

施肥对大棚土壤有效态重金属含量及生物效应的影响

赵 明,蔡 葵,王文娇,赵征宇,陈建美

(青岛市农业科学研究院,山东 青岛 266100)

摘 要:采用田间大棚栽培试验,研究了施用有机肥、有机无机肥配施和无机肥等不同施肥处理对大棚土壤有效态重金属含量以及黄瓜重金属含量的影响。结果表明,施肥可增加黄瓜产量,且随无机肥配施量的提高而增加。施用有机肥可降低土壤有效态 Pb 含量、提高 Cd 含量,对 Cu、Zn 和 Cr 的含量影响作用不显著;有机无机肥配施可提高大棚土壤有效态 Cu、Cd 和 Cr 的含量、降低 Pb 的含量,对 Zn 的影响较小;施用无机肥可提高土壤有效态 Cu 和 Cr 含量,对 Zn、Pb 和 Cd 的含量影响作用不显著。不同施肥处理黄瓜中 Cu 和 Zn 含量的变化规律基本相同,其含量随无机肥配施量的提高而增加;有机无机肥配施处理黄瓜中 Pb、Cd 和 Cr 含量随无机肥配施量的提高而呈逐渐降低的趋势。合理施用有机肥、无机肥或有机无机肥配施对大棚土壤有效态重金属含量的影响作用较小,也不会对黄瓜造成重金属污染。

关键词:有机无机肥;土壤有效态重金属;黄瓜重金属含量;相关性分析

中图分类号:X53 文献标识码:A 文章编号:1672-2043(2010)增刊-0026-06

Effects of Fertilization on Soil Available Heavy Metal Content and Biological Effects in Greenhouse

ZHAO Ming, CAI Kui, WANG Wen-jiao, ZHAO Zheng-yu, CHEN Jian-mei

(Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266100, China)

Abstract: Greenhouse cultivation experiment was conducted to study the effects of application of organic fertilizer, organic and inorganic fertilizers and inorganic fertilizer on available heavy metal content in Greenhouse Soil as well as the impact on heavy metal content in cucumber. The results showed that fertilization increase the yield of cucumber, which increased with the increasing application of inorganic fertilizer. Application of organic fertilizer reduce soil available Pb content, increase the Cd content but it had no significant influence on Cu, Zn and Cr. Organic and inorganic fertilizers application can increase the soil available Cu, Cd and Cr while it reduce Pb content and had little effect on Zn. Inorganic fertilizer application can increase the content of soil available Cu and Cr, but it was not significant to Zn, Pb and Cd content. The changes of Cu and Zn content in cucumber are basically the same with different fertilizer treatments. And it was increased with the increasing of inorganic fertilizer. Cucumber Pb, Cd and Cr content by fertilization gradually decreased with the increase of inorganic fertilizer. Appropriate application of fertilizers had little effects on soil available heavy metal and it won't cause heavy metal contamination to cucumber.

Keywords: organic and inorganic fertilizer; available heavy metals in soil; cucumber heavy metal content; correlation analysis

蔬菜是人们日常生活中不可缺少的副食品,其安全性直接关系到人身健康,影响蔬菜安全的原因很多,其中重金属污染是主要威胁之一^[1-3]。蔬菜的重

金属污染主要来自土壤,这种污染具有隐蔽性、长期性和不可逆性的特点,并可通过蔬菜吸收累计传递到食物链而对人体带来健康风险^[4]。已有研究表明,土壤中重金属能否被植物吸收,主要取决于该元素矿物的有效态(有效性)^[5-7],而蔬菜生产中大量施肥是改变土壤理化性状,进而影响到土壤重金属有效态含量变化的重要因素,也是产生农业面源污染的主要途

收稿日期:2009-08-24

基金项目:青岛市科技局科技计划项目(07-2-1-22-nsh)部分研究内容

作者简介:赵 明(1958—),男,高级农艺师,主要从事土壤肥料研究与农化分析。E-mail:zhaomingqd@163.com

径^[8]。因此,采取不同的施肥措施降低菜园土壤有效态重金属的含量,从而减少蔬菜对重金属的吸收富集量,已成为保护农业生态环境和推动农业可持续发展的关键控制技术。本文通过大棚黄瓜栽培试验,研究了有机肥、有机无机肥配施和无机肥不同施肥处理对大棚土壤有效态重金属以及黄瓜重金属含量的影响,以期从蔬菜种植源头阻控土壤重金属污染和提高蔬菜食品安全品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2008年秋季在青岛市农科院蔬菜试验大棚(棚龄8 a)中进行,土壤类型为壤质潮棕壤,其基本农化性状:盐分 $1.03\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH值6.0,有机质 $14.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全N $1.13\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解N $162\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效P $106\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效K $165\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。供试有机肥料为经过高温堆肥处理的鸡粪(全N 1.22% ,全 P_2O_5 3.25% ,全 K_2O 1.11%),无机肥为尿素(N 46%)、磷酸二铵(N 15% 、 P_2O_5 45%)和硫酸钾(K_2O 50%)。供试土壤及肥料的重金属元素含量见表1。供试黄瓜品种为青岛市农科院自育品种85F12(F_1)。

表1 供试土壤及肥料的重金属元素含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 1 Heavy metal content in test soil and fertilizer($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

样品	全 Cu	全 Zn	全 Pb	全 Cd	全 Cr
土壤	40.8	69.5	28.6	0.081	111.9
鸡粪堆肥	56.1	199	12.5	0.485	12.20
尿素	0.474	0.692	4.65	0.192	0.991
磷酸二铵	32.2	70.4	5.40	0.212	11.37
硫酸钾	2.74	1.63	6.51	0.066	3.479

1.2 试验方法

采用塑料大棚小区栽培试验方法,共设7个处理:(1)无肥区(CK);(2)100%有机肥;(3)80%有机肥+NPK无机肥;(4)60%有机肥+NPK无机肥;(5)40%有机肥+NPK无机肥;(6)20%有机肥+NPK无机肥;(7)100%NPK无机肥。其中,有机肥的NPK养分以有机肥全NPK含量计算,有机肥和无机肥NPK养分量均为质量分数比。以施氮量为 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 为标准施用有机肥,其他处理在扣除施用的有机肥NPK养分后,不足部分用无机肥补齐N、K含量和P含量的50%(供试有机肥全磷含量较高,使NPK施肥比例失调,因此无机磷肥施量减半)。各处理施肥量见表2。试验小区面积 7.2 m^2 ,各处理重复3次。

全部肥料于黄瓜定植前一周作基肥一次性施入试验小区,用旋耕机与耕层土壤混匀。黄瓜定植株行距 $33\text{ cm}\times 60\text{ cm}$,定植数约 $39\,000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。9月1日播种育苗,9月13日定植,11月17日采收结束,全生育期78 d。各处理田间管理方法相同。

1.3 取样及测定方法

各处理黄瓜分期采收合并统计产量。结瓜盛期采集黄瓜样品测定重金属元素含量。黄瓜采收结束后采集耕层土壤(0~20 cm)样品,测定土壤有效态Cu、Zn、Pb、Cd、Cr含量。

土壤和肥料全量重金属含量采用 $\text{HNO}_3-\text{HClO}_4-\text{HF}$ 消解、黄瓜重金属含量采用 $\text{HNO}_3-\text{HClO}_4$ 消解^[9]、土壤有效态重金属含量采用 $0.005\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ DTPA + $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ CaCl_2 + $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ TEA (pH7.3)浸提[m(土):V(提取剂)=1:2,振荡提取时间为120 min]^[10-11],石墨炉原子吸收法测定Pb、Cd、Cr(AA600型,PerkinElmer公司),火焰原子吸收法测定Cu、Zn(AA400型,PerkinElmer公司)。其他项目采用常规分析方法测定^[12]。样品分析过程中加入环境土壤标准样品ESS-2和标准植物样品ESP-1西红柿叶进行分析质量控制。

1.4 数据处理与分析

试验数据用SPSS17.0软件进行单因素方差分析和LSD多重比较,检验不同处理间差异程度,进行相关数据的统计分析。

表2 有机无机肥配施黄瓜试验施肥量

Table 2 The cucumber fertilization test of organic and inorganic fertilizers

处理	有机肥占 总肥量/%	有机肥用量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 鸡粪堆肥(N:P ₂ O ₅ :K ₂ O)	无机肥用量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1(CK)	—	—	0	0	0
2	100	24 590(300:799:273)	0	0	0
3	80	19 672(240:639:218)	60	80	55
4	60	14 754(180:479:164)	120	160	109
5	40	9 836(120:320:109)	180	240	164
6	20	4 918(60:160:55)	240	320	218
7	0	0	300	400	273

2 结果与分析

2.1 施肥对大棚黄瓜产量的影响

由表3可知,施肥可提高大棚黄瓜产量。其中,施用无机肥处理的黄瓜产量最高,比CK增产

36.0%,比有机肥处理增产19.5%,比有机无机肥配施的平均产量增产14.3%,有机无机肥配施处理中随无机肥配施量提高黄瓜产量逐渐上升。试验表明,在相对肥沃的大棚土壤中种植黄瓜,合理施用NPK无机肥可以更快、更多的提供黄瓜生长所需养分,促使黄瓜产量的提高。

表3 施肥对大棚黄瓜产量的影响
Table 3 Effects of fertilization on the yield of greenhouse cucumber

处理	平均产量/kg·hm ⁻²	增产/%
1	16 155 ± 488c	-
2	18 375 ± 1 118bc	13.7
3	18 585 ± 497bc	15.0
4	19 140 ± 1 820abc	18.5
5	19 510 ± 1 966ab	20.8
6	19 620 ± 1 948ab	21.4
7	21 965 ± 2 004a	36.0

注:同列不同小写字母表示处理间差异达5%显著水平($P < 0.05$)。下表同。

2.2 施肥对大棚土壤有效态重金属含量的影响

土壤有效态重金属含量一般采用可被某些无机盐类、弱酸或有机络合物等化学试剂溶液提取土壤中的重金属含量表示^[13]。本试验采用DTPA浸提剂测定土壤有效态重金属含量,结果表明(表4),各处理的土壤有效态Cu含量呈“V”型变化,具体表现为:施用有机肥和高有机肥配施无机肥处理(处理2至4)

表4 施肥对大棚土壤有效态重金属含量的影响(mg·kg⁻¹)
Table 4 Effects of fertilization on available heavy metal content in greenhouse soil (mg·kg⁻¹)

处理	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr
1	9.12 ± 0.12d	10.85 ± 0.48a	1.59 ± 0.03a	0.043 ± 0.002c	0.178 ± 0.020c
2	9.77 ± 0.20d	11.12 ± 0.40a	1.46 ± 0.06c	0.051 ± 0.006ab	0.164 ± 0.014c
3	9.17 ± 0.48d	11.28 ± 1.28a	1.24 ± 0.02d	0.056 ± 0.005a	0.188 ± 0.016ab
4	8.87 ± 0.21d	11.78 ± 0.92a	1.44 ± 0.06c	0.052 ± 0.003ab	0.212 ± 0.001ab
5	11.47 ± 1.02c	11.84 ± 0.90a	1.49 ± 0.02bc	0.052 ± 0.004ab	0.216 ± 0.006ab
6	13.32 ± 0.58b	11.23 ± 1.12a	1.56 ± 0.06ab	0.047 ± 0.004bc	0.228 ± 0.008a
7	15.69 ± 1.05a	11.37 ± 0.76a	1.57 ± 0.01a	0.043 ± 0.001c	0.214 ± 0.021ab

2.3 施肥对大棚黄瓜重金属元素含量的影响

不同施肥处理的黄瓜重金属含量见表5。结果表明:不同施肥处理黄瓜中Cu和Zn含量的变化规律基本相同,CK与施用有机肥处理的黄瓜含量最低,且含量差异不显著;有机无机肥配施处理的黄瓜Cu和

土壤有效态Cu含量较低,与CK含量差异不显著;有机无机肥配施处理中,有随有机肥配施量减少而含量增加的趋势;施用无机肥处理的土壤有效态Cu含量最高,比CK和施用有机肥处理土壤有效态Cu含量分别增加了72.0%和60.6%。土壤有效态Zn含量以CK最低,施用有机肥、有机无机肥配施及无机肥处理的含量变化较小,且各处理间差异不显著,说明不同施肥处理对土壤有效态Zn含量的影响作用较小。

从表4还看出,施用有机肥及有机无机肥配施可降低土壤有效态Pb含量。有机无机肥配施处理中,随无机肥配施量增加土壤有效态Pb含量逐渐升高,但均低于CK,表明适量施肥不会提高土壤有效态Pb含量,而施用有机肥或有机无机肥配施还可降低土壤有效态Pb的含量。施用无机肥处理的土壤有效态Cd含量与CK含量基本相同,且含量最低;施用有机肥处理的土壤有效态Cd含量较高,比CK和无机肥处理提高了18.6%;有机无机肥配施处理中,高有机肥配施量处理可显著增加土壤有效态Cd含量(处理3至5),表明施用有机肥或有机无机肥配施会导致土壤有效态Cd含量的提高。土壤有效态Cr含量以CK和施用有机肥处理的含量较低,无机肥及有机无机肥配施处理的含量较高,但处理间含量差异不显著;无机肥和有机无机肥配施土壤有效态Cr的平均含量比CK和有机肥处理的含量分别提高了19.1%和29.3%。

Zn含量随无机肥配施量的增加而提高,相关性检验达到极显著水平($r = 0.954^{**}$ 和 $r = 0.962^{**}$);施用无机肥处理黄瓜Cu和Zn含量最高,比CK含量分别提高了30.0%和24.1%,比施用有机肥处理的分别提高了28.3%和24.8%。说明施用有机肥不会对黄

瓜 Cu 和 Zn 含量产生明显的影响,而施用无机肥及高无机肥配施有机肥可显著增加黄瓜中 Cu 和 Zn 含量。

不同施肥处理黄瓜中 Pb、Cd 和 Cr 含量的变化规律相似(表 5),其含量有随无机肥配施量的增加而降低的趋势,呈显著或极显著负相关性($r = -0.877^*$ 、 $r = -0.986^{**}$ 和 $r = -0.847^*$)。施用有机肥处理的黄瓜中 Pb 含量显著高于其他施肥处理,比 CK、有机无机肥配施处理的平均含量和无机肥处理的黄瓜 Pb 含量分别增加了 19.0%、54.8% 和 309.2%,但不同有机无机肥配施处理间含量差异不显著;无机肥处理的黄瓜 Pb 含量最低,比 CK 的 Pb 含量降低了 3.4 倍。不同施肥处理对黄瓜中 Cd 含量的影响不大,与 CK 的 Cd 含量差异均不显著;但有机肥处理的黄瓜中 Cd 含量相对较高,比 CK、有机无机肥配施处理的平均含量和无机肥处理分别增加了 10.0%、6.9% 和 17.0%;无机肥处理的黄瓜 Cd 含量最低。不同施肥处理黄瓜 Cr 含量均低于 CK,施用有机肥处理比 CK 含量降低了 17.2%,施用无机肥处理比 CK 和施用有机肥处理分别降低了 60.0% 和 51.6%;有机无机肥配施处理中随无机肥配施量的增加,黄瓜中 Cr 含量明显降低,达到极显著负相关($r = -0.968^{**}$)。

表 5 施肥对大棚黄瓜重金属含量的影响

Table 5 Effects of fertilization on heavy metal content in greenhouse cucumber

处理	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr
	/mg · kg ⁻¹		/μg · kg ⁻¹		
1	0.627 ± 0.015c	1.70 ± 0.11c	10.80 ± 0.18b	1.69 ± 0.06a	106.7 ± 3.9a
2	0.635 ± 0.006c	1.69 ± 0.13c	12.85 ± 0.64a	1.86 ± 0.09a	88.3 ± 7.6b
3	0.660 ± 0.017bc	1.74 ± 0.14bc	8.68 ± 0.76c	1.82 ± 0.10a	68.7 ± 6.4c
4	0.682 ± 0.042bc	1.77 ± 0.12bc	8.34 ± 0.53c	1.76 ± 0.11a	57.7 ± 2.6d
5	0.704 ± 0.032bc	1.87 ± 0.12bc	8.07 ± 0.54c	1.71 ± 0.12a	43.5 ± 4.2e
6	0.731 ± 0.044b	1.93 ± 0.08ab	8.09 ± 0.36c	1.69 ± 0.21a	12.0 ± 3.4f
7	0.815 ± 0.081a	2.11 ± 0.08a	3.14 ± 0.26d	1.59 ± 0.16a	42.7 ± 5.1e
限量标准	≤10 mg · kg ⁻¹	≤20 mg · kg ⁻¹	≤0.2 mg · kg ⁻¹	≤0.05mg · kg ⁻¹	≤0.5 mg · kg ⁻¹

3 小结

(1) 本文试验条件下,不同施肥处理大棚黄瓜产量随无机肥配施量的提高而增加。NPK 无机肥配施能够使大棚黄瓜获得较高的产量,比 CK 和有机肥处理分别增加 36.0% 和 19.5%,比有机无机肥配施处理平均产量增加 14.3%。

(2) 施用有机肥或有机无机肥配施对大棚土壤有

2.4 大棚黄瓜重金属含量与土壤有效态重金属含量的相关性分析

从大棚黄瓜与土壤有效态重金属含量的直线回归分析表明,黄瓜 Cu 和 Cd 含量随土壤有效态 Cu 和 Cd 含量的提高而增加,相关性分别达极显著($r = 0.932^{**}$)和显著($r = 0.774^*$)正相关水平;黄瓜 Cr 含量与土壤有效态 Cr 含量则呈极显著性负相关($r = -0.909^{**}$);黄瓜 Zn 和 Pb 与土壤有效态 Zn 和 Pb 的相关性不显著($r = 0.283$ 和 $r = -0.182$)。

统计结果看出,各处理黄瓜对重金属的平均吸收累积量高低顺序为:Zn(1.82 mg · kg⁻¹) > Cu(0.693 mg · kg⁻¹) > Cr(59.9 μg · kg⁻¹) > Pb(8.57 μg · kg⁻¹) > Cd(1.73 μg · kg⁻¹)。各处理黄瓜对土壤有效态重金属的平均富集系数(富集系数 = 黄瓜重金属含量/土壤有效态重金属含量)排序为:Cr(0.300) > Zn(0.161) > Cu(0.063) > Cd(0.035) > Pb(0.006)。各处理黄瓜重金属含量均低于国家规定的无公害蔬菜或食品中重金属限量标准要求^[14-16],说明合理施用有机肥、无机肥或有机无机肥配施对大棚土壤有效态重金属含量的影响作用较小,不会对黄瓜产生重金属污染。

效态 Cu 的作用小于无机肥,施用无机肥处理的土壤有效态 Cu 含量最高;施肥对土壤有效态 Zn 和 Cd 的影响较小;施用有机肥或有机无机肥配施可以降低土壤有效态 Pb,施用无机肥和有机无机肥配施可提高土壤有效态 Cr 含量。关于施肥造成土壤有效态重金属含量提高或降低的原因,可能与有机肥和无机肥施入土壤后将与之发生一系列物理、化学和生物反应,使土壤中重金属元素形态发生变化,并影响到有效态

重金属含量的变化^[17-20]。

(3) 不同施肥处理黄瓜中 Cu 和 Zn 含量的变化规律基本相同,其含量随无机肥配施量的增加而提高,相关性达到极显著水平。不同施肥处理黄瓜中 Pb、Cd 和 Cr 含量的变化规律相似,其含量有随无机肥配施量的增加而降低的趋势,相关性达到显著或极显著水平。不同施肥处理黄瓜 Cu 和 Cd 含量与土壤有效态 Cu 和 Cd 含量的变化规律一致,达到极显著和显著性正相关;而黄瓜 Cr 含量与土壤有效态 Cr 含量的变化规律相反,达到极显著负相关;黄瓜 Zn 和 Pb 含量与土壤有效态 Zn 和 Pb 含量的相关性不显著。这些含量的变化规律可能与黄瓜生物产量增加的稀释作用有关^[21],也可能由于施肥使土壤中的重金属离子形成稳定性较高的形态,土壤重金属的植物有效性降低,从而减少了作物对其的吸收有关^[8,22],反映出不同施肥处理对蔬菜吸收不同重金属存在差异性,也体现了蔬菜吸收土壤重金属过程的复杂性。

(4) 各试验处理黄瓜中重金属含量均低于国家规定的无公害蔬菜或食品中重金属限量标准,说明合理施用有机肥、无机肥或有机无机肥配施对大棚土壤有效态重金属含量的影响作用较小,不会对黄瓜产生重金属污染。

参考文献:

- [1] 王琳琳,方凤满,蒋炳言. 中国菜地土壤和蔬菜重金属污染研究进展[J]. 吉林农业科学,2009,34(2):61-64.
WANG Lin-lin, FANG Feng-man, JIANG Bing-yan. Processes of studies of heavy metal pollution of soil and vegetables on China's vegetable field[J]. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 2009, 34(2): 61-64.
- [2] 王新,周启星. 土壤重金属污染生态过程、效应及修复[J]. 生态科学,2004,23(3):278-281.
Wang Xin, Zhou Qi-xing. The ecological process, effect and remediation of heavy metals contaminated soil[J]. *Ecologic Science*, 2004, 23(3): 278-281.
- [3] 姚春霞,陈振楼,张菊,等. 上海浦东部分蔬菜重金属污染评价[J]. 农业环境科学学报,2005,24(4):761-765.
YAO Chun-xia, CHEN Zhen-lou, ZHANG Ju, et al. Heavy metal pollution assessment of vegetables in Pudong Zone of Shanghai[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(4): 761-765.
- [4] 刘宗平. 环境重金属污染物的生物有效性[J]. 生态学报,2005,25(2):273-278.
LIU Zong-Pin. The bioactivity of environment heavy metal pollutants in the vicinity of non-ferrous metal smelter[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(2): 273-278.
- [5] 李亮亮,张大庚,李天来,等. 土壤有效态重金属提取剂选择的研究[J]. 土壤,2008,40(5):819-823.
LI Liang-liang, ZHANG Da-geng, LI Tian-lai, et al. On relation between heavy metal available contents of soil determined by different extractants and of maize organs[J]. *Soils*, 2008, 40(5): 819-823.
- [6] 孔文杰,鲁洪娟,倪吾钟. 土壤重金属生物有效性的评价方法[J]. 广东微量元素科学,2005,12(2):1-6.
Kong Wen-jie, LU Hong-juan, NI Wu-zhong. Methods for assessing bioavailability of heavy metals in soils[J]. *Trace Elements Science*, 2005, 12(2): 1-6.
- [7] 李淑仪,郑惠典,廖新荣,等. 有机肥施用量与蔬菜硝酸盐和重金属关系初探[J]. 生态环境,2006,15(2):307-311.
LI Shu-yi, ZHENG Hui-dian, LIAO Xin-rong, et al. Relationship between the application rate of organic manure and content nitrate and heavy metals in vegetable[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(2): 307-311.
- [8] 李波,青长乐,周正宾,等. 肥料中氮磷和有机质对土壤重金属行为的影响及在土壤治污中的应用[J]. 农业环境保护,2000,19(6):375-377.
LI Bo, QING Chang-le, ZHOU Zheng-bin, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and organic matter on heavy metal behavior in soils and its application of controlling pollution[J]. *Agro-environmental Protection*, 2000, 19(6): 375-377.
- [9] GB/T5009.11-2003, 食品卫生检验方法[S].
GB/T5009.11-2003, Test method of food Hygiene[S].
- [10] 李发生,韩梅,熊代群,等. 不同浸提剂对几种典型土壤中重金属有效态的浸提效率研究[J]. 农业环境科学学报,2003,22(6):704-706.
LI Fa-sheng, HAN Mei, XIONG Dai-qun, et al. Efficiency of some extractants for available heavy metals from several typical soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(6): 704-706.
- [11] Spark D L. Methods of soil analysis, Part3: Chemical methods[M]. Madison:SSSA and ASA,1996:703-919.
- [12] 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. The chemical analysis methods for soil in agriculture[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2004.
- [13] 徐亚平,刘凤枝,蔡彦明,等. 土壤中铅镉有效态提取剂的选择[J]. 农业环境与发展,2005(4):46-48.
XU Ya-ping, LIU Feng-zhi, CAI Yan-ming, et al. Studies on available Lead and cadmium extractants selection in soil[J]. *Agro-environment and Development*, 2005(4): 46-48.
- [14] GB18406.1-2001,农产品安全质量 无公害蔬菜安全要求[S].
GB18406.1-2001, Safety and quality for agricultural product safety demand for non-environmental pollution vegetable[S].
- [15] GB15199-1994,食品中铜限量卫生标准[S].
GB15199-1994, Tolerance limit of copper in foods[S].
- [16] GB13106-1991,食品中锌限量卫生标准[S].
GB13106-1991, Tolerance limit of zinc in food[S].

- [17] 张亚丽, 沈其荣, 姜 洋. 有机肥料对镉污染土壤的改良效应[J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 212 - 218.
- ZHANG Ya-li, SHEN Qi-rong, JIANG Yang. Effects of organic manure on the amelioration of Cd-polluted soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(2): 212 - 218.
- [18] 祖艳群, 李 元, 陈海燕, 等. 蔬菜中铅镉铜锌含量的影响因素研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(3): 289 - 292.
- ZU Yan-qun, LI Yuan, CHEN Hai-yan, et al. Research on factors influencing concentrations of Pb, Cd, Cu and Zn in vegetables[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(3): 289 - 292.
- [19] 余贵芬, 蒋 新, 孙 磊, 等. 有机物质对土壤镉有效性的影响研究综述[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 770 - 776.
- YU Gui-fen, JIANG Xin, SUN Lei, et al. A review for effect of organic substances on the availability of cadmium in soils[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 770 - 776.
- [20] 李瑞美, 王 果. 钙镁磷肥与有机物料配施对作物镉铅吸收的控制效果[J]. 土壤与环境, 2002, 11(4): 348 - 351.
- LI Rui-mei, WANG Guo. Effects of complexation of calcium, magnesium, phosphate with organic manure on Cd, Pb uptake by crop[J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2002, 11(4): 348 - 351.
- [21] 张 磊, 宋凤斌, 崔 良. 化肥施用对土壤中重金属生物有效性的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 122 - 125.
- ZHANG Lei, SONG Feng-bin, CUI Liang. Effects of application of chemical fertilizers on bioavailability of heavy metals in soil[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(4): 122 - 125.
- [22] 何翠屏. 环境中重金属污染及其对植物生长发育的影响[J]. 青海草业, 2004, 13(2): 26 - 29.
- HE Cui-ping. Influenced on plant growth and development by heavy metals in environment[J]. *Qinghai Prataculture*, 2004, 13(2): 26 - 29.