

铜、锌、铅和镉复合污染对番茄生长和重金属累积规律的影响

茹淑华¹ 张国印¹ 贡冬梅² 孙世友¹ 王 凌¹ 耿 暖¹

(1. 河北省农林科学院 农业资源环境研究所 河北 石家庄 050051; 2. 河北省永年县农业局南沿村区域中心站 河北 永年 057150)

摘要: 采用温室土培盆栽试验研究了铜、锌、铅和镉复合污染对番茄生长和重金属累积规律的影响。试验结果表明,随着土壤加入铜、锌、铅和镉含量的增加,番茄根中铜、锌、铅和镉的含量呈明显的上升趋势,茎叶中铜和镉的含量也呈明显的上升趋势,铜和铅的含量增加幅度不大,果实中铜、锌、铅和镉的含量增加幅度也不大。番茄茎叶铜、锌、铅和镉的吸收量远远大于果实和根系的吸收量。当土壤加入铜、锌、铅和镉含量较高时,茎叶铜和铅的吸收量随生物量下降而降低。番茄茎叶铜、锌和铅的吸收量随着土壤重金属含量的增加呈先上升后下降的趋势。番茄茎叶镉的吸收量随土壤重金属含量的增加呈一直上升的趋势。随着土壤重金属含量的增加,果实中的铜、锌、铅和镉的吸收量变化不明显。根中铜和铅的吸收量呈一直增加的趋势,而锌和镉的吸收量变化幅度不大。在同一土壤重金属处理条件下,番茄各部位对铜、锌、铅和镉的富集能力大小顺序为镉>锌>铜>铅。相同土壤重金属处理条件下,番茄对同一重金属元素的富集能力顺序为根>茎叶>果实。

关键词: 复合污染; 番茄; 生长; 重金属; 累积; 规律

中图分类号: S641.201 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2013)增刊-0371-05

Effects of Combined Pollution of Cu ,Zn ,Pb and Cd on Growth of Tomato and Heavy Metal Accumulation Regularity

RU Shu-hua¹ ,ZHANG Guo-yin¹ ,GONG Dong-mei² ,SUN Shi-you¹ ,WANG Ling¹ ,GENG Nuan¹

(1. Institute of Agro-resource and Environment ,Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences , Shijiazhuang 050051 ,China; 2. Regional Center Station of Nanyan Village of Yongnian County Agricultural Bureau ,Yongnian 057150 ,China)

Abstract: Heavy metal pollution in agricultural land becomes more and more serious in recent years. The soil culture experiments were performed to study the effects of combined pollution of Cu ,Zn ,Pb and Cd on growth of tomato and heavy metal accumulation regularity. The results showed that with the increasing of soil heavy metals Cu ,Zn ,Pb and Cd ,the content of Cu ,Zn ,Pb and Cd in root of tomato were obviously increased. Zn and Cd content in stems and leaves were increased. Cu and Pb content in stems and leaves were not obviously increased ,Cu ,Zn ,Pb and Cd content in fruits were increased slightly. Cu ,Zn ,Pb and Cd uptake in stems and leaves of tomato were far greater than that of fruits and roots. When the soil heavy metals content were higher ,Cu and Pb uptake in the stems and leaves decreased due to the decreasing of biomass. With the increasing of soil heavy metals content ,Cu ,Zn and Pb uptake in leaves of tomato were firstly increased and then decreased. With the increasing of heavy metals content in soil ,Cd uptake in stems and leaves in tomato was rising trend. With the increasing of soil heavy metals content ,Cu ,Zn ,Pb and Cd uptake in fruits were not changed significantly ,Cu and Pb uptake in root was always increased ,while Zn and Cd uptake in root changed slightly. In the same soil heavy metal processing conditions ,the accumulation ability of heavy metal elements in each part of tomato was Cd > Zn > Cu > Pb. The distribution of heavy metals of Cu ,Zn ,Pb and Cd in different parts of tomato was root > stem and leaf > fruit.

收稿日期: 2013-08-30

基金项目: 河北省自然科学基金项目(C2006000757; C2008001180); 国家科技支撑计划项目(2007BAD87B04)

作者简介: 茹淑华(1973-),女,河北平山人,副研究员,硕士,主要从事施肥与农业环境方面的研究。

通讯作者: 张国印(1962-),男,山西陵川人,研究员,主要从事施肥与农业环境方面的研究。

Key words: Combined pollution; Tomato; Growth; Heavy metal; Accumulation; Regularity

随着现代工业的发展,环境污染加剧,工业三废的排放及城市生活垃圾、污泥和含金属的农药、化肥和有机肥的不合理施用,导致土壤重金属的污染。土壤中的重金属通过农作物进入人类食物链,对人体健康产生危害^[1-6],联合国粮农组织卫生组织(FAO/WHO)对食物中镉、铅摄入量有非常严格的限制,确定每周最高摄入量镉为 0.4~0.5 mg,铅为 2.94 mg^[7]。因此对重金属在农作物中的累积规律进行深入研究,最大限度地减少其对人类健康的影响非常必要。蔬菜对重金属具有一定的富集能力,其体内累积的重金属通过食物链进入人体后,会给人类身体健康带来潜在的危害。番茄属茄果类蔬菜,是蔬菜栽培的主要品种之一,对蔬菜供应起着重要作用。目前,国内报道较多的是重金属在土壤-小麦、水稻系统中的迁移累积特征和规律的研究^[8-10],而对复合重金属污染条件下土壤-蔬菜系统中,尤其是茄果类蔬菜系统中重金属的迁移累积规律报道甚少。陈玉成^[7-8]研究了重庆市土壤-蔬菜系统中重金属的分布特征及其化学调控,结果表明,不同类型蔬菜的富集能力为叶菜类>茄果类>豆类>块茎类>瓜类,不同重金属的富集顺序为镉>汞>铅>砷。本研究采用盆栽试验探讨了铜、锌、铅和镉复合污染对番茄生长和重金属铜、锌、铅和镉累积规律的影响,为蔬菜的无公害生产提供科学的理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试蔬菜品种为番茄(冀番 136)。供试土壤采自河北省农林科学院大河试验园区。土壤的基本性质:土壤质地为中壤土,pH 值(水与土比为 5:1)7.66,土壤阳离子交换量为 13.1 cmol/kg,有机碳含量为 12.6 g/kg,土壤全铜、锌、铅和镉含量分别为 36.93、93.40、49.77、0.16 mg/kg。试验用装 10 kg 土的塑料盆。

1.2 试验方法

采用温室土培盆栽试验,土壤重金属复合污染的处理设置见表 1。把相应量的 Cd(AC)₂、Pb(AC)₂、Zn(AC)₂ 和 Cu(AC)₂ 配成溶液,与过 3 mm 筛土壤反复混合均匀,然后在温室中稳定 14 d,并施入底肥:N:0.30 g/kg,P:0.08 g/kg,K:0.10 g/kg。施入形态分别为尿素、磷酸二氢钾。土壤装盆放置一个月后,于 2008 年 3 月 28 日将育好的番茄苗移栽入塑料盆中,每盆移栽 2 株。每个处理设 4 次重复。

生长过程中用自来水浇灌,直到收获。收获时采集土壤样品和植株样品,将植株样品按不同部位分成根、茎叶、果实三部分。将样品放入塑料袋带回实验室,用蒸馏水冲洗,将水分用滤纸吸干,称取鲜质量和干质量后,磨碎,备分析测定。

表 1 土壤重金属复合污染的处理设置

Tab. 1 Soil treatment with heavy metals Cu, Zn, Pb and Cd combined pollution mg/kg

处理 Treatment	重金属复合因素 Combined heavy metal elements			
	Cu	Zn	Pb	Cd
CK	0	0	0	0
T1	50	150	175	0.3
T2	100	300	350	0.6
T3	400	500	500	1.0
T4	800	1 000	1 000	5.0

2 结果与分析

2.1 土壤重金属复合污染对番茄生长的影响

随着土壤加入铜、锌、铅和镉含量的增加,尽管番茄的根干质量没有明显的差异,但番茄茎叶和果实的干质量呈明显降低的趋势,尤其是高的土壤重金属含量显著抑制了番茄地上部的生长。由表 2 土壤重金属复合污染条件下番茄不同部位的干质量变化可以看出,随着土壤加入重金属含量的增加,番茄根的干质量没有明显的差异,番茄茎叶和果实的干质量呈明显降低的趋势,T4 处理番茄茎叶干质量显著低于其他处理。除 CK 和 T1 处理间番茄果实的干质量无明显差异外,其他处理间番茄果实的干质量差异达到显著水平。这表明随着土壤加入重金属含量的增加番茄地上部的生长受到了明显影响。

表 2 土壤重金属复合污染条件下番茄各部位的干质量

Tab. 2 Dry weight of tomato grown on soil contaminated with combined heavy metals g

处理 Treatment	不同部位的干质量 Dry weight of different parts		
	根 Root	茎叶 Stem and leaves	果实 Fruit
CK	2.71 ± 0.29a	85.44 ± 1.13a	21.77 ± 1.32a
T1	2.66 ± 0.11a	84.82 ± 2.80a	21.27 ± 2.55a
T2	2.59 ± 0.03a	82.37 ± 5.00a	14.78 ± 0.48b
T3	2.57 ± 0.13a	81.32 ± 4.22a	11.50 ± 1.34c
T4	2.60 ± 0.23a	43.42 ± 0.71b	8.27 ± 0.89d

注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

Note: Different letter mean significant difference at 0.05 level.

2.2 土壤重金属复合污染对番茄吸收累积重金属的影响

随着土壤加入铜、锌、铅和镉含量的增加,番茄根中铜、锌、铅和镉的含量呈明显的上升趋势,茎叶中铜和镉的含量也呈明显的上升趋势,铜和铅的含量增加幅度不大,果实中铜、锌、铅和镉的含量增加幅度也不大。由图1可以看出,随着土壤加入重金属铜含量的增加,番茄根中铜的含量呈明显的增加趋势,在土壤加入铜含量在0~100 mg/kg,根中铜的含量增加幅度较小,在土壤加入铜含量在100~800 mg/kg,根中铜的含量增加幅度较大。随着土壤加入铜含量的增加,番茄茎叶和果实中铜的含量有一定程度的增加,但增加幅度不大。番茄根中铜的含量明显高于茎叶和果实,而茎叶铜的含量稍大于果实。随着土壤加入锌含量的增加,番茄根和茎叶中铜的含量呈明显增加的趋势,番茄果实中铜的含

量则变化幅度不大。番茄根中铜含量大于茎叶大于果实。在土壤加入铜含量在0~500 mg/kg,根和茎叶中铜的含量增加幅度较小,在土壤加入铜含量在500~1 000 mg/kg,根和茎叶中铜的含量增加幅度较大。随着土壤加入镉含量的增加,番茄根、茎叶和果实中铜的含量均呈明显的增加趋势。在土壤加入镉含量在0~0.3 mg/kg,番茄根、茎叶和果实中铜的含量变化幅度较小,在土壤加入镉含量在0.3~5.0 mg/kg,番茄根和茎叶铜的含量变化幅度较大,而随土壤加入镉含量的增加果实中铜含量的增加幅度较小。随着土壤加入铅含量的增加,番茄根中铅的含量呈明显的增加趋势,番茄茎叶和果实中铅的含量则变化幅度不大。番茄根中铅含量大于茎叶大于果实。在土壤加入铅含量在0~350 mg/kg,根中铅的含量增加幅度较小,在土壤加入铅含量在350~1 000 mg/kg,根中铅含量的增加幅度较大。

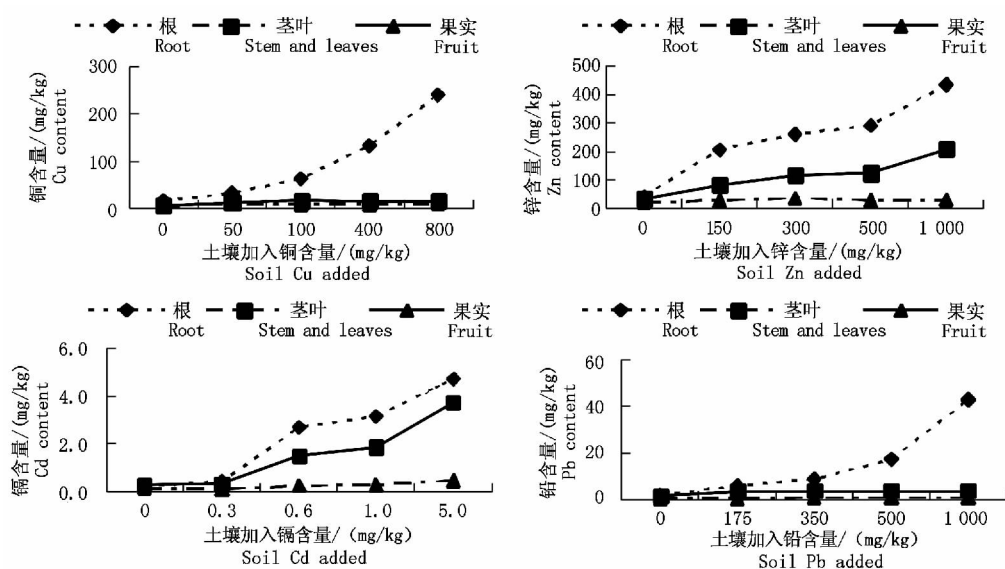


图1 土壤重金属复合污染对番茄重金属含量的影响

Fig.1 Effect of soil contaminated with combined heavy metals on the content of heavy metal in tomato

2.3 土壤重金属复合污染对番茄重金属吸收量的影响

由图2 土壤重金属复合污染对番茄重金属吸收量的影响可以看出,番茄茎叶铜、锌、铅和镉的吸收量远远大于果实和根的吸收量。但当土壤重金属含量较高时,茎叶中的铜和铅吸收量与根相当。随着土壤加入铜、锌、铅和镉含量的增加,番茄茎叶铜、锌和铅的吸收量呈先上升后下降的趋势,镉的吸收量呈一直上升的趋势。随着土壤重金属含量的增加,根中铜、锌、铅和镉吸收量呈增加的趋势,果实中铜、锌、铅和镉的吸收量变化不明显。

随着土壤加入铜含量的增加,番茄茎叶和果实铜的吸收量呈先增加后降低的趋势。在土壤加入铜含量0~100 mg/kg,茎叶铜吸收量随土壤加入铜含量的

增加而增加,在土壤加入铜含量100~800 mg/kg,茎叶铜吸收量随土壤加入铜含量的增加而降低。在土壤加入铜含量0~50 mg/kg,果实铜吸收量随土壤加入铜含量的增加而增加,在土壤加入铜含量50~800 mg/kg,果实铜吸收量随土壤加入铜含量的增加而降低。在土壤加入铜含量0~800 mg/kg,番茄根铜吸收量随土壤加入铜含量的增加而呈一直增加的趋势,番茄茎叶铜吸收量远大于根和果实。在土壤加入铜含量0~100 mg/kg,番茄果实中铜吸收量大于根,在土壤加入铜含量100~800 mg/kg,番茄果实铜吸收量小于根。随着土壤加入锌含量的增加,番茄茎叶和果实锌吸收量呈先增加后降低的趋势。在土壤加入锌含量0~500 mg/kg,茎叶锌吸收量随土壤加入锌含量的增加而增加,在土壤加入锌含量

500 ~ 1 000 mg/kg, 茎叶锌吸收量随土壤加入锌含量的增加而降低。在土壤加入锌含量 0 ~ 150 mg/kg, 果实锌吸收量随土壤加入锌含量的增加而增加, 在土壤加入锌含量 150 ~ 1 000 mg/kg, 果实锌吸收量随土壤加入锌含量的增加而降低。在土壤加入锌含量 0 ~ 1 000 mg/kg, 番茄根中锌吸收量随土壤加入锌含量的增加而呈一直增加的趋势, 番茄茎叶锌吸收量远大于根和果实。在土壤加入锌含量 0 ~ 500 mg/kg, 番茄果实中锌吸收量与根相当, 在土壤加入锌含量 500 ~ 1 000 mg/kg, 番茄果实锌吸收量明显小于根。随着土壤加入铅含量的增加, 番茄茎叶铅吸收量呈先增加后降低的趋势。在土壤加入铅含量 0 ~ 350 mg/kg, 番茄茎叶铅吸收量随土壤加入铅含量的增加而增加, 在土壤加入铅含量 350 ~ 1 000 mg/kg, 番茄茎叶和吸收量随土壤加入铅含量的增加而降低。在土壤加入铅含量 0 ~ 1 000 mg/kg, 番茄根中铅吸收量随土壤加入铅含量的增加而呈一直增加的趋势, 果实铅吸收量变化不大。在土壤加入铅含量 0 ~ 350 mg/kg, 番茄根中铅吸收量的增加幅度较小, 在土壤加入铅含量 350 ~ 1 000 mg/kg, 番茄根中铅吸收量的增加幅度较大。在土壤加入铅含量 0 ~ 1 000 mg/kg, 番茄茎叶铅吸收量远大于根大于果实。在土壤加入铅含量 0 ~ 500 mg/kg, 番茄果实铅吸收量与根相当, 在土壤加入铅含量 500 ~ 1 000 mg/kg, 番茄果实中铅吸收量明显小于根。随着土壤加入镉含量的增加, 番茄茎叶镉吸收量呈一直增

加的趋势。在土壤加入镉含量 0 ~ 0.3 mg/kg, 番茄茎叶镉吸收量变化幅度较小, 在土壤加入镉含量 0.3 ~ 5.0 mg/kg, 番茄茎叶镉吸收量的增加幅度较大。随土壤加入镉含量的增加番茄果实和根镉吸收量变化幅度不大。在土壤加入镉含量 0 ~ 5.0 mg/kg, 番茄茎叶镉吸收量远大于根大于果实。

表 3 番茄不同部位对重金属元素的富集能力

重金属元素 Heavy metal elements	处理 Treatments	重金属富集系数 Enrichment coefficient of heavy metal		
		Enrichment coefficient of heavy metal		
		根 Root	茎叶 Stem and leaves	果实 Fruit
Cu	T1	0.66	0.28	0.20
	T2	0.64	0.17	0.09
	T3	0.33	0.04	0.02
	T4	0.30	0.02	0.01
Zn	T1	1.38	0.56	0.20
	T2	0.87	0.39	0.13
	T3	0.58	0.25	0.06
	T4	0.43	0.21	0.03
Pb	T1	0.03	0.019	0.002
	T2	0.02	0.010	0.002
	T3	0.03	0.007	0.001
	T4	0.04	0.004	0.001
Cd	T1	1.43	1.16	0.39
	T2	4.52	2.50	0.45
	T3	3.15	1.85	0.30
	T4	0.94	0.75	0.10

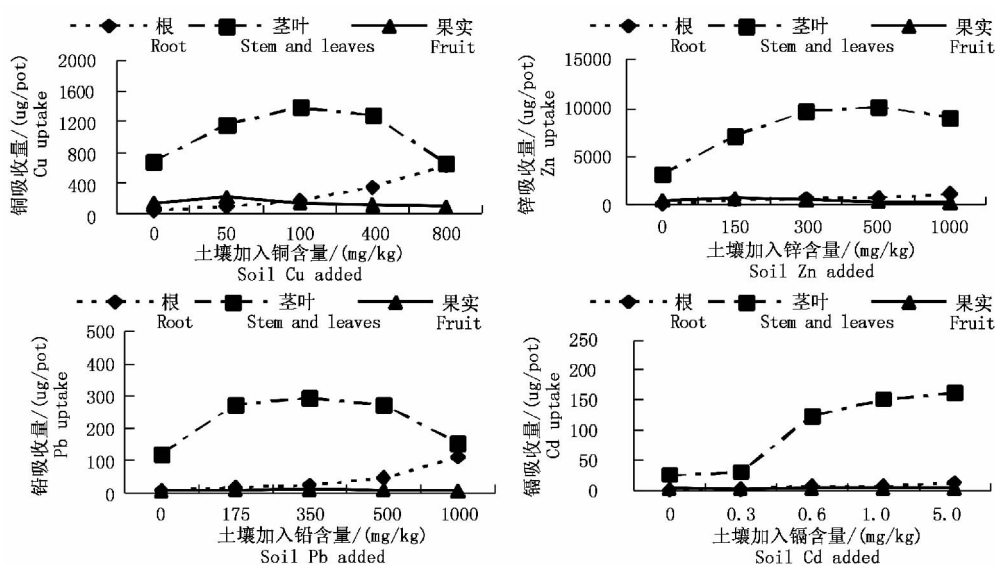


图 2 土壤重金属复合污染对番茄重金属吸收量的影响

Fig. 2 Effect of soil contaminated with combined heavy metals on the uptake of heavy metal in tomato

2.4 土壤重金属复合污染条件下番茄的富集能力

用番茄对重金属的富集系数来表示番茄对重金属的吸收和富集能力。富集系数即番茄相应部位的

重金属含量与土壤重金属的含量的比值。由表 3 可以看出, 随着土壤加入重金属含量的增加, 番茄各部位对铜、锌、铅的富集能力下降。而随着土壤加入重

金属含量的增加,番茄各部位对镉的富集能力呈先升高后降低的趋势。在土壤加入镉含量在 0 ~ 0.6 mg/kg,番茄各部位对镉的富集能力随着土壤加入镉含量的增加而升高。在土壤加入镉含量在 0.6 ~ 5.0 mg/kg,番茄各部位对镉的富集能力随着土壤加入镉含量的增加而降低。在同一土壤重金属处理条件下,番茄各部位对铜、锌、铅和镉的富集能力大小顺序为镉 > 锌 > 铜 > 铅。如 T2 处理条件下,番茄果实对镉的富集系数最大,为 0.45,对锌的富集系数为 0.13,对铜的富集系数为 0.09,对铅的富集系数最小,仅为 0.002。相同土壤重金属处理条件下,番茄对同一重金属元素的富集能力顺序为根 > 茎叶 > 果实。如 T2 处理条件下,番茄根对镉的富集系数最大,为 4.52,茎叶对镉的富集系数居中,为 2.50,果实对镉的富集系数最小,为 0.45。

3 结论

随着土壤加入铜、锌、铅和镉含量的增加,番茄根中铜、锌、铅和镉的含量呈明显的上升趋势,茎叶中锌和镉的含量也呈明显的上升趋势,铜和铅的含量增加幅度不大,果实中铜、锌、铅和镉的含量增加幅度也不大。番茄茎叶铜、锌、铅和镉的吸收量远远大于果实和根系的吸收量。当土壤重金属含量较高时,茎叶铜和铅的吸收量随生物量下降而降低。番茄茎叶铜、锌和铅的吸收量随着土壤重金属含量的增加呈先上升后下降的趋势。番茄茎叶镉的吸收量随着土壤重金属含量的增加呈一直上升的趋势。随着土壤重金属含量的增加,果实中的铜、锌、铅和镉的吸收量变化不明显,根中铜和铅的吸收量呈一直增加的趋势,而锌和镉的吸收量与果实中锌和镉的吸收量变化规律一致。在同一土壤重金属处理条件下,番茄各部位对铜、锌、铅和镉的富集能力大小顺序为镉 > 锌 > 铜 > 铅。相同土壤重金属处理条件

下,番茄对同一重金属元素的富集能力顺序为根 > 茎叶 > 果实。

参考文献:

- [1] 高拯民 等. 土壤-植物系统污染生态研究[M]. 北京: 中国科技出版社, 1986.
- [2] 宗良纲, 丁 园. 土壤重金属(铜、锌、镉)复合污染的研究现状[J]. 农业环境保护, 2001, 20(2): 126 - 128.
- [3] 聂胜委, 黄绍敏, 张水清, 等. 重金属胁迫后效对玉米产量的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28(4): 123 - 129.
- [4] 白彦真, 谢英荷, 张小红. 重金属污染土壤植物修复技术研究进展[J]. 山西农业科学, 2012, 40(6): 695 - 697.
- [5] 胡潇潇, 李建龙, 杨红飞, 等. 张家港市土壤水稻系统重金属积累与转移特征分析[J]. 天津农业科学, 2012, 18(4): 40 - 46.
- [6] 王 义, 黄先飞, 胡继伟, 等. 重金属污染与修复研究进展[J]. 河南农业科学, 2012, 41(4): 1 - 6.
- [7] Koeppe De. Lead: understanding the mineral toxic of lead in plants[C]//LW Leep ed. Effects of heavy metal pollution on plants. London: Sci Pub, 1981: 55 - 75.
- [8] 赵中秋, 朱永官, 蔡运龙. 镉在土壤-植物系统中的迁移转化及其影响因素[J]. 生态环境, 2005, 14(2): 282 - 286.
- [9] 关共凑, 徐 颂, 黄金国. 重金属在土壤-水稻体系中的分布、变化及迁移规律分析[J]. 生态环境, 2006, 15(2): 315 - 318.
- [10] 陈玉成, 付翠芳, 唐丽琼. 两种螯合剂对汞在土壤-植物系统中的迁移的影响[J]. 土壤与环境, 2002, 11(1): 10 - 12.
- [11] 陈玉成, 赵中金, 孙彭寿, 等. 重庆市土壤-蔬菜系统中重金属的分布特征及其化学调控研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 44 - 47.
- [12] 江解增, 许学宏, 余云飞, 等. 蔬菜对重金属生物富集程度的初步研究[J]. 中国蔬菜, 2006(7): 8 - 11.