

陈 婷, 韩士群, 周 庆. 巢湖藻-草-泥有机肥的重金属安全性评价[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(18): 251-254.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.18.065

巢湖藻-草-泥有机肥的重金属安全性评价

陈 婷, 韩士群, 周 庆

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏南京 210014)

摘要: 针对巢湖取出物蓝藻、水草和底泥作为有机肥利用可能带来的重金属安全性问题, 采用高温堆肥制成有机肥, 测定有机肥、盆栽土壤和大白菜体内重金属的含量; 采用内梅罗污染指数法和单因子污染指数法分别评价土壤和大白菜中重金属的安全性。结果表明, 有机肥、盆栽土壤和大白菜中的铅含量分别为 0.16、0.24、0.05 mg/kg; 铬含量分别为 0.29、0.12、<0.02 mg/kg; 其余 3 种重金属(砷、镉、汞)在三者体内的含量均为 <0.04、<0.01、<0.04 mg/kg。重金属评价结果表明, 藻-草-泥有机肥中重金属含量远低于有机肥料中限量指标的要求, 符合重金属安全标准。土壤中的综合污染指数为 0.05, 远小于安全等级的限量值, 属于安全等级, 此土壤上种植的作物不会被污染。大白菜中铅、砷、铬、镉单因子污染指数分别为 0.26、0.08、0.04、0.20, 远小于清洁水平的限量值, 且均符合无公害蔬菜的安全要求。

关键词: 大白菜; 巢湖蓝藻; 水草; 底泥; 有机肥; 重金属; 安全性评价; 综合污染指数; 清洁水平

中图分类号: X592 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)18-0251-04

治理巢湖水体富营养化过程中打捞上岸的蓝藻、水草和疏浚底泥等直接堆放, 不仅占用大量土地资源, 同时会产生二次污染, 可能造成重金属危害。目前, 打捞的蓝藻及水草较为重要的资源化利用方法为通过厌氧发酵产沼气、沼液、沼渣等副产物制作为肥料; 或作为堆肥原料制备固体有机肥料。而疏浚底泥除了用于生产建筑材料, 也较多地应用于堆肥。

目前, 关于这 3 类湖泊取出物的重金属研究颇多。韩士群等研究了太湖蓝藻经发酵产沼处理后, 沼渣、沼气等产物中

的重金属残留问题^[1]。谢萍等发现, 将蓝藻作为饲料喂养家禽家畜等, 蓝藻体内富集的重金属会对其生长产生不利影响^[2]。季俊杰等研究了静态通气堆肥后, 氧化塘底泥中的重金属残留^[3]。薛澄泽等发现, 通过堆肥可在不同程度上减少底泥中重金属的含量^[4]。吕彦等的研究结果则表明, 通过快速堆肥处理, 底泥中的铅、铬、镉等重金属的活性及毒性有所降低^[5]。林丹妮等研究了电动修复法对底泥沉积物中重金属的去除效果^[6]。国外研究者曾利用电动力学技术对海港底泥沉积物中的铬、铅、铜等多种重金属进行去除效果的研究^[7-8]。

而通过堆肥法制作的有机肥料中重金属的安全性也是一个研究热点。本试验将从巢湖中打捞的蓝藻、水草及疏浚底泥等按比例混合进行堆肥, 制成藻-草-泥有机肥, 再向堆肥成品中进一步添加珍珠岩、蛭石等, 制备成藻-草-泥基

收稿日期: 2016-04-11

基金项目: 国家水专项巢湖项目(编号: 2012ZX07103-005)。

作者简介: 陈 婷(1990—), 女, 安徽合肥人, 硕士研究生, 主要从事固体废弃物资源化利用。E-mail: 316640108@qq.com。

通信作者: 韩士群, 博士, 研究员, 主要从事富营养化水体治理。Tel: (025)84390241; E-mail: shqunh@126.com。

biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals [M]. Heidelberg: Springer-Verlag, 2001: 9-23.

[13] 王彩绒, 吕家珑, 胡正义. 太湖流域典型蔬菜土壤氮及 pH 空间变异特征[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 100-107.

[14] 康 浩, 石贵玉, 潘文平. 镉对植物毒害的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(26): 11200-11201, 11204.

[15] 罗绪强, 王世杰, 张桂玲. 土壤镉污染及其生物修复研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2008, 27(4): 357-361.

[16] 朱凤鸣, 刘 芳, 邹学贤. 昆明西郊镉污染对人体健康的影响[J]. 中国卫生检疫杂志, 2002, 12(5): 602-603.

[17] Xia H P. Ecological rehabilitation and phytoremediation with four grasses in oil shale mined land[J]. Chemosphere, 2004, 54(3): 345-353.

[18] 孙晋伟, 黄益宗, 石孟春. 土壤重金属生物毒性研究进展[J]. 生态学报, 2008, 28(6): 2861-2869.

[19] 张杏峰, 夏汉平, 李志安. 牧草对重金属污染土壤的植物修复综述[J]. 生态学杂志, 2009, 28(8): 1640-1646.

[20] 胡克伟, 关连珠. 改良剂原位修复重金属污染土壤研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2007(4): 1-5.

[21] Cao X D, Dermatas D, Xu X F, et al. Immobilization of lead in shootingrange soils by means of cement, quicklime, and phosphate amendments[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2008, 15(2): 120-127.

[22] Hamon R E, McLaughlin M J, Cozen G. Mechanisms of attenuation of metal availability *in situ* remediation treatments[J]. Environmental Science and Technology, 2002, 36(18): 3991-3996.

[23] 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, 1999: 205-338.

[24] 林国林, 杜胜南, 金兰淑, 等. 施用生物炭和零价铁粉对土壤中镉形态变化的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 157-160, 165.

[25] Bolan N S, Adriano D C, Duraisamy P, et al. Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils. I. Effect of phosphate addition[J]. Plant and Soil, 2003, 250(1): 83-94.

质。此方法可有效实现湖泊取出物的资源化利用,然而由于原料的特殊性,人们通常担心蓝藻、水草和底泥中富集的重金属会伴随着肥料的施用进入土壤以及在作物中累积继而通过食物链进入人体^[9]。

但是现阶段研究多局限于蓝藻、水草、底泥单独的重金属影响,而对三者共同处理后的产物及加工后的基质中所携带的重金属元素是否会在土壤及作物体内累积的相关研究较少。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 盆栽材料 藻-草-泥有机肥(将从巢湖中打捞的蓝藻、水草、疏浚底泥按质量比 1:2:2 进行配比,添加适量秸秆堆肥而成的终产物);蛭石、珍珠岩,均购自江苏省南京市某市场;土壤,取自江苏省农业科学院试验田。

1.1.2 供试作物 供试作物为大白菜,商品名称为北京白菜,购自江苏省南京市某市场。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设置 试验在温室大棚内进行,在等氮量条件下采用盆栽试验,每盆装 11 kg 土壤,每盆移栽 1 棵苗龄为 15 d 的大白菜植株。试验共设置 3 组处理:T1,400 g 藻-草-泥有机肥;T2,400 g 藻-草-泥有机肥+350 g 珍珠岩;T3,400 g 藻-草-泥有机肥+350 g 蛭石。以原始土壤作空白对照。每组处理设置 4 个重复,随机排列。

1.2.2 检测项目与方法 肥料样品中重金属测定方法参考 GB/T 23349—2009《肥料中砷镉铬铅汞生态指标》^[10];土壤样品中重金属测定方法参考《土壤农业化学分析方法》^[11];大白菜中各重金属的测定方法分别参照相应的食品安全国家标准^[12-16]。

1.3 重金属污染评价

1.3.1 单因子污染指数法 在我国对土壤、蔬菜重金属污染作出评价时,若想具体分析某种重金属的污染累积现状,可利用样品中某污染因子的实际测量值与标准值进行对比,即单因子污染指数法。此法计算公式如下:

$$P_i = C_i / S_i。$$
 (1)

其中: P_i 为某种重金属 i 的单因子污染指数; C_i 为某介质中实际测得的重金属 i 含量; S_i 为重金属 i 在此介质中的标准值。 P_i 值的大小与介质中重金属的污染程度如表 1 所示,两者呈正相关关系。

表 1 单因子评价土壤环境质量分级表

等级	P_i 值	污染评价
I	$P_i \leq 1$	无污染
II	$1 < P_i \leq 2$	轻微污染
III	$2 < P_i \leq 3$	轻度污染
IV	$3 < P_i \leq 5$	重度污染
V	$P_i > 5$	重度污染

1.3.2 内梅罗综合污染指数法 内梅罗综合污染指数法是一种计权型多因子环境质量指数,为目前土壤等环境污染的主要评价方法。在现实情况下,土壤等介质中的重金属污染通常是多种重金属同时作用的结果,而此方法可同时考虑多种重金属的共同污染情况,也兼顾到极值的影响,相对于单因

子污染指数法的单一性,对重金属污染的评价更为全面和准确。其计算公式为

$$P = \sqrt{\frac{(P_i)^2 + (\max P_i)^2}{2}}。$$
 (2)

其中: P 为多种重金属的综合污染指数; P_i 为各个重金属的单因子污染指数的平均值; $\max P_i$ 为各重金属中单因子污染指数的最大值。同时,不同的综合污染指数 P 值对应不同的污染水平,具体分级标准如表 2 所示。

表 2 土壤污染分级标准

等级	P 值	污染评价	污染水平
1	$P \leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 < P \leq 1.0$	警戒级	尚清洁
3	$1.0 < P \leq 2.0$	轻度污染	作物开始受污染
4	$2.0 < P \leq 3.0$	中度污染	作物均受中等污染
5	$P > 3.0$	重度污染	作物受污染相当严重

1.4 统计分析方法

采用 SPSS Statistics 17.0 软件进行统计分析,采用 Microsoft Excel 2013 作图。

2 结果与分析

2.1 藻-草-泥有机肥的重金属安全性评价

在堆肥 1、3、15、23、43、63、93 d 后进行采样,对藻-草-泥有机肥样品中铬、铅、镉、砷、汞等 5 种重金属的含量进行测定。由表 3 可知,这 5 种重金属中,只有铬和铅 2 种重金属的具体含量可测得,而镉、砷、汞 3 种重金属的实际含量分别低于仪器检出下限,所以无法检测出具体数值。直至堆肥完成后,藻-草-泥有机肥中铬、铅、镉、砷、汞的含量分别为 0.29、0.15、<0.01、<0.04、<0.046 mg/kg。将检测所得数值与农业行业标准制定的有机肥料重金属标准进行比较可知,藻-草-泥有机肥料中 5 种重金属含量远低于农业行业标准规定的最大允许值,符合有机肥料的重金属安全标准。

表 3 藻-草-泥有机肥中重金属含量

堆肥时间 (d)	重金属含量(mg/kg)				
	铬	铅	镉	砷	汞
1	0.31 ± 0.01	0.16 ± 0.01	<0.01	<0.04	<0.046
3	0.31 ± 0.01	0.21 ± 0.01	<0.01	<0.04	<0.046
15	0.27 ± 0.03	0.20 ± 0.01	<0.01	<0.04	<0.046
23	0.29 ± 0.01	0.22 ± 0.02	<0.01	<0.04	<0.046
43	0.29 ± 0.01	0.20 ± 0.05	<0.01	<0.04	<0.046
63	0.29 ± 0.02	0.19 ± 0.01	<0.01	<0.04	<0.046
93	0.29 ± 0.02	0.15 ± 0.01	<0.01	<0.04	<0.046
限量指标	≤150	≤50	≤3	≤15	≤2

除了可知不同堆肥时间堆体中重金属总量,还可观察其在堆肥过程中的动态变化。由图 1 可知,随着堆肥的进行,堆体中铬和铅的总含量呈动态变化。相对于堆肥初始,总体为下降趋势,但降低幅度较小。如铬含量由初始值 0.31 mg/kg 降至 0.29 mg/kg,铅从最初的 0.16 mg/kg 降至 0.15 mg/kg。

2.2 盆栽土中重金属污染评价

2.2.1 盆栽土壤中重金属含量及污染状况分析 为保护土壤环境的质量,我国于 1995 年颁布了《国家土壤环境质量标准》^[17],如表 4 所示,依据土地的不同功能对土壤中各类污染

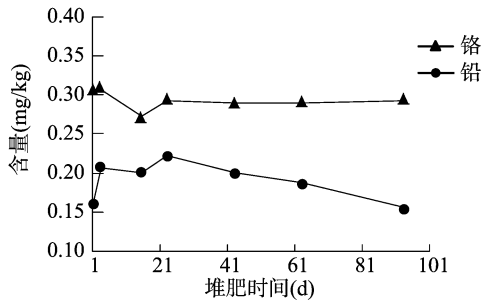


图1 堆肥过程中有机肥中铬、铅含量的变化

表 4 国家土壤环境质量标准

pH 值范围	重金属含量(mg/kg)				
	铬	铅	镉	砷	汞
pH 值≤6.5	150	50	0.30	30	0.30
6.5 < pH 值≤7.5	200	50	0.40	25	0.40
pH 值>7.5	250	50	0.60	20	0.80

物的最高允许浓度指标值等作出了详细规定,经过多次调整完善后,目前此标准已成为我国环保法系中的重要组成部分。

不同处理盆栽中的大白菜收割后,对盆栽中的土壤进行取样后测定体内 5 种重金属含量及 pH 值。由表 5 可知,不同处理盆栽土 pH 值均大于 7.5 且各处理间差别较小,基本均属碱性土,相对于大部分南方地区土壤(pH 值约为 7)而言,此 pH 值稍显偏大。将处理盆栽土与原始土壤相比较可知,施加适量的不同类型的肥料对土壤 pH 值的影响较小。

表 5 各处理盆栽土中重金属含量及 pH 值

处理	pH 值	重金属含量(mg/kg)				
		铬	铅	镉	砷	汞
T1	8.03	0.117 ± 0.01a	0.243 ± 0.02a	<0.01	<0.04	<0.046
T2	8.01	0.115 ± 0.01a	0.245 ± 0.01a	<0.01	<0.04	<0.046
T3	7.98	0.115 ± 0.01a	0.243 ± 0.02a	<0.01	<0.04	<0.046
原始土壤	8.07	0.083 ± 0.01a	0.236 ± 0.02a	<0.01	<0.04	<0.046

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

盆栽土壤中 5 种重金属的含量均较少。相对于原始土壤中铬含量而言,施用了藻-草-泥有机肥料或基质的盆栽土壤中铬含量均有轻微幅度的上升。但是将盆栽土壤中铬和铅的含量分别与原始土壤中的含量进行显著性差异分析可知,差异并不显著性。

3 个处理中的铬和铅的含量基本保持在相同水平,可能是因为这 3 个处理中的藻-草-泥有机肥的添加量相同,而其中掺加的蛭石和珍珠岩对土壤中的重金属含量并无影响。与表 4 中 pH 值 >7.5 条件下 5 种重金属的土壤二级标准限量值进行比较可知,盆栽土中 5 种重金属的含量完全符合农田用地标准要求。

2.2.2 盆栽土壤中重金属污染评价 在利用综合污染指数法对盆栽土壤中重金属污染进行评价时,由于盆栽土中镉、砷、汞 3 种重金属的具体含量并未测得精确数值,但可知其含量小于检出限,所以可将其值分别用检测方法的检测下限替代作大致评价。

由表 6 可知,3 种处理下盆栽土壤中 5 种重金属的污染指数均较小,对比表 1 中单因子指数分级标准,5 种重金属各自的单因子污染指数数值均远小于 I 级标准中要求的 $P_i \leq$

1,可判断作物并未受到这 5 种重金属的污染。将各处理 5 种重金属的综合污染指数与表 2 中土壤综合污染指数分级标准进行对比可知,不同处理盆栽土壤中的 5 种重金属综合污染指数均远小于 0.7。综上所述,施用了藻-草-泥有机肥及其基质的土壤并未遭受重金属的污染,属于安全等级;此土壤上种植的作物处于清洁水平,未受重金属污染。

表 6 各处理盆栽土壤重金属评价结果

处理	污染指数					
	铬	铅	镉	砷	汞	综合
T1	0.47×10^{-3}	4.86×10^{-3}	0.02	0.002	0.06	0.06
T2	0.46×10^{-3}	4.90×10^{-3}	0.02	0.002	0.06	0.06
T3	0.46×10^{-3}	4.86×10^{-3}	0.02	0.002	0.06	0.06

2.3 大白菜中重金属污染评价

2.3.1 大白菜中重金属含量及污染状况分析 作物对土壤中的各类型污染物有不同程度的吸收和富集作用。作物吸收过量重金属会影响生长,若人类食用重金属超标的作物,会直接危害健康。因此,做好蔬菜中重金属污染的安全评价至关重要。我国国家质量监督检验检疫总局对农作物中重金属允许含量作出严格要求,盆栽大白菜中 5 种重金属的测定含量及无公害蔬菜的限量指标要求^[18]如表 7 所示。

表 7 各处理大白菜中重金属的含量

处理	重金属含量(mg/kg)				
	铬	铅	镉	砷	汞
T1	<0.02	0.052 ± 0.01	<0.01	<0.04	<0.046
T2	<0.02	0.056 ± 0.01	<0.01	<0.04	<0.046
T3	<0.02	0.056 ± 0.01	<0.01	<0.04	<0.046
限量指标	≤0.5	≤0.2	≤0.05	≤0.5	≤0.01

由表 7 可知,3 种处理下大白菜中的 5 种重金属含量均较低,除铅之外,其余 4 种重金属含量皆低于仪器的检出下限。不同处理中大白菜体内铅的含量基本在 0.05 mg/kg 上下小幅度波动,由此可判断大白菜对铅具有一定的富集作用。大白菜中铬、铅、镉、砷含量明显小于无公害蔬菜标准的限定值,这 4 种重金属不会对人体造成伤害。此外,由于测定方法中汞的检出限为 0.046 mg/kg,而农产品标准中的要求为小于 0.01 mg/kg,因此并不能精确判断大白菜中汞的含量是否达标。若想进行准确评价,须要采用更为精密的仪器对汞的含量进行检测。

2.3.2 大白菜中重金属污染评价 因为土壤和大白菜中的镉、砷、汞 3 种重金属元素的具体含量并不知道,只知其值低于检出下限,可见这 3 种金属并不适用于重金属富集系数法或重金属超标率等方法测评其污染情况,因此采用单因子污染指数法进行评价。

由表 8 可知,不同处理中铬、铅、镉、砷的污染指数数值均较小,对比表 1 中规定的 I 级要求的 $P_i \leq 1$ 而言,数值远小于标准数值。由此可以判断,施用藻-草-泥有机肥和基质等并不会造成大白菜受铬、铅、镉、砷的污染,作物在这 4 种重金属污染方面均为清洁水平。虽然大白菜中的汞含量未测得,但是从盆栽土壤中的重金属污染评价可知,盆栽土壤为安全等级,土壤中所种作物并不会受到重金属污染,因此,基本可以判定本试验所种大白菜并未遭受重金属汞的污染。

表 8 大白菜中各重金属污染指数评价

处理	污染指数			
	铬	铅	镉	砷
T1	0.04	0.26	0.20	0.08
T2	0.04	0.28	0.20	0.08
T3	0.04	0.28	0.20	0.08

3 讨论

本研究采用巢湖蓝藻、水草和底泥作为有机肥原料,制备的有机肥中重金属含量符合有机肥安全标准。从材料的来源上分析,巢湖曾经作为水源地,有较多关于巢湖水体及表层底泥或沉积物中的重金属、其他污染物的污染程度及分布状况的研究。韩小勇的研究结果表明,巢湖水体以富营养化污染为主,主要表现为氮磷等营养元素的高度超标,重金属等其他污染并不十分显著^[19]。刘伟等对巢湖清淤合肥项目区域污染底泥调查的研究表明,底泥中铅、铬、镉、砷的含量对巢湖尚不构成潜在生态危害^[20]。童军华等对巢湖水体及沉积物中的铜、铅、镉、铬等元素进行检测发现,巢湖水体中重金属含量偏低^[21]。因此,基于这些研究也可间接证明巢湖中蓝藻、水草和底泥中的重金属含量不高。至于其他湖泊或河道的藻、草、泥是否可以作为肥料利用,同样须要对其进行安全性评价。

另一方面,虽然本试验施用的藻-草-泥有机肥料符合重金属安全标准,但由于原料的特殊性,重金属含量相对于化肥偏高,有机肥携带的重金属污染除了直接带入一定量重金属进入土壤,还可以通过影响土壤的理化性质来间接改变土壤中重金属的存在形态,从而影响重金属在作物体内的富集转化^[22]。研究表明,施用不同溯源的有机肥料后,土壤中铜、锌、镉、铅、铬、砷、汞等重金属元素含量呈不同程度的增加^[23]。若进行长期的定量施用有机肥料试验,作物体内不同种类的重金属含量会有不同程度的变化,如铅含量的增幅范围为 0.01~0.31 mg/kg^[24]。本试验在这方面也有所体现,虽然盆栽土壤重金属评价为安全等级,生长的白菜为清洁水平,但盆栽土壤重金属含量略微有所提升。因此,长期定位施用藻-草-泥有机肥或其基质,是否也会带来重金属累积有待进一步研究。

4 结论

巢湖生态治理过程中打捞出的生物体(藻类和植物体)与疏浚污泥等废弃物制备的藻-草-泥有机肥料中 5 种重金属(铅、砷、铬、镉、汞)的含量符合有机肥料的重金属安全标准。

施用藻-草-泥有机肥盆栽土壤中 5 种重金属的综合污染指数远小于 0.7,说明土壤处于安全等级。因此,施用藻-草-泥有机肥不会对土壤造成重金属污染。

大白菜中铅、砷、铬、镉的含量均符合无公害蔬菜的质量安全要求,而汞的含量低于仪器检出下限,未检出。分析结果表明,食用此大白菜不会对人体造成重金属伤害。

参考文献:

[1] 韩士群,严少华,王震宇,等. 太湖蓝藻无害化处理资源化利用[J]. 自然资源学报,2009,24(3):431-438.
[2] 谢萍,周学文,杨家雄,等. 滇池蓝藻对肉仔鸡和生长肥育猪饲

用效果研究[J]. 云南畜牧兽医,2000(2):12-14.
[3] 季俊杰,何成达,葛丽英,等. 氧化塘底泥堆肥过程氮磷及重金属变化研究[J]. 环境科学与技术,2006,29(12):14-15.
[4] 薛澄泽,马芸,张增强,等. 污泥制作堆肥及复合有机肥料的研究[J]. 农业环境保护,1997,16(1):11-15,31.
[5] 吕彦,马利民. 快速堆肥对污泥中重金属的影响[J]. 东华理工大学学报,2005,28(1):30-33.
[6] 林丹妮,谢国樑,曾彩明,等. 不同电压对重金属污染河涌底泥电动修复效果的影响[J]. 华南农业大学学报,2009,30(3):8-12.
[7] Nystroem G M, Ottosen L M, Villumsen A. Electrodialytic removal of Cu, Zn, Pb and Cd from harbor sediment; influence of changing experimental conditions[J]. Environmental Science & Technology, 2005,39(8):2906-2911.
[8] Nystroem G M, Ottosen L M, Villumsen A. Test of experimental set-ups for electrodialytic removal of Cu, Zn, Pb and Cd from different contaminated harbour sediments[J]. Engineering Geology, 2005,77(3/4):349-357.
[9] 刘昭兵,纪雄辉,田发祥,等. 碱性废弃物及添加锌肥对污染土壤镉生物有效性的影响及机制[J]. 环境科学,2011,32(4):1164-1170.
[10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标:GB/T 23349—2009[S]. 北京:中国标准出版社,2009:3.
[11] 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.
[12] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准食品中铅的测定:GB/T 5009.12—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010:3.
[13] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准食品中铅的测定:GB/T 5009.15—2003[S]. 北京:中国标准出版社,2003:8.
[14] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准食品中铅的测定:GB/T 5009.123—2003[S]. 北京:中国标准出版社,2003:8.
[15] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准食品中铅的测定:GB/T 5009.17—2003[S]. 北京:中国标准出版社,2003:8.
[16] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准食品中铅的测定:GB/T 5009.11—2003[S]. 北京:中国标准出版社,2003:8.
[17] 中华人民共和国环境保护部. 土壤环境质量标准:GB 15618—1995[S]. 北京:中国标准出版社,1995:5.
[18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 农产品安全质量无公害蔬菜安全要求:GB 18406.1—2001[S]. 北京:中国标准出版社,2005:7.
[19] 韩小勇. 巢湖水质调查与研究[J]. 水资源保护,1998(3):24-28.
[20] 刘伟,陈振楼,许世远,等. 上海市小城镇河流沉积物重金属污染特征研究[J]. 环境科学,2006,27(3):538-543.
[21] 童军华,黄祥明,陈勇. 巢湖水体重金属污染评价[J]. 安徽农业科学,2006,34(17):4373-4374.
[22] Lu K P, Yang X, Shen J J, et al. Effect of bamboo and rice straw biochars on the bioavailability of Cd, Cu, Pb and Zn to sedum plumbizincicola[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2014,191:124-132.
[23] Zhao Y, Yan Z, Qin J, et al. Effects of long-term cattle manure application on soil properties and soil heavy metals in corn seed production in Northwest China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2014,21(12):7586-7595.
[24] 李本银,汪鹏,吴晓晨,等. 长期肥料试验对土壤和水稻微量元素及重金属含量的影响[J]. 土壤学报,2009,46(2):281-288.