

关中娄土剖面中重金属元素的垂直分布规律研究

郑国璋^{1,2)}

1) 山西师范大学城市与环境科学学院, 山西临汾 041004;

2) 中国科学院地球环境科学研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西西安 710075

摘要 通过对关中平原西安污灌区、宝鸡峡灌区、交口灌区关中娄土剖面土壤样品的采集、监测, 重点分析了对土壤环境及人体危害较大的 Cd、Pb、As、Cr 等重金属元素在土壤剖面中的垂直分布和淋失迁移的特征。结果表明: 在长期污灌的条件下, 关中娄土剖面中的 Cd、Pb、As、Cr 含量具有在土壤耕作层富集的特征, 关中娄土剖面中的 Cd、Pb 含量具有从耕作层向土壤下层递减的趋势, As、Cr 含量从耕作层向土壤下层递减的趋势不明显。关中娄土剖面中的 Cd、Pb、As、Cr 含量在 80~100 cm 土壤粘化层中均具有明显增高的趋势, 为土壤剖面中重金属元素垂直分布的转折层。关中娄土剖面中重金属元素的淋失率具有 $Cd > Cr > As > Pb$ 的特征, 且土壤剖面中重金属的淋失率具有从耕作层、犁底层、老耕层、古耕层、粘化层垂直递增的趋势。当污灌区土层中的重金属含量高时, 土壤剖面中的重金属元素 Cd、Cr、As、Pb 均可向土壤下包气带土层淋滤迁移, 对地下水的安全构成威胁。

关键词 关中娄土剖面, 重金属元素, 垂直分布规律

中图分类号: P618

文献标识码: A

文章编号: 1006-3021(2008)01-109-07

The Vertical Distribution Regularity of Heavy Metal Elements in Guanzhong Tier Soil Profile

ZHENG Guozhang^{1,2)}

1) College of Urban and Environment Science, Shanxi Normal University, Linfen, Shaanxi 041004;

2) State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710075

Abstract Based on a study of monitored soil samples collected from Xi'an sewage irrigated area, Baoji gorge irrigated area and Jiaokou irrigated area in Guanzhong plain, the authors investigated vertical distribution and leaching migration of such heavy metals as Cd, As, Cr and Pb in the Guanzhong tier soil profile. These elements can seriously endanger soil environment and human health. The following conclusions have been reached: Cd, Pb, As and Cr tend to be concentrated in the cultivated horizon under the condition of long-term sewage irrigation, the Cd and Pb content tends to decrease from the cultivated horizon to its underlying layer, whereas the As and Cr content fails to show such a decreasing tendency. The Cd, Pb, As, Cr content tends to increase in the soil layer of 80~100 cm, which might be the inflection layer in the vertical distribution of heavy metals. The water washing coefficients of heavy metals are characterized by $Cd > Cr > As > Pb$, and the water washing coefficients of heavy metals have an increasing tendency from the cultivated horizon through plow pan, old plow layer and ancient plow layer to viscid layer. Where the content of heavy metals is high in soil layer of the sewage irrigation area, Cd, Cr, As and Pb can eluviate and migrate towards the underlying aeration zone, thus threatening the security of underground water.

Key words Guanzhong tier soil profile; heavy metal elements; regularity of vertical distribution

本文由中国科学院地球环境科学研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目(编号:SKLLQG0704)、国家科技部软科学基金项目(编号:2004DGS3D026)和陕西省科技发展计划重大项目(编号:2003K12-G5)联合资助。

收稿日期:2007-04-19; 改回日期:2007-07-17。责任编辑:刘志强。

作者简介:郑国璋, 1965年生, 男, 博士, 副教授, 主要从事资源环境与第四纪环境研究工作; 通讯地址:041004, 山西省临汾市贡院街1号; 电话:0357-2051825; E-mail: shanxizg@126.com。

土壤重金属元素在土壤剖面中的垂直迁移分布特征,主要受重金属元素的化学性质与土壤理化性质影响。通常认为,通过各种途径进入土壤环境中的重金属污染物由于土壤无机与有机胶体对阳离子的吸附、代换、络合及生物富集作用的结果,重金属元素的迁移能力较差,主要积累在土壤耕作层中,从而使耕作层成为土壤重金属元素的富集层,在土壤剖面中的垂直分布规律明显。国内外学者(吴燕玉等,1980;Taylor et al., 1980;夏增禄等,1985;蒋建清等,1995;毛大发等,2003)研究表明,土壤剖面中的 Cd、Pb 属累积性污染物,具有向土壤耕作层富集的特征,进行着“耕作层—农作物—动物—耕作层”的生物小循环,对土壤—植物系统危害较大,但其很难向下包气带土壤层及地下水中迁移,故一般不会对地下水产生污染。目前学术界对土壤剖面中的 As、Cr 垂直分布规律的认识仍不统一。有的学者(张宝莉,2002;王亚平等,2003)认为土壤剖面中的 As、Cr 主要累积在土壤表层,对土壤—植物系统危害较大。而有的学者(易秀,2003;曹淑萍,2004)认为土壤剖面中的 As、Cr 属迁移性污染物,只有少量在耕作层中积累,进行着“耕作层—下包气带土壤层—地下水”的更大循环,故土壤环境中的 As、Cr 污染物不仅会对土壤—植物系统构成威胁,也会引起地下水污染。因而,土壤剖面中的土壤重金属元素在土壤表层富集或向下包气带土层迁移等垂直迁移分布特征,不仅直接影响农作物生长及其安全性,而且会对地下水的安全埋深构成威胁(佟元清等,2001;谈恒文等,2005)。

关中娄土是在自然褐土基础上经过人类长期耕作熟化的耕作土壤,主要分布在关中平原渭河各级阶地和黄土台塬区,跨宝鸡、咸阳、西安、渭南、铜川等五个行政市,是关中平原主要的耕作土壤和粮棉、果林产区。随着关中地区工农业经济迅速发展和城市进程的不断提高,关中娄土的土壤环境受到不同程度的重金属污染(郑国璋等,2006;ZHENG et al., 2006;徐友宁等,2006)。目前,国内部分学者(田均良等,1995;周海红等,2001;易秀,2003;ZHENG et al., 2006)对关中娄土剖面中重金属元素的垂直分布规律进行过初步研究,但对土壤剖面中的 As、Cr 垂直迁移分布的有不同的研究结论。本文通过对关中平原长期污灌的条件下关中娄土剖面中重金属元素迁移分布特征的分析,探讨关中娄土剖面中的重金属元素垂直分布规律,这不仅对深化黄土类土壤剖面中重金属元素垂直分布规律的研究具有一定的

理论意义,也可对关中平原农业土壤重金属污染的防治和地下水安全提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 土壤采样

关中平原西安污灌区是我国主要污灌区之一,陕西省第二次土壤普查(郭兆元,1992)调查显示,西安污灌区土壤环境中重金属都有不同程度的超标,其中以镉、汞污染最为严重。宝鸡峡灌区、交口灌区是关中平原两大引渭灌区,由于近年来渭河水环境质量日趋恶化,引渭河农灌用水已为 V 类或超 V 类水质。据陕西省农业环境监测站对农灌水的系列监测资料(肖雨芳,2000;宋蕾等,2001),宝鸡峡灌区的兴平地区、交口灌区的临渭地区引渭河农灌用水 Pb 含量超标,交口灌区渭河新丰镇大桥断面水体中 Pb 含量达 $0.667 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$,为《农田灌溉水质标准》(GB5084—1992)的 6.67 倍。因而,污水灌溉已成为关中平原关中娄土重金属污染的主要原因之一。

本研究对关中平原西安污灌区、宝鸡峡灌区、交口灌区关中娄土剖面(0~100 cm)的土壤特征进行野外观察描述和土壤样品采集。土壤剖面样品的采集点布设在西安北郊污灌区六村堡乡、宝鸡峡灌区武功县南仁乡和交口灌区临渭区的灌溉农田,土壤剖面样品按土壤发生层每 20 cm 连续采集,采样层位置为剖面深 0~20 cm 的耕作层、20~40 cm 的犁底层、40~60 cm 的老耕层、60~80 cm 的古耕层、80~100 cm 的粘化层。

1.2 样品的处理与监测

土壤样品经室内自然风干磨碎后,过 100 目尼龙网筛,用 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ 消解。重点选取了对土壤环境及人体健康危害较大的重金属元素 Cd、As、Cr、Pb 等项目进行检测。运用原子吸收光谱仪(JenaAAs6)、采用 KI-MIBK 萃取原子吸收光谱法测定 Cd、Pb 浓度。Cd 含量范围 $<0.1 \text{ mg/kg}$ 时,室内相对误差为 $\pm 35\%$,室间相对误差为 $\pm 40\%$;Cd 含量范围为 $0.1\sim 0.4 \text{ mg/kg}$ 时,室内相对误差为 $\pm 30\%$,室间相对误差为 $\pm 35\%$ 。运用分光光度计(VIS-7220)、采用二苯碳酰二肼分光光度法测定 Cr 浓度。运用原子荧光仪(AFS-2202)、采用原子荧光法测定 As 浓度。As 含量范围为 $10\sim 20 \text{ mg/kg}$ 时,室内相对误差为 $\pm 15\%$,室间相对误差为 $\pm 25\%$ 。样品监测分析过程中均加入国家标准土壤参比物质(GSS-1)进行全程分析质量控制,监测结果符合质量控制要求。

2 结果与讨论

2.1 剖面分布特征与分析

据西安污灌区、宝鸡峡灌区、交口灌区关中娄土剖面(0~100 cm)土壤样品的监测结果(表 1~表 3;图 1),结合我们对关中娄土剖面(0~40 cm)重金属元素垂向分布特征的前期研究成果(ZHENG et al., 2006)。分析结果表明:

(1) 关中娄土剖面中的 Cd、Pb 含量具有从耕作层、犁底层、老耕层、古耕层垂直递减的趋势,表明污灌条件下关中娄土剖面中的 Cd、Pb 具有向土壤耕作层富积的特征,但土壤粘化层的 Cd、Pb 含量均有明显增高的现象。

(2) 关中娄土剖面中的 As 含量具有从耕作层、犁底层、老耕层垂直递减的趋势,表明污灌条件下关中娄土剖面中的 As 可以在土壤耕作层中富积,但土壤 As 含量有从古耕层向粘化层递增的趋势。

(3) 关中娄土剖面中的 Cr 含量具有从耕作层向犁底层递减的趋势,表明污灌条件下关中娄土剖面中的 Cr 可以在土壤耕作层中富积,但土壤 Cr 含量有从老耕层、古耕层向粘化层递增的趋势。

因而,在长期污灌的大田条件下,黄土类关中娄土剖面中的 Cd、Pb、As、Cr 含量具有在土壤耕作层富集的特征。这主要是由于当重金属物质含量较高的污水灌入土壤后,重金属元素在表土层的机械截留、胶体吸附及生物富集等作用下,于土壤表层沉积下来,导致土壤表层重金属元素含量增高。这与国内外学者(Nyamangara et al., 1999; 南忠仁等, 2000; Mapanda et al., 2005; 万金颖等, 2006; Muchuweti et al., 2006)的研究结论相一致。关中娄土剖面中的 Cd、Pb 含量具有从耕作层向土壤下层递减的趋势,As、Cr 含量从耕作层向土壤下层递减的趋势不明显。关中娄土剖面中的 Cd、Pb、As、Cr 含量在 80~100 cm 土壤粘化层中均具有明显增高的趋势,为土壤重金属元素垂直分布的转折层。主要是由于该层土壤粘化程度较高,<0.001 mm 粘粒组分含量比例较高,对土壤重金属元素的吸附作用引起的。

2.2 淋洗迁移分析

为分析关中平原长期污灌的条件下关中娄土剖面中重金属元素淋失迁移的特征,对污灌区关中娄土剖面各层重金属元素的含量,分别扣除对照区华阴市黄土台塬区(徐友宁, 2006)无污水灌溉农田的关中娄土剖面各层重金属元素含量后,视为剖面重

表 1 西安污灌区关中娄土剖面中重金属元素含量

Table 1 Heavy metal content of tier soil profile in Xi'an sewage irrigated area

元素	土层深度/cm				
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
Cd/mg·kg ⁻¹	0.27	0.21	0.19	0.17	0.27
Pb/mg·kg ⁻¹	51.0	30.5	28.7	25.3	34.0
As/mg·kg ⁻¹	10.9	10.8	10.2	9.1	12.0
Cr/mg·kg ⁻¹	86.8	79.1	76.6	80.8	93.3

表 2 宝鸡峡灌区关中娄土剖面中重金属元素含量

Table 2 Heavy metal content of tier soil profile in Baoji gorge irrigated area

元素	土层深度/cm				
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
Cd/mg·kg ⁻¹	0.086	0.058	0.050	0.051	0.054
Pb/mg·kg ⁻¹	25.4	22.4	23.7	23.5	27.3
As/mg·kg ⁻¹	15.6	15.1	14.7	14.9	16.0
Cr/mg·kg ⁻¹	68.9	68.2	70.0	67.5	72.4

表 3 交口灌区关中娄土剖面中重金属元素含量

Table 3 Heavy metal content of tier soil profile in Jiaokou irrigated area

元素	土层深度/cm				
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
Cd/mg·kg ⁻¹	0.111	0.105	0.100	0.091	0.098
Pb/mg·kg ⁻¹	20.6	19.3	18.9	16.0	17.1
As/mg·kg ⁻¹	12.4	11.2	11.0	11.2	11.7
Cr/mg·kg ⁻¹	81.4	79.4	81.8	76.7	82.6

金属元素的淋溶下移量。将 0~20 cm 土层作为耕作层,20~40 cm 土层作为犁底层,40~60 cm 土层作为老耕层,60~80 cm 土层作为古耕层,80~100 cm 土层作为粘化层。

各土层元素淋失比率(Water Washing Coefficient: WWC)按下式计算(南忠仁等, 2000):

$$WWC_{ij} = M_i(i-1)/M_j$$

式中: WWC_{ij}—i 层中 j 元素的淋失比率; M_i(i-1)_j—(i-1)层中 j 元素的含量; M_{ij}—i 层中 j 元素的含量。

由计算结果(表 4~表 6 和图 2~图 4)分析可知:

(1) 关中娄土剖面中重金属元素的淋失率具有 Cd>Cr>As>Pb 的特征。其中 Cd 的淋失率最大, Pb 的淋失率最低。这可能与土壤重金属元素含量大小有关;同时也受元素地球化学性质的密切影响。

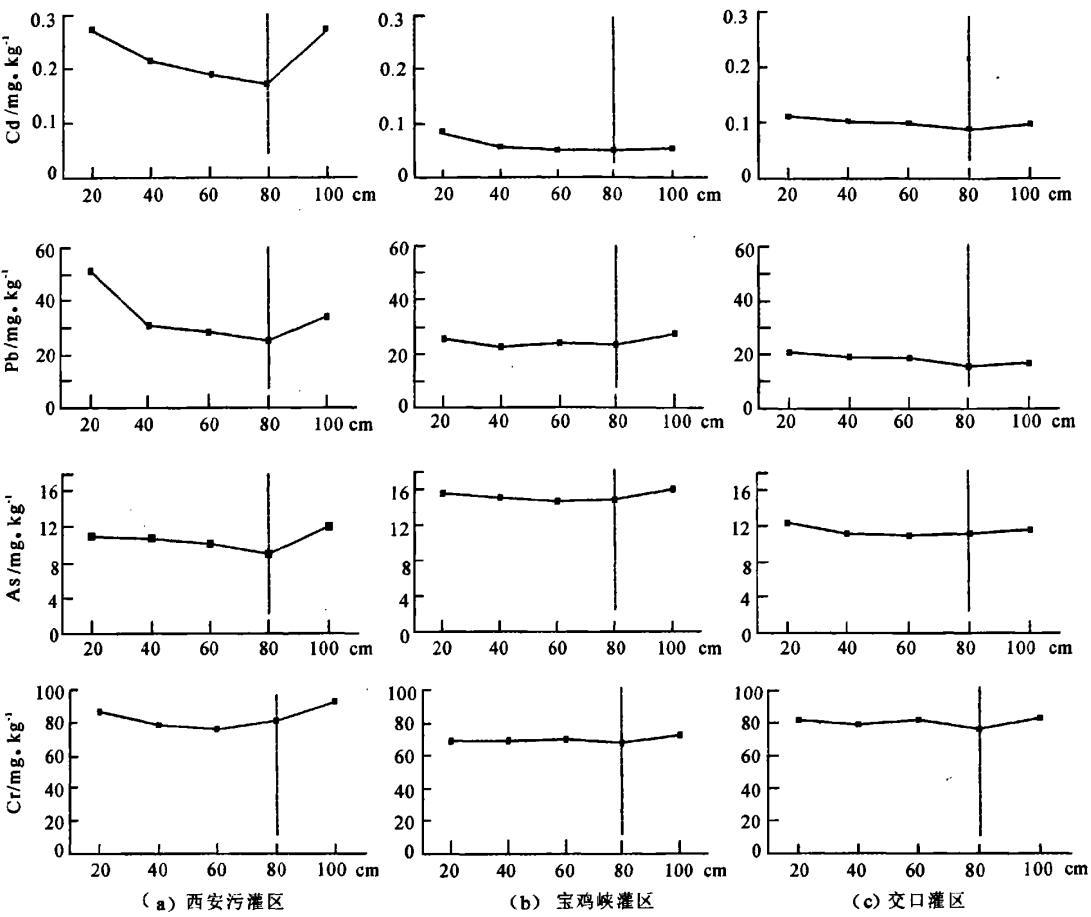


图 1 关中娄土剖面重金属元素垂直分布图

Fig. 1 Vertical distribution of heavy metal elements in Guanzhong tier soil profile

表 4 西安污灌区关中娄土剖面中重金属元素淋失比率/%

Table 4 WWC (Water Washing Coefficient) of heavy metals in tier soil profile of Xi'an sewage irrigated area (in percentage)

元素	土层			
	耕作层	犁底层	老耕层	古耕层
Cd/mg·kg ⁻¹	65.9	75.7	74.7	137.7
Pb/mg·kg ⁻¹	21.8	36.1	27.9	60.5
As/mg·kg ⁻¹	11.4	16.4	1.7	30.6
Cr/mg·kg ⁻¹	32.3	35.2	40.0	52.4

表 5 宝鸡峡灌区关中娄土剖面中重金属元素重金属元素淋失比率/%

Table 5 WWC of heavy metals in tier soil profile of Baoji gorge irrigated area (in percentage)

元素	土层			
	耕作层	犁底层	老耕层	古耕层
Cd/mg·kg ⁻¹	30.2	32.8	46.0	35.3
Pb/mg·kg ⁻¹	11.8	23.6	24.4	33.9
As/mg·kg ⁻¹	35.5	41.5	40.6	45.5
Cr/mg·kg ⁻¹	24.8	31.1	24.7	31.7

例如: Cd 是水溶性较高的金属物质, 而 Pb 是水溶性最差的金属物质。在碱性土壤环境中, Cd 活性中等, 而 Pb 在碱性及强碱性环境中活性大大降低。这与国内学者楼根林等(1990)、李森照等(1995)、吴燕玉等(1998)在田间小区或人工模拟试验研究得出的结论相类似。

(2) 关中娄土剖面中的重金属元素 Cd、Cr、As、Pb 的淋失率与土层中的重金属含量有关, 当土层中的重金属含量高时, 其下移淋洗均较为活跃。如关中娄土剖面中的 Cd、Cr 含量具有西安污灌区>交口灌区>宝鸡峡灌区的特征, Cd、Cr 的淋失率表现为西安污灌区>交口灌区>宝鸡峡灌区; As 含量具

表 6 交口灌区关中娄土剖面中重金属元素淋失比率/%
Table 6 WWC of heavy metals in tier soil profile of Jiaokou irrigated area (in percentage)

元素	土层			
	耕作层	犁底层	老耕层	古耕层
Cd/mg·kg ⁻¹	65.8	65.7	63.0	68.1
Pb/mg·kg ⁻¹	—	—	—	—
As/mg·kg ⁻¹	13.2	22.9	20.6	22.1
Cr/mg·kg ⁻¹	34.8	41.6	32.4	41.2

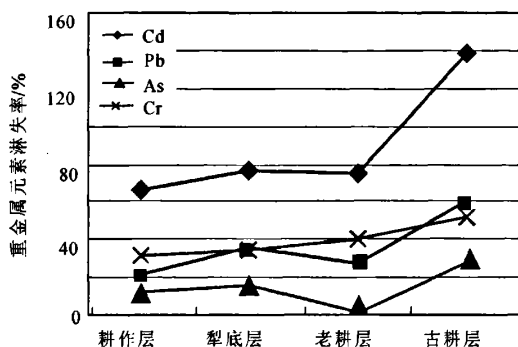


图 2 西安污灌区关中娄土剖面中重金属元素淋失率曲线图

Fig. 2 WWC curve of heavy metals in tier soil profile of Xi'an sewage irrigated area

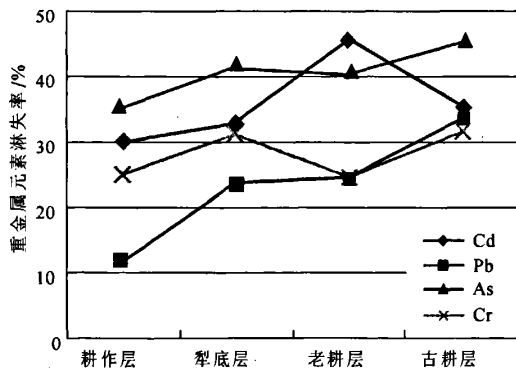


图 3 宝鸡峡灌区关中娄土剖面中重金属元素淋失率曲线图

Fig. 3 WWC curve of heavy metals in tier soil profile of Baoji gorge irrigated area

有西安污灌区>交口灌区>宝鸡峡灌区的特征,As的淋失率表现为西安污灌区>交口灌区>宝鸡峡灌区;Pb含量具有西安污灌区>交口灌区>宝鸡峡灌区的特征,Pb的淋失率表现为西安污灌区>交口灌区>宝鸡峡灌区。

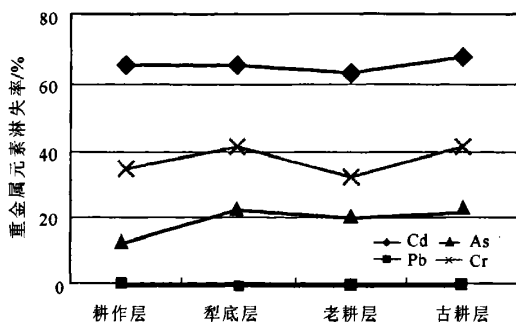


图 4 交口灌区关中娄土剖面中重金属元素淋失率曲线图
Fig. 4 WWC curve of heavy metals in tier soil profile of Jiaokou irrigated area

(3) 关中娄土剖面中的重金属元素 Cd、Cr、As、Pb 的淋失率,具有从耕作层、犁底层、老耕层、古耕层、粘化层垂直递增的趋势。

因而,在长期污灌的条件下,当污灌区土层中的重金属含量较高时,黄土类关中娄土剖面中的 Cd、Pb、As、Cr 均可向土壤下包气带淋虑迁移,其中 Cd、Cr 淋虑迁移的比率较大,容易对地下水构成威胁。据监测(王永胜,2000),交口灌区地下潜水 Cr、Cd、Pb 含量均有不同程度的超 V 类水质现象。

3 结论

在长期污灌的条件下,黄土类关中娄土剖面中的 Cd、Pb、As、Cr 含量具有在土壤耕作层富集的特征,关中娄土剖面中的 Cd、Pb 含量具有从耕作层向土壤下层递减的趋势,As、Cr 含量从耕作层向土壤下层递减的趋势不明显。关中娄土剖面中的 Cd、Pb、As、Cr 含量在 80~100 cm 土壤粘化层中均具有明显增高的趋势,为土壤重金属元素垂直分布的转折层。关中娄土剖面中重金属元素的淋失率具有 Cd>Cr>As>Pb 的特征,且土壤剖面中重金属的淋失率具有从耕作层、犁底层、老耕层、古耕层、粘化层垂直递增的趋势。当污灌区土层中的重金属含量高时,土壤剖面中的重金属元素 Cd、Cr、As、Pb 均可向土壤下包气带土层淋虑迁移,对地下水的安全构成威胁。

致谢 土壤样品采集、监测过程中西北大学地质系岳乐平、徐永、李建星,西安地质矿产研究所李智佩、徐友宁同志予以大力协助,在此深表感谢。

参考文献

- 曹淑萍. 2004. 重金属污染元素在天津土壤剖面中的纵向分布特征. 地质找矿论丛, 19(4): 270~274.

- 郭兆元, 主编. 1992. 陕西土壤. 北京: 科学出版社, 412~426.
- 蒋建清, 吴燕玉. 1995. 模拟酸雨对对草甸棕壤中重金属迁移的影响. 中国科学院研究生院学报, 12(2): 185~190.
- 楼根林, 张中俊, 伍钢, 等. 1990. 镉在不同土壤和蔬菜中残留规律研究. 环境科学学报, 10(2): 153~159.
- 李森照, 罗金发, 孟维奇, 等. 1995. 中国污水灌溉与 environmental 质量控制. 北京: 气象出版社, 16~49.
- 毛大发, 鄢新华, 刘小兵, 等. 2003. 试论南昌莲塘一带土壤环境、地球化学特征及其环境质量. 地质与勘探, (3): 72~77.
- 南忠仁, 李吉均. 2000. 干旱区耕作土壤中重金属镉铅镉剖面分布及行为研究—以白银市区灰钙土为例. 干旱区研究, 17(4): 39~45.
- 宋蕾, 王永胜, 张鸿涛. 2001. 关中抽渭灌区农田面源污染对渭河水体的影响. 环境保护, (8): 24~26, 28.
- 田均良, 刘普灵, 李雅琦. 1995. 黄土高原土壤剖面元素相对迁移强度初探. 水土保持研究, 2(4): 51~55.
- 佟元清, 王立新, 王永池, 等. 2001. 污水粉煤灰—土地处理及地下水环境影响研究. 地球学报, 22(4): 351~354.
- 谈恒文, 张子军, 安丰芹. 2005. 日照市东港区地下水环境质量现状评价. 地球学报, 26(2): 173~177.
- 吴燕玉, 孔庆新, 代同顺. 1980. 沈阳污水灌区中 Cd 及其他重金属的污染. 土壤通报, (1): 4~7.
- 吴燕玉, 王新, 梁仁禄, 等. 1998. Cd、Pb、Cu、Zn、As 复合污染在农田生态系统的迁移动态研究. 环境科学学报, 18(4): 407~413.
- 万金颖, 纪玉琨, 巨振海, 等. 2006. 污水灌溉区土壤重金属的空间分布特征. 环境工程, 24(2): 87~88.
- 王亚平, 裴韬, 成杭新, 等. 2003. B 城近郊土壤柱状剖面中重金属元素分布特征研究. 矿物岩石地球化学通报, 22(2): 144~148.
- 王永胜. 2000. 关中抽渭灌区农田非点源污染及水源保护研究. 西安: 西安建筑科技大学博士学位论文.
- 夏增禄, 李森照, 穆从如. 1985. 北京地区重金属在土壤中的纵向分布和迁移. 环境科学学报, 5(1): 105~112.
- 肖雨芳. 2000. 关中灌区农业生态环境质量评价. 水利电力技术, 31(9): 39~40.
- 徐友宁, 柯海玲, 刘瑞萍, 等. 2006. 陕西潼关金矿区农田土壤 Hg 污染的环境效应. 地质通报, (11): 1349~1353.
- 徐友宁, 柯海玲, 刘瑞萍, 等. 2006. 某金矿区农田土壤汞污染评价. 黄金, 27(7): 47~50.
- 张宝莉 主编. 2002. 农业环境保护. 北京: 化学工业出版社, 6~78.
- 徐友宁. 2006. 陕西潼关金矿区农田土壤重金属污染及其资源环境效应. 西安: 西北大学博士学位论文.
- 易秀. 2003. 黄土类土对铬、砷的净化机理及地下水防污安全埋深的研究. 西安: 长安大学博士学位论文.
- 郑国璋, 岳乐平, 李智佩, 等. 2006. 关中平原黑惠灌区土壤重金属污染调查与评价. 土壤通报, 37(2): 337~339.
- 周海红, 张志杰. 2001. 关中清灌区农田生态系统污染现状研究. 环境污染与防治, 23(6): 309~311, 328.
- stract).
- GUO Zhaoyuan. 1992. Shaanxi Soil. Beijing: Science Press, 412~426 (in Chinese with English abstract).
- JIANG Jianqing, WU Yanyu. 1995. Study on the Movement of Heavy Metals in Meadow Burozem Affected by Model Acid Precipitation. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Science, 12(2): 185~190 (in Chinese with English abstract).
- LI Senzhao, LUO Jinfa, MENG Weiqi, et al. 1995. China sewage for irrigation and environmental quality control. Beijing: Meteorological Press, 16~49 (in Chinese).
- LOU Ling, ZHANG Zhongjun, WU Gang, et al. 1990. Study on Cadmium in soil and vegetables Residual law. Acta Scientiae Circumstantiae, 10(2): 153~159 (in Chinese with English abstract).
- Muchuweti, Birkett, Chinyanga, et al. 2006. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health. Agriculture, Ecosystems and Environment, 112: 41~48.
- Mapanda, Mangwayana, Nyamangara, et al. 2005. The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. Agriculture, Ecosystems and Environment, 107: 151~165.
- MAO Dafa, YAN Xinhua, LIU Xiaobin, et al. 2003. Soil Geochemical Characteristic and Environment Quality in Nanchang-Liantang Region. Geology and Prospecting, (3): 72~77 (in Chinese with English abstract).
- Nyamangara, Mzezewa. 1999. The effect of long-term sewage sludge application on Zn, Cu, Ni and Pb levels in a clay loam soil under pasture grass in Zimbabwe. Agriculture, Ecosystems and Environment, 73: 199~204.
- NAN Zhongren, LI Jijun. 2000. Study on the Distribution and Behavior of Selected Metals (Cd, Ni, Pb) in Cultivated Soil Profile in Arid Zone (Take Baiyin Region as an Example). Arid Zone Research, 17(4): 39~45 (in Chinese with English abstract).
- SONG Lei, WANG Yongsheng, ZHANG Hongtao. 2001. Effects on Weihe Water Body by Agricultural Non-point Source Pollution. Natural Ecology Conservation, (4): 24~28 (in Chinese with English abstract).
- TIAN Junliang, LIU Puling, LI Yaqi. 1995. Loess Plateau soil profile elements relative strength of the relocation. Research of Soil and Water Conservation, 2(4): 51~55 (in Chinese).
- TONG Yuanqing, WANG Lixin, WANG Yongchi, et al. 2001. Wastewater Coal Ash-Land Treatment and Groundwater Environment Effects. Acta Geoscientia Sinica, 22(4): 351~354 (in Chinese with English abstract).
- TAN Hengwen, ZHANG Zijun, AN Fengqin. 2005. Underground Water Environmental Quality Evaluation of Donggang District, Rizhao City, Shandong Province. Acta Geoscientia Sinica, 26(2): 173~177 (in Chinese with English abstract).
- Taylor R W, Griffin G F. 1980. The distribution of topically applied heavy metals in the soil. Plant and Soil, 62(1): 147~152.
- WU Yanyu, KONG Qinxin, DAI Tongshun. 1980. Shenyang Cd

References

CAO Shuping. 2004. Vertical Distribution of Heavy metal Pollution in Soil Profile of Tianjing. Contributions To Geology and Mineral Resources Research, 19(4): 270~274 (in Chinese with English ab-

- sewage irrigation and other heavy metals pollution. Chinese Journal of Soil Science, (1): 4~7(in Chinese with English abstract).
- WU Yanyu, WANG Xin, LIANG Renlu, et al. 1998. Dynamic Migration of Cd, Pb, Cu, Zn and As in Agricultural Ecosystem. Acta Scientiae Circumstantiae, 18(4): 407~413(in Chinese with English abstract).
- WANG Yaping, PEI Tao, CHENG Hangxin, et al. 2003. Research on the Distribution Characters of Heavy Metals in Column Profile of Soil Within B City. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 22(2): 144~148(in Chinese with English abstract).
- WAN Jinying, JI Yukun, JU Zhenhai, et al. 2006. Characteristics of Heavy Metals Space Distributing in Wastewater Irrigation Area. Environmental Engineering, 24(2): 87~88(in Chinese with English abstract).
- XIA Zenglu, LI Senzhao, MU Congru. 1985. Beijing areas of heavy metals in soil and the vertical distribution and migration. Acta Scientiae Circumstantiae, 5(1): 105~112(in Chinese with English abstract).
- XIAO Yufang. 2000. Assessment on agro-entironmental quality in Guanzhong Irrigation District. Technology of Water Conservancy and Electric Power, 31(9): 39~40(in Chinese with English abstract).
- stract).
- XU Youning, KE Hailing, LIU Ruiping, et al. 2006. Assessment on mercury contamination to agricultural soil in the gold mine area. Gold, 27(7): 47~50(in Chinese with English abstract).
- XU Youning, KE Hailing, LIU Ruiping, et al. 2006. Environmental effect of mercury contamination of farmland soils in the Tongguan gold mining area, Shaanxi, China. Geological Bulletin of China, (11): 1349~1353(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Baoli. 2002. Agricultural Environment Protection. Beijing: Chemical Industry Press, 6~78(in Chinese).
- ZHENG Guozhang, YUE Leping, LI Zhipei, et al. 2006. Assessment on heavy metals pollution of agricultural soil in Guanzhong District. Journal of Geographical Sciences, 16(1): 105~113.
- ZHENG Guozhang, YUE leping, LI Zhipei, et al. 2006. Investigation and Assessment of Soil Pollution by Heavy Metals in the Heihe Irrigated Area in the Guanzhong Plain. Chinese Journal of Soil Science, 37(2): 337~339(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Haihong, ZHANG Zhijie. 2001. Research on agro-ecosystem pollution in Guanzhong irrigation district. Environmental Pollution & Control, 23(6): 309~311, 328(in Chinese with English abstract).

第十届国际盐湖会议会议

第十届国际盐湖研究会议将于2008年5月11~16日在美国的犹他大学举行。

会议将主要围绕内陆盐系统科学和管理等方面,具体设置以下专题:

1,物理过程;2,生物地球化学;3,化学和水质;4,盐湖矿业;5,微生物学;6,浮游生物;7,底栖生物;8,鱼;9,鸟类;10,食物链;11,生理生态学;12,生物多样性和保护生物学;13,湿地;14,盐系统的管理;15,其它。

以及包括即将组织的以下特别专题:16,世界盐湖鸟类保护和栖息地管理;17,盐湖和湿地牧场:结构和功能,方式和过程;18,超盐水体藻类和蓝细菌;19,嗜盐微生物的环境响应;20,盐系统及其流

域的环境教育;21,盐区(包括盐池)生态学及其应用;对商业生产者乃至整个社会的重要性;22,间歇湖及其矿物尘;23,非政府组织和盐湖;24,盐系统中的浮游动物生态学;25,盐湖微量元素循环和毒理学。

会议将有效地促进有志于盐开发利用,保护和科学管理的学者、环境工作者和管理者的交流。欢迎踊跃参加。

注意:提交摘要的最后期限为2008年3月7日(星期五)晚上23:59(美国山区标准时间)。报到登记日期为2008年5月11日。会中和会后将分别安排野外考察。详情请登录:<http://www.isslr.org>。

(中国地质科学院盐湖中心 供稿)