

南方某工业区周边土壤和蔬菜中铅的健康风险评估

谭科艳¹⁾, 陈燕芳²⁾, 汤奇峰¹⁾, 刘久臣¹⁾, 杨永亮¹⁾

1) 中国地质科学院国家地质实验测试中心, 北京 100037;

2) 浙江省地质矿产研究所, 浙江杭州 310007

摘 要: 在南方某城市工业区周边采集了蔬菜样品 100 个、土壤样品 145 个, 分析了土壤和蔬菜中铅的含量水平, 对其健康风险进行了评估; 并通过计算富集系数筛选出抗铅污染能力较强的蔬菜品种。研究区土壤中铅累积明显, 共有 135 个土壤样品中的铅含量超过了二级土壤环境质量标准。蔬菜样品中铅含量范围为 1.41 ~ 303.10 mg·kg⁻¹, 均超过食品中污染物限量标准, 超标率达到 100%。其中, 叶类蔬菜的铅含量明显高于根茎类和瓜果类蔬菜; 瓜果类蔬菜的铅富集系数最低, 抗污染能力最强, 而根茎类和叶类蔬菜对人群健康存在严重的健康风险。

关键词: 重金属; 铅; 生物富集系数; 土壤; 蔬菜; 健康风险

中图分类号: X53; X820.4 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.05.11

The Evaluation of Health Risks in Soils and Vegetables around an Industrial Area in South China

TAN Ke-yan¹⁾, CHEN Yan-fang²⁾, TANG Qi-feng¹⁾, LIU Jiu-chen¹⁾, YANG Yong-liang¹⁾

1) National Research Center for Geoanalysis, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) Zhejiang Institute of Geologic and Mineral Resources, Hangzhou, Zhejiang 310007

Abstract: 100 samples of vegetables and 145 samples of soils were collected around an industrial area in south China. Their health risks were evaluated, and high lead pollution-tolerant vegetables were selected through calculating bioconcentration factors (BCF). Lead accumulation in soils was obvious. Lead concentrations of 135 soil samples exceeded the second level of Environmental Quality Standard for Soils promulgated by Chinese Government. Lead concentrations in vegetables were in the range of 1.41–303.10 mg·kg⁻¹. According to Maximum Levels of Contaminants in Foods promulgated by Chinese Government, lead concentrations of all vegetable samples were above the limitation. Lead content of leafy vegetables was higher than that of gourd and fruit vegetables as well as rootstock vegetables. Lead bioconcentration factors of gourd and fruit vegetables were the lowest, while their lead pollution-tolerance was the highest. Rootstalk vegetables and leafy vegetables may pose a serious health risk to local residents.

Key words: heavy metal; lead; bioconcentration factor; soil; vegetable; health risk

本研究以南方某城市冶炼企业密布的工业区周围菜地和蔬菜为例, 全面调查了土壤和蔬菜中铅含

量状况, 在综合分析数据的基础上评价了土壤污染水平, 评估了当地居民蔬菜铅的摄入健康风险, 为

本文由国家自然科学基金项目(编号: 41073011)、地调工作项目(编号: 1212011120286)、国土资源部公益性行业科研专项(编号:

2002350900136)和“江西赣南离子型稀土矿开采对生态系统的影响机制和环境修复技术研究”(编号: 201211078-03)联合资助。

收稿日期: 2012-06-20; 改回日期: 2012-07-13。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 谭科艳, 女, 1979 年生。助理研究员。主要从事环境地球化学与环境修复技术方向的研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号国家地质实验测试中心。E-mail: tankeyan@263.net。

当地农民优化种植结构提供科学依据。

前人(卢桂兰等, 2005; 王茂起等, 2003; 沈彤等, 2005; 王玉莲等, 2004; 姜理英等, 2002; 郑娜等, 2007; 杜平等, 2006; Fu et al., 2008; Hang et al., 2009; 钟道旭等, 2011)对该地区作物或土壤中重金属元素作了评价与某些作物和土壤重金属元素含量的相关性的分析研究。本研究在全面分析不同种类蔬菜和土壤样品中铅含量的基础上, 评价了该地区土壤铅污染水平, 并将蔬菜分为三种不同类型, 通过计算 THQ 值评估该地区不同种蔬菜对人体健康的风险。

1 研究区概况

研究区位于某南方某工业城市的西北郊区, 密布一百多家大小冶炼厂及化工企业地区。该地区土壤以地带性红壤为主, 母质主要为板页岩、砂岩、紫砂岩、第四纪红土等, 土壤呈酸性或强酸性, pH 从 5.0 到 7.6。农田土壤大部分为水稻土和菜地土, 农作物主要为水稻和蔬菜。秋冬季多西北风, 夏季多正南风, 年平均气温为 16~18℃, 年均积温(>10℃)为 5000~9500℃, 年均降水量为 1400~1700 mm(郭朝晖等, 2004), 以酸性降水为主。

2 铅地球化学行为及迁移规律

2.1 铅的地球化学行为

铅在土壤中迁移能力弱, 在污染土壤中, 铅在不同发生层间的含量变化不很显著, 仅在有机质或粘粒含量较高的土层中, 铅的含量稍高。沉积在土壤中的外源铅大都停留在土壤表层。但由于耕作、生物作用等原因, 耕作层的铅含量受到明显影响, 一般是表层含量最多, 随深度增加而急剧降低, 在 20 cm 以下就趋于自然水平。

铅在污染土壤表层的水平分布随污染方式而异。污灌区入水口处土壤中铅含量最高, 随水流方向含量逐降。在公路两侧受汽车尾气影响的铅污染土壤, 沿公路两侧呈带状分布, 土壤铅含量由高而低。

2.2 铅对作物、人体的危害

铅对植物和人体来说都是非必需元素, 并且半衰期长, 在土壤及生物体内都不易代谢, 容易累积。铅对作物的影响主要表现在作物的产量和质量。低浓度的铅可对某些植物表现出刺激作用, 而高浓度的铅除在作物可食部分产生残毒外, 还表现为幼苗萎缩、生长缓慢、产量下降甚至绝收。在利用作物生态效应研究土壤重金属最大允许含量时, 一般采用产量降低 10%或可食部分超过食品卫生标准时土

壤铅含量作为依据。

Pb 一般经呼吸道、消化道及皮肤进入人体, 几乎可以损害所有的器官, 铅中毒涉及神经系统、血液系统、消化系统(胃肠道)、泌尿系统等, 乃至引起细胞癌变(李瑞萍等, 2009)。小剂量的铅吸收产生精神障碍。我国对冶炼厂、电瓶厂有铅接触史的工人调查表明, 吸收铅的工人表现出记忆衰退, 容易疲劳, 头昏、睡眠障碍等症状。铅中毒可以引起动脉高血压和肾功能不全的并发症。在水被铅污染地区调查结果表明高血压患者的 Pb-B 比对照组高(谭科艳等, 2011)。儿童和胎儿对铅最敏感, 受害最严重。对于儿童, 铅进入体内是以土-手-口直接摄入为主。越来越多的证据说明, 一些无临床中毒症状的儿童, 由于吸收过量的铅, 实际上已经存在着神经系统方面的损伤。

3 样品采集与评价

3.1 样品采集与处理方法

本研究采集了 2011 年 6 月至 2011 年 11 月期间在研究区范围内农田表层土壤(0~20 cm)及蔬菜样品。共采集了 145 个表层土壤样品和 300 个蔬菜样品。为了保证采集的蔬菜品种的代表性, 选择了当地的优势菜种: 白菜、油菜、辣椒、韭菜等。

蔬菜预处理方法: 摘取新鲜成熟期可食用部分作为样品, 蔬菜采集后去掉腐烂叶子, 样品用自来水反复清洗, 去除附着在表面的泥土, 然后用去离子水反复漂洗, 晾干, 用不锈钢刀切成小块, 在 50 度烘箱中烘 48 h, 粉碎备用。铅的测定与质量控制: 样品测试选用 HNO₃-HClO₄ 方法消煮, 石墨炉-原子吸收光谱法测定铅。分析过程加入国家标准植物样品(GSV-3)进行分析质量控制(杨惠芬等, 1998)。

土壤样品的采集充分考虑到所采地的规模, 在具有一定规模的菜地采集土壤(黄泽春等, 2006; 郑表明等, 2005), 土壤样品取自 10 m × 10 m 正方形 4 个顶点和中心点, 各取表层(0~20 cm)土壤 1 kg, 混匀后用四分法从中选取 1 kg 土壤作为混合样品。采样过程避免与金属工具接触。土壤样品在室内风干, 去除杂物, 过 1 mm 尼龙筛, 用四分法取部分样品过 120 目尼龙筛备用。样品的混合、装袋、粉碎、研磨等处理均使用木头、塑料或玛瑙等工具。采用美国国家环保局推荐的 USEPA 3050B 方法消煮(USEPA, 1996), 石墨炉-原子吸收光谱法测定铅(杨惠芬等, 1998)。分析过程加入国家标准土壤样品(GSS-1)进行分析质量控制。分析过程所用试剂均为优级纯, 所用的水均为超纯水(亚沸水)。

3.2 数据统计分析

本研究采用 Arc GIS 作图, 方差分析和聚类分析采用 SPSS 17.0 完成。评价标准采用《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)中国家二级标准作为环境质量的标准(国家环境保护局, 1995)。蔬菜的评价标准采用《食品中污染物限量标准》(中华人民共和国卫生部, 2005)。

4 结果与分析

4.1 土壤铅含量特征

研究区菜地土壤铅含量离异度较大并呈正偏态分布(图 1)。含量范围、算术均值和中值分别为 154.40 ~ 3982.00 mg·kg⁻¹、674.47 mg·kg⁻¹、659.60 mg·kg⁻¹, 与该省土壤铅背景值相比, 该研究区菜地土壤铅含量表现出极明显的累积效应, 平均积累指数(菜地土壤铅含量与土壤铅背景值的比值)为 24.71, 显著高于中国《土壤环境质量标准》(GB15618-95)二级标准(pH>7.5 时为 350 mg·kg⁻¹)(国家环境保护局, 1995), 明显高于《土壤环境质量标准》(GB15618-95)三级标准(pH>6.5 时为

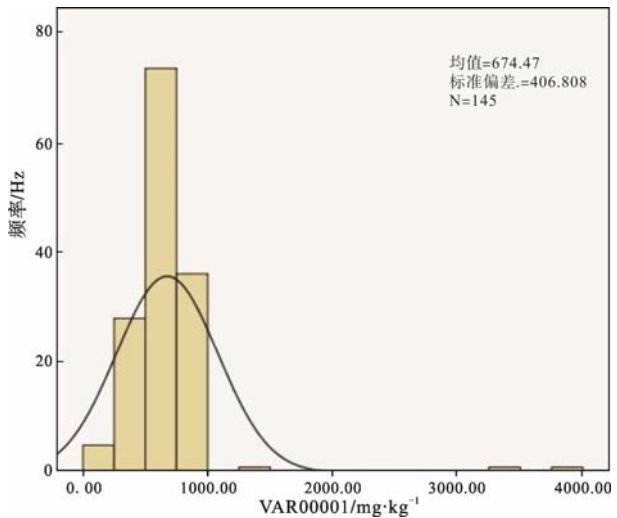


图 1 菜地土壤铅含量频率图
Fig.1 Frequency distribution of soil Pb in vegetable fields

500 mg·kg⁻¹) (国家环境保护局, 1995)。

4.2 蔬菜中铅含量特征

将蔬菜样品分为瓜果类、根茎类和叶菜类三种品种, 见表 3。从研究区采集的 100 个蔬菜样品的铅浓度基本统计数据来看, 铅浓度存在很大差异, 铅整体浓度范围为 1.41 ~ 303.10 mg·kg⁻¹, 从品种上看, 铅浓度随叶菜类、根茎类、瓜果类依次递减。瓜果类铅含量范围为 1.41 ~ 99.11 mg·kg⁻¹, 根茎类含量范围为 12.85 ~ 128.40 mg·kg⁻¹, 叶菜类含量范围为 8.89 ~ 303.10 mg·kg⁻¹。对照《食品中污染物限量标准》(中华人民共和国卫生部, 2005)中铅限量指标, 水果类、球茎类、叶菜类的标准分别为 0.2 mg·kg⁻¹、0.3 mg·kg⁻¹、0.3mg·kg⁻¹, 研究区内相应种类蔬菜分别超标 107.95、262.63、319.37 倍, 超标情况严重。

4.3 蔬菜的铅富集系数

将三种类型的蔬菜进行计算得到蔬菜中铅的富集系数(蔬菜中铅含量与土壤中铅含量的比值), 见表 2。铅富集系数越小, 则表明其吸收铅的能力越差, 抗土壤铅污染的能力则较强。瓜果类对土壤铅的富集系数最小, 根茎类其次, 叶菜类对土壤铅富集系数最大。针对研究区菜地中铅含量比较高的情况, 且当地农民种植蔬菜多为自产自销, 建议当地农民多种植瓜果类蔬菜, 减少种植叶菜类蔬菜, 以增强当地人群抗铅污染的能力。

4.4 健康风险评估

风险评估采用美国保护署(USEPA)的商值计算方法(USEPA, 2009)。评估过程假设如下: ①烹饪过程对蔬菜重金属的含量没有影响; ②蔬菜铅摄入效应为非致癌效应; ③居民日常食用蔬菜均为本地生产。因此, 风险商为暴露剂量与参考剂量比值: $THQ = (EF \times ED \times Con \times C) / (BW \times AT \times 365 \times RfD)$ 。

式中THQ为风险商, EF为暴露频率(d), ED为暴露持续时间(a), Con为蔬菜摄入率(kg/d), C为蔬菜中重金属的浓度(mg·kg⁻¹), BW为体重(kg), AT为平均寿命(a), RfD为重金属的参考剂量(mg/(kg·d))。

表 1 研究区蔬菜中铅浓度
Table 1 Lead concentration in vegetables of the study area

蔬菜品种	n	范围	中值	蔬菜铅浓度	
				均值(标准差)	方差
瓜果类 A	20	1.41 ~ 99.11	4.16	21.59(6.61)	874.75
根茎类 B	6	12.85 ~ 128.40	83.78	78.79(17.61)	1860.31
叶菜类 C	74	8.89 ~ 303.10	73.69	95.81(8.31)	5109.34

A 类包括辣椒、黄瓜、茄子、豇豆、丝瓜、绿豆、四季豆; B 类包括萝卜、红薯、葱; C 类包括空心菜、苋菜、小白菜、韭菜、油菜、包菜、香菜、红菜苔、雪里蕻、豌豆苗。

表 2 不同品种蔬菜对土壤的铅富集系数
Table 2 Bioconcentration factors (BCF) of Pb in different species of vegetables

蔬菜品种	n	均值	铅富集系数		
			范围	中值	方差
瓜果类 A	20	0.03(0.01)	0.002—0.15	0.01	0.002
根茎类 B	6	0.12(0.03)	0.02—0.19	0.12	0.004
叶菜类 C	74	0.14(0.01)	0.01—0.45	0.11	0.011

A 类包括辣椒、黄瓜、茄子、豇豆、丝瓜、绿豆、四季豆; B 类包括萝卜、红薯、葱; C 类包括空心菜、苋菜、小白菜、韭菜、油菜、包菜、香菜、红菜苔、雪里蕻、豌豆苗。

表 3 蔬菜类别表
Table 3 Chart of different species of vegetables

品种	名称	n
瓜果类 A	辣椒	4
	芦笋	1
	绿豆	2
	黄瓜	5
	豇豆	1
	南瓜	1
	西红柿	1
	丝瓜	1
	茄子	2
	四季豆	2
根茎类 B	萝卜	2
	红薯	1
	香葱	1
叶菜类 C	空心菜	5
	苋菜	2
	小白菜	34
	油菜	5
	大白菜	7
	韭菜	10
	生菜	1
	芹菜	2
	包菜	2
	花菜	1
	香菜	1
	茼蒿叶	1
	红菜苔	1
	雪里蕻	1
	豌豆苗	1

FAO/WHO在 1993 年建议每周允许铅摄入量(暂定)为 25 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{DW}$ (WHO, 1993)。中国成年人平均体重以 56 kg计(Wang et al., 2005), RfD值为 0.0036 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 设重金属污染物通过土壤-植物-人体途径的摄入量为人体实际总摄入量的 30%, 根据我国平均食物消费结构, 人均每天消费蔬菜作物 0.5 kg, 计算得出瓜果类、根茎类、叶菜类的THQ值分别为

0.74、2.71、3.30, 表明根茎类和叶菜类的蔬菜对人群健康存在严重的健康风险。当THQ=1 时反推出蔬菜中Pb的最大允许浓度为 29.03 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 研究区 100 个蔬菜样品中有 75 个超过健康风险的最大允许浓度。

5 讨论

大气沉降对农业土壤中铅输入的贡献率最大(Nicholson et al., 2003), 研究区菜地土壤中铅含量高, 当地为大型冶炼厂周边菜地, 距厂区 2~5 km, 土壤中铅含量高与人类生产生活有极大关系。

研究区内蔬菜中铅含量存在严重的超标情况, 叶类蔬菜的超标情况最严重, 而实地现场采样发现, 当地农民种植的优势蔬菜主要还是叶类蔬菜, 建议政府对当地农民的种植结构进行合理引导, 以减少铅污染对人群健康的威胁。

作为工业区冶炼厂周边的行政区, 针对菜地土壤中铅含量超过《土壤环境质量标准》(GB15618-95)三级标准的现状, 根据该标准的规定三类标准主要为保障农林业生产和植物正常生长的土壤临界值, 应该通过规划层面上考虑更改该地区的土地利用功能或者采取合理有效的土壤重金属污染修复技术来改善当地土壤的质量。

6 结论

与研究区所在省份铅背景值相比, 该地区土壤铅平均累计指数为 24.71。

蔬菜中铅浓度随叶菜类、根茎类、瓜果类依次递减。瓜果类铅含量范围为 1.41~99.11 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 根茎类含量范围为 12.85~128.40 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 叶菜类含量范围为 8.89~303.10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。且与《食品中污染物限量标准》中铅限量指标相比, 三种蔬菜的超标率严重。

当地蔬菜中, 叶菜类铅富集系数最大, 根茎类次之, 瓜果类最小。即瓜果类蔬菜抗铅污染能力较好, 根茎类次之, 抗铅污染能力最差的是叶菜类蔬

菜。应该鼓励当地农民优化种植结构, 多种植瓜果类蔬菜。

通过计算 THQ 值, 根茎类和叶菜类的蔬菜对当地人群存在严重的健康风险。

参考文献:

- 杜平, 张跃进, 杜晓明, 王世杰, 徐忠厚, 国力君, 李发生. 2006. 某锌厂周围表层土壤及典型剖面镉污染特征[J]. 环境科学研究, 19(5): 113-117.
- 郭朝晖, 朱永官. 2004. 典型矿冶周边地区土壤重金属污染及有效性含量[J]. 生态环境, 13(4): 553-555.
- 国家环境保护局. 1995. 土壤环境质量标准 GB15618—95[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 黄泽春, 宋波, 陈同斌, 郑袁明, 杨军. 2006. 北京市菜地土壤和蔬菜的锌含量及其健康风险评估[J]. 地理研究, 25(3): 439-448.
- 姜理英, 杨肖娥, 叶海波, 石伟勇, 蒋玉根. 2002. 炼铜厂对周边土壤和作物体内重金属含量及其空间分布的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 28(6): 689-693.
- 李瑞萍, 王安建, 曹殿华, 耿诺, 高兰, 邹为雷, 赵以辛, 修群业. 2009. 云南兰坪金顶铅锌矿区土壤中 Pb 分布特征[J]. 地球学报, 30(1): 72-78.
- 卢桂兰, 韩梅, 李发生. 2005. 北京市通州污灌区土壤环境质量监测和蔬菜重金属污染状况研究[J]. 中国环境监测, 21(5): 54-57.
- 沈彤, 刘明月, 贾来, 沈丹. 2005. 长沙地区蔬菜重金属污染初探[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 31(1): 87-90.
- 谭科艳, 刘晓端, 汤奇峰, 刘久臣, 袁欣, 杨永亮. 2011. 华北平原土壤环境重金属元素分布规律及其意义[J]. 地球学报, 32(6): 732-738.
- 王茂起, 王竹天, 冉陆, 韩宏伟, 王永芳, 杨大进. 2003. 2000—2001 年中国食品污染物监测研究[J]. 卫生研究, 32(4): 322-326.
- 王玉莲, 刘冰, 刘群. 2004. 泰安市夏季蔬菜中化学污染物污染状况及预防控制措施的研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 35(2): 191-195.
- 杨惠芬, 李明元, 沈文. 1998. 食品卫生理化检验标准手册[S]. 北京: 中国标准出版社: 101-104.
- 郑娜, 王起超, 郑冬梅. 2007. 锌冶炼厂周围重金属在土壤-蔬菜系统中的迁移特征[J]. 环境科学, 28(6): 1349-1354.
- 郑袁明, 陈同斌, 陈煌, 郑国砥, 罗金发. 2005. 北京市不同土地利用方式下土壤铅的积累[J]. 地理学报, 60(5): 791-797.
- 钟道旭, 韩存亮, 蒋金平, 林德喜, 吴龙华, 黄玉娟, 骆永明, 蒋玉根. 2011. 镀锌厂周围农田土壤-水稻中重金属污染及其风险[J]. 土壤, 43(1): 143-147.
- 中华人民共和国卫生部. 2005. 食品中污染物限量标准(GB 2762—2005)[S]. 北京: 中国标准出版社.

References:

- DU Ping, ZHANG Yue-jin, DU Xiao-ming, WANG Shi-jie, XU Zhong-hou, GUO Li-jun, LI Fa-sheng. 2006. Studies on Cadmium Contamination of Topsoil and Soil Profiles around a Zinc Plant[J]. Research of Environmental Sciences, 19(5): 113-117(in Chinese with English abstract).
- GUO Zhao-hui, ZHU Yong-guan. 2004. Contamination and available contents of heavy metals in soils in the typical mining and smelting circumjacent districts[J]. Ecology and Environment, 13(4): 553-555(in Chinese with English abstract).
- FU J J, ZHOU Q F, LIU J M, LIU W, WANG T, ZHANG Q H, JIANG G B. 2008. High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health[J]. Chemosphere, 71(7): 1269-1275.
- HANG X S, WANG H Y, ZHOU J M, MA C L, DU C W, CHEN X Q. 2009. Risk assessment of potentially toxic element pollution in soils and rice (*Oryza sativa*) in a typical area of the Yangtze River Delta[J]. Environmental Pollution, 157(8-9): 2542-2549.
- HUANG Ze-chun, SONG Bo, CHEN Tong-bin, ZHENG Yuan-ming, YANG Jun. 2006. A survey of zinc concentrations in vegetables and soils in Beijing and their health risk[J]. Geographical Research, 25(3): 439-448(in Chinese with English abstract).
- JIANG Li-ying, YANG Xiao-e, YE Hai-bo, SHI Wei-yong, JIANG Yu-gen. 2002. Effect of copper refining on spatial distribution of heavy metal in surrounding soils and crops[J]. Journal of Zhejiang University(Agriculture & Life Sciences), 28(6): 689-693(in Chinese with English abstract).
- LI Rui-ping, WANG An-jian, CAO Dian-hua, GENG Nuo, GAO Lan, ZOU Wei-lei, ZHAO Yi-xin, XIU Qun-ye. 2009. Distribution of Pb in Soils of the Jinding Pb-Zn Deposit, Lanping, Yunnan Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(1): 72-78(in Chinese with English abstract).
- LU Gui-lan, HAN Mei, LI Fa-sheng. 2005. Monitoring of soil environment pollution and vegetable contamination by heavy metals in Tongzhou irrigation area of Beijing city[J]. Environmental Monitoring in China, 21(5): 54-57(in Chinese with English abstract).
- Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. 1995. Environmental quality standard for soils(GB15618—95)[S]. Beijing: China Standards Press(in Chinese).
- Ministry of Health of the People's Republic of China. 2005. Maximum levels of contaminants in foods(GB 2762—2005)[S]. Beijing: China Standards Press(in Chinese).
- NICHOLSON F A, SMITH S R, ALLOWAY B J, CARLTON-SMITH C, CHAMBERS B J. 2003. An inventory

- of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales[J]. The Science of the Total Environment, 311(1-3): 205-219.
- SHEN Tong, LIU Ming-yue, JIA Lai, SHEN Dan. 2005. On the heavy metal pollution of vegetables in Changsha region[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 31(1): 87-90(in Chinese with English abstract).
- TAN Ke-yan, LIU Xiao-duan, TANG Qi-feng, LIU Jiu-chen, YUAN Xin, YANG Yong-liang. 2011. Distribution Regularity of Heavy Metals in North China Plain and Its Significance[J]. Acta Geoscientica Sinica, 32(6): 732-738(in Chinese with English abstract).
- USEPA. 1996. USEPA 3050B[OL/EB]. [2012-06-10]. <http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3050b.pdf>.
- USEPA. 2009. Drinking Water Standards and Health Advisories Advisories[S]. Office of Water, 4304. USA: USEPA.
- WANG Mao-qi, WANG Zhu-tian, RAN Lu, HAN Hong-wei, WANG Yong-fang, YANG Da-jin. 2003. Study on food contaminants monitoring in China during 2000-2001[J]. Journal of Hygiene Research, 32(4): 322-326(in Chinese with English abstract).
- WANG X L, SATO T, XING B S, TAO S. 2005. Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish[J]. Science of the Total Environment, 350(1-3): 28-37.
- WANG Yu-lian, LIU Bing, LIU Qun. 2004. The present situation of chemical pollutant on vegetables in the summer and the preventing measures[J]. Journal of Shandong Agricultural University(Natural Science), 35(2): 191-195(in Chinese with English abstract).
- WHO. 1993. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants(41st Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)[S]. Geneva: World Health Organization.
- YANG Hui-fen, LI Ming-yuan, SHEN Wen. 1998. Handbook of Physicochemical Test Standards on Food Hygiene[S]. Beijing: Standards Press of China: 101-104(in Chinese).
- ZHENG Na, WANG Qi-chao, ZHENG Dong-mei. 2007. Transfer Characteristics of Mercury, Lead, Cadmium, Zinc and Cuprum from Soil to Vegetable Around Zinc Smelting Plant[J]. Chinese Journal of Environment Science, 28(6): 1349-1354(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Yuan-ming, CHEN Tong-bin, CHEN Huang, ZHENG Guo-di, LUO Jin-fa. 2005. Lead accumulation in soils under different land use types in Beijing City[J]. Acta Geographica Sinica, 60(5): 791-797(in Chinese with English abstract).
- ZHONG Dao-xu, HAN Cun-liang, JIANG Jin-ping, LIN De-xi, WU Long-hua, HUANG Yu-juan, LUO Yong-ming, JIANG Yu-gen. 2011. Heavy Metal Contamination in soil-rice Grain and Its Risk Assessment Around a Galvanizing Plant[J]. Soils, 43(1): 143-147(in Chinese with English abstract).

陕北钾盐探井顺利通过完井验收

2012年8月,中国地质科学院矿产资源研究所组织召开了“陕北奥陶纪盐盆地钾盐资源调查评价”项目完井验收会,由来自国土资源部地质勘查司、地质调查局,中国地质科学院矿产资源研究所,长庆油田研究院等单位的专家组成的评审组,对陕北榆林地区完钻的两口钾盐探井——镇钾1井和绥钾1井的完井报告进行了评审。

专家组认真听取了施工单位和监理单位的完井总结报告,形成了完井验收意见。一致认为这两口钾盐探井的钻探任务符合设计要求,并取得了重要的钻探成果。

1)镇钾1井井径、井深、井斜、取心、水文观测、固井、封井等工程达到设计要求,马家沟组连续取心900.4 m,打破了陕北盐盆以往稳定单一的“平底锅”认识,这在鄂尔多斯盆地钻探史上还是第一回,为该区古陆表海钾盐矿床勘查工作带来新的希望;此外,该井钻获“上古生界”三叠系山西组,3层可采工业气层取得了“钾气兼探”的实际成效。

2)绥钾1井各项工程参数基本达到了设计要求,取心和分析测试结果显示,绥钾1井在马五6亚段盐系发现厚达64.7 m的大套厚层钾盐高矿化段(KCl含量为0.19%~2.36%),且中下部局部层段KCl含量接近边界工业品位,取得了陕北盐盆钾盐勘查新的重要进展。