

利用 3 种 *in vitro* 方法比较研究污染土壤中铅、砷生物可给性

崔岩山^{1,2}, 陈晓晨¹, 朱永官²

(1.中国科学院研究生院, 北京 100049;2.中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要:采用 PBET(Physiologically Based Extraction Test)、SBET(Simple Bioavailability Extraction Test)和 IVG(In Vitro Gastrointestinal) 3 种 *in vitro* 方法研究采自浙江上虞的 4 种污染土壤中铅、砷的生物可给性。结果表明,3 种方法得到的铅、砷在模拟胃肠液中的溶解度不同,胃阶段,采用 SBET 方法得到的数值最大,放有食物的 IVG 方法得到的数值最小;小肠阶段,不添加食物的 IVG 方法得到的数值最大,放有食物的 IVG 方法得到的数值最小。3 种方法得到的铅、砷在模拟胃肠液中的生物可给性不同,胃阶段,采用 SBET 方法得到的数值最大,4 种土壤中铅的生物可给性分别为 89.2%、71.3%、56.2%和 43.7%,砷的生物可给性分别为 7.4%、6.6%、5.9%和 7.4%。放有食物的 IVG 方法得到的数值最小,4 种土壤中铅的生物可给性分别为 30.1%、26.9%、18.4%和 15.0%,砷的生物可给性分别为 3.8%、4.9%、2.8%和 3.4%。小肠阶段,不添加食物的 IVG 方法得到的数值最大,4 种土壤中铅的生物可给性分别为 13.9%、11.1%、21.8%和 7.7%,砷的生物可给性分别为 7.1%、7.3%、4.6%和 7.3%。放有食物的 IVG 方法得到的数值最小,4 种土壤中铅的生物可给性分别为 3.4%、1.7%、4.3%和 1.9%,砷的生物可给性分别为 3.3%、4.8%、2.8%和 2.8%。3 种方法使用的条件不同如胃肠溶液成分及其 pH 是 3 种方法之间得出的结果差异的主要原因,4 种土壤之间的差异则主要是土壤属性差异等原因造成的。

关键词: *in vitro* 方法; 铅; 砷; 生物可给性

中图分类号: X825 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)02-0414-06

Comparison of Three *in vitro* Methods to Study the Bioaccessibility of Soil Lead and Arsenic

CUI Yan-shan^{1,2}, CHEN Xiao-chen¹, ZHU Yong-guan²

(1. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Three *in vitro* methods, Physiologically Based Extraction Test (PBET), Simple Bioavailability Extraction Test (SBET) and In Vitro Gastrointestinal (IVG) were used to determine the bioaccessibility of lead and arsenic of four pollution soils at small intestinal and gastric phases, respectively. The results showed that concentrations of dissolved lead and arsenic that determined by these three methods were different. Highest concentrations of dissolved lead and arsenic were obtained by the SBET method but the lowest concentrations were observed by the IVG method at the gastric phase. With the IVG method at the small intestinal phase, the highest concentrations of dissolved lead and arsenic were observed without food but the lowest concentrations were obtained with food added in. The bioaccessibility of lead and arsenic in the four polluted soils varied among these three methods. The highest bioaccessibility values were obtained with the SBET method at gastric phase, which were 89.2%, 71.3%, 56.2% and 43.7% for lead, and 7.4%, 6.6%, 5.9% and 7.4% for arsenic, respectively, among the four studied soils. With the IVG method, the lowest bioaccessibility values were derived with food added compared to the other methods in gastric phase. The bioaccessibility values of the four soils were 30.1%, 26.9%, 18.4% and 15.0% for lead, and 3.8%, 4.9%, 2.8% and 3.4% for arsenic, respectively. With the IVG method, the highest bioaccessibility values were conducted among these three methods at small intestinal phase, which were 13.9%, 11.1%, 21.8% and 7.7% for lead, and 7.1%, 7.3%, 4.6% and 7.3% for arsenic, respectively, among these four soils. However, with food added in, the highest bioaccessibility values were obtained with the IVG method at the small intestinal phase, which were 3.4%, 1.7%, 4.3% and 1.9% for lead, and 3.3%, 4.8%, 2.8% and 2.8% for arsenic with these four soils, respectively. The main differences in the results of bioaccessibility with the three methods might be attributed to the conditions of applied gastric and small intestinal pH and components. The main differences in the results of bioaccessibility from the four soils may be attributed to the various properties of the studied soils.

Keywords: *in vitro* methods; lead; arsenic; bioaccessibility

收稿日期: 2007-10-12

基金项目: 国家自然科学基金(20607028); 中国科学院研究生院院长基金(055001EY00)

作者简介: 崔岩山(1972—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为土壤污染控制及土壤健康风险评估。E-mail: cuiyanshan@gucas.ac.cn

由于人类对食物链途径的有效控制,无意口部摄入的土壤铅、砷对人体、特别是儿童摄入铅、砷的总量的贡献率将越来越大,甚至可能成为最主要的来源^[1,2]。无意摄入土壤中的铅、砷直接进入人体的消化系统并可以被人体胃肠道溶解的部分一般称为铅、砷的生物可给性。1992 年,Ruby 等^[3]较早地报道了铅的生物可给性。此后,铅、砷的生物可给性研究不断深入,已经逐渐成为各国环境科学家关注的焦点问题之一。

目前,用于土壤中铅、砷的生物可给性研究常用的研究方法有体内试验或活体实验(*in vivo*)和体外试验(*in vitro*)^[4,5]。一些 *in vitro* 方法,如 PBET、SBET、IVG 等方法,大都是基于一些 *in vitro* 实验的基础上建立起来的。由于 *in vitro* 方法具有分析结果相对准确可靠、设计简单、试验快速、费用较低、可控性强的优点,正逐步被认为是研究重金属生物可给性的重要方法之一。随着 *in vitro* 方法的不断成熟,许多国家逐渐采用这些方法用于污染物污染土壤的风险评价。如英国地质调查局采用 SBET (Simple Bioavailability Extraction Test) 方法用于土壤中重金属的风险评价。同时美国环保局近来也支持发展 SBET 用于重金属污染土壤的风险评价,并认为这项技术的应用有助于减少污染土壤修复的花费^[6]。PBET (Physiologically Based Extraction Test)方法是 Ruby 等^[7]提出的,认为用此方法得到的土壤铅等的生物可给性与用 *in vitro* 实验得到的结果有很好的相关性。IVG (In Vitro Gastrointestinal)是 Rodriguez 等^[8]提出来用于预测土壤中重金属的生物有效性的,认为用此方法得到的土壤砷等的生物可给性与用 *in vitro* 实验得到的结果有很好的相关性。因此,本研究拟采用 PBET、SBET 和 IVG3 种 *in vitro* 方法研究采自浙江上虞的 4 种污染土壤中铅、砷的生物可给性,并比较这些方法的结果差异,分析造成差异的可能原因并探讨这些方法在我国污染土壤风险评价中应用的可能性。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

本实验所用的 4 种土壤均采自浙江上虞。土壤的一些基本理化性质见表 1。所采集的土壤风干后过 60 目筛,用于 *in vitro* 实验。

1.2 3 种 *in vitro* 方法描述

本研究拟采用 3 种 *in vitro* 方法研究污染土壤中铅、砷的生物可给性:即 PBET、SBET、IVG(包括有食物和无食物)方法。本研究采用的 3 种方法的主要技术参数见表 2。各种方法在胃阶段和肠阶段(除 SBET 外)结束时,分别取样 10 mL,过 0.45 μm 的膜,并且对肠阶段的样品进行酸化,保存在 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中,待测。

1.3 土壤中铅、砷的生物可给性计算

胃阶段或小肠阶段铅、砷的生物可给性可由下式计算

$$\text{生物可给性}(\%) = (C_{\text{IV}} \cdot V_{\text{IV}}) / (T_s \cdot M_s) \times 100\%$$

式中: C_{IV} 是 *in vitro* 实验的胃阶段或者小肠阶段反应液中特定铅、砷的可溶态总量, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; V_{IV} 为各反应器中反应液的体积, L, 本实验为 0.6 L; T_s 是土壤样品中铅、砷的总量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; M_s 为加入反应器中的土壤样品的重量, kg, 本实验为 0.006 kg。

1.4 土壤基本理化性质及胃肠液中铅砷分析

土壤 pH 采用 CaCl_2 提取(土:溶液=1:2.5)测定^[9]; 土壤阳离子交换量(CEC)采用 0.1 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 BaCl_2 提取法^[10]; 土壤有机质采用重铬酸钾外加热法测定^[11]; 土壤 CaCl_2 提取态 Pb 采用 ICP-OES(Perkin-Elmer OPTIMA-2000, USA)测定; 水提取态砷采用 AFS(AFS-2202E, 北京海光仪器公司)测定; 土壤采用王水、 HClO_4 消解(王水: HClO_4 =3:1, 体积比), 铅总量用 ICP-OES 测定; 砷的总量用 AFS 测定; 模拟胃肠液样品中铅采用 ICP-OES 测定, 砷采用 AFS 测定。

1.5 数据分析方法

采用 SPSS11.5 版本进行数据的分析, 多重比较

表 1 供试土壤的一些基本理化性质

Table 1 Basic properties of the soil

土壤编号	pH	有机质/%	CEC/ $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$	总 As/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	水提态 As/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	总 Pb/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	CaCl_2 提取态 Pb/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
A	4.70	4.31	8.45	3 322	1.51	7 104	1.60
B	5.61	5.71	10.64	1 862	0.89	8 621	0.91
C	4.77	2.08	3.54	177	0.21	851	0.80
D	5.26	5.37	12.49	3 138	1.04	13 211	3.23

表 2 3 种方法的主要参数
Table 2 Parameters of the three methods

胃阶段	液/土	PBET	SBET	IVG
		100	100	150
胃阶段	溶液成分	0.15 mol · L ⁻¹ 氯化钠、1.25%胃蛋白酶、3.3 g · L ⁻¹ 柠檬酸、3.3 g · L ⁻¹ 苹果酸、2.8 mL 乳酸、3.3 mL 乙酸、盐酸调 pH=1.5	30.03 g · L ⁻¹ 氨基乙酸、盐酸调 pH=1.5	0.15 mol · L ⁻¹ 氯化钠、1% 胃蛋白酶、面粉（有或无）盐酸调 pH=1.8,
	速度	100 r · min ⁻¹	30 r · min ⁻¹	100 r · min ⁻¹
	时间	1 h	1 h	1 h
	温度	37 ℃	37 ℃	37 ℃
	液/土	100	无	150
小肠阶段	溶液	胆盐 2.0 g · L ⁻¹ , 胰酶 0.6 g · L ⁻¹ , NaHCO ₃ 调 pH=7.0		胆盐 3.6 g · L ⁻¹ , 胰酶 0.36 g · L ⁻¹ , NaHCO ₃ 调 pH=5.5
	时间	4 h		1 h
	温度	37 ℃		37 ℃

采用 Duncan’s 法。

2 结果

2.1 胃阶段铅、砷的生物可给性

3 种方法得到的铅、砷在模拟胃液中的溶解度不同(图 1、图 2)。对 4 种土壤在模拟胃液中铅的结果分析,采用 SBET 方法得到的数值最大, A、B、C、D 4 种土壤分别相对应的值为 6 340、6 145、478、5 777 mg · kg⁻¹; 而放有食物的 IVG 方法得到的数值最小, A、B、

C、D4 种土壤分别相对应的值为 2 138、2 321、157、1 976 mg · kg⁻¹。对 4 种土壤在模拟胃液中砷的结果分析,同样是放有食物的 IVG 方法得到的数值最小。

进一步分析 3 种方法得到的铅在模拟胃液中的生物可给性(表 3、表 4),对同一土壤,SBET 得到的生物可给性数值最大, 而放有食物的 IVG 方法得到的数值最小。4 种土壤中铅的生物可给性都显著高于砷的生物可给性。铅的生物可给性在 15%~89%,而砷的生物可给性在 2.8%~8.4%。

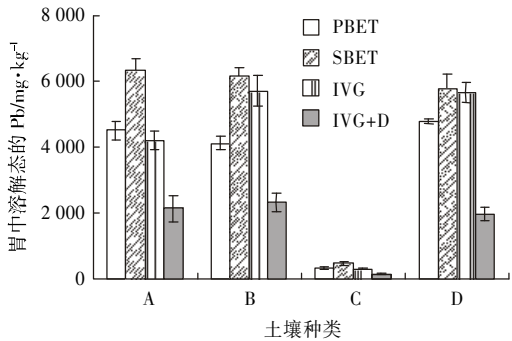


图 1 3 种方法得到的土壤铅在胃中的溶解态
Figure 1 Soluble Pb in gastric phase

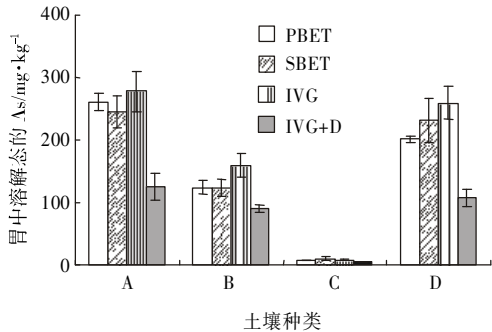


图 2 3 种方法得到的土壤砷在胃中的溶解态
Figure 2 Soluble As in gastric phase

表 3 3 种方法得到的土壤铅在胃中的生物可给性(%)
Table 3 Bioaccessibility of Pb in gastric phase (%)

土壤	PBET	SBET	IVG	IVG+D
A	63.6±4.1b	89.2±4.8a	59.2±4.2b	30.1±5.6c
B	47.9±2.3b	71.3±3.0a	66.3±6.6a	26.9±3.5c
C	41.4±5.0b	56.2±6.2a	37.1±3.6b	18.4±2.3c
D	36.3±0.6b	43.7±3.3a	42.9±2.2a	15.0±1.5c
方差分析				
方法间		P<0.001		
土壤间		P<0.001		
方法间×土壤间		P<0.001		

注: 同一行之间标有不同字母的表示有差异(P<0.05)。

表 4 3 种方法得到的土壤砷在胃中的生物可给性(%)

Table 4 Bioaccessibility of As in gastric phase (%)

土壤	PBET	SBET	IVG	IVG+D
A	7.9±0.4a	7.4±0.8a	8.4±1.0a	3.8±0.6b
B	6.6±0.6ab	6.6±0.7ab	8.6±1.0a	4.9±0.3b
C	4.3±0.3ab	5.9±1.4a	4.9±0.7ab	2.8±0.5b
D	6.4±0.2a	7.4±1.1a	8.3±0.8a	3.4±0.4b
方差分析				
方法间		$P<0.001$		
土壤间		$P<0.001$		
方法间×土壤间		$P<0.001$		

注: 同一行之间标有不同字母的表示有差异($P<0.05$)。

2.2 小肠阶段铅、砷的生物可给性

PBET 和 IVG 两种方法得到的小肠中铅、砷的溶解度不同(图 3、图 4)。IVG 方法在有无食物时得到的结果有显著差异($P<0.001$)。有食物的 IVG 方法得到的铅、砷溶解态浓度最低。

进一步分析铅、砷在小肠中的生物可给性(表 5)发现,同种土壤,铅的生物可给性要高于砷的生物可给性;有食物的 IVG 方法得到的铅、砷生物可给性的

值均为最低,各方法和土壤种类之间都有显著差异($P<0.001$)。

3 讨论

不同的研究者在分析生物可给性的数据时,有的将胃和小肠单独分开,各自计算生物可给性。有些研究者将二者合并,计算出一个总的生物可给性值(一般以小肠液中为主)。本实验中得到的胃中铅、砷的可

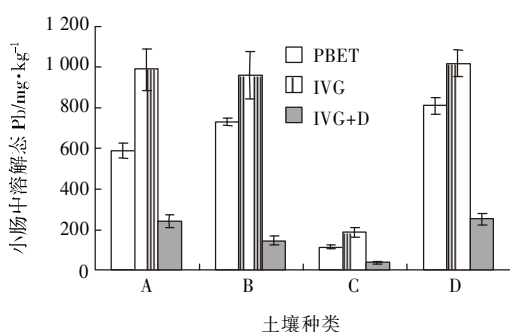


图 3 土壤铅在小肠中的溶解态

Figure 3 Soluble Pb in small intestinal phase

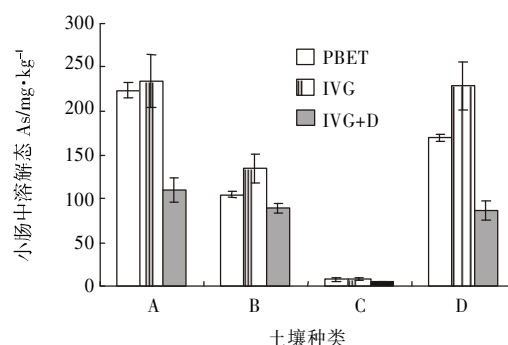


图 4 土壤砷在小肠中的溶解态

Figure 4 Soluble As in small intestinal phase

表 5 土壤铅、砷在小肠中的生物可给性(%)

Table 5 Bioaccessibility of As in small intestinal phase(%)

土壤	Pb			As		
	PBET	IVG	IVG+D	PBET	IVG	IVG+D
A	8.3±0.5b	13.9±1.4a	3.4±0.4c	6.8±0.3a	7.1±0.9a	3.3±0.4b
B	8.5±0.2b	11.1±1.3a	1.7±0.3c	5.6±0.2b	7.3±0.9a	4.8±0.3c
C	13.2±1.2b	21.8±3.0a	4.3±0.1c	4.3±1.0a	4.6±0.7a	2.8±0.3b
D	6.1±0.3b	7.7±0.5a	1.9±0.2c	5.4±0.1b	7.3±0.5a	2.8±0.4b
方差分析						
方法间		$P<0.001$			$P<0.001$	
土壤间		$P<0.001$			$P<0.001$	
方法间×土壤间		$P<0.001$			$P<0.001$	

注: 同一行之间标有不同字母的表示有差异($P<0.05$) (Pb 和 As 分列)。

给性分别为15%~89%和2.8%~8.4%;小肠中铅、砷的可给性分别为1.9%~21.8%和2.8%~7.3%。并且胃中铅、砷的可给性要远高于小肠中铅、砷的可给性,这主要的原因是与胃中的pH远低于小肠中的pH有关。不同研究者得出的土壤中铅、砷的生物可给性差异很大。如Schrader等^[12]采用IVG方法研究18种土壤中铅的生物可给性,胃中的生物可给性为0.7%~36%(有面团)和1.4%~64%(无面团)。小肠中的生物可给性为0.02%~1.16%。Marschner等^[13]采用IVG方法对15种土壤铅的生物可给性的研究发现,铅的生物可给性为2%~21%(无奶粉)和11%~56%(有奶粉)。Ruby等^[7]采用的PBET的方法得到胃中的铅生物可给性为3.8%~26%,小肠中的生物可给性为0.6%~29%。对于砷的研究,Ellickson等^[14]研究在胃中生物可给性为69%,小肠中为66%。Tang等^[15]研究胃中的砷的生物可给性约为10%~65%,小肠中砷的生物可给性约为10%~70%。这些结果的差异,主要是由于所用方法上的差异,如胃、肠液中的pH采用不同,模拟胃肠液中物质的组成不同、有无食物、搅拌速度等;同时不同的土壤的一些属性如含铁量、土壤粘粒含量、土壤pH、土壤有机质等,以上这些原因都是导致不同研究者得出不同结论的原因。

土壤铅、砷的生物可给性的研究主要是基于*in vivo*实验的基础上,不同的研究者采用不同的动物,对于铅、砷的生物有效性得出的结果也有很大的范围。如对于铅的生物可给性的研究,采用猪作为实验动物,Schrader等^[12]得到的结果是1%~87%,Ruby等^[5]得到的结果是1%~90%,而Ellickson等^[14]采用小鼠的实验结果是0.4%~0.9%。对于砷的生物有效性研究,Freeman等^[16,17]采用兔和猴子为实验动物,得到的结果分别为5%~43%和22%~31%,Casteel等^[18]采用猪做实验动物得到的结果为0%~52%,Ellickson等^[14]采用小鼠的实验结果是34%~41%。由于上述动物实验都是喂食的特定土壤,与本实验结果无法直接比较。

有食物存在时,由于食物的不同,生物可给性也表现出不同。采用同位素的方法,对人体吸收铅的研究表明,当空腹时,对摄入的铅有26%被吸收,当有食物后,仅有2.5%被吸收。同样,当铅盐进入人体消化后,可能有45%~71%被吸收,而有食物后,则减少到3%~8%^[19]。很多研究也表明,增加食物会降低铅的生物可给性。当模拟胃肠液中添加面团时,Schrader等^[12]的研究发现,铅在模拟胃肠液的生物可给性显著降低(IVG方法)。Ruby等^[4]也报道了添加兔食在胃阶

段可以显著降低铅的生物可给性。而Bell等^[20]研究表明,当喂食老鼠奶粉时,增加了老鼠对铅的吸收。Marschner等^[13]也发现,当添加奶粉时,铅的生物可给性显著升高了。这可能是由于溶解态的铅与奶粉的一些成分如蛋白质、柠檬酸等反应。同时,也有研究者认为可能是由于有食物存在时,铅吸附于固相的食物上,或由于有食物时,提高了胃液中的酸度。土壤中重金属的生物有效性表现出如此大的差异,还有可能和铅的矿物学特性以及土壤的基本性质有关。如碳酸铅、与铁锰氧化物结合态的铅的生物有效性就远高于硫化铅和磷酸铅^[21]。

4 小结

3种方法得到的铅、砷在模拟胃肠液中的溶解度不同,胃阶段,采用SBET方法得到的数值最大,放有食物的IVG方法得到的数值最小;小肠阶段,不添加食物的IVG方法得到的数值最大,放有食物的IVG方法得到的数值最小。3种方法得到的铅、砷在模拟胃肠液中的生物可给性不同,胃阶段,采用SBET方法得到的数值最大,放有食物的IVG方法得到的数值最小。小肠阶段,不添加食物的IVG方法得到的数值最大,放有食物的IVG方法得到的数值最小。3种方法使用的条件不同如胃肠溶液成分及其pH是3种方法之间得出的结果差异的主要原因,4种土壤之间的差异则主要是土壤属性差异等原因造成的。要进一步分析3种方法对我国土壤中铅、砷生物可给性研究的适用性,仍然需要进一步的*in vivo*实验证明。

参考文献:

- [1] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for lead[R]. U.S. Department of Health and Human Services. Washington, D.C. 2005a.
- [2] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for Arsenic[R]. U.S. Department of Health and Human Services. Washington, D.C. 2005b.
- [3] Ruby M V, Davis A, Kempton J H, et al. Lead bioavailability: dissolution kinetics under simulated gastric conditions[J]. *Environmental Science and Technology*, 1992, 26(6):1242-1248.
- [4] Ruby M V, Davis A, Link T E, et al. Development of an *in vitro* screening test to evaluate the *in vivo* bioaccessibility of ingested mine-waste lead[J]. *Environmental Science and Technology*, 1993, 27:2870-2877.
- [5] Ruby M V, Schoof R, Brattin W, et al. Advances in evaluating the oral bioavailability of inorganics in soil for use in human health risk assessment[J]. *Environmental Science and Technology*, 1999, 33(21):3697-3705.

- [6] UK Environment Agency. International workshop on the potential use of bioaccessibility testing in risk assessment of land contamination[R]. Rio House, Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury, Bristol, BS324UD. 2005.
- [7] Ruby M V, Davis A, Schoof R, et al. Estimation of lead and arsenic bioavailability using a physiologically based extraction test[J]. *Environmental Science and Technology*. 1996, 30(2):422–430.
- [8] Rodriguez R R., Basta N T, Casteel S W, et al. An in-vitro gastrointestinal method to estimate bioavailable arsenic in contaminated soils and solid media[J]. *Environmental Science and Technology*, 1999, 33(4): 642–649.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- LU Ru-kun. Agricultural analysis methods of soil[M]. Beijing: Chinese Agricultural Technology Press, 2000.
- [10] Hendershot W H, Duquette M. A Simple barium chloride method for determining cation exchange capacity and exchangeable cations[J]. *Soil Science Society of America journal*, 1986, 50(3):605–608.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. BAO Shi-dan. Soil and agricultural chemistry analysis (3rd Edition) [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [12] Schroder J L, Basta N T, Casteel S W. et al. Validation of the in vitro gastrointestinal (IVG) method to estimate relative bioavailable lead in contaminated soils[J]. *Journal of Environmental Quality*. 2004, 33(2): 513–521.
- [13] Marschner B, Welge P, Hack A et al. Comparison of Soil Pb in Vitro Bioaccessibility and in Vivo Bioavailability with Pb Pools from a Sequential Soil Extraction[J]. *Environmental Science and Technology*, 2006, 40(8):2812–2818.
- [14] Ellickson K M, Meeker R J, Gallo M A, et al. Oral bioavailability of lead and arsenic from a NIST standard reference soil material [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2001, 40(1): 128–135.
- [15] Tang X Y, Zhu Y G, Shan X Q, et al. The ageing effect on the bioaccessibility and fractionation of arsenic in soils from China [J]. *Chemosphere*, 2007, 66(7):1183–1190.
- [16] Freeman G B, Johnson J D, Killinger J M, et al. Bioavailability of arsenic in soil impacted by smelter activities following oral administration in rabbits[J]. *Toxicological Sciences*, 1993, 21(1): 83–88.
- [17] Freeman G B, Schoof R A, Ruby M V, et al. Bioavailability of arsenic in soil and house dust impacted by smelter activities following oral administration in cynomolgus monkeys [J]. *Fundamental and Applied Toxicology*, 1995, 28(2): 215–222.
- [18] Casteel S W, Brown L D, Dunsmore M E, et al. Relative bioavailability of arsenic in mining wastes[G]. Document Control No. 4500–88–AORH. U.S. Environmental Protection Agency, Region 8, Denver, CO. 1997.
- [19] Maddaloni M, Lolocono N, Manton W, et al. Bioavailability of soilborne lead in adults, by stable isotope dilution[J]. *Environmental Health Perspectives*, 1998, 106(6): 1589–1594.
- [20] Bel R R, Spickett J T. The influence of milk in the diet on toxicity of orally ingested lead in rats [J]. *Food and Cosmetics Toxicology*, 1981, 19(4):429–436.
- [21] Heard M J, Chamberlain A C. Uptake of lead by humans and effect of minerals and food[J]. *Science of the Total Environment*, 1983, 30: 245–253.

征文通知

本刊将集中刊登农业面源污染防治方面的研究论文,有关我国重要湖泊、水库的水质富营养化与治理,农业种植业、养殖业、水产业以及农村废弃物对面源污染的贡献等方面的研究内容均在征集之列,经专家审阅合格的稿件将于 2008 年第 4 期(2008 年 7 月 20 日)出版,欢迎大家踊跃投稿。

《农业环境科学学报》编辑部

2008 年 1 月 10 日