

徐州地区双孢蘑菇覆土中重金属含量测定及其污染评价

强承魁¹, 周保亚¹, 魏峰¹, 陆正丽¹, 王松松², 秦越华^{1*}

(1. 徐州生物工程职业技术学院 徐州市现代农业生物技术重点实验室, 江苏 徐州 221006;

2. 徐州市农业委员会 科技教育处, 江苏 徐州 221018)

摘要: 为了解徐州地区双孢蘑菇覆土重金属污染状况, 选取睢宁县官山镇(SNGS)、泉山区桃园街道办事处(QSTY)、贾汪区江庄镇(JWJZ)、丰县欢口镇(FXHK) 4 个主栽区, 采集 48 个覆土样品, 分别测定其重金属 Pb、Cd、As、Hg 含量, 并进行污染评价。结果表明: QSTY 和 FXHK 覆土中 As、Hg 含量和 FXHK 覆土中 Cd 含量均高于土壤背景值, 其中 Cd 含量达到土壤背景值的 2.062 倍; 4 个主栽区覆土中 4 种重金属的单因子污染指数和综合污染指数分别小于 1.0 和 0.7, 显示覆土污染等级为安全; 而 As 含量分别与 Pb、Cd 含量呈显著和极显著正相关, Pb 与 Cd 含量间呈显著正相关, 说明这几种元素存在复合污染的可能, 且主要来源于成土母质和农业活动。由此可见, 该地区 4 个双孢蘑菇主栽区覆土重金属质量属于清洁水平, 符合无公害食用菌生产条件。

关键词: 重金属; 覆土; 污染评价; 双孢蘑菇

中图分类号: S646 X5 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2013)01-0055-05

Heavy Metal Contents and Pollution Evaluation of *Agaricus bisporus* Covering Soil in Xuzhou

QIANG Cheng-kui¹, ZHOU Bao-ya¹, WEI Feng¹, LU Zheng-li¹,
WANG Song-song², QIN Yue-hua^{1*}

(1. Xuzhou Key Laboratory of Modern Agricultural Biotechnology, Xuzhou Vocational College of Bioengineering, Xuzhou 221006, China;

2. Office of Science and Education, Xuzhou City Agricultural Commission, Xuzhou 221018, China)

Abstract: To understand the pollution state of heavy metal in *Agaricus bisporus* covering soil in Xuzhou, forty-eight covering soil samples from Guanshan town of Suining county (SNGS), Taoyuan subdistrict office of Qianshan district (QSTY), Jiangzhuang town of Jiawang district (JWJZ) and Huankou town of Feng county (FXHK) were collected to determine the contents of Pb, Cd, As and Hg and further to evaluate their pollution status. The results showed that the contents of As and Hg in QSTY and FXHK, and Cd in FXHK covering soils were higher than their own background values. The content of Cd in FXHK covering soil was 2.062 times higher than its corresponding background value. Single pollution indexes and comprehensive pollution indexes of 4 heavy metals in 4 main plantation areas were all lower than 1.0 and 0.7, respectively. The conclusion noted that pollution grade of these covering soils was safe. The content As was significantly positively correlated with that Pb and Cd, and The content Pb was significantly positively correlated with that Cd. The correlation suggested that these elements from soil-forming parent materials and farm-

收稿日期: 2012-08-28

基金项目: 江苏省农业三新工程项目[SX(2011)380]

作者简介: 强承魁(1978-), 男, 安徽繁昌人, 副教授, 博士, 主要从事现代农业生物技术研究。E-mail: xzqck@yahoo.com.cn

* 通讯作者: 秦越华(1965-), 男, 江苏南通人, 副教授, 硕士, 主要从事现代农业技术和职教管理研究。

E-mail: yuehua5855@sina.com

ing practices might cause compound heavy metals pollution. Thus it could be seen that heavy metal quality of covering soil from 4 main plantation areas of *Agaricus bisporus* in Xuzhou area was at clean level, and was in accordance with safe production conditions of pollution-free edible fungi.

Key words: heavy metal; covering soil; pollution evaluation; *Agaricus bisporus*

土壤是人类生存与发展最重要和最基础性的资源之一,承载着环境中大约 90% 的污染物^[1-2]。随着工业化和城镇化的快速发展,越来越多的含铅(Pb)、汞(Hg)、镉(Cr)、砷(As)等重金属污染物通过各种途径被释放到土壤中并出现一定程度的富集,现已成为影响土壤环境质量的主要污染物之一,其往往通过食物链传递,严重威胁人类的健康和生态系统的安全^[3-9]。与绿色植物相比,食用菌更能集结某些高浓度的重金属,并通过食物链给人体带来潜在的危害,食用菌的这一特点已引起人们的广泛关注^[10-12]。

作为淮海经济区中心城市的徐州,位于江苏省西北部,现已成为我国商品粮、油、棉和五大“菜篮子”的生产基地。食用菌产业属于该地区近年来发展最快的优势主导产业之一。双孢蘑菇是全球生产量最大且消费最广的食用菌,目前徐州地区该菇标准菇房栽培面积达 3 亿 m²,年产量约 4 000 万 kg。但据宫志远等^[13]报道,双孢蘑菇覆土是子实体重金属污染的主要来源,而李艳艳等^[14]也提出,双孢蘑菇子实体中重金属 Pb 来源于覆土材料,可见,双孢蘑菇覆土重金属污染状况与该菇质量安全密切相关。鉴于此,对徐州地区双孢蘑菇主栽区覆土重金属进行含量测定及其污染评价,以期对无公害双孢蘑菇生产及农业环境污染治理等提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于华北平原东南部的徐州市,地理坐标为 33°43′~34°58′N 和 116°22′~118°40′E,属于暖温带季风气候,年平均气温 14 °C,年日照时数 2 284~2 495 h,日照率 52%~57%,年无霜期 200~220 d,年降水量 800~930 mm。该区土壤主要分为棕土、褐土、紫色土、潮土、砂姜黑土和水稻土六大类,其中潮土占全市土壤总面积的 79.5% 以上。

1.2 覆土采集

在双孢蘑菇主栽区睢宁县官山镇(简称 SNGS, 33° 90′N, 117°94′E)、泉山区桃园街道办事处(简称 QSTY, 34°25′N, 117°19′E)、贾汪区江庄镇(简称 JWJZ, 34°43′N, 117°44′E)和丰县欢口镇(简称 FXHK, 34°69′N, 116°59′E),根据其布局特点,在各主栽区采取多点采样(10~15 个点)等量混合的方式,共采集覆土样品 48 个,

将其风干、粉碎、过筛,4 °C 保存备用^[13]。

1.3 重金属含量测定

覆土中重金属 Pb、Cr、As 和 Hg 含量分别参照国家标准(GB/T 17141-1997, GB/T 17141-1997)和农业行业标准(NY/T 1121-2006, NY/T 1121.10-2006)进行测定。

1.4 重金属污染评价

采用电位法测定覆土 pH 值(水土比例为 2.5:1),选择土壤环境质量标准(GB 15618-1995)中二级标准值作为评价标准。采用单因子污染指数(P_i)和综合污染指数(P)表征土壤受重金属污染的程度。 P_i 计算公式为 $P_i = C_i/S_i$,式中 C_i 和 S_i 分别为重金属 i 元素的实测值和评价标准值。 $P_i > 1.0$ 时为污染, $P_i \leq 1.0$ 时为未污染。 P 计算公式为 $P = \{[(P_i)_{\max}^2 + (P_i)_{\text{ave}}^2]/2\}^{1/2}$,式中 $(P_i)_{\max}$ 和 $(P_i)_{\text{ave}}$ 分别表示重金属元素污染指数最大值和平均值。 $P \leq 0.7$ 时为安全, $0.7 < P \leq 1.0$ 时为警戒级, $1.0 < P \leq 2.0$ 时为轻污染, $2.0 < P \leq 3.0$ 时为中污染, $P > 3.0$ 时为重污染。

1.5 数据分析

采用 DPS 2000 数据处理系统(ver. 2.0)对试验数据进行方差分析、聚类分析和主成分分析,其中,组间均值差异选择 Duncan 新复极差法分析。采用 SPSS 17.0 软件(ver. 19)进行重金属含量间的相关性分析。

2 结果与分析

2.1 徐州地区双孢蘑菇覆土重金属含量

对徐州地区双孢蘑菇主栽区 SNGS、QSTY、JWJZ 和 FXHK 覆土中重金属含量进行测定,结果显示,不同主栽区 4 种重金属含量均存在显著差异。Pb 含量呈东南向西北显著下降的趋势,而 Cd、As 和 Hg 含量变化则相反($P < 0.05$)(表 1)。重金属这种地理空间上的分布格局还见于文献^[15-16],但与李保杰等^[17]结论有异。我国土壤元素 Pb、Cd、As、Hg 的背景值分别为 26.000、0.097、11.200、0.065 mg/kg^[18]。QSTY、FXHK 覆土中 As 和 Hg 含量略高于土壤背景值,FXHK 覆土中 Cd 的富集程度相对最高,为背景值的 2.062 倍,这可能与农田长期施用 P 肥造成土壤中 Cd 的累积有关^[6,19]。由此可见,FXHK 覆土中重金属超标程度在 4 个采样地点中最突出。

表 1 徐州地区双孢蘑菇覆土重金属含量

采集地点	样品数/个	mg/kg			
		Pb	Cd	As	Hg
SNGS	12	11.260±0.34a	0.020±0.00b	8.280±0.34c	0.064±0.00b
QSTY	12	8.860±0.17b	0.008±0.00d	11.265±0.21b	0.096±0.01a
JWJZ	10	6.640±0.35c	0.013±0.00c	7.780±0.10c	0.053±0.01b
FXHK	14	0.385±0.01d	0.200±0.00a	14.810±0.34a	0.105±0.01a
平均	48	6.786	0.060	10.534	0.080

注:同列数据后不同小写字母表示同一指标在不同采集地区之间差异显著($P < 0.05$)。

2.2 徐州地区双孢蘑菇覆土重金属污染评价

基于徐州地区双孢蘑菇主栽区 SNGS、QSTY、JWJZ 和 FXHK 覆土的 pH 值介于 7.52~8.93,故 Pb、Cr、As、Hg 在土壤环境质量标准(GB 15618—1995)中的评价标准值分别为 350、1.0、20、1.0 mg/kg,然后采用单因子污染指数和综合污染指数对 4 个主栽区覆土中重金属污染程度进行评价,表 2 数据显示,Pb、Cd、As 和 Hg 的单因子污染指数均小于 1.0,可见,仅从单种重金属指标看,4 个

主栽区覆土质量基本不会对双孢蘑菇和环境产生危害。其中 As 的单因子污染指数最高,推测可能与当地采取的农艺措施、使用的含 As 农药和化肥及土壤成土过程等因素有关^[20-21]。同时发现,4 个主栽区覆土重金属综合污染指数均小于 0.7,表明其污染等级为安全。但 QSTY 和 FXHK 覆土中重金属综合污染指数相对偏高,故在实际生产中应注意控制重金属元素的带入,以免造成这些元素的超标而影响双孢蘑菇等作物的质量安全^[22]。

表 2 徐州地区双孢蘑菇覆土重金属污染

采集地点	P_i				$(P_i)_{ave}$	$(P_i)_{max}$	P	评价
	Pb	Cd	As	Hg				
SNGS	0.032	0.020	0.414	0.064	0.133	0.414	0.307	安全
QSTY	0.025	0.008	0.563	0.096	0.173	0.563	0.416	安全
JWJZ	0.019	0.013	0.389	0.053	0.119	0.389	0.288	安全
FXHK	0.001	0.200	0.741	0.105	0.262	0.741	0.556	安全

2.3 徐州地区双孢蘑菇覆土重金属污染聚类分析

基于 DPS 2000 数据处理系统中的聚类分析功能对徐州地区双孢蘑菇主栽区覆土中重金属(Pb、Cr、As、Hg)单因子污染指数进行最短距离法分析,由图 1 可以看出,4 种重金属单因子污染指数共分为 2 组。其中,Pb 和 Cd 被划归第 1 组,二者具有共同的污染特征,即其污染指数均偏小;As 和 Hg 被划归第 2 组,它们的污染指数大于第一组。由此可见,聚类分析可以更加直观地反映覆土中这 4 种重金属元素间的含量特征^[23]。

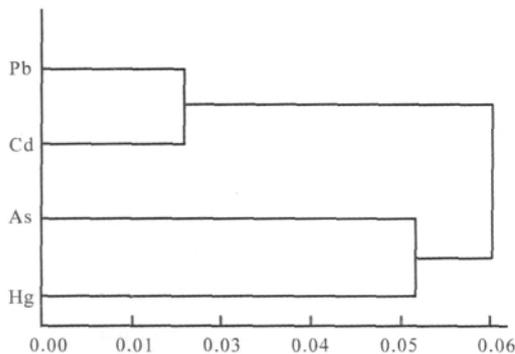


图 1 徐州地区双孢蘑菇覆土中重金属污染指数的系统聚类

2.4 徐州地区双孢蘑菇覆土重金属含量相关性分析

基于 SPSS 17.0 软件的相关性分析功能,对徐州地区双孢蘑菇主栽区覆土中重金属(Pb、Cr、As、Hg)含量进行相关性分析,由表 3 可以看出,Pb 与 Cd 含量呈显著正相关;As 分别与 Pb、Cd 含量呈显著、极显著正相关,该结果与叶丽平等^[24]报道的长沙市郊区蔬菜土壤中这些重金属含量之间的相关关系一致。由上述相关性可推测出这 3 种重金属元素的富集处于一种复合状态,说明其污染来源是极其相似的且存在复合污染的可能。

表 3 徐州地区双孢蘑菇覆土重金属含量的相关性

重金属	Pb	Cd	As	Hg
Pb	1.000			
Cd	0.928*	1.000		
As	0.948*	0.998**	1.000	
Hg	0.405	0.716	0.676	1.000

注:表中*和**分别表示重金属含量相关达 0.05 和 0.01 的显著水平。

2.5 徐州地区双孢蘑菇覆土重金属含量的主成分分析

利用 DPS 2000 数据处理系统对徐州地区双孢

蘑菇主栽区覆土中重金属含量进行主成分分析。由表 4 和表 5 可以看出,前 2 个特征根的贡献率分别为 84.374 16% 和 15.625 34%,其累积贡献率分别为 84.374 16% 和 99.999 49%,结合贡献率大于 85% 的原则^[25],说明这 2 个主成分足以解释其总变异量及影响因素^[26]。表 5 显示,在第 1 主成分上 Pb 和 As 均具较高的正得分,由此反映了这些元素的富集程度,推测覆土中 Pb 是成土母质的主要物质^[27],则将第 1 主成分视为自然源因子。As 在第 2 主成分上也显示出较高的得分,结合表 2 中该元素单因子污染指数最高,推测可能由于含 As 农药、化肥的施用造成其在土壤中较为明显的富集,则将第 2 主成分定为农业活动因子^[21]。由此可见,徐州地区双孢蘑菇 4 个主栽区覆土中重金属 Pb 和 Cd、As 和 Hg 可能分别来源于成土母质和农业活动。

表 4 徐州地区双孢蘑菇覆土重金属含量的主成分分析

主成分	特征根	贡献率/%	累积贡献率/%
PC1	3.374 97	84.374 16	84.374 16
PC2	0.625 01	15.625 34	99.999 49
PC3	0.000 02	0.000 51	100.000 00
PC4	$1.382 07 \times 10^{-17}$	0.000 00	100.000 00

表 5 主成分的因子载荷情况

重金属	主成分	
	PC1	PC2
Pb	2.325 12	-1.254 91
Cd	-1.805 93	0.169 75
As	1.272 97	0.934 79
Hg	-1.792 16	0.150 37

3 结论

1) 徐州地区双孢蘑菇 4 个主栽区中的 QSTY 和 FXHK 覆土中 As、Hg 含量略高于土壤背景值,而 FXHK 覆土中 Cd 的富集程度相对最高,为背景值的 2.062 倍,提示:应采取相应的农艺措施来减少施 P 肥造成 Cd 富集。

2) 4 个主栽区覆土中 4 种重金属的单因子污染指数均小于 1.0,综合污染指数均小于 0.7,表明徐州地区双孢蘑菇主栽区覆土污染等级为安全。

3) 聚类分析显示,徐州地区双孢蘑菇 4 个主栽区覆土中重金属元素可分为 Pb 和 Cd、As 和 Hg 2 组,其中,第 1 组污染指数小于第 2 组,推测组内元素间具有共同的污染特征。

4) 相关性和主成分分析发现,As 含量分别与 Pb、Cd 含量呈显著和极显著正相关,Pb 与 Cd 含量之间呈显著正相关,可见这几种元素存在复合污染

的可能,且主要来源于成土母质和农业活动。

致谢:衷心感谢江苏省理化测试中心在重金属含量测定方面所给予的帮助和支持!

参考文献:

- [1] Li Y, Gou X, Wang G, *et al.* Heavy metal contamination and source in arid agricultural soil in central Gansu province, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(5): 607-612.
- [2] 周建丽, 陈同斌. 我国城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染研究现状与展望[J]. *湖北农学院学报*, 2002, 22(5): 476-479.
- [3] Gardea-Torresdey J L, Peralta-Videa J R, Montes M, *et al.* Bioaccumulation of cadmium, chromium and copper by *Convolvulus arvensis* L.: Impact on plant growth and uptake of nutritional elements [J]. *Bioresource Technology*, 2004, 92(3): 229-235.
- [4] Onweremadu E U. Physico-chemical characterization of a farmland affected by wastewater in relation to heavy metals[J]. *Journal of Zhejiang University Science A*, 2008, 9(3): 366-372.
- [5] Song B, Lei M, Chen T B, *et al.* Assessing the health risk of heavy metals in vegetables to the general population in Beijing, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, 21(12): 1702-1709.
- [6] Hao X Z, Zhou D M, Huang D Q, *et al.* Heavy metal transfer from soil to vegetable in southern Jiangsu province, China[J]. *Pedosphere*, 2009, 19(3): 305-311.
- [7] Mellem J J, Baijnath H, Odhav B. Bioaccumulation of Cr, As, Pb, Cu and Ni with the ability for hyperaccumulation by *Amaranthus dubius* [J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2012, 7(4): 591-596.
- [8] 张瑞凌, 魏云波, 刘书花, 等. 我国重金属污染现状及其微生物处理方法研究进展[J]. *现代农业科技*, 2011(20): 272, 277.
- [9] 梁芳, 郭晋平. 植物重金属毒害作用机理研究进展[J]. *山西农业科学*, 2007, 35(11): 59-61.
- [10] Sesli E, Tüzen M. Levels of trace elements in the fruiting bodies of macrofungi growing in the East Black Sea region of Turkey [J]. *Food Chemistry*, 1999, 65(4): 453-460.
- [11] Baldrian P. Interactions of heavy metals with white-rot fungi [J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2003, 32(1): 78-91.
- [12] Borchers A T, Keen C L, Gershwin M E. Mushrooms, tumors, and immunity: An update [J]. *Experimental Biology and Medicine*, 2004, 229(5): 393-406.

(下转第 70 页)

百粒重,从而提高玉米产量。秸秆还田后接种蚯蚓处理玉米穗粒数和百粒重分别比 CK 提高 6.1%、7.8%,差异均达显著水平;其产量分别比 CK 和秸秆还田提高 14.5%、5.2%。这说明秸秆还田后接种蚯蚓具有更好的增产效果。

鉴于以上试验结果,建议在陕西关中地区冬小麦—夏玉米两熟区提倡秸秆还田的同时,有意识引导农民接种蚯蚓,以提高夏玉米产量。

参考文献:

- [1] 王宁,闫洪奎,王君,等.不同量秸秆还田对玉米生长发育及产量影响的研究[J].玉米科学,2007,15(5):100-103.
- [2] 杨春收,赵霞,李潮海,等.麦茬处理方式对机播夏玉米播种质量及其前期生长的影响[J].河南农业科学,2009(1):25-27,30.
- [3] 尹文英.中国土壤动物[M].北京:科学出版社,2000:1-4.
- [4] 董水丽.麦秸还田后接种蚯蚓对土壤理化性质的影响[J].延安职业技术学院学报,2011,25(6):135-136.
- [5] 洪春来,魏幼,黄锦,等.秸秆全量直接还田对土壤肥力及农田生态环境的影响研究[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2003,29(6):627-633.
- [6] 申为,杨洪强,乔海涛,等.蚯蚓对苹果园土壤生物学特性及幼树生长的影响[J].园艺学报,2009,37(10):1405-1410.
- [7] 李志勇,王璞.优化施肥和传统施肥对夏玉米生长发育及产量的影响[J].玉米科学,2003,11(3):90-93,97.
- [8] 王宁,曹敏建,于海秋,等.秸秆还田对玉米生长发育及产量的影响[J].杂粮作物,2006,26(2):82-84.
- [9] 于燕,李晓东.黄瓜早期产量若干数量性状分析[J].天津农业科学,1997,3(1):7-10.
- [10] 张学林,张许,王群,等.秸秆还田配施氮肥对夏玉米产量和品质的影响[J].河南农业科学,2010(9):69-73.
- [11] 白永新,王早荣,陈宝国,等.玉米杂交种棒三叶特征及其叶面积与单株穗重、粒重的相关性研究[J].华北农学报,2000,15(2):32-35.
- [12] 陈岭,崔绍平,孙耀邦.玉米穗部性状的基因效应分析[J].华北农学报,1996,11(2):28-32.
- [13] 楚爱香,张富厚,王林生,等.玉米单株产量与主要农艺性状的相关分析[J].河南农业科学,2001(1):12-13.
- [14] 张国平.作物栽培学[M].浙江:浙江大学出版社,2001.
- [15] 李欢,向丹,李晓林,等.蚯蚓粪和生物有机肥对土壤养分及夏玉米产量的调控作用[J].土壤通报,2011,42(5):1179-1183.
- [16] 孙建,刘苗,李立军,等.不同施肥处理对土壤理化性质的影响[J].华北农学报,2010,25(4):221-225.
- [17] 李泽义,高九思,张利敏,等.玉米秸秆还田应用效果研究[J].现代农业科技,2012(12):238-239.
- [18] 张余良,孙长载.几种不同组合蚯蚓粪复合有机肥的效果试验[J].天津农业科学,2006,12(1):12-14.
- [19] 叶云峰,付岗,袁高庆,等.植物土传病害安全防控技术[J].山西农业科学,2009,37(7):64-66.
- [20] 刘子龙,赵政阳,鲁玉妙.陕西苹果园土壤砷和重金属污染评价[J].干旱区研究,2010,27(2):273-277.
- [21] 王翔,汪琳琳,方海满,等.芜湖市三山区菜地土壤重金属污染特征分析[J].城市环境与城市生态,2011,24(1):31-33,37.
- [22] 梁烜赫,曹铁华,张磊,等.吉林省农田重金属含量及其在作物中的累积[J].吉林农业科学,2011,36(6):59-62.
- [23] 沈阿林,王洋洋,孙世恺.郑州郊区蔬菜基地土壤重金属含量及其污染评价[J].甘肃农业大学学报,2009(2):126-131.
- [24] 叶丽丽,王翠红,邹玲,等.长沙市郊蔬菜土壤重金属含量及其与土壤肥力的关系[J].湖南农业科学,2009(10):32-35.
- [25] 杨崇志.几种重金属元素进入土壤后的迁移转化规律与吸附机理的研究[J].环境科学,1990,11(3):2-9.
- [26] 张淑香,依艳丽,刘孝义.草河口地区土壤重金属等元素含量的相互关系及其影响因素[J].土壤学报,1999,36(2):253-260.
- [27] 陆安祥,王纪华,潘瑜春,等.小尺度农田土壤中重金属的统计分析与时空分布研究[J].环境科学,2007,28(7):1579-1583.

(上接第 58 页)

- [13] 宫志远,任海霞,任鹏飞,等.双孢蘑菇栽培质量安全调查与分析[J].山东农业科学,2010(6):101-104.
- [14] 李艳艳,李维琳,边银丙.湖北省双孢蘑菇子实体中重金属铅镉含量及来源分析[J].菌物学报,2011,30(4):624-629.
- [15] Li Y, Wang Y B, Gou X, *et al*. Risk assessment of heavy metals in soils and vegetables around non-ferrous metals in mining and smelting sites, Baiyin, China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2006, 18(6): 1124-1134.
- [16] Kodirov O, Shukurov N. Heavy metal distribution in soil near the Almalyk mining smelting industrial area, Uzbekistan [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(5): 985-990.
- [17] 李保杰,于发展,纪亚洲.徐州市九里矿区土壤重金属插值分析及污染评价[J].测绘科学,2009,35(6):167-169.
- [18] 中国环境保护监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国科学出版社,1990:12-49.
- [19] 刘红侠,韩宝平,郝达平.徐州市北郊农业土壤重金属污染评价[J].中国生态农业学报,2006,14(1):159-161.