其它工业三废等造成^[7]。本文以土壤中铅的环境地球化学研究为主线, 以贵州省贵阳市 8 064 km² 为研究区域, 将土壤重金属污染元素铅的空间分布规律与环境地球化学机理研究相结合, 建立区域土壤环境地球化学基线, 选用合适的判别指标判识自然作用过程与人类活动过程对土壤环境的影响。

1 研究区域概况

研究区域选择贵州省贵阳市。贵阳市位于贵州省中部云贵高原东斜坡地带, 地处东经 106°07' ~ 107°17', 北纬 26°11' ~ 27°22' 之间, 属东部平原向西部高原过渡地带, 地形地貌多样, 海拔高, 纬度低, 具有亚热带湿润温和型气候的特点。冬无严寒、夏无酷暑、雨量充沛、无霜期长。年均气温 15 °C, 年均降水量 1 197 mm, 年日照 1 278 h 左右, 年相对湿度 76.9%, 无霜期 270 d 左右。

全市土地总面积 8 046 km², 其中, 贵阳市城区面积 158 km², 占全市面积 1.97% (云岩、南明、小河); 郊区面积 2 248 km², 占全市面积 27.99% (花溪、白云、乌当); 清镇市面积 1 492 km², 占全市面积 18.58%; 修文县面积 1 071 km², 占全市面积 13.33%; 开阳县面积 2 026 km², 占全市面积 25.22%; 息烽县面积 1 051 km², 占全市面积 12.91%。

全市土地总面积 804 667 hm², 其中, 耕地

基金项目: 贵州省自然科学基金项目 (黔教科 2004111)**作者简介:** 王 济 (1975 -) 男, 博士, 副教授, 从事土壤重金属污染研究。E-mail: wangji@gznu.edu.cn**收稿日期:** 2007-06-29

288 979 hm², 占土地总面积的 35.91%; 园地 5 616 hm², 占 0.70%; 林地 266 258 hm², 占 33.09%, 森林覆盖率 15.97%; 牧草地 28 860 hm², 占 3.59%; 水面 15 247 hm², 占 1.89%; 建设用地(含居民点及工矿用、交通用地和水利设施) 48 276 hm², 占 6.00%; 未利用地 151 431 hm², 占 18.82% 其中, 荒草地 35 348 hm², 裸岩石砾地 72 191 hm², 田土坎 43 301 hm², 裸土地 334 hm², 滩涂 236 hm²。

全市土壤总面积 80.30 万 hm², 有黄壤、黄棕壤、石灰土、石质土、粗骨土、紫色土、沼泽土、水稻土、山地草甸土 9 个土类。其中: 黄壤 33.35 万 hm², 占土壤总面积 41.53%; 石灰土 20.21 万 hm², 占土壤总面积 25.17%; 水稻土 11.56 万 hm², 占土壤总面积 14.40%。

2 试验方法

由于采样面积较大, 地势不平坦, 土壤不够均匀, 故对每一个采样点均采用蛇形采样布点法。采样土层为 5~15 cm 的表土层。样品除去石块、残根等杂物, 磨碎过筛备用。取样点分布于贵阳市 75 个乡镇 486 个村, 其中取样乡镇占全市乡镇比例的 90.36%, 取样村占全市村的比例为 37.87%。样品采集点分布见图 1。样品中铅的质量分数用石墨炉原子吸收分光光度法测定^[8]。

3 结果与讨论

3.1 贵阳市表层土壤中铅含量的统计学分析

贵阳市表层土壤中铅含量值大小情况见图 2, 不同含量区间频数统计于图 3。各县(市)、区的极值、均值及方差等统计数据见表 1(下页)。贵阳市表层土壤中铅的平均含量为 43.2 mg·kg⁻¹, 标

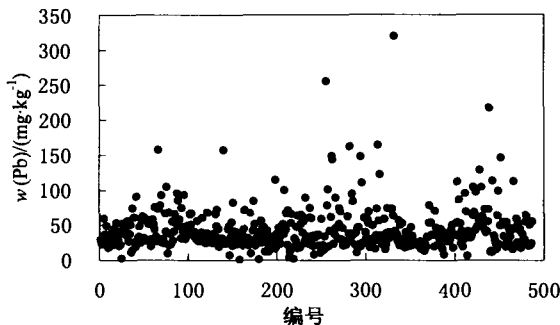


图 2 贵阳市表层土壤重金属元素铅的含量

Fig. 2 Contents of Pb in the surficial soil of Guiyang

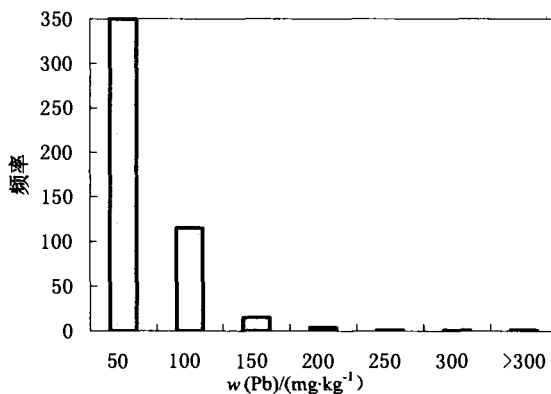


图 3 贵阳市表层土壤铅含量分布频率直方图

Fig. 3 Frequency distribution of Pb in the surficial soil of Guiyang

准差为 31.3 mg·kg⁻¹, 487 个样品最大值为 318.9 mg·kg⁻¹, 出现在开阳县宅吉乡潘家寨村。95.5% 的样品测量值 ≤ 100.0 mg·kg⁻¹。在贵阳市的表层土壤中, 铅含量高的地区主要有三个: 东北部的开阳县的宅吉—龙水、城关; 西部清镇麦格。全市大部分区域铅含量在 14.8~70.1 mg·kg⁻¹ 之间。频数最高区间是 ≤ 50 mg·kg⁻¹ 段。贵阳市各县(市)、区表层土壤中铅的平均含量为 43.2 mg·kg⁻¹, 开阳县的均值最大, 为 57.5 mg·kg⁻¹, 乌当区次之, 为 52.1 mg·kg⁻¹, 清镇市再次, 为 49.3 mg·kg⁻¹, 其余地区均小于 40.0 mg·kg⁻¹, 城区农村最小, 为 31.7 mg·kg⁻¹。铅在地壳中的平均丰度为 12.5 mg·kg⁻¹。土壤铅含量一般在 2~200 mg·kg⁻¹, 平均变化幅度为 13~42 mg·kg⁻¹。全国土壤背景值基本统计量的结果表明, 我国土壤铅含量最高可达到 1 143

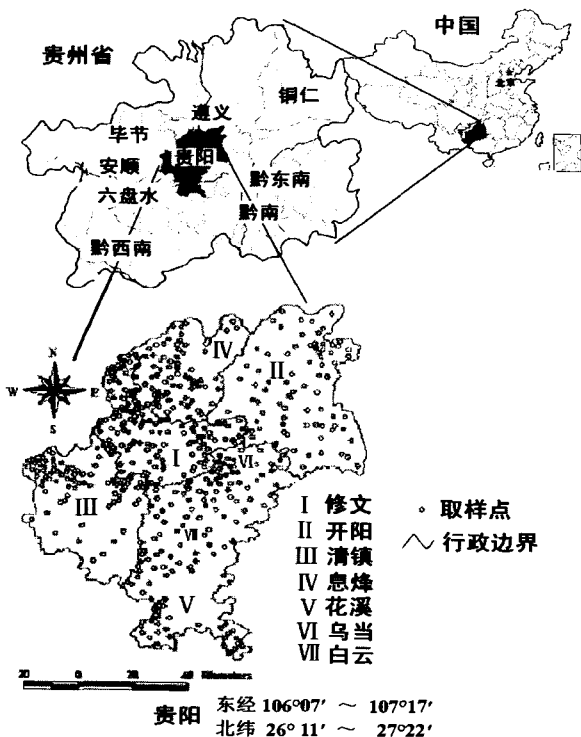


图 1 样品采集点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites in Guiyang, Guizhou

表 1 贵阳市表层土壤铅质量分数统计分析结果

Table 1 Statistics data of Pb in the surficial soil of Guiyang, Guizhou

	样本数/个	最小值/(mg·kg ⁻¹)	最大值/(mg·kg ⁻¹)	均值/(mg·kg ⁻¹)	方差	标准差	变异系数
贵阳市	487	0.9	318.9	43.2	982.5	31.3	0.7
城区农村 ¹⁾	10	17.6	59.7	31.7	141.7	11.9	0.4
花溪区	53	2.6	91.0	39.1	311.7	17.7	0.5
乌当区	45	9.2	156.9	52.1	762.2	27.6	0.5
白云区	25	24.0	72.0	38.8	211.2	14.5	0.4
开阳县	78	10.7	318.9	57.5	2 674.9	51.7	0.9
息烽县	75	8.1	111.4	33.8	296.0	17.2	0.5
修文县	122	0.9	156.8	36.0	528.3	23.0	0.6
清镇市	79	6.4	216.3	49.3	1 167.0	34.2	0.7

1)城区农村包括南明区、云岩区和小河区

mg·kg⁻¹, 最低为 0.68 mg·kg⁻¹, 平均可达到 26 mg·kg⁻¹ [9]。在贵阳市的表层土壤取样点中, 有 3 个点测定数据大于 200 mg·kg⁻¹, 也就是说大部分区域处于正常水平, 但是全市均值 43.2 mg·kg⁻¹, 比全国均值大出 17.2 mg·kg⁻¹, 说明贵阳市表层土壤中的铅含量处于正常水平的较高位置, 稍微受到一些外源铅的加入就会导致重金属铅的污染。

3.2 贵阳市表层土壤中铅基线的确定

3.2.1 用相对累积总量分析的方法确定基线值

元素的质量分数呈对数正态分布, 在相对累积密度与元素质量分数的双对数分布图中, 分布曲线的拐点处元素的质量分数就是该元素背景与异常的分界线, 在小于分界点的元素质量分数数据的平均值加 2 倍标准差的控制线, 通常是元素的背景值范围 [10]。

贵阳市土壤铅元素质量分数与相对累积密度的双对数分布曲线见图 4。图中拐点值 (如图黑点所示) 对应的元素质量分数为 26.8 mg·kg⁻¹, 那么铅元素背景与异常的分界值就为 26.8 mg·kg⁻¹。在小于分界点的元素质量分数数据的平均值 19.7 mg·kg⁻¹ 加 2 倍标准差 5.7 的控制线, 14.0~25.4 mg·kg⁻¹ 是贵阳市表层土壤中铅元素的基线值范围。

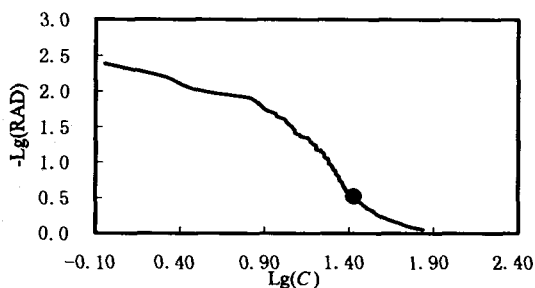


图 4 贵阳市土壤铅元素质量分数与相对累积密度的双对数分布曲线
Fig. 4 Logarithm of the concentrations of Pb and the logarithmic curve of relatively accumulative density(RAD) in surficial soil of Guiyang

3.2.2 用相对累积频率分析的方法确定基线值

这种方法采用正常的十进制坐标, 而累积频率——元素质量分数的分布曲线可能有两个拐点, 值较低的点代表元素质量分数的上限 (基线范围), 小于样品元素质量分数的平均值或中值即可以为基线值; 较高点则代表异常的下限 (人类活动影响的部分), 而二者之间的部分可能与人类活动有关, 也可能无关。若分布曲线近似呈直线, 则所测样品的质量分数可能本身就代表了背景范围 (基线) [11-14]。

如图 5, 贵阳市表层土壤铅元素质量分数与相对累积密度分布曲线存在两个拐点, 拐点一 20.4 mg·kg⁻¹ 和拐点二 70.1 mg·kg⁻¹。对照上文确定的基线值范围, 拐点一代表元素质量分数的上限 (基线范围), 小于样品元素质量分数的平均值 14.8

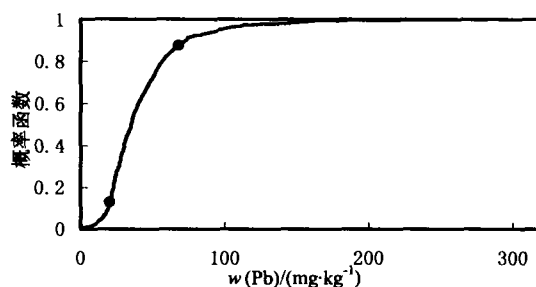


图 5 贵阳市表层土壤铅元素含量概率函数
Fig. 5 The probability function of Cr in surficial soil of Guiyang

mg·kg⁻¹ 或中值 16.0 mg·kg⁻¹ 可以为基线值; 较高点可能代表异常的下限 (人类活动影响的部分)。

综合以上两种方法的计算结果, 我们以 14.8 mg·kg⁻¹ 作为贵阳市表层土壤铅元素的基线值, 背景与异常的分界值就为 26.8 mg·kg⁻¹, 铅含量大于 70.1 mg·kg⁻¹ 的表层土壤可能与人类活动有关。

3.3 铅的地质累积指数分析

地质累积指数 (geoaccumulation index, I_{geo}) 通常称为 Muller 指数 [15,16], 是 20 世纪 60 年代晚

期在欧洲发展起来的广泛用于研究沉积物中重金属污染程度的定量指标^[17]，其表达式如下：

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5 \cdot BE_n} \right] \quad (1)$$

其中 C_n 表示样品中元素 n 的质量分数， BE_n

表示基线质量分数，1.5 为修正指数，通常用来表征沉积特征、岩石地质及其他影响。

地质累积指数可分为几个级别，如 Forstner 等 (1990) 分为 7 个级别^[17]，而 Anon (1994) 则分为 5 个级别^[18]，不同的级别分别代表不同的重金属污染程度 (表 2)。

表 2 地质累积指数不同级别代表的重金属污染程度
Table 2 Pollution degrees of heavy metals indicated by different classes of I_{geo}

I_{geo}	级别		污染程度	I_{geo}	级别		污染程度
	Forstner 等 (1990)				Anon (1994)		
<0	1		无污染	<0	1		无污染或轻度污染
0—1	2		无污染到中度污染	0—1	2		中度污染
1—2	3		中度污染	1—3	3		中度污染或强污染
2—3	4		中度污染到强污染	3—5	4		强污染
3—4	5		强污染	>5	5		极强污染
4—5	6		强污染到极强污染				
>5	7		极强污染				

计算结果显示贵阳市表层土壤中重金属污染元素铅的污染情况。在贵阳市表层土壤中，按 Forstner 分级 18% 的表层土壤未受重金属元素铅的污染，47% 的表层土壤在无污染到中度污染之间，28% 的中度污染，6% 的表层土壤介于中度污染到强污染之间，1% 的表层土壤遭受铅的强污染；按照无污染土壤所占比例的大小：白云区 < 乌当区 < 开阳县 < 清镇市 < 花溪区 < 城区农村 < 息烽县 < 修文县。具体分布情况见图 6。

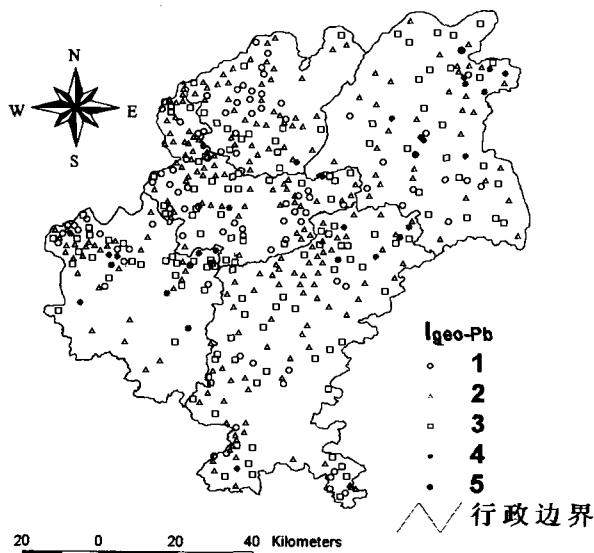


图 6 贵阳市表层土壤中铅的地质累积指数 I_{geo} 分布图
Fig. 6 Distribution of I_{geo} for Pb in topsoil of Guiyang

按 Anon 分级，贵阳市的表层土壤中重金属污染元素 Pb 的污染情况为 8% 无污染或轻度污染，

47% 的表层土壤中度污染，34% 的表层土壤介于中度污染到强污染之间，1% 的表层土壤强污染。

3.4 贵阳市表层土壤中铅的污染程度分析

污染程度 (contamination degree, CD) 是评价重金属污染最直观且常用的参数之一，该参数表示的是被检测重金属的超标情况，可表示如下^[19,20]：

$$CD = \frac{C_i}{C_A} - 1 \quad (2)$$

其中 C_i 表示的是铅元素第 i 个样品的分析值 (样品中铅的质量分数)， C_A 表示环境中铅元素质量分数的允许上限，一般为土壤环境质量标准。本文在计算重金属污染程度时， C_A 值取的是国家土壤环境质量一级标准 (自然背景) $35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[21]。

利用式 (2) 进行计算，结果见图 7。由计算结果可知，贵阳市表层土壤中重金属铅的污染程度最大为 8.11，49.9% 的表层土壤未受到重金属元

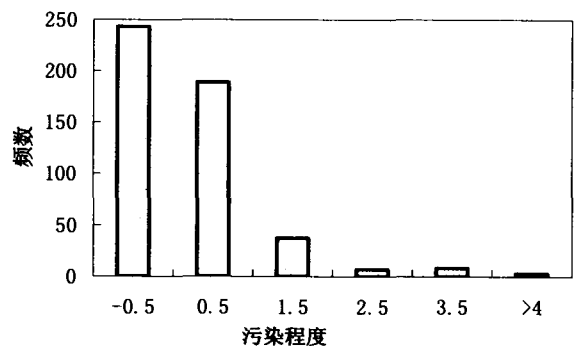


图 7 贵阳市表层土壤中铅的污染程度频数统计
Fig. 7 CD frequency on Pb in surficial soil of Guiyang, Guizhou

素铅的污染, 38.8%的表层土壤受到轻微污染。88.7%的表层土壤污染程度小于1, 总污染程度略大于0, 即受到轻微污染。

用地质累积指数(I_{geo})和污染程度(CD)计算的贵阳市表层土壤中铅的污染情况, 地质累积指数是用本文所得的基线值计算得出, 而污染程度则是按照国家颁布的自然土壤的环境背景值计算而得, 故二者相对独立。对比两种计算结果, 可以看出对贵阳市表层土壤中铅的污染情况大致相同。即50%左右的表层土壤对于铅来说, 甚为“洁净”, 40%的表层土壤受到人为影响, 10%的表层土壤受到铅的污染。

4 结论

(1) 贵阳市表层土壤中铅的基线值为 $14.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 背景与异常的分界值为 $26.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 样品中铬元素含量大于 $70.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的样品可能遭受人为污染的影响。

(2) 地质累积指数分析结果显示贵阳市18%的表层土壤未受重金属元素铅的污染, 47%的表层土壤在无污染到中度污染之间, 28%的中度污染, 6%的表层土壤介于中度污染到强污染之间, 1%的表层土壤遭受铅的强污染; 利用地质累积指数进行铅污染分析时, F 分级指标要优于 A 分级指标。

(3) 污染程度指数分析则显示贵阳市49.9%的表层土壤未受到重金属元素铅的污染, 铅的污染程度最大为8.11, 88.7%的表层土壤污染程度小于1, 总污染程度略大于0, 即受到轻微污染。利用污染程度(CD)进行铅污染分析时, 可将1定为受到铅污染的下限。

参考文献:

[1] SALMINEN R, TARVAINEN T. The problem of defining geochemical baseline. A case study of selected elements and geological materials in Finland[J]. *Journal Geochemical Exploration*, 1997, 60(1): 91-98.

[2] SALMINEN R, GREGOROUSKIENE V. Consideration regarding the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial materials in areas differing in basic geology[J]. *Applied Geochemistry*, 2000, 15: 647-653.

[3] DARNLEY A G. A global geochemical reference network: the foundation for geochemical baselines[J]. *Journal Geochemistry Exploration*, 1997, 60(1): 1-5.

[4] 赵琦. 西部大开发成都平原多目标地球化学调查正式启动[J]. *四川地质学报*, 2000, 20(1): 28.

ZHAO Qi. Startup of multi-target geochemical survey on Chengdu Plain in the project of west-empolder[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2000, 20(1): 28.

[5] 王济, 王世杰. 土壤中重金属环境污染元素的来源及作物效应[J]. *贵州师范大学学报: 自然科学版*, 2005, 23(2): 113-120.

WANG Ji, WANG Shijie. The sources and crops effect of heavy metal elements of contamination in soil. *Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences*, 2005, 23(2): 113-120.

[6] 李鱼, 董德明, 吕晓君, 等. 汽车尾气中铅对公路两侧土壤的污染特征[J]. *生态环境*, 2004, 13(4): 549-552.

LI Yu, DONG Deming, LV Xiaojun, et al. Pollution characteristics of lead in soils beside Road 102[J]. *Ecology and Environment*, 2004, 13(4): 549-552.

[7] 杨红梅, 路远发, 段桂玲, 等. 茶叶中铅同位素比值的测定方法[J]. *地球化学*, 2005, 34(4): 373-378.

YANG Hongmei, LU Yuanfa, DUAN Guiling, et al. Measurement of lead isotopic ratios in teas[J]. *Geochimica*, 2005, 34(4): 373-378.

[8] 国家环境保护局, 国家技术监督局. GB/T 17141—1997 土壤质量铅、镉的测定: 石墨炉原子吸收分光光度法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.

National Environmental Protect Bureau of China and National Technology Supervise Bureau of China. GB/T 17141—1997. Soil Quality—Determination of Lead and Cadmium: Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry[S]. Beijing: Environmental Sciences Press of China, 1998.

[9] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 7-158.

CHEN Huaiman. Heavy Pollution in Soil-plant System[M]. Beijing: Sciences Press, 1996: 7-158.

[10] LEPELTIER C. A simplified treatment of geochemical data by graphical representation[J]. *Environmental Geology*, 1969, 64: 538-550.

[11] BAUER I, BOR J. Vertikale Bilanzierung von Schwermetallen in Boden-Kennzeichnung der Empfindlichkeit der boden gegenüber Schwermetallen unter Berücksichtigung von lithogenem Grundgehalt, pedogener An- und Abreicherung sowie anthropogener Zusatzbelastung Teil 2[M]. Berlin: Textes6, Umweltbundesam, 1993.

[12] BAUER I, BOR J. Lithogene, geonene und anthropogene Schwermetallgehalte von Lobboden an den Beispielen von Cu, Zn, Ni, Pb, Hg und Cd[J]. *Mainzer Geowiss Mitt*, 1995, 24: 47-70.

[13] BAUER I, SPERNGER M, BOR J. Die Berechnung Lithogener und geogener Schwermetallgehalte von Lobboden am Beispielen von Cu, Zn und Pb[J]. *Mainzer Geowiss Mitt*, 1992, 21: 47-70.

[14] MATSCHULLAT J, OTTENSTEIN R, REIMANN C. Geochemical background-can we calculate it? [J]. *Environmental Geology*, 2000, 39(9): 990-1000.

[15] MULLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the rhine River[J]. *Geojournal*, 1969, 2: 108-118.

[16] FORSTNER U, MULLER G. Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments: geochemical background, man's influence and environmental impact[J]. *Geojournal*, 1981, 5: 417-432.

[17] FORSTNER U, AHLF W, CALMANO W, et al. Sediment criteria development-contributions from environmental geochemistry to water quality management[C]//Heling D, Rothe P, Forstner U, et al. Sediments and environmental geochemistry: selected aspects and case histories. Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag, 1990: 311-338.

[18] Anon. Die Lahn, Ein Fließgewässersystem[M]. Niedermhausen: Regierungspräsidium Giessen, 1994: 87.

- [19] RAPANT S, VRANA K, BODIS D. Geochemical Atlas of the Slovak Republic, Groundwater[R]. Geology Survey Slovak Republic, 1997: 127.
- [20] RAPANT S, RAPOSOVA M, BODIS D, et al. Environmental-geochemical mapping program in the Slovak Republic[J]. Journal Geochemical Exploration, 1999, 66(2):151-158.
- [21] 国家环境保护局, 国家技术监督局. GB 15618—1995 土壤环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- National Environmental Protect Bureau of China, National Technology Supervise Bureau of China. GB 15618—1995 Environmental Quality Standard for Soils [S]. Beijing: Environmental Sciences Press of China, 1995.

Geogenic distribution and baseline concentrations of plumbum in surficial soil of Guiyang

WANG Ji¹, WANG Shijie², OUYANG Ziyuan²

1. Geography & Biology Science College, Guizhou Normal University, Guiyang 550002, China,

2. The State Key Lab of Environmental Geochemistry//Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

Abstract: The characteristics of environmental geochemistry of heavy metal pollutant plumbum (Pb) in the surficial soil of Guiyang, Guizhou, China was studied. The baseline concentration of Pb in soil and the geochemistry norms have been established to distinguish the nature or artificial influence on the environment. The statistical analysis indicated that the baseline of Pb in Guiyang was $14.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Geoaccumulation Index analysis indicated that the unpolluted surface soils accounts for 18 %, 47% between unpollution to mid-pollution, 28% for mid-pollution, 6% between mid-pollution to severe pollution, and only 1% severe pollution. The maximal of Pb contamination degree (CD) is 8.11. CD analysis indicated that the unpolluted surface soils accounts for 49.9%. The total Cd is slightly over zero. So surficial soil in Guiyang suffer slight Pb pollution.

Key words: Pb; baseline; pollution; Guiyang; soil