

呼和浩特市表层土壤重金属镉的基准值研究

石俊仙¹, 张青²

(1. 内蒙古大学 化学化工学院, 内蒙古 呼和浩特 010021; 2. 内蒙古地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 借助 GIS 以内蒙古自治区呼和浩特市 5 713 km² 为研究区域, 将土壤中镉的空间分布规律与相关统计规律相结合, 确定了研究区内 4 种典型的土壤亚类表层中重金属镉的基准值, 通过对 933 个样品的分析, 得到以下结论: 呼和浩特市表层土壤中镉的基准值在洪积新积土中最高, 达 0.117 mg/kg, 在淡栗褐土中最低, 仅为 0.084 mg/kg。本研究为制订内蒙古自治区地方土壤环境质量标准提供了基础资料。

关键词: 呼和浩特; 基准值; 镉; 土壤亚类

中图分类号: P579.X53

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2007)06-0577-05

The reference value of Cd in surficial soil of Hohhot

SHI Jun-xian¹ and ZHANG Qing²

(1. Chemistry and Chemical Engineering Department, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; 2. Inner Mongolia Academy of Geological Survey, Hohhot 010020, China)

Abstract: Using GIS, the authors studied an area of 5 713 km² in Hohhot, Inner Mongolia. The reference values of Cd in four subtypes of surface soil were established. An analysis of 933 soil samples has revealed that the reference value of Cd in new accumulative topsoil of Hohhot is highest (0.117 mg/kg), and that in light cinnamon topsoil is lowest (0.084 mg/kg). The results obtained provide basic materials for the construction of the local soil environmental quality standard.

Key words: Hohhot; reference value; cadmium; soil subtype

我国现有的土壤环境质量标准(GB15618-1995)中关于重金属的规定不能满足实际需要(何忠俊等, 2004), 又缺乏相应的地区性标准作为补充, 影响了土壤环境质量定义的严肃性以及土壤环境质量评价的科学性。土壤质量标准的实用性不大, 暗示着基准值研究的相对滞后。土壤基准值是制订土壤环境质量标准的必备基础和重要依据。原则上土壤环境质量标准规定的污染物允许剂量或浓度应小于或等于相应的基准值。土壤中重金属的基准值不仅取决于元素自身的性质, 而且也取决于存在的自然条件, 尤其是土壤类型及其性质(杨居荣等, 1995)。

目前国内外针对土壤中重金属基准值的研究, 仅有为数不多的报道(Medvedev and Cybulko, 1995; Traas *et al.*, 1996; Chen *et al.*, 2001; Clemens *et al.*, 2005; Gilliams *et al.*, 2005; 石俊仙等, 2006), 系统的基准值研究尚属空白(朱立新等, 2003)。关于内蒙古的土类, 只有分布在东北和西北

地区的黑土、灰钙土、褐土以及棕壤中的镉、铅、砷和铜的基准值在“六五”和“七五”科技攻关期间被粗略涉及过(夏增禄等, 1992), 而呼和浩特市土壤类型, 特别是土壤亚类中重金属的研究, 还鲜见报道。本研究区内分布着 13 个土类亚类, 其中淡栗褐土、洪积新积土、潮土和盐化潮土分布范围广阔, 这 4 种土壤的面积之和占总研究区面积的 72.9%, 其中淡栗褐土在呼和浩特市是发育在黄土及黄土状母质上的过渡类型土壤, 即为栗钙土向褐土过渡的地带性土壤, 洪积新积土是发育在山前洪积扇冲洪积物母质上的幼年土壤, 这两个土类在中国土壤背景值调查中都没有涉及到。

1 土壤环境特征

成土母质是形成土壤的基本物质, 是土壤中矿质营养的最初来源。母质直接参与土壤的形成过程, 母质的组成和性

质对土壤的形成产生巨大的影响。

呼和浩特市地质条件较复杂,主要有 8 种成土母岩类型(呼和浩特市农业区划委员会办公室,1991)。本次采样区地处华北板块北缘,岩石类型主要有麻粒岩、富铝片麻岩、斜长闪长岩、BIF 石英岩、长英质粒状岩、大理岩等,变质相高达角闪岩相-麻粒岩相。采样区内岩浆岩主要分布在和林格尔一带,为中晚太古代变质深成侵入岩,岩性为黑云母花岗岩、黑云榴石花岗岩、黑云榴石二长花岗岩、黑云榴石斜长花岗岩和钾长花岗岩。

1.1 淡栗褐土

淡栗褐土集中分布在呼和浩特市郊区、托克托县,而土默特左旗有少量分布,局部有红土或基性岩风化物,表层虽以粗颗粒的原生矿物为主,但尚有一定的有机质,结持力不低,结构多为粒状-小团块状(呼和浩特市农业区划委员会办公室,1991)。所处地形以黄土丘陵为主。因侵蚀严重,常见到的是有微弱发育程度的剖面,有的母质裸露,少数冲刷严重的则下伏基岩裸露。黄土状母质多为风积沉积而成,并为马兰期黄土,粗粒矿物以石英为主。黄土母质发育的土壤土体深厚,质地多为轻-中壤,保水保肥性好,但因坡度大,侵蚀严重,使表层土质地粗多为砾壤,并积存有坡积而来的小砾石,养分较贫。黄土厚约 20~70 m,最厚可达 100 m。沟谷深切,具有黄土高原典型的侵蚀地貌地形——梁、峁。主要土壤是栗褐土、沟谷内分布新积土、潮土。

1.2 洪积新积土

洪积新积土是发育在山前洪积扇冲洪积物母质上的幼年土壤,为近代山洪携带大量土、砾石淤积而成,所以表层及土体中多见砾石。主要成土母质是洪积物。洪积物是山区的石块、砂砾、泥土被季节性的山洪搬运至山前,随着流速减慢而堆积下来。洪积物在山前的堆积因洪水走向的多次改变造成堆积物有一定层次,古砾与泥沙交错成透镜体状。冲积洪积母质的岩性以粗颗粒为主,有砾石、沙砾石、砂、亚砂及亚粘土,分选性、磨圆度均差。

1.3 潮土

潮土是受地下水直接影响和草甸植被作用下发育成的半水成型土壤(呼和浩特市农业区划委员会办公室,1991),是呼和浩特地区最大的隐域性土壤。由于地下水位升降频繁,使土壤处于氧化还原交替过程,土壤中铁、锰化合物发生移动或局部沉淀,在剖面中出现明显的绣纹锈斑。潮土主要分布在土默特左旗和呼和浩特市郊区,有的与盐化潮土相嵌分布。潮土是该土类中最好的一个类型,也是全市土壤中最好的一个亚类。潮土大部分发育在近代河流沉积的冲积母质上,冲积母质岩性为中细砂、亚砂土及亚粘土,矿物成分复杂,分选性、磨圆度良好。少部分潮土发育在洪积母质和湖积母质上。由于河流频繁的泛滥、改道,泥沙沉积的分布极为复杂,造成了冲积母质砂、壤、粘质地层排列的多样性。因此,潮土土体构型较为复杂,典型剖面应有腐殖质层、潜育层、潜

层组成,但由于是河流近代冲积而成,剖面发生层不明显,很少见到潜育层。

1.4 盐化潮土

盐化潮土除具有潮土的一般特征外,另外的特点是在土壤表层有易溶性盐的积累,形成土盐结合层。下面的剖面构型仍是潮土构型,即 A-Bg-G 型,即腐殖质层、氧化还原层和潜育层组成,但也有不少见不到潜育层的。盐化潮土所处地形低平,地下水位高,排水不畅,地下水矿化度较高,水分携带盐分沿土壤毛细管上升到地表聚积,形成少量的白色盐霜或零星斑状结皮,称为盐化过程。因此,盐化潮土既有草甸成土过程,又有盐化过程。

2 样品采集及分析方法

综合考虑研究区土壤环境质量的时空变化和区域社会经济状况,在呼和浩特平原内大面积均匀网格布点采样,采集层位为 0~20 cm,采样密度为 1 点/km²,相邻的 4 个采样点均匀混合为 1 个测定样品。手持 GPS 的定点误差小于 50 m。研究区的地理坐标范围为 40°16'25"~40°57'4"N,111°00'00"~112°04'08"E。

样品中的 Cd 采用 ICP-MS(等离子体发射光谱-质谱法)测定,方法检出限为 0.03 μg/g,用原国家地矿部一级标准物质(GSS1-GSS8)来验证准确度和精密性。分析数据的编辑和处理采用 MAPGIS 6. X 和 SPSS 10.0。

3 重金属基准值的确定方法

国外制定土壤重金属的基准值时有比较明确的目的,且考虑土壤的理化性质。荷兰、加拿大和新西兰的土壤质量基准值制订时都考虑了毒理学和生物过程的双重作用(Ministry for the Environment, 2003)。我国目前采用环境地球化学法确定土壤中重金属基准值,该方法存在以下不足:研究区域有限,取样数量少,离群值的取舍和基准值的计算不是很合理(唐文春等,2005),基准值的确定没有涉及到具体的土壤类型(滕彦国,1999;王济,2004),已确定的基准值没有上升到地方标准的高度,没有借助 GIS 精确定位,得出的结论对政府决策缺乏指导的力度。

本次研究针对以上不足,经综合考虑,借助 GPS 在 5 713 km² 的研究区内精确定位取样,用 GIS 数据处理平台将样品的测定值与相应的土壤亚类准确对应,同时使用 SPSS 对数据进行离群值取舍及数据分析,然后采用相对累计频率分析得出的拐点值、统计分析得出的中位数(林才浩,2005)和算术平均值 3 种方法来确定所研究元素的基准值,对研究区内 4 种典型土壤亚类中相应采样点中镉元素的测定值进行统计分析和正态检验,具体统计结果见表 1。

表 1 4 种典型土壤亚类中重金属含量统计分析结果

mg/kg

Table 1 Statistical data of the concentration of heavy metals in four major subclasses of topsoil

土壤亚类	样本数	平均值	最小值	最大值	中位数	标准偏差	偏度	峰度
淡栗褐土	233	0.092	0.040	0.140	0.092	0.016	-0.175	0.205
洪积新积土	164	0.130	0.070	0.200	0.126	0.025	0.539	0.222
盐化潮土	384	0.120	0.050	0.280	0.115	0.033	1.020	2.210
潮土	152	0.117	0.060	0.210	0.116	0.031	0.439	-0.027

4 结果与讨论

4.1 淡栗褐土中镉的统计分析及其基准确定

4.1.1 镉的统计分析

淡栗褐土表层土壤中 Cd 含量值的频数分布直方图见图

1a。从图 1a 可以看出,频数最高区间有两段,所对应的含量分别是 0.081 mg/kg 和 0.100 mg/kg。世界正常土壤中镉的含量为 0.030~0.300 mg/kg,通常不超过 1.000 mg/kg,镉的中国表层土壤背景值是 0.097 mg/kg(魏复盛等,1991),所以呼和浩特市表层淡栗褐土中镉的含量处于世界和中国正常平均水平的位置。

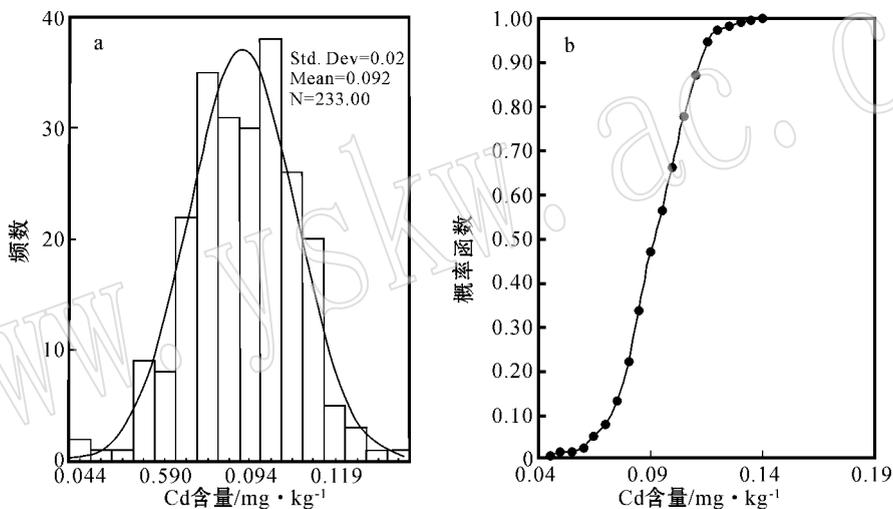


图 1 表层淡栗褐土 Cd 含量分布频率直方图(a)和概率函数图(b)

Fig. 1 Histogram(a) and probability function diagram(b) of Cd content in light cinnamon topsoil

4.1.2 镉的相对累积频率分析及基准确定

如图 1,与 Matschullat 等(2000)预期的完全一样,表层淡栗褐土中镉元素浓度与概率函数曲线存在 2 个拐点,拐点 1 为 0.070 mg/kg,代表元素浓度的上限(基准范围),该值小于样品元素浓度的平均值或中值(均为 0.092 mg/kg),可以作为基准值。较高点(拐点 2)可能代表异常的下限(人类活动影响的部分)。二者之间的部分可能与人类活动有关,也可能无关。笔者以相对累积频率分析(当符合条件时,拐点 1 的值)、算术平均值和中位数的平均值作为镉元素的最终基准值。

4.2 洪积新积土中镉的统计分析及其基准确定

洪积新积土中镉元素的描述性统计结果见表 1,镉的频数分布图和元素含量的概率函数见图 2。仿照与上面相似的方法,得出洪积新积土中镉元素的基准值(表 2)。

4.3 盐化潮土和潮土中元素镉的统计分析及其基准确定

图 3 是盐化潮土和潮土中元素 Cd 的概率函数曲线。之

表 2 3 种方法计算的 4 种典型土壤亚类中镉元素基准值比较

mg/kg

Table 2 Comparison of reference values of Cd calculated by three methods in four major subclasses of topsoil

	淡栗褐土	洪积新积土	盐化潮土	潮土
概率函数曲线	0.070	0.095	0.085	0.080
中位数	0.092	0.126	0.115	0.116
算术平均值	0.092	0.130	0.120	0.117
本文确定的基准值	0.084	0.117	0.107	0.104

注:中国潮土背景值为 0.103 mg/kg。

所以将这两种亚类放在一起分析,原因有二:分布比较广泛,这两种土壤在本研究区内的面积分别达到 1 657.6 km² 和 683.6 km²,分别占总研究区面积的 29.01% 和 12.0%;它们同属于潮土这一土类。

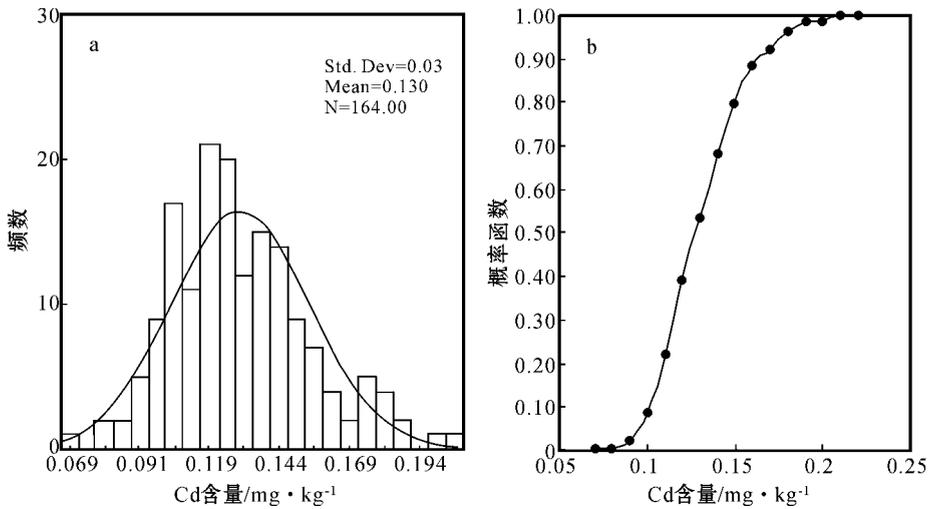


图 2 表层洪积新积土 Cd 含量分布频率直方图 (a) 和概率函数图 (b)

Fig. 2 Histogram (a) and probability function diagram (b) of Cd content in new accumulative topsoil

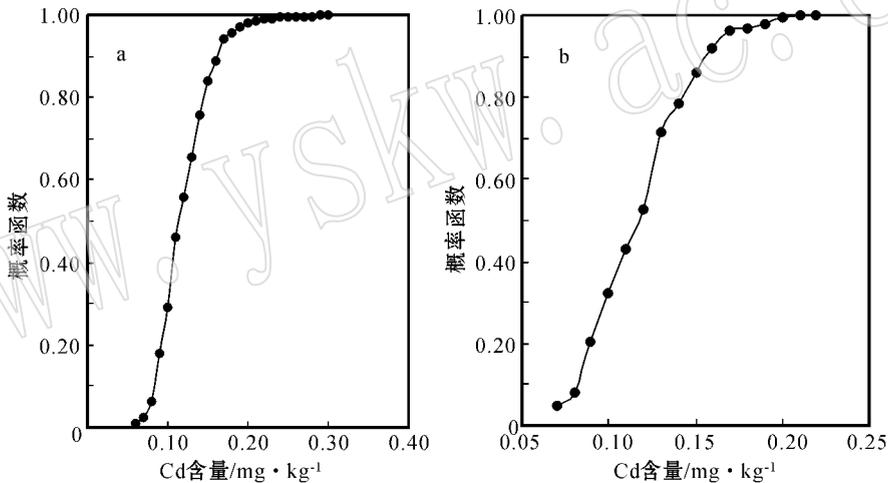


图 3 表层盐化潮土 (a) 和潮土 (b) 中 Cd 元素含量概率函数

Fig. 3 Probability function of Cd content in salinized fluvio-aquic topsoil (a) and fluvio-aquic topsoil (b)

由表 2 可以清楚地看到,在盐化潮土和潮土中重金属镉的基准非常接近,这为将来制定统一的潮土土类的基准值提供了很重要的基础资料,同时也说明了内蒙古自治区的这两个潮土亚类在生境条件、成土过程以及特性上很相似。Cd 的基准值受土壤类型的影响比较大,在洪积新积土中的值最高,为 0.117 mg/kg;在淡栗褐土中的值最低,为 0.084 mg/kg;在盐化潮土和潮土中的值很接近,分别为 0.107 mg/kg 和 0.104 mg/kg。

此次计算出的镉的基准值在洪积新积土、盐化潮土和潮土中值都高于文献中的全国潮土背景值,尤其是远远高于内蒙古潮土背景值 0.045 mg/kg (魏复盛等,1991)。根据现有的最新研究成果表明,镉的背景值虽然很高,但土壤矿物对 Cd 元素具有较强的固定与容纳能力,也就是说,即使土壤中 Cd 含量较高,Cd 也不进入食物链 (鲁安怀,2005;郑喜绅等,

2007),还是相对安全的。

5 结论

(1) 选取占研究区总面积 72.9% 的 4 种主要土壤亚类——淡栗褐土、洪积新积土、盐化潮土和潮土作为研究对象,通过绘制元素镉含量的概率密度函数,结合算术平均值和中位数法,分别确定了这 4 种表层土壤重金属 Cd 的环境地球化学基准值。

(2) 在严格遵循现行土壤分类标准的前提下,将所研究的土壤类别细化到了亚类,同时借助 GIS 在精确的数字曲面模型上将取样点位置和土壤亚类精确地对应了起来,在此基础上得出的重金属的基准值与土壤类别紧密相连,有助于后期

数据库的建立和政府决策。

(3) 尽管镉在洪积新积土、盐化潮土和潮土的基准值都远高于全国潮土背景值,但由于土壤矿物对 Cd 元素具有较强的固定与容纳能力,因此镉元素不会进入食物链,为发展我区的绿色农业提供了科学依据。

(4) 本文研究所得到的镉的基准值可以作为土壤清洁标准,评价研究区的污染状况,不仅为我国第三次土壤普查提供了基础资料,更为制订内蒙古自治区的土壤环境质量地方标准进行了重要的前期准备。

References

Agricultural Planning Commission in Hohhot. 1991. Soil [M]. Hohhot : Inner Mongolia University Press 54.

Chen M , Lena Q , Ma C , et al . 2001. Arsenic Background Concentrations in Florida , U. S. A. Surface Soils : Determination and Interpretation [J]. Environmental Forensics , 2 : 117 ~ 126.

Clemens R , Robert T and Garrett G . 2005. Geochemical background - concept and reality [J]. Science of the Total Environment , 350 : 12 ~ 27.

Gilliams S , Raymaekers D , Muys B , et al . 2005. Comparing multiple criteria decision methods to extend a geographical information system on afforestation [J]. Computers and Electronics in Agriculture , 49 : 142 ~ 158.

He Zhongjun , Liang Shewang , Hong Changqing , et al . 2004. Advance in the research on soil environmental quality standard in china and its prospect [J]. Journal of Yunnan Agricultural University , 19 (6) : 700 ~ 704 (in Chinese).

Lin Caihao . 2005. Research of geochemical classification of soils and geochemical baseline in coastal Zone of Fujian Province [J]. Quaternary Sciences 25 (3) : 347 ~ 354 (in Chinese).

Lu Anhuai . 2005. Mineralogical method for environmental evaluation of heavy metals in soil [J]. Geological Bulletin of China , 25 (8) : 715 ~ 720 (in Chinese).

Matschullat J , Ottenstein R and Reimann C . 2000. Geochemical background-Can we calculate it ? [J]. Environmental Geology , 39 (9) : 990 ~ 1 000.

Medvedev V V and Cybulko W G . 1995. Soil criteria for assessing the maximum permissible ground pressure of agricultural vehicles on Chernozem soil [J]. Soil & Tillage Research , 36 : 153 ~ 164.

Ministry for the Environment of New Zealand . 2003. Contaminated land management guidelines No. 2 Hierarchy and application in New Zealand of environmental guideline values , Wellington [Z].

Shi Junxian , Gao Fanshen and He Jiang . 2006. Review of the research on environmental quality criteria of lead and cadmium in soil [J]. China Soil and Fertilizer , 203 : 10 ~ 15 (in Chinese).

Shi Junxian , Gao Fanshen and He Jiang . 2006. Review of the research on environmental quality criteria of lead and cadmium in soil [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China , 203 : 10 ~ 15 (in Chinese).

Tang Wenchun and Jin Lixin . 2005. Reference geochemical values of elements in soil of Chengdu City and their implications [J]. Geology and Prospecting , 29 (1) : 71 ~ 83 (in Chinese).

Teng Yanguo . 1999. Study of Soil Environmental Geochemical Baseline

in Panzhihua Region [D]. Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).

Traas T P , Luttik R and Jongbloed R H . 1996. A probabilistic model for deriving soil quality criteria based on secondary poisoning of top predators [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety , 34 : 264 ~ 278.

Wang Ji . 2004. Research on the Environmental Geochemical Baseline of Heavy Metals in Surficial Soil of Guiyang China [D]. Graduate University of Chinese Academy of Sciences (in Chinese with English abstract).

Wei Fusheng , Chen Jingsheng , Wu Yanyu , et al . 1991. Study on the soil Environmental background values in China [J]. Environmental Science , 12 (3) : 12 ~ 19 (in Chinese).

Xia Zenglu , Cai Shiyue , Xu Jialin , et al . 1992. Soil Environmental Capacity in China [M]. Beijing : Earthquake Press (in Chinese).

Yang Jurong and Xu Jialin . 1995. Ecological criteria for heavy metals in sierozen [J]. China Environmental Science , 15 (3) : 177 ~ 182 (in Chinese).

Zheng Xishen , Lu Anhuai , Wang Qinghua , et al . 2007. Mineralogical method for evaluating Cd pollutant status in soil from Zhejiang Province [J]. Geological Bulletin of China , 26 (5) : 598 ~ 604 (in Chinese).

Zhu Lixin , Ma Shengming and Wang Zhifeng . 2003. Methodology for soil eco-geochemical reference value [J]. Geology and Prospecting , 39 (6) : 58 ~ 60 (in Chinese).

附中文参考文献

何忠俊,梁社往,洪常青,等. 2004. 土壤环境质量标准研究现状及展望 [J]. 云南农业大学学报, 19 (6) : 700 ~ 704.

呼和浩特市农业区划委员会办公室. 1991. 呼和浩特土壤 [M]. 内蒙古大学出版社, 54.

林才浩. 2005. 福建沿海土壤地球化学分类及基准值研究 [J]. 第四纪研究, 25 (3) : 347 ~ 354.

鲁安怀. 2005. 土壤重金属环境质量矿物学评价方法 [J]. 地质通报, 25 (8) : 715 ~ 720.

石俊仙,鄯翻身,何江. 2006. 土壤环境质量铅镉基准值的研究综述 [J]. 中国土壤与肥料, 203 : 10 ~ 15.

唐文春,金立新. 2005. 成都市土壤中元素地球化学基准值研究及其意义 [J]. 物探与化探, 29 (1) : 71 ~ 83.

滕彦国. 1999. 攀枝花地区土壤环境地球化学基线研究 [D]. 成都理工大学.

王济. 2004. 贵阳市表层土壤重金属污染元素环境地球化学基线研究 [D]. 中国科学院研究生院.

魏复盛,陈静生,吴燕玉,等. 1991. 中国土壤环境背景值研究 [J]. 环境科学, 12 (4) : 12 ~ 19.

夏增禄,蔡士悦,许嘉琳,等. 1992. 中国土壤环境容量 [M]. 北京:地震出版社, 176.

杨居荣,许嘉琳. 1995. 灰钙土重金属生态基准 [J]. 中国环境科学, 15 (3) : 177 ~ 182.

郑喜绅,鲁安怀,汪庆华,等. 2007. 用矿物学方法评价浙江土壤中 Cd 污染的状况 [J]. 地质通报, 26 (5) : 598 ~ 604.

朱立新,马生明,王之峰. 2003. 土壤生态地球化学基准值及其研究方法探讨 [J]. 地质与勘探, 39 (6) : 58 ~ 60.