

丘北辣椒种植区土壤中砷和磷的含量及其相互关系

杨四坤¹, 祖艳群¹, 李元¹, 吴伯志²

(1. 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201; 2. 云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201)

摘要:通过大田调查的方法, 研究云南省丘北县天星乡和树皮乡土壤砷和磷含量及其相关关系。结果表明: (1) 总砷含量平均值为 $36.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($12.81 \sim 94.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 42% 的土壤样品超过国家土壤环境质量二级标准, 有效砷含量平均值为 $3.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($2.01 \sim 5.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。天星乡土壤总砷和有效态砷含量都高于树皮乡。(2) 土壤全磷含量平均值为 $0.46 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($0.22 \sim 0.92 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), 速磷含量平均值为 $18.79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($1.20 \sim 70.59 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。 (3) 丘北辣椒主产区土壤总砷和有效砷均与全磷和速效磷呈极显著负相关关系, 土壤中砷的含量随磷含量的升高而降低。

关键词: 土壤; 砷; 磷; 污染评价; 相互关系

中图分类号: X833 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2010)增刊-0084-05

Contents of Arsenic and Phosphorus and Its Interaction in Chilli Pepper Production Areas in Qiubei County

YANG Si-kun¹, ZU Yan-qun¹, LI Yuan¹, WU Bo-zhi²

(1. College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. College of Agronomy and biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: Field investigation was conducted in order to understand contents of arsenic and phosphorus and its relationship in two chilli pepper production areas (Tianxing and Shupi) of Qiubei County, Yunnan Province. The results showed that: (1) Mean content of total arsenic was $36.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, ranged from $12.81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $94.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, some 42% of the soil samples exceeded 2nd grade standard value of National Soil Environmental Quality Standards of China. Mean content of available arsenic was $3.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, ranged from $2.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $5.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Contents of total arsenic or available arsenic in Tianxing were higher than that in Shupi. (2) Mean content of total phosphorus was $18.79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, ranged from $0.22 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $0.92 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Mean content of available phosphorus was $18.79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, ranged from $1.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $70.59 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. (3) Negative relationships were observed between As (total arsenic and available arsenic) and P (total phosphorus and available phosphorus). Soil arsenic contents decreased with increase in soil phosphorus contents.

Keywords: soil; arsenic; phosphorus; pollution assessment; interaction

砷是一种毒性很强且有积累性中毒作用的类金属环境污染物, 主要集中于表土层, 对生态环境的影

响很大, 已引起人们的普遍关注^[1-2]。磷和砷在元素周期表中是同属于第 V 主族的元素, 它们有着相似电子层结构, 并且在自然界中能形成形态相似的磷酸盐 (PO_4^{3-}) 和砷酸盐 (AsO_4^{3-})^[3], PO_4^{3-} 可替换土壤已吸附的 As, 同时土壤中的 P 也会显著地抑制土壤 (特别是黏土矿物) 对 As 的吸附^[4]。

砷矿广泛分布在我国湖南、云南、广西、广东等省区, 在云南昆明红壤中砷的含量达到 $16.40 \sim 19.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值为 $17.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[5]。本文就云南省

收稿日期: 2009-09-10

基金项目: 云南省科技攻关项目“文山丘北辣椒优质高产新品种选育及配套技术研究示范”(2006NY17); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目

作者简介: 杨四坤(1984—), 女, 云南大理人, 在读硕士生, 主要研究方向为植物营养学与土壤污染学。

通讯作者: 祖艳群 E-mail: zuyanqun@yahoo.com.cn

丘北县辣椒主产区农田土壤为研究对象,通过野外采样,对表层土壤砷含量状况进行调查,研究该地区砷的分布情况,同时对该地区土壤中磷含量进行测定,分析磷含量对砷的影响,探讨该地区磷和砷之间的相互关系,从而为当地的农业生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品的采集和处理方法

丘北县位于云南省东南部,地处低纬季风区域,位于东经 $103^{\circ}34' \sim 104^{\circ}45'$,北纬 $23^{\circ}45' \sim 24^{\circ}28'$,海拔介于 $1\,400 \sim 1\,800\text{ m}$,被誉为“中国辣椒之乡”。2007年在丘北县天星乡(TX)和树皮乡的树皮大塘子(SD)、树皮龙溪村(SL)、树皮大笼树(SS)辣椒主产区进行调查和采样。根据辣椒主产区的地形和地貌情况,东西向间隔 500 m ,南北向间隔 100 m ,按照网格法采集 209 个耕作层($0 \sim 20\text{ cm}$)土壤样品,调查地点用 GPS 定位。土样在室内风干,挑出石块和植物残枝,碾碎,过筛(0.25 mm 和 1 mm),备用。

1.2 样品测定

土壤总砷测定采用氢化物发生-原子吸收法^[6];土壤有效砷的测定采用 $0.5\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{NaHCO}_3$ ($10:1$)浸提,氢化物发生-原子吸收法^[7];全磷的测定采用 NaOH 熔融钼锑抗比色法;速效磷的测定采用 $0.5\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{NaHCO}_3$ 法。

1.3 数据分析

污染等级评价采用单因子污染指数(P_i)法:

$$P_i = C_i/C_{oi}$$

式中: P_i 表示 i 采样点土壤中砷的单项污染指数; C_i 表示采样点土壤总砷含量; C_{oi} 为土壤评价标准值。

数量性状差异显著性分析采用 DPS 软件新复极差法(Duncan);相关性分析采用 SPSS 软件。

2 结果与分析

2.1 土壤总砷和有效砷含量及污染评价

我国土壤砷元素背景值为 $9.6\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,含量范围为 $2.5 \sim 33.5\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[8]。从表 1 可以看出,丘北辣椒主产区的土壤总砷的总体含量在 $12.81 \sim 94.08\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $36.76\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,60% 的土样超过了我国土壤砷的背景值上限,属于高砷含量区,其变异系数是 29.6%,属中等变异($Cv = 10\% \sim 100\%$)^[9]。

有效砷总体含量平均值为 $3.67\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,含量范围在 $2.01 \sim 5.38\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,其总体变异系数是 15.1%,属中等变异。有效砷含量占总砷含量的 5.57%~29.02%。在 $P < 0.05$ 水平上, TX 与 SD、SL、SD 的总砷含量存在显著性差异;有效砷含量天星乡与树皮乡存在显著性差异。

根据我国土壤环境质量标准(GB 15618—1995), 209 个土壤样品中 42% 的土样超过了国家土壤环境质量二级标准^①。树皮乡总体超标率为 11%,其中 SL 超标率为 16.7%,SS 超标率为 9%;天星乡(TX)超标率为 94.7%,是总砷含量最高的一个区域。

表 1 土壤总砷和有效砷含量

Table 1 Contents of total arsenic and available arsenic in soil of Qiubei County

指标	采样点	编号	样本数	平均值/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	平均值 $\pm$ SD/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	最小值/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	最大值/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	变异系数
总砷	天星乡	TX	76	54.38	$54.38 \pm 10.70\text{d}$	34.76	94.08	19.7%
		SD	18	35.82	$35.82 \pm 14.52\text{b}$	18.59	60.09	40.5%
	树皮乡	SL	36	31.60	$31.60 \pm 7.54\text{bc}$	18.20	43.62	23.9%
		SS	79	25.25	$25.25 \pm 10.73\text{d}$	12.81	58.07	42.5%
	树皮乡全部		133	30.89	$30.89 \pm 5.32\text{cd}$	12.81	60.09	17.2%
	全部	-	209	36.76	36.76 ± 12.52	12.81	94.08	34.1%
有效砷	天星乡	TX	76	4.38	$4.38 \pm 0.49\text{a}$	3.31	5.38	11.1%
		SD	18	3.67	$3.67 \pm 0.54\text{b}$	2.64	4.42	14.7%
	树皮乡	SL	36	3.34	$3.34 \pm 0.61\text{c}$	2.01	3.93	18.3%
		SS	79	3.26	$3.26 \pm 0.55\text{c}$	2.24	4.28	16.9%
	树皮乡全部		133	3.42	$3.42 \pm 0.22\text{c}$	2.01	4.42	6.4%
	全部	-	209	3.67	3.67 ± 0.51	2.01	5.38	13.9%

注:不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著水平。Note: The different small letters indicate significant difference at $P < 0.05$ level.

根据单因子指数法来评价丘北辣椒主产区土壤总砷的污染状况:即当单因子污染指数 $P_i \leq 1$ 时为非污染,当 $1 < P_i \leq 2$ 时为轻度污染,当 $2 < P_i \leq 3$ 时为中度污染,当 $P_i > 3$ 时为重度污染。

由表2可以看出,丘北辣椒土壤处于非污染的占土样的55%,轻度污染的占47%,没有出现重度污染的样点。其中天星乡轻度污染的占95%,树皮乡轻度污染的占17%。砷含量较高的区域一般位于公路两边,以路为中心,依次递减,所以在分析本地砷污染的原因时应重点考虑人为因素。从整体来看,丘北辣椒主产区土壤半数以上处于轻污染状态,虽未形成大面积严重污染,但应引起重视。

2.2 土壤总磷、速效磷含量

由表3可以看出,丘北辣椒种植区土壤总磷含量

在 $0.22 \sim 0.92 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $0.46 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其总体变异系数是21.7%,属中等变异;速效磷含量在 $1.20 \sim 70.59 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $18.79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其总体变异系数是41.4%,属中等变异。土壤速效磷含量处于较高水平(速效磷含量 $5 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,中等含量;速效磷含量 $> 10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,较高含量;速效磷含量 $> 18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,高含量^[6]),速效磷总体含量占全磷的0.2%~14.7%。

2.3 土壤总砷、有效砷和磷的相关性分析

As和P同属元素周期表中的第V族,化学性质类似,在土壤中两者均以阴离子的形式存在。研究表明,P和As在土壤中可以相互竞争土壤胶体上的吸附位点^[10-11]。由表4可以看出,从总体上看,总砷和总磷存在着极显著负相关关系, R^2 为0.380**,天星

表2 土壤总砷的污染评价
Table 2 Pollution assessment in soil of Qiubei County

采样点	编号	样本数	超标样本数	超标率/% *	样点百分数/%	
					$P_i \leq 1$	$1 < P_i \leq 2$
天星乡	TX	76	72	94.5	5	95
	SD	18	0	0	61	39
树皮乡	SL	36	6	16.7	83	17
	SS	79	9	9	89	11
	树皮乡全部	133	15	11	83	17
全部	-	209	89	42	55	47

①二级标准: pH < 6.5,标准值为 $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

表3 土壤总磷和速效磷含量
Table 3 Contents of total P and available P in soil of Qiubei County

指标	采样点	编号	样本数	平均值/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	平均值 $\pm$ SD/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	最小值/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	最大值/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	变异系数
总磷	天星乡	TX	76	0.40	$0.40 \pm 0.01\text{d}$	0.22	0.68	2.5%
		SD	18	0.39	$0.39 \pm 0.09\text{d}$	0.25	0.55	23.1%
	树皮乡	SL	36	0.47	$0.47 \pm 0.10\text{c}$	0.24	0.67	21.3%
		SS	79	0.60	$0.60 \pm 0.16\text{a}$	0.27	0.92	26.7%
		树皮乡全部	133	0.49	$0.49 \pm 0.11\text{b}$	0.24	0.92	22.4%
	全部	-	209	0.46	0.46 ± 0.10	0.22	0.92	21.7%
速效磷	天星乡	TX	76	17.53	$17.53 \pm 10.41\text{b}$	2.66	51.65	59.4%
		SD	18	9.7	$9.7 \pm 2.23\text{c}$	5.87	13.77	23.0%
	树皮乡	SL	36	28.62	$28.62 \pm 12.56\text{a}$	10.13	57.55	43.9%
		SS	79	19.3	$19.30 \pm 13.43\text{b}$	1.20	70.59	69.6%
		树皮乡全部	133	19.21	$19.21 \pm 9.46\text{b}$	1.20	70.59	49.2%
	全部	-	209	18.79	18.79 ± 7.77	1.20	70.59	41.4%

注:不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著水平。Note:The different small letters indicate significant difference at $P < 0.05$ level.

乡(TX)(剔除部分具有特异值样点)和树皮乡总砷和磷存在极显著相关关系, R^2 分别为 0.130**和 0.461**,其中树皮乡的相关性较天星乡高,说明土壤总砷含量随着总磷含量升高而降低。

从总体上看,总砷和速效磷存在着极显著负相关关系, R^2 为 0.046**。天星乡(TX)呈显著相关关系, R^2 为 0.073**,说明土壤总砷含量随着速效磷含量升高而降低。其中 SD 总砷和磷、树皮乡总砷和速效磷相关性不显著,说明该地区总砷的变化不仅受到土壤中速效磷的影响,而且可能是该采样区污染情况比较复杂,掩盖了一些正常状况下所表现出来的规律^[12]。

由表 5 可以看出,有效砷和全磷存在极显著的相关关系, R^2 为 0.349**,其中相关性最高的是树皮乡, R^2 为 0.304**,其次是天星乡(TX), R^2 为 0.084*。

有效砷与速效磷也存在相似的相关关系,有效砷和速效磷存在极显著的相关关系, R^2 为 0.102**,天星乡(TX)和树皮乡两个地区有效砷和速效磷呈极显著的相关关系, R^2 分别为 0.139**和 0.099**,说明该地区土壤有效砷含量随磷(全磷和速效磷)含量的升高而降低,磷对有效砷的影响比较显著。其中,SD、SL 有效砷和速效磷相关性不显著。

表 4 土壤总砷含量与全磷、速效磷含量的相关性
Table 4 Relationships between the total As contents and total P contents, available P contents in soil

相关性	采样点	编号	相关方程	<i>n</i>	<i>F</i>	R^2	<i>P</i>
总砷与全磷	天星乡	TX	$y = 71.55 - 42.02x$	70	8.36	0.130	<0.01
		SL	$y = 43.92 - 26.19x$	36	4.53	0.117	<0.05
	树皮乡	SS	$y = 53.79 - 47.56x$	79	75.97	0.497	<0.01
		树皮乡全部	$y = 52.52 - 45.71x$	133	112.07	0.461	<0.01
	全部	-	$y = 70.02 - 66.29x$	210	126.72	0.380	<0.01
总砷与速效磷	天星乡	TX	$y = 59.23 - 0.28x$	76	5.79	0.073	<0.05
	树皮乡	SS	$y = 28.47 - 0.18x$	79	4.50	0.055	<0.05
	全部	-	$y = 43.08 - 0.28x$	210	9.96	0.046	<0.01

表 5 有效砷含量与全磷、速效磷相关性
Table 5 Relationships between the available As contents and total P contents, available P contents in soil

相关性	采样点	编号	相关方程	<i>n</i>	<i>F</i>	R^2	<i>P</i>
有效砷与全磷	天星乡	TX	$y = 4.89 - 1.29x$	70	6.20	0.084	<0.05
		SD	$y = 4.80 - 2.86x$	18	4.70	0.227	<0.05
		SL	$y = 4.50 - 2.46x$	36	6.35	0.157	<0.05
	树皮乡	SS	$y = 4.53 - 2.11x$	79	45.50	0.371	<0.01
		树皮乡全部	$y = 4.42 - 2.02x$	133	57.08	0.304	<0.01
	全部	-	$y = 5.11 - 2.84x$	210	110.78	0.349	<0.01
有效砷与速效磷	天星乡	TX	$y = 4.69 - 0.02x$	76	11.91	0.139	<0.01
	树皮乡	SS	$y = 3.53 - 0.01x$	79	10.45	0.119	<0.01
		树皮乡全部	$y = 3.62 - 0.01x$	133	14.43	0.099	<0.01
	全部	-	$y = 4.09 - 0.02x$	210	23.49	0.102	<0.01

3 讨论

根据土壤环境质量标准(GB15612—1995),以及单因子污染指数法,42%的土壤样品总砷含量已超过保障农林业生产和植物正常生长的土壤临界值,即已超过国家土壤环境质量二级标准。原因可能存在两

个方面:一方面,丘北县土壤属于红壤类型,红壤的形成主要是脱硅富铝化过程长期作用的结果,土壤含铁、铝多^[13],铁、铝氢氧化物对总砷的吸附固定作用突出,使土壤吸附的总砷多;另一方面,人为污染,如含砷杀虫剂、杀菌剂的使用。当地砷的自然背景值及采样的地理位置分布不同也可能导致土壤砷含量的

差异,如采样点与山体和公路的距离等。

单因子污染评价结果显示,研究区的土壤处于无污染或轻污染状态的样点分别占总样点数的55%和47%,没有出现重度污染的样点。说明丘北辣椒主产区土壤砷污染水平从整体上来说属轻度污染水平,但鉴于较高的砷环境背景值,在今后农业生产中应加强对砷污染的防治。

研究区土壤无论是总砷和有效砷都与磷(全磷和速效磷)存在显著的负相关关系,有的甚至达到了极显著的负相关关系,说明P和As在土壤中存在竞争吸附的关系,P浓度变化影响土壤中As的吸持和解吸能力,提高溶液P浓度能够减少土壤对As的吸持能力,并增加As从土壤中的解吸量。适量的施磷能够改善土壤中砷的污染,这与周娟娟等的研究结果相一致^[14]。树皮乡总砷和速效磷相关性不明显,可能与当地长期的施肥(特别是磷肥的施入)及耕作模式等因素有关。

4 结论

(1)丘北辣椒主产区的土壤总砷的总体含量在12.81~94.08 mg·kg⁻¹之间,平均值为36.76 mg·kg⁻¹,有效砷总体含量在2.01~5.38 mg·kg⁻¹之间,平均值为3.67 mg·kg⁻¹。其中天星乡(TX)砷的含量较高。

(2)在所调查的丘北辣椒主产区209个土样中,有42%的土样超过了国家土壤环境质量二级标准。非污染的占土样的55%,轻度污染的占47%,虽未形成大面积严重污染,但应引起重视。

(3)丘北辣椒种植区的土壤全磷含量在0.22~0.92 g·kg⁻¹之间,平均值为0.46 g·kg⁻¹,速效磷含量在1.20~70.59 mg·kg⁻¹,平均值为18.79 mg·kg⁻¹。土壤速效磷含量处于较高水平。

(4)当地土壤总砷、有效砷和全磷、速效磷之间呈显著或极显著负相关关系。

参考文献:

- [1] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 32-36.
CHEN Huai-man. Heavy metal pollution of soil-plant system[M]. Beijing: Science Press, 1996: 32-36.
- [2] 蔡保松, 陈同斌, 廖晓勇, 等. 土壤砷污染对蔬菜砷含量及食用安全性的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 711-717.
CAI Bao-song, CHEN Tong-bin, LIAO Xiao-yong, et al. Arsenic concentrations in soils and vegetables and their risk assessments in highly contaminated area in Hunan Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 711-717.
- [3] 王萍, 胡江, 冉炜, 等. 提高供磷可缓解砷对番茄的胁迫作用[J]. 土壤学报, 2008, 45(3): 503-504.
WANG Ping, HU Jiang, RAN Wei, et al. Effect of higher phosphate supply lessening as stress on tomato[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(3): 503-504.
- [4] 蒋成爱, 吴启堂, 陈杖榴. 土壤中砷污染研究进展[J]. 土壤, 2004, 36(3): 264-270.
JIANG Cheng-ai, WU Qi-tang, CHEN Zhang-liu. Arsenic contamination in the soil[J]. *Soils*, 2004, 36(3): 264-270.
- [5] 李典友. 土壤中砷的含量、迁移转化及其生物效应[J]. 六安师专学报, 1996, 1: 66-67.
LI Dian-you. The content of Arsenic, and its migration, transformation, biological effect in soil[J]. *Liu'an Specialist Teachers College*, 1996, 1: 66-67.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-35, 152-169.
Bao Shi-dan. Soil agricultural chemical analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 25-35, 152-169.
- [7] 黄瑞卿, 王果, 汤榕雁, 等. 酸性土壤有效砷提取方法研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(3): 610-615.
HUANG Rui-qing, WANG Guo, TANG Rong-yan, et al. Extraction method for available arsenic in acid soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(3): 610-615.
- [8] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 91-96.
China Environmental Monitoring Station. Background values of elements in soils of China[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990: 91-96.
- [9] 王绍强, 朱松丽, 周成虎. 中国土壤土层厚度的空间变异性特征[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 161-169.
WANG Shao-qiang, ZHU Song-li, ZHOU Cheng-hu. Characteristics of spatial variability of soil thickness in China[J]. *Geographical Research*, 2001, 20(2): 161-169.
- [10] CHEN Tong-bin. Arsenate adsorption in soil and its mechanism[J]. *Chin Environ Sci*, 1994, 5(1): 85-91.
- [11] Peryea F J. Phosphate starter fertilizer temporarily enhances soil arsenic uptake by apple trees grown under field conditions[J]. *Hortscience*, 1998, 33(5): 826-829.
- [12] 王伟玲, 刘青付, 曹东杰, 等. 污染水稻土中总砷及其与土壤基本理化性质关系的研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(16): 6870-687.
WANG Wei-ling, LIU Qing-fu, CAO Dong-jie, et al. Study on arsenic in polluted paddy soil and its relation to the fundamentally physicochemical properties of soil[J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2008, 36(16): 6870-687.
- [13] 张乃明, 段永蕙, 毛昆明. 土壤环境保护[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 45-47.
ZHANG Nai-ming, DUAN Yong-hui, MAO Kun-ming. Soil environmental protection[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2002: 45-47.
- [14] 周娟娟, 高超, 李忠佩, 等. 磷对土壤As(V)固定与活化的影响[J]. 土壤, 2005, 37(6): 645-648.
ZHOU Juan-juan, GAO Chao, LI Zhong-pei, et al. Effect of phosphorus addition on soil arsenic adsorption and mobilization[J]. *Soils*, 2005, 37(6): 645-648.