

某电解铅厂周边农田土壤和玉米中铅污染评价及同位素溯源研究^{*}

孙滨¹,都雪利²,周影³,李波²,王世成²,姚庆祯¹,王颜红^{2**},李国琛^{2**}

(1.中国海洋大学,山东青岛 266100;2.中国科学院沈阳应用生态研究所,辽宁沈阳 110016;3.浙江水美环保工程有限公司,浙江杭州 310013)

摘要:为探究铅在土壤—玉米—大气中的迁移转化行为,以某电解铅厂周边农田土壤和玉米为研究对象,采集距排烟口 50 m、110 m、300 m、500 m、700 m、900 m 和 3 000 m 处的土壤和玉米样品,利用原子吸收光谱仪(AAS)和电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)分别测定土壤、玉米和大气样品的铅含量和同位素比值。结果表明:电解铅厂周边的玉米均受到铅的污染,玉米根中的铅主要来自土壤,籽粒中的铅很有可能大部分来自大气,少部分来自土壤,茎中的铅很可能来自土壤而不是叶面传输;籽粒中的铅与叶片中的铅具有显著的相关关系($P < 0.01$),相关方程为 $y = -0.0002x^2 + 0.0461x - 0.4643$, $R = 0.9667$ 。

关键词:土壤 玉米 大气 铅同位素 溯源

中图分类号:X123 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2019)03-0347-07

0 引言

土壤是农产品安全的保障,更是人类生存的基础。随着经济和社会的发展,我国土壤污染日益严重,其中重金属污染尤为突出,土壤重金属污染对农产品安全、生态系统安全和人类生存发展有着直接影响^[1-3]。目前,我国耕地土壤点位超标率为 19.4%,粮食主产区耕地土壤重金属点位超标率为 21.49%^[4]。因此,耕地重金属污染问题是目前不容忽视的问题之一^[5]。其中,铅在我国耕地重金属污染

中最为突出,其主要来自矿山开采、工业生产和燃料燃烧等活动^[6-7]。我国是铅生产大国和消费大国,但我国企业的铅生产技术普遍落后,设备现代化程度偏低。因此,我国存在十分严重的铅污染问题^[8]。

根据其来源不同,铅可分为放射性成因的铅和非放射性成因的铅,放射性成因的 Pb^{206} 、 Pb^{207} 和 Pb^{208} (自然源)由岩石中的 U^{238} 、 U^{235} 和 Th^{232} 等母体衰变形成;非放射性成因的 ^{204}Pb (人为源)在铅矿石的利用过程中产生,其同位素组成与矿石形成(矿石形成后,体系封闭)的地质年龄有关^[9-12];产品中的铅同位

^{*} 国家重点研发计划项目“农田和农产品重金属源解析与污染特征研究”(2016YFD0800303)资助。

【作者简介】

孙滨(1982—),男,高级工程师,在职研究生,主要从事环境科学研究。

【**通信作者】

王颜红(1963—),女,研究员,主要从事农产品安全与环境质量研究,E-mail:wangyh@iae.ac.cn;李国琛(1983—),女,副研究员,主要从事农产品安全与环境质量研究,E-mail:ligc@iae.ac.cn。

【引用文本】

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20190618.005

孙滨,都雪利,周影,等.某电解铅厂周边农田土壤和玉米中铅污染评价及同位素溯源研究[J].广西科学,2019,26(3):347-353.

SUN B,DOU X L,ZHOU Y,et al. Research on pollution assessment and pollution source of lead isotope in farmland soil and maize around an electrolytic lead factory [J]. Guangxi Sciences,2019,26(3):347-353.

素组成只与原产地矿石的同位素组成相关,主要受放射性元素 U 和 Th 的含量及其衰变时间的影响,而与外界条件(pH 值、Eh、温度、压力和生物作用)的变化基本无关;另外,铅同位素分子质量大,同位素分子质量差小,几乎不产生分馏^[13-14];则铅的同位素特征可作为一种“指纹”,探究铅的来源。

铅同位素的组成有多种表示方法,在环境科学领域最常用的表示方法就是同位素比率,如 Pb^{206}/Pb^{207} 、 Pb^{208}/Pb^{206} 和 Pb^{208}/Pb^{207} 。自然界中, Pb^{204} 丰度较低,不会发生衰变,可以认为 Pb^{204} 丰度保持不变^[15-16]。因此,一般利用 Pb^{206} 、 Pb^{207} 和 Pb^{208} 任意两者的丰度比(比率)研究铅的来源。通过判断污染样品和环境样品铅的同位素丰度比特征,比较污染样品与环境样品(土壤、大气等)的指纹特征,两者相似度越高,说明其对污染样品的贡献度可能越大。因此,铅同位素的这种“指纹”特征被广泛地应用到环境污染源示踪研究^[17-18]。

目前,铅同位素在土壤、沉积物和大气颗粒物方面应用比较广泛,主要利用铅同位素进行污染源示踪研究、重金属迁移速率和路径的机理研究以及污染程度和污染源解析的定量研究^[19-21]。

本研究以某电解铅厂附近农田土壤和玉米为研究对象,利用原子吸收光谱仪测定土壤、玉米和大气样品的铅含量,利用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定土壤、玉米和大气样品的铅同位素比值。结合铅同位素的空间分布和相关性分析,探讨了铅在土壤-植物-大气中的迁移转化行为。

1 研究区域概况与方法

1.1 研究区域概况

研究区位于辽宁省锦州市西部,东靠医巫闾山与北镇接壤,北邻阜新,西界北票,南与锦州毗连,属大陆性季风气候,四季分明,年均气温 7.8℃,年均降水量 530 mm。研究区内矿产丰富,金属矿和非金属矿共 30 多种,金属矿以金、铁为主,非金属矿以原煤、硅石、萤石、白云石、石灰石、沸石及花岗岩、玄武岩膨润土为主。某电解铅厂主营业务为粗铅和电解铅等。

1.2 样品采集

以厂区为中心,沿排烟口下风向布设采样点。布设 3 个大气采样点,在距排烟口分别为 50 m、110 m、300 m、500 m、700 m、900 m 和 3 000 m 处,各布设一个采样点,采集玉米植株和根际土,在远离电解铅厂大于 100 km 处作为控制样点采集样本,并用 GPS

记录采样位置(表 1)。

土壤样品:每个采样点用直径为 5 cm 的取土钻以“梅花形”采集 3 个点位的表层(0~20 cm)混合土土壤;混合均匀后按照四分法取足量样品;剔除植物残体和石块,自然风干;研磨后过 100 目筛,混合均匀,装入聚乙烯塑料袋中备用。

玉米样品:每个点位采集 3 株玉米,每个采样点共 9 株玉米,采集玉米根、茎、叶和籽粒,各部分样品依次用表面活性剂清洗 10 s,自来水冲洗 3 遍,再用去离子水冲洗 3 遍,于 100℃ 杀青 10 min 后,80℃ 烘干至恒重,粉碎、备用。

表 1 采样点设置

Table 1 Sampling points setting

采样地点编号 Number of sampling location	距排烟口距离 Distance from smoke vent (m)
1	50
2	110
3	300
4	500
5	700
6	900
7	3 000

1.3 样品消解

土壤和玉米样品:准确称取样品 0.1 g 于可溶性聚四氟乙烯(PFA)消解罐中,加入 5 mL 65%(V/V) HNO_3 、2 mL 30%(V/V) H_2O_2 和 1 mL 40%(V/V) HF,旋紧消解罐盖,放入微波消解仪内。待消解结束后且温度低于 40℃ 时,将消解罐取出置于电热板上(140℃)赶酸(约 3 h)。再将样品转移至聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)样品瓶中,用二次蒸馏水洗涤 PFA 消解罐 2~3 次,将洗液转移至样品瓶中,定容至 50 mL。

大气样品:将样品膜剪成小块,制成碎末状,准确称取 0.1 g 于专用微波消解管中,加入 4 mL HNO_3 和 1 mL HCl 稍微振荡摇匀,使其没于消解液面以下,旋紧消解罐盖,将其置于消解仪中,待消解完成后,取出消解罐,自然冷却。将消解液转移至 50 mL 聚乙烯离心试管中,2 000 r/min 离心处理 30 min,用注射器吸出上清液转至烧杯中。用二次蒸馏水洗涤残渣,并用中速定量滤纸过滤残液,转至烧杯,定容至 25 mL。

1.4 分析方法

利用 PE Analyst 800 型原子吸收光谱仪(AAS)测定土壤、玉米和大气样品的铅含量,利用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定土壤、玉米和大气样

品的铅同位素比值。同时以土壤标准参考样(GBW-07404), 植物标准参考样(GBW(E)-080684)作为质控标准, 回收率分别为 88.3% 和 89.5%。

2 结果与分析

2.1 玉米各器官铅的含量特征

研究区域玉米各器官铅含量统计分析结果见表 2。玉米各器官中的重金属含量在一定范围内变化, 根: 39.59~69.79 mg/kg; 叶: 27.16~140.67 mg/kg; 茎: 0.08~2.04 mg/kg; 籽粒: 0.54~1.70 mg/kg。距排烟口越近, 籽粒中的铅含量越高, 我国《食品中污染物限量(GB 2762—2017)》规定玉米中的铅含量为 0.2 mg/kg, 则各点处玉米籽粒中的铅含量均明显超标, 说明该电解铅厂已经对玉米造成了严重的危害。另外, 根和叶的铅含量明显高于籽粒和茎, 说明铅主要富集在玉米的叶片和根部。并且, 随着距排烟口距离的增大, 玉米籽粒、叶片中的铅含量有明显降低趋势, 而玉米根和茎中的铅含量没有明显的变化趋势(图 1)。在距排烟口 3 000 m 处, 根中的铅含量增加, 但籽粒和叶片中的铅含量持续降低, 则玉米籽粒和叶片中的铅含量不仅与土壤铅含量有关还受到其他因素的影响。

表 2 玉米土壤、根、茎、叶和籽粒中的 Pb 含量

Table 2 Pb concentrations of soils, maize roots, stalks, leaves and grains

距排烟口的距离 Distance from smoke vent (m)	Pb 含量 Pb concentration (mg/kg)				
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	籽粒 Grain	土壤 Soil
50	69.79	1.50	140.67	1.70	588.0
110	64.48	2.04	66.30	1.50	548.7
300	53.88	1.80	43.40	1.20	612.9
500	48.30	1.70	27.40	1.10	395.3
700	39.59	1.30	44.20	1.20	491.2
900	39.70	1.70	38.30	1.00	453.8
3 000	55.30	0.08	27.16	0.54	90.7

2.2 玉米各器官铅的同位素特征

选取 7 个距排烟口不同距离的土壤及对应的玉米植株样品, 分别测定土壤、玉米根、茎、叶和籽粒中 Pb^{206}/Pb^{207} 和 Pb^{208}/Pb^{206} 的同位素比值, 结果见表 3~4。

从表 3 可以看出, 植物铅同位素的组成变化较大, 其中玉米根 Pb^{206}/Pb^{207} 为 1.139 8~1.164 3, 平均值为 1.153 8; 茎 Pb^{206}/Pb^{207} 为 1.124 9~1.139 7, 平均值为 1.133 7; 叶 Pb^{206}/Pb^{207} 为 1.148 1~

1.166 7, 平均值为 1.158 9; 籽粒 Pb^{206}/Pb^{207} 为 1.166 6~1.175 7, 平均值为 1.170 8; 土壤 Pb^{206}/Pb^{207} 为 1.141 9~1.167 9, 平均值为 1.157 1。玉米根部 Pb^{206}/Pb^{207} 与土壤中 Pb^{206}/Pb^{207} 差别较小, 玉米根部 Pb^{206}/Pb^{207} 比土壤中 Pb^{206}/Pb^{207} 的平均值低

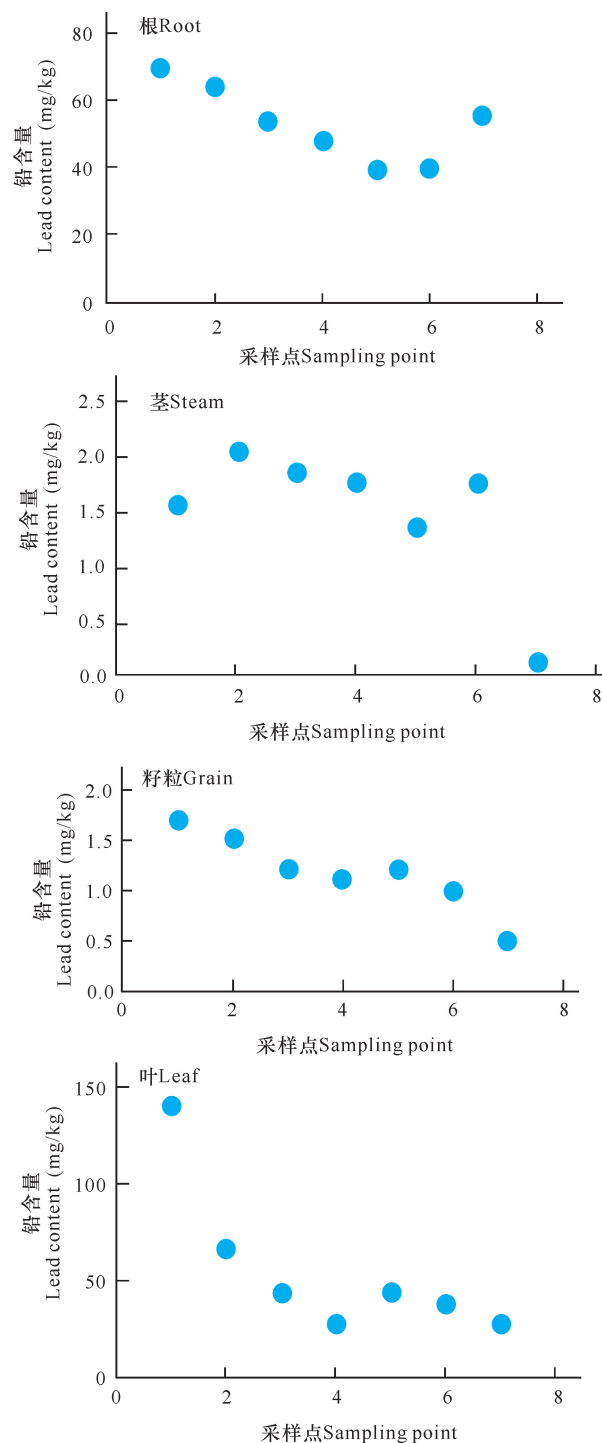


图 1 不同采样点玉米各器官中铅含量

Fig. 1 Pb content of different organs in maize in different sampling points

0.003 3,且玉米根中的铅同素组成大多数在土壤铅同位素组成范围内,说明玉米根中的铅主要来自土壤,玉米地下部分的组成可以反映土壤铅来源的特征;玉米籽粒中 Pb^{206}/Pb^{207} 与土壤中 Pb^{206}/Pb^{207} 差别较大,玉米籽粒中 Pb^{206}/Pb^{207} 平均值比土壤中 Pb^{206}/Pb^{207} 的高 0.013 7,说明玉米籽粒中的铅不仅来自土壤,还有其他来源。玉米茎中 Pb^{206}/Pb^{207} 与玉米叶片中 Pb^{206}/Pb^{207} 差异很大,则玉米茎中的铅不应是来自叶片,而是来自其他源。

从表 4 可以看出,玉米根 Pb^{208}/Pb^{206} 为 2.069 9~2.101 6,平均值为 2.084 3;茎 Pb^{208}/Pb^{206} 为 2.061 1~2.132 8,平均值为 2.092 3;叶 Pb^{208}/Pb^{206} 为 2.080 7~2.095 2,平均值为 2.087 4;籽粒 Pb^{208}/Pb^{206} 为 2.062 9~2.075 8,平均值为 2.069 4;玉米所生长的土壤 Pb^{208}/Pb^{206} 为 2.083 2~2.119 9,平均值为 2.098 6。玉米根 Pb^{208}/Pb^{206} 与对应土壤 Pb^{208}/Pb^{206} 基本相同,进一步说明了玉米根中的铅主要来自土壤;而玉米籽粒中 Pb^{208}/Pb^{206} 与对应土壤 Pb^{208}/Pb^{206} 有明显的不同,进一步说明了玉米籽粒中的铅不仅只有土壤一个来源。玉米茎中 Pb^{208}/Pb^{206} 与玉米叶片中 Pb^{208}/Pb^{206} 差异较大,则玉米茎中的铅不应来自叶片传输,推断其应该直接来自土壤。

表 3 玉米植株各器官及对应土壤的 Pb^{206}/Pb^{207} 比值

Table 3 Pb^{206}/Pb^{207} ratios in different tissues of maize and corresponding soils

距排烟口的距离 Distance from smoke vent (m)	Pb^{206}/Pb^{207}				
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	籽粒 Grain	土壤 Soil
50	1.141 5	1.125 1	1.148 1	1.174 1	1.149 7
100	1.139 8	1.124 9	1.151 8	1.170 2	1.141 9
300	1.148 2	1.132 8	1.155 5	1.168 7	1.156 7
500	1.159 3	1.137 1	1.162 6	1.166 6	1.157 1
700	1.161 3	1.136 6	1.162 8	1.169 8	1.158 8
900	1.162 1	1.139 4	1.166 7	1.170 8	1.167 8
3 000	1.164 3	1.139 7	1.165 4	1.175 7	1.167 9
平均值 Average	1.153 8	1.133 7	1.158 9	1.170 8	1.157 1
最大值 Max	1.164 3	1.139 7	1.166 7	1.175 7	1.167 9
最小值 Min	1.139 8	1.124 9	1.148 1	1.166 6	1.141 9

对测定的 Pb^{208}/Pb^{206} 和 Pb^{206}/Pb^{207} 铅同位素比值作图以判断其分布情况(图 2),图 2 中不同的点代表不同采样点玉米各器官、土壤和大气的铅同位素比值分布情况,可以看出,不同采样点处玉米各器官的

铅同位素比值分布具有一定的差异性,玉米根中的 Pb^{208}/Pb^{206} 和 Pb^{206}/Pb^{207} 与土壤的 Pb^{208}/Pb^{206} 和 Pb^{206}/Pb^{207} 比较接近,并且玉米根中的铅同位素比值均在对应土壤中的铅同位素比值的范围之内,说明土壤是玉米根中铅的主要来源,玉米根直接从土壤中吸收铅,并且主要富集在根部,仅有少部分铅向地上部传输,从而使其具有了土壤铅的同位素特征;玉米籽粒中的 Pb^{208}/Pb^{206} 和 Pb^{206}/Pb^{207} 分布较为集中,但不同于土壤,而是介于土壤和大气的铅同位素比值之间。大气中的铅可通过角质层小孔、气孔和排水器进入到植物叶片或通过光合作用、呼吸作用、蒸腾作用等一系列的生理活动使大气中的铅紧紧附着在表皮,叶片中的铅可以通过表皮细胞进入到植物体内,后经一系列的生物物理化学作用使得铅成为某种络合物积聚在植株体里。因此,玉米籽粒不仅从土壤中吸收铅,同时也受到了大气中铅的影响。

表 4 玉米植株各器官及对应土壤的 Pb^{208}/Pb^{206} 比值

Table 4 Pb^{208}/Pb^{206} ratios in different tissues of maize and corresponding soils

距排烟口的距离 Distance from smoke vent (m)	Pb^{208}/Pb^{206}				
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	籽粒 Grain	土壤 Soil
50	2.091 5	2.136 2	2.087 8	2.062 9	2.100 3
100	2.101 6	2.132 8	2.091 9	2.071 6	2.119 9
300	2.093 3	2.080 5	2.095 2	2.073 0	2.098 3
500	2.080 6	2.080 8	2.090 3	2.075 8	2.099 2
700	2.077 5	2.061 1	2.083 4	2.070 5	2.101 8
900	2.075 6	2.071 4	2.080 7	2.070 5	2.083 2
3 000	2.069 9	2.083 4	2.082 1	2.063 1	2.087 5
平均值 Average	2.084 3	2.092 3	2.087 4	2.069 4	2.098 6
最大值 Max	2.101 6	2.132 8	2.095 2	2.075 8	2.119 9
最小值 Min	2.069 9	2.061 1	2.080 7	2.062 9	2.083 2

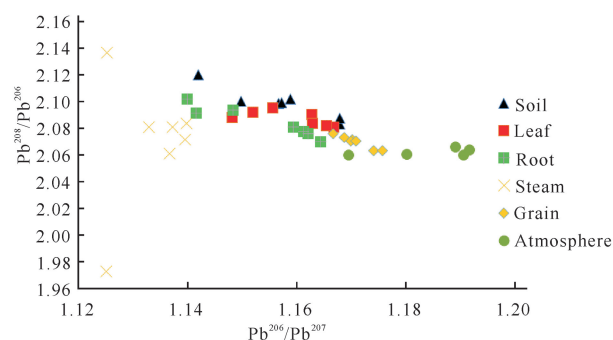


图 2 玉米植株与环境的同位素组成对比

Fig. 2 Comparison of isotope compositions of maize plant and environment

2.3 土壤-植物-大气铅同位素示踪

本研究中,土壤是来自于电解铅厂附近,因此该

区域的土壤铅同位素应与电解铅厂排烟口所排气体有相似的同位素比值, 然而研究表明, 土壤中的铅同位素比值与大气中铅的同位素比值不同, 说明土壤和大气代表不同的铅来源; 玉米各器官中的铅同位素比值与土壤和大气中的铅同位素比值均存在不同程度的差异, 说明玉米各器官中的铅并非来自相同的源(图 3)。

虽然距排烟口不同距离的土壤中铅含量和同位素比值不同, 但是同一采样点的玉米叶片与籽粒有比较相似的铅同位素比值, 但明显不同于茎的铅同位素比值, 说明玉米籽粒中的铅不仅来自土壤, 还有可能来自玉米叶片。另外, 大气样本的 Pb^{208}/Pb^{206} 和 Pb^{206}/Pb^{207} 分别为 2.058 9~2.065 6 和 1.169 5~1.191 7, 部分玉米籽粒的铅同位素比值与大气相似。因此, 说明大气中的铅对玉米籽粒产生了一定影响, 是玉米籽粒铅的一个重要来源。

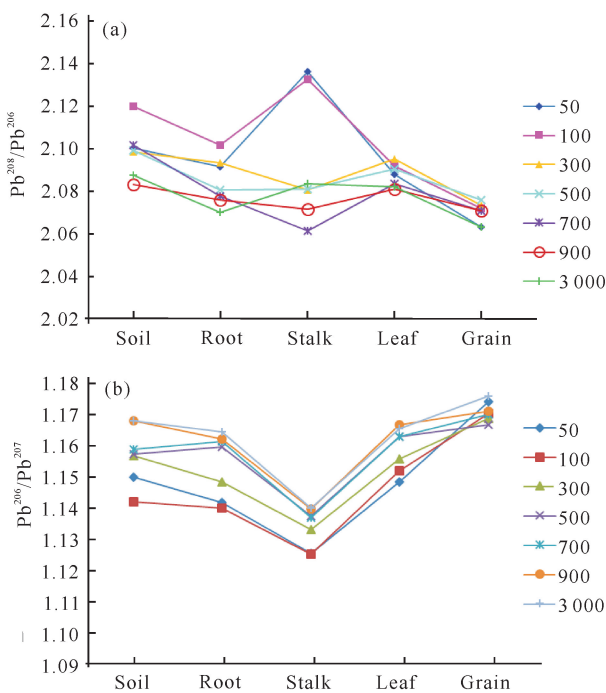


图 3 不同采样点的玉米植株及其所生长土壤的铅同位素比值

Fig. 3 Lead isotope ratios of maize plants and their growing soil

为了探明玉米籽粒中的铅是否来自大气沉降, 我们对玉米籽粒进行了清洗实验, 研究结果见表 5。玉米经过清洗后, 玉米籽粒铅的去除率为 -0.055 0%~0.480 0%, 去除率很低。玉米的苞皮阻止了外界铅对籽粒的影响, 玉米籽粒中的铅很有可

能是通过韧皮部从叶面进行吸收的。因此, 玉米籽粒中的铅不是来自大气沉降。

表 5 清洗与未清洗玉米籽粒铅含量分析

Table 5 Analysis of lead content in cleaned and unwashed maize grain

采样地点 Sampling point	铅含量 Lead content (mg/kg)		
	清洗前 Before cleaning	清洗后 After cleaning	去除率 Removal rate (%)
1	1.708 3	1.706 6	0.099 5
2	1.541 7	1.540 1	0.103 8
3	1.666 7	1.659 8	0.414 0
4	1.125 0	1.119 6	0.480 0
5	1.252 0	1.239 9	0.966 5
6	1.000 0	1.001 6	-0.160 0
7	0.541 7	0.542 0	-0.055 0

通过以上分析可知, 玉米籽粒中的铅来自叶片吸收的大气中的铅。在此基础上, 对玉米叶片和籽粒中的铅含量进行相关分析(图 4), 结果表明, 籽粒中的铅与叶面铅有显著的相关关系($P < 0.01$), 籽粒中的铅随着叶面铅含量的增加而增加, 进一步说明了大气(玉米叶片)中的铅是玉米籽粒中铅的一个主要来源。

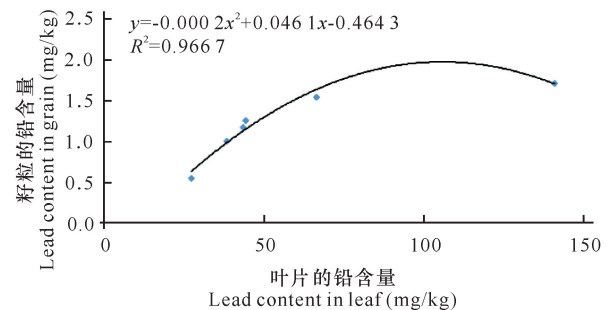


图 4 叶片 Pb 含量与籽粒 Pb 含量的相关性

Fig. 4 Correlation between Pb content in leaves and Pb content in grains

3 结论

距排烟口越近, 籽粒中的铅含量越高, 各采样点处玉米籽粒中的铅含量均明显超标, 该电解铅厂已经对玉米造成了严重的危害。

玉米籽粒中的 Pb^{208}/Pb^{206} 和 Pb^{206}/Pb^{207} 铅同位素比值分布较为集中, 但不同于土壤, 而是介于土壤和大气的铅同位素之间, 其原因为玉米籽粒不仅从土壤中吸收铅, 而且从大气中吸收铅。电解铅厂周边玉米根中的铅主要来自土壤, 籽粒中的铅很有可能大部分来自大气。

玉米茎的 Pb^{208}/Pb^{206} 和 Pb^{206}/Pb^{207} 与叶片的 Pb^{208}/Pb^{206} 和 Pb^{206}/Pb^{207} 有很大的不同, 说明茎中

的铅不可能是通过叶面传输,很有可能是直接来源于土壤。

籽粒中的铅随着叶片铅的增加而增加,籽粒中的铅与叶片铅有显著的相关关系($P < 0.01$),相关方程为 $y = -0.0002x^2 + 0.0461x - 0.4643$, $R = 0.9667$ 。

参考文献

- [1] ZHAO F J, MA Y, ZHU Y G. Soil contamination in China: Current status and mitigation strategies [J]. *Environmental Science and Technology*, 2015, 49(2): 750-759.
- [2] ARAO T, ISHIKAWA S, MURAKAMI M, et al. Heavy metal contamination of agricultural soil and counter-measures in Japan [J]. *Paddy and Water Environment*, 2010, 8(3): 247-257.
- [3] 陈卫平, 杨阳, 谢天, 等. 中国农田土壤重金属污染防治挑战与对策[J]. *土壤学报*, 2018, 55(2): 261-272.
- [4] 尚二平, 许尔琪, 张红旗, 等. 中国粮食主产区耕地土壤重金属时空变化与污染源分析[J]. *环境科学*, 2018, 99(10): 4670-4683.
- [5] 周川, 姜和. 土壤重金属污染危害及修复方法探究[J]. *绿色科技*, 2018, 20: 140-141.
- [6] 李小平, 王继文, 赵亚楠, 等. 城市土壤中铅地球化学过程与儿童铅暴露的关系[J]. *国外医学医学地理分册* 2016, 37(2): 85-92.
- [7] 于瑞莲, 胡恭任. 土壤中重金属污染源解析研究进展[J]. *有色金属*, 2008, 60(4): 158-165.
- [8] 肖承坤. 我国铅污染现状分析[J]. *环境与可持续发展*, 2017, 42(5): 91-92.
- [9] PENG B, TANG X Y, YU C X, et al. Geochemistry of trace metals and Pb isotopes of sediments from the lowermost Xiangjiang River, Hunan Province (P. R. China): Implications on sources of trace metals [J]. *Environmental Earth Science*, 2011, 64(5): 1455-1473.
- [10] REIMANN C, FABIAN K, FLEM B, et al. Pb concentrations and isotope ratios of soil O and C horizons in Nord-Trøndelag, central Norway: Anthropogenic or natural sources? [J]. *Applied Geochemistry*, 2016, 74: 56-66.
- [11] 谢伟城, 彭渤, 匡晓亮, 等. 湘江长潭株段河床沉积物重金属污染源的铅同位素地球化学示踪[J]. *地球化学*, 2017, 46(4): 380-394.
- [12] 赵多勇, 魏益民, 魏帅, 等. 基于铅同位素解析技术的土壤铅污染来源解析[J]. *安全与环境学报*, 2015, 15(6): 329-333.
- [13] CICHELLA D, HOOGEWERFF J, ALBANESE S, et al. Distribution of toxic elements and transfer from the environment to humans traced by using lead isotopes. A case of study in the Sarno River basin, south Italy [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2016, 38(2): 619-637.
- [14] BELAMRI M, BENRACHEDI K. Evaluation of air pollution by heavy metals on Bab EI Oued Zone of Algiers [J]. *Asian Journal of Chemistry*, 2010, 22(4): 2753-2760.
- [15] 林勇征, 吴鹏盛. 铅同位素示踪的研究现状[J]. *科技创新与应用*, 2016, 28: 60-61.
- [16] 孙境蔚, 胡恭任. 多元统计与铅同位素示踪解析旱地垂直剖面土壤中重金属来源[J]. *环境科学*, 2016, 37(6): 2304-2312.
- [17] WALRAVEN N, VAN OS B J H, KLAVER G T, et al. The lead (Pb) isotope signature, behavior and fate of traffic-related lead pollution in roadside soils in The Netherlands [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 472: 888-900.
- [18] KAYHANIAN M. Trend and concentrations of legacy lead (Pb) in highway runoff [J]. *Environmental Pollution*, 2012, 160: 169-177.
- [19] ESCOBAR J, WHITMORE T J, KAMENOV G D, et al. Isotope record of anthropogenic lead pollution in lake sediments of Florida, USA [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2013, 49(2): 237-252.
- [20] WHITEHEAD K, RAMSEY M H, MASKALL J, et al. Determination of the extent of anthropogenic Pb migration through fractured sandstone using Pb isotope tracing [J]. *Applied Geochemistry*, 1997, 12(1): 75-81.
- [21] 陈好寿, 斐辉东, 张霄宇. 杭州市区土壤铅、镉同位素示踪研究[J]. *浙江地质*, 1999, 15(1): 43-48.

Research on Pollution Assessment and Pollution Source of Lead Isotope in Farmland Soil and Maize around an Electrolytic Lead Factory

SUN Bin¹, DOU Xueli², ZHOU Ying³, LI Bo², WANG Shicheng², YAO Qingzhen¹,
WANG Yanhong², LI Guochen²

(1. Ocean University of China, Qingdao, Shandong, 266100, China; 2. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Science, Shenyang, Liaoning, 110016, China; 3. Zhejiang Shuimei Environmental Protection Engineering Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310013, China)

Abstract: In order to explore the migration and transformation behavior of lead in soil-maize-atmosphere, the soil and maize in the farmland around an electrolytic lead plant were taken as research objects, and soil and maize samples at 50 m, 110 m, 300 m, 500 m, 700 m, 900 m and 3 000 m from the exhaust vents were collected. The lead content and isotope ratio of soil, maize and atmospheric samples were measured by atomic absorption spectrometry (AAS) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), respectively. The results show that the maize around the electrolytic lead plant is polluted by the lead plant, and the lead in the roots of maize mainly comes from the soil. It is very likely that the lead in the grain mostly comes from the atmosphere, and a small part comes from the soil. The lead in the stems probably comes from the soil rather than leaf transport. There is a significant correlation between the lead in the grains and the lead in the leaves ($P < 0.01$). The correlation equation is $y = -0.0002x^2 + 0.0461x - 0.4643$, $R = 0.9667$.

Key words: soil, maize, atmosphere, lead isotope, pollution source

责任编辑:陆雁



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxkx@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxkx.ijournal.cn/gxkxyxb/ch>