

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20120712001

焦洪静, 牛明芬, 魏树和, 等. 茄子苗对镉积累和耐性的品种间差异[J]. 生态毒理学报, 2013, 8(3): 413-418

Jiao H J, Niu M F, Wei S H, et al. Differences of accumulating and enduring cadmium among eggplant seedlings [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2013, 8(3): 413-418 (in Chinese)

茄子苗对镉积累和耐性的品种间差异

焦洪静^{1,2}, 牛明芬¹, 魏树和^{2,*}, 李云萌^{2,3}, 王姗姗^{2,3}, 朱建功^{2,3}

1. 沈阳建筑大学 市政与环境工程学院 沈阳 110168
2. 中国科学院沈阳应用生态研究所 污染生态与环境工程重点实验室 沈阳 110016
3. 中国科学院大学 北京 100094

摘要: 通过盆栽实验方法研究了 13 种茄子幼苗对镉(Cd) 积累与耐性的品种间差异。结果表明 这些茄子幼苗根及地上部 Cd 含量均随土壤中外加 Cd 的量的增加而提高。品种间存在着显著差异($P < 0.05$) ,其中 Cd 含量最高品种根部和地上部的 Cd 含量分别为 Cd 含量最低品种的 2.1、2.4 倍($2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd 处理组)和 1.5、1.6 倍($4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd 处理组)。不同品种幼苗对 Cd 的富集系数均大于 1 表现出较强的富集能力。但转运系数均小于 1 ,Cd 从根部向地上部转移能力较弱 ,大多数品种间差异不大。当 Cd 添加量为 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时 ,只有绿龙长茄地上部生物量显著下降($P < 0.05$) 。当 Cd 添加量提高到 $4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时 6 个品种地上部生物量显著下降($P < 0.05$) ,这些品种对 Cd 的耐性较弱。综合评价 辽茄三号对 Cd 积累的含量最低 ,富集系数和转移系数也较低 ,对 Cd 具有较强的耐性 ,具有 Cd 低积累特征。

关键词: 茄子; 镉; 积累; 品种差异

文章编号: 1673-5897(2013)3-413-06 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Differences of Accumulating and Enduring Cadmium among Eggplant Seedlings

Jiao Hongjing^{1,2}, Niu Mingfen¹, Wei Shuhe^{2,*}, Li Yunmeng^{2,3}, Wang Shanshan^{2,3}, Zhu Jianguo^{2,3}

1. School of Municipal & Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China
2. Key Laboratory of Pollution Ecology and Environmental Engineering, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Received 12 July 2012 **accepted** 29 August 2012

Abstract: Pot culture experiment was used to compare the differences of cadmium (Cd) accumulation and tolerance among 13 eggplant cultivar seedlings. Results showed that Cd contents in the roots and shoots of all plants enhanced with the increasement of Cd contents in soil. There was a significant difference ($P < 0.05$) in Cd concentration among different eggplant cultivars. Cd contents in roots and shoots of the cultivar with the highest Cd content were 2.

收稿日期: 2012-07-12 录用日期: 2012-08-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(31070455, 31270540, A0971184, A0930739); 辽宁省自然科学基金项目(201102224); "十二五"国家科技支撑计划课题(2012BAC17B04); "863"计划课题(2012AA06A202)

作者简介: 焦洪静(1988-),女,硕士,研究方向为土壤重金属污染修复, E-mail: hongjingjiao@yahoo.cn;

* 通讯作者(Corresponding author) E-mail: shuhewei@iae.ac.cn

1 and 2.4 times in treatment T1 ($2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ Cd}$), and 1.5 and 1.6 times in treatment T2 ($4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ Cd}$) of the one with the lowest Cd content. The enrichment factors of all plants were all higher than 1, indicating the very strong accumulation capacity of eggplant. However, the translocation factors of all cultivars were lower than 1. The differences of translocation factors among most cultivars did not show significant difference ($P < 0.05$), expressing low translocation capacity of Cd from root to shoot. Under the condition of $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ Cd}$ added in soil, only the shoot biomass of Lvlongchangqie significantly decreased ($P < 0.05$) compared to the control. When $4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ Cd}$ was added in soil, the shoot biomasses of 6 cultivars significantly decreased ($P < 0.05$), indicating their weak tolerance to Cd. Cd concentrations in the roots and shoots of Liaoqie 3 were the lowest among different eggplant cultivars. Its enrichment factor and translocation factor were lower either. Accordingly, Liaoqie 3 showed strong tolerance to Cd and low Cd accumulation characteristics.

Keywords: eggplant (*Solanum melongena* L.); cadmium; accumulation; cultivar difference

重金属是一类性质独特的污染物质,其最大的特点就是不能为生物所分解,大多数也不能通过焚烧的方法从土壤中去掉,相反地可以在生物体内富集,有些还会转化为毒性更大的甲基化合物,对人体危害极大^[1]。从20世纪50年代,日本开始出现“水俣病”和“骨痛病”,并查明这些人类疾病分别系汞(Hg)和镉(Cd)污染引起,自此,重金属污染环境普遍受到世界各国的重视,并采用了相应的防治措施^[2]。然而,随着人类对资源需求水平的不断提高以及生产强度的日益加大,含有重金属的废弃物不断地输入环境,对环境造成的污染仍在加剧。其中,农田土壤受重金属污染程度越来越大,仅西欧约140万个污染土壤位点中,重金属污染便占有绝大多数,而我国受重金属污染的耕地面积已达20多万 km^2 ,每年出产重金属污染的粮食约1200万t,修复污染土壤和采取必要措施保证重金属污染土壤上的粮食安全生产已显得非常迫切^[1-3]。

目前,土壤重金属污染的修复方法总体上可分为异位修复和原位修复技术^[2]。异位修复技术是将受污染土壤从场地挖走,送到污染土壤处理工厂,经修复符合标准后再回填,或者直接用未受污染的土壤回填。这种方法对污染场地修复似乎最为彻底,但该项技术的明显缺点就是工程耗资巨大,对于污染较轻且面积巨大的场地更是从经济上难以接受,甚至根本无法实施。因而,人们致力于寻求耗资较少的原位修复方法。原位修复的技术路线大体上可分为2种途径:一是改变重金属在土壤中的形态,即降低或消除其在土壤中的可移动性和生物可利用性,从而减少或消除其对生物的危害;另一条途径就是直接从土壤中去掉重金属,这包括玻璃化技术、电动力学方法、水力淋滤法及植物修复方法等。由于

玻璃化技术、电动力学方法、水力淋滤法等物理或化学修复方法存在不同程度的破坏土壤理化性质、引起二次污染、耗资巨大等缺点,在重金属污染土壤原位修复中应用较为有限。而植物修复技术具有投资少、不破坏场地结构、能有效地控制污染土壤风蚀与水蚀、不引起二次污染且能永久解决土壤重金属污染等特点,既能够保护和改善土壤生态环境,又能保障农业生产资料的可持续利用,因而被认为是修复土壤重金属污染最有前途的技术,近年来已逐渐成为世界各国研究的热点。但总的来看,植物修复技术在短期内还难以直接应用于修复实践^[1-2]。因此,利用低积累作物品种在重金属污染农田上生长,使其农产品完全符合国家食品卫生标准,同时,再采取一些钝化措施,以构建重金属污染土壤的绿色生产技术才是当务之急,也是最切实可行的办法。但不同的作物种类品种众多,不同的品种之间对重金属的积累是否存在差异将是这一办法得以有效实施的必要条件。

我国对于城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染情况已进行了较为广泛的调查研究,但多侧重于调查取样分析和不同蔬菜品种对重金属吸收富集及其相关机制的初步研究,而有关蔬菜不同品种对重金属吸收富集差异的研究还相对较少,尤其是茄子对Cd积累的品种间差异的研究鲜见报道^[4-6]。通过室内盆栽实验方法,比较13种茄子幼苗对土壤中Cd的积累与耐性的品种间差异,以期在茄子生长的早期筛选出具有Cd低积累特征的茄子品种。

1 材料与方法(Materials and methods)

1.1 盆栽土壤基本情况

盆栽实验土壤取至中国科学院沈阳生态实验站表层土壤(0~20 cm)。该实验站周围没有污染源,

是重金属未污染区。土壤类型为草甸棕壤,土壤的理化条件为:pH值6.65,阳离子交换量 $0.24\text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$,含沙量34.5%(质量分数),全N $0.76\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效P $14.22\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效K 87.26 ,总有机碳1.52%(质量分数),总Cd $0.15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 实验方法

13种供试茄子种子购自沈阳市种子市场,为当前在沈阳地区种植较为普遍的品种。具体品种名及标号见表1。参照国家土壤环境质量标准(GB15618—1995)将供试土壤风干过2mm筛后,与一定量的重金属 $\text{CdCl}_2\cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 以溶液形式混合得到处理CK(不加Cd)、T1(加 $2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cd)和T2(加 $4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cd)装入塑料盆(直径20cm,高度15cm)中,平衡2周后备用。将13种茄子种子经消毒后分别播入CK、T1和T2处理的盆中。待植株长到2cm高时,每盆各保留10棵苗,重复3次。温室内培养,室内温度保持在 $25^\circ\text{C}\sim 27^\circ\text{C}$,光照时间为8h。根据盆栽土壤缺水情况,不定期浇自来水(水中未检测出Cd)使土壤含水量经常保持在田间持水量的80%左右。待植物生长25d株高约10cm时收获植物。

1.3 样品分析及数据统计

收获的植物样品分为根和地上部2部分,分别用自来水充分冲洗以去除粘附于植物样品上的泥土和污物,然后再用去离子水冲洗,沥去水分,之后在烘干前先在 105°C 下杀青30min,然后在 70°C 下于烘箱中烘至恒重。烘干后的植物样采用 $\text{HNO}_3\text{--HClO}_4$ 法消化、原

子吸收分光光度计测定其中的重金属含量。

用Microsoft Excel进行平均值和标准差(SD)的计算,并利用最低显著性差异法(least significant difference, LSD)进行差异显著性测验,显著水平 $P<0.05$ 。

2 结果与分析(Results and analysis)

2.1 茄子根及地上部Cd含量的品种间差异

由表1可知,品种间Cd含量差异达显著水平($P<0.05$)。在土壤中添加 $2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cd时(处理T1),13种茄子根部Cd含量为 $34.04\sim 69.77\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,地上部Cd含量为 $20.65\sim 48.73\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,Cd含量最高的分别为最低的2.1和2.4倍。当土壤中Cd添加量为 $4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时(处理T2),Cd含量最高的分别是最低的1.5倍(根)和1.6倍(地上)。其中辽茄三号的Cd含量在不同Cd处理组中均为最低。

2.2 富集系数和转移系数的品种间差异

富集系数(enrichment factors, EFs)是指植物体内某种重金属含量与土壤中该种重金属含量的比值,是衡量植物对重金属积累能力的一个重要指标^[7]。富集系数越高说明植物对重金属的富集能力越强。由表2可知,13种茄子地上部富集系数间差异也达到显著水平($P<0.05$)。在2种Cd处理条件下(T1、T2),所有品种的地上部分对Cd的富集系数均大于1,表明可能茄子这一作物种类对Cd的富集能力较强^[8-9]。

表1 13种茄子根及地上部Cd含量

Table 1 Cd concentrations in roots and shoots of 13 eggplants

编号	品种	(mg·kg ⁻¹)					
		根			地上部		
		CK	T1	T2	CK	T1	T2
1	沈新花仙子	0.99±0.06 a	46.11±2.77 c	84.76±5.09 b	0.72±0.05 a	33.15±2.20 c	51.52±3.41 ab
2	白花绿冠王	0.65±0.04 c	38.16±2.29 d	75.34±4.52 cd	0.54±0.04 b	27.26±1.81 d	49.50±3.28 b
3	精选西安绿罐茄	0.94±0.06 a	69.77±4.19 a	97.66±5.26 a	0.67±0.04 a	48.73±3.23 a	55.92±3.70 a
4	绿罐	0.81±0.05 b	41.92±2.51 d	84.52±5.07 b	0.77±0.03 a	29.20±1.93cd	53.66±3.55 a
5	油绿王子	0.94±0.06 a	35.27±2.12 d	68.67±4.12 d	0.79±0.05 a	26.35±1.75 d	47.12±3.12
6	保丰绿茄	0.86±0.05 ab	38.89±2.33 d	91.92±5.52 ab	0.74±0.04 a	31.20±2.07 c	52.96±3.51 ab
7	L1 吉杂少籽花长茄	0.81±0.07 b	49.95±3.00 c	82.36±4.94 bc	0.74±0.05 a	30.71±2.03 c	49.33±3.27 b
8	林丰绿长茄	0.75±0.04 b	37.89±2.27 d	93.92±5.64 a	0.66±0.02 a	31.53±2.09 c	57.90±3.84 a
9	绿龙长茄	0.89±0.05 ab	47.16±2.83 c	99.36±5.96 a	0.74±0.04 a	30.70±2.03 c	57.68±3.82 a
10	特选绿长茄	0.96±0.06 a	56.77±3.41 b	91.85±5.51 b	0.75±0.05 a	40.80±2.70 b	56.50±3.74 a
11	黑又亮紫长茄	0.82±0.05 b	54.78±3.29 b	85.21±5.11 b	0.69±0.03 a	41.88±2.77 b	48.60±3.22 b
12	辽茄三号	0.82±0.04 b	34.04±2.04 d	66.00±3.96 d	0.59±0.04 b	20.65±1.37 e	35.86±2.38 d
13	绿健	0.84±0.04 ab	40.93±2.46 d	65.45±3.93 d	0.58±0.06 b	31.64±2.10 c	41.76±2.77 c

注:CK表示空白对照;T1表示Cd投加浓度 $2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;T2表示Cd投加浓度 $4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

转移系数(translocation factors, TFs)是指地上部某种重金属含量与其根部重金属含量的比值,主要用来评价植物将重金属从地下向地上运输的能力,转运系数越大,则重金属从根部向地上部器官转运能力越强^[9]。从表2可知,不同Cd处理条件下,各品种的转运系数差异显著($P < 0.05$)。但所有品种的转移系数均小于1,表明茄子这一作物种类对Cd的转移能力较弱^[8-9]。综合评价,辽茄三号的富集系数和转移系数均为最低(表2)。

2.3 不同茄子品种对Cd的耐性差异

从外观上看,13种茄子随土壤中Cd含量的增

加基本都能正常生长,未表现出萎黄、缺绿等胁迫症状,但地上部生物量有明显变化。由图1可以看出,当土壤中Cd施加量为 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,绿龙长茄(9号)地上部生物量与对照相比显著下降($P < 0.05$),说明其耐性较弱^[7,9]。当土壤中Cd施加量增加到 $4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,白花绿冠王(2号)、精选西安绿罐茄(3号)、绿罐(4号)、油绿王子(5号)、保丰绿茄(6号)、绿龙长茄(9号)和特选绿长茄(10号)6个品种对Cd表现出较弱的耐性,地上部生物量有显著下降($P < 0.05$)。但品种辽茄三号(12号)对Cd耐性较强^[7,9]。

表2 13种茄子对Cd的富集系数和转移系数

Table 2 Cd enrichment factor and translocation factor in 13 eggplants

编号	品种	富集系数		转移系数	
		T1	T2	T1	T2
1	沈新花仙子	$16.00 \pm 1.20 \text{ b}$	$12.70 \pm 0.95 \text{ ab}$	$0.72 \pm 0.05 \text{ a}$	$0.61 \pm 0.04 \text{ ab}$
2	白花绿冠王	$13.15 \pm 0.98 \text{ bc}$	$12.21 \pm 0.91 \text{ ab}$	$0.71 \pm 0.04 \text{ a}$	$0.66 \pm 0.04 \text{ a}$
3	精选西安绿罐茄	$23.52 \pm 1.76 \text{ a}$	$13.79 \pm 1.03 \text{ ab}$	$0.70 \pm 0.06 \text{ a}$	$0.57 \pm 0.04 \text{ b}$
4	绿罐	$14.09 \pm 1.05 \text{ bc}$	$13.23 \pm 0.99 \text{ ab}$	$0.69 \pm 0.03 \text{ a}$	$0.65 \pm 0.03 \text{ a}$
5	油绿王子	$12.72 \pm 0.95 \text{ c}$	$11.62 \pm 0.87 \text{ b}$	$0.75 \pm 0.05 \text{ a}$	$0.69 \pm 0.04 \text{ a}$
6	保丰绿茄	$15.06 \pm 1.13 \text{ bc}$	$13.06 \pm 0.98 \text{ a}$	$0.81 \pm 0.03 \text{ a}$	$0.59 \pm 0.03 \text{ b}$
7	L1 吉杂少籽花长茄	$14.82 \pm 1.11 \text{ bc}$	$12.16 \pm 0.91 \text{ ab}$	$0.62 \pm 0.04 \text{ b}$	$0.60 \pm 0.04 \text{ ab}$
8	林丰绿长茄	$15.22 \pm 1.14 \text{ b}$	$14.28 \pm 1.07 \text{ a}$	$0.84 \pm 0.02 \text{ a}$	$0.62 \pm 0.04 \text{ ab}$
9	绿龙长茄	$14.82 \pm 1.11 \text{ bc}$	$14.22 \pm 1.06 \text{ a}$	$0.65 \pm 0.05 \text{ ab}$	$0.58 \pm 0.03 \text{ b}$
10	特选绿长茄	$19.69 \pm 1.47 \text{ a}$	$13.93 \pm 1.04 \text{ a}$	$0.72 \pm 0.04 \text{ a}$	$0.62 \pm 0.04 \text{ ab}$
11	黑又亮紫长茄	$20.21 \pm 1.51 \text{ a}$	$11.98 \pm 0.90 \text{ b}$	$0.77 \pm 0.06 \text{ a}$	$0.57 \pm 0.03 \text{ b}$
12	辽茄三号	$9.97 \pm 0.75 \text{ d}$	$8.84 \pm 0.66 \text{ c}$	$0.61 \pm 0.03 \text{ b}$	$0.55 \pm 0.03 \text{ b}$
13	绿健	$15.27 \pm 1.14 \text{ b}$	$10.30 \pm 0.77 \text{ b}$	$0.78 \pm 0.04 \text{ a}$	$0.64 \pm 0.04 \text{ a}$

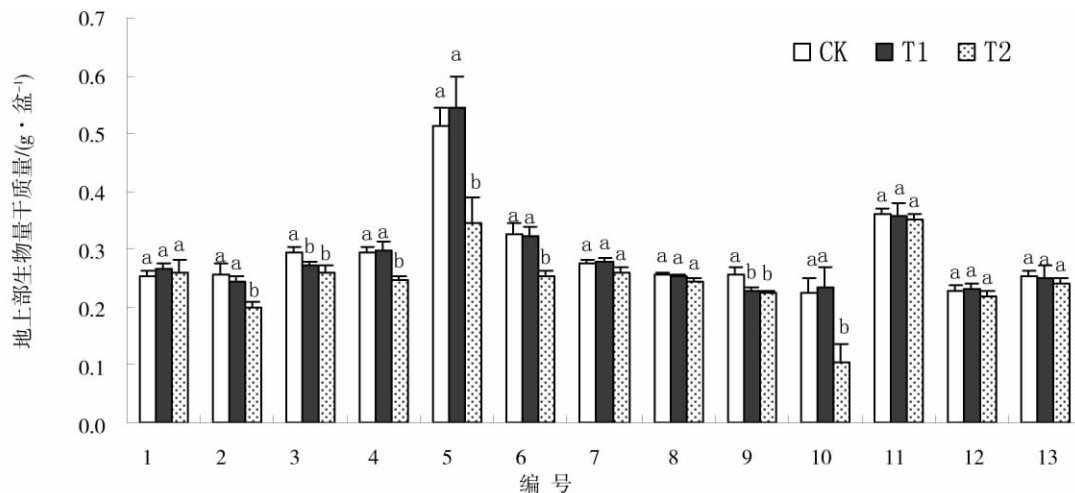


图1 Cd对13种茄子地上部生物量的影响

注:1. 沈新花仙子;2. 白花绿冠王;3. 精选西安绿罐茄;4. 绿罐;5. 油绿王子;6. 保丰绿茄;7. L1 吉杂少籽花长茄;8. 林丰绿长茄;9. 绿龙长茄;10. 特选绿长茄;11. 黑又亮紫长茄;12. 辽茄三号;13. 绿健。图中不同字母表示同一品种不同Cd处理间差异显著, $P < 0.05$ 。

Fig. 1 Effects of Cd on shoot biomasses of 13 eggplants

2.4 不同茄子品种 Cd 含量与其生物量的关系

对植物地上部生物量与地上部 Cd 含量进行相关分析表明,当 Cd 添加量为 2 和 4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,植物地上部干重质量与地上部 Cd 含量之间的相关系数分别为 -0.2066 和 -0.0785,其绝对值均未超过差异显著性标准值,即差异不显著 ($P > 0.05$)。这说明不同茄子品种间对 Cd 积累的差异并不是其生物量的高低引起的。

3 讨论 (Discussion)

关于不同品种作物对重金属以及其他元素积累的差异的研究已有一些报道。赵秀兰和李彦娥^[10]通过盆栽实验研究了 16 种烟草对 Cd 积累与耐性的品种间差异,结果表明,烟草叶片 Cd 含量较根和茎部 Cd 含量高,不同品种烟草根、茎、叶中 Cd 含量差异均显著。彭俊杰^[11]通过盆栽实验,研究了 4 个叶菜类(23 个品种)对砷的累积差异,结果表明,不同叶菜对砷的累积不同,同种叶菜不同品种对 As 的累积也不同。类似的,有学者采用水培实验方法,研究了 28 个常规水稻品种在较低硅素浓度条件下,不同水稻品种间茎蘖数、根系和地上部的干物质质量、硅素含量和吸收硅总量的差异,结果表明,水稻品种间对硅素及镉的吸收积累存在显著或极显著差异^[12-13]。这些研究虽然并没有从机理上揭示造成不同品种对重金属及其他元素积累差异的原因,但都毫无例外地得出品种间对重金属或其他元素在作物中的积累确实存在显著差异这一结论。而这样的一种现象就为重金属低积累品种的选育奠定了实践基础。很有必要对这一现象机理进行深入的理论探讨。

综上,在 13 个茄子品种中,辽茄三号根及地上部 Cd 含量最低,富集系数和转移系数也最低,对 Cd 具有较强的耐性,是一种具有 Cd 低积累特征品种。

通讯作者简介:魏树和(1970—),男,博士,研究员,博士生导师,研究方向为污染土壤修复。

参考文献:

- [1] 孙铁珩,周启星,李培军. 污染生态学[M]. 北京:科学出版社,2001: 265-298
- [2] 周启星,宋玉芳. 污染土壤修复原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2004: 112-129
- [3] 周东美,邓昌芬. 重金属污染土壤的电动修复技术研究

进展[J]. 农业环境科学学报,2003,22(4): 505-508
Zhou D M, Deng C F. Review: Electrokinetic remediation of heavy metal contaminated soil [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2003, 22(4): 505-508 (in Chinese)

- [4] 刘维涛,周启星,孙约兵,等. 大白菜(Brassica pekinensisL.)对镉富集基因差异的研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2010,18(2): 226-236
Liu W T, Zhou Q X, Sun Y B, et al. Genotypic variation of cadmium accumulation in Chinese cabbage (Brassica pekinensisL.) [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2010, 18(2): 226-236 (in Chinese)
- [5] 赵小虎,王富华,张冲,等. 南方菜地重金属污染状况及蔬菜安全生产调控措施[J]. 农业环境与发展, 2007, 24(3): 91-94
Zhao X H, Wang F H, Zhang C, et al. Vegetable pollution status of heavy metals and safety control measures in the south [J]. Agro-Environment & Development, 2007, 24(3): 91-94 (in Chinese)
- [6] Liu W T, Zhou Q X, Sun Y B, et al. Identification of Chinese cabbage genotypes with low cadmium accumulation for food safety [J]. Environmental Pollution, 2009, 157(6): 1961-1967
- [7] 魏树和,周启星,王新. 18 种杂草对重金属的超积累特性研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2003, 11(2): 152-160
Wei S H, Zhou Q X, Wang X. Characteristics of 18 species of weed hyperaccumulating heavy metals in contaminated soils [J]. Journal of Applied Basic and Engineering Sciences, 2003, 11(2): 152-160 (in Chinese)
- [8] 曾希柏,李蓬芳,梅旭荣. 中国蔬菜土壤重金属含量及来源分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2507-2517
Zeng X B, Li L F, Mei X R. Heavy metal content in soils of vegetable-growing lands in China and source analysis [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(11): 2507-2517 (in Chinese)
- [9] 魏树和,杨传杰,周启星. 三叶鬼针草等 7 种常见菊科杂草植物对重金属的超富集特征[J]. 环境科学, 2008, 29(10): 2912-2918
Wei S H, Yang C J, Zhou Q X. Hyperaccumulative characteristics of 7 weed species in composite family especially Bidens pilosato heavy metals [J]. Environmental Science, 2008, 29(10): 2912-2918 (in Chinese)
- [10] 赵秀兰,李彦娥. 烟草积累与忍耐镉的品种差异[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2007, 29(3): 110-114
Zhao X L, Li Y E. Variation of cadmium tolerance and accumulation in different tobacco cultivars [J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2007,

- 29(3): 110-114 (in Chinese)
- [11] 彭俊杰. 不同叶菜对砷的累积差异研究[J]. 环境科技, 2011, 24(1): 19-21
Peng J J. Differences in accumulation of arsenic among leaf vegetables [J]. Environmental Science & Technology, 2011, 24(1): 19-21 (in Chinese)
- [12] 刘辉, 张静, 杜彦修, 等. 水稻苗期吸收积累硅素的品种差异研究[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(2): 278-282
Liu H, Zhang J, Du Y X, et al. Differences in silicon uptake and accumulate ability among different rice cultivars at tillering stage [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2009, 10(2): 278-282 (in Chinese)
- [13] Yu H, Wang J L, Fang W, et al. Cadmium accumulation in different rice cultivars and screening for pollution-safe cultivars of rice [J]. Science of the Total Environment, 2006, 370(2-3): 302-309 ◆

更正说明

本刊2012年第7卷第1期第57-64页,“浑河野生鲫鱼体内重金属污染水平与金属硫蛋白基因表达”一文中的原图1替换为新的图1(如下图所示),该图图题以及正文的其他内容不变。

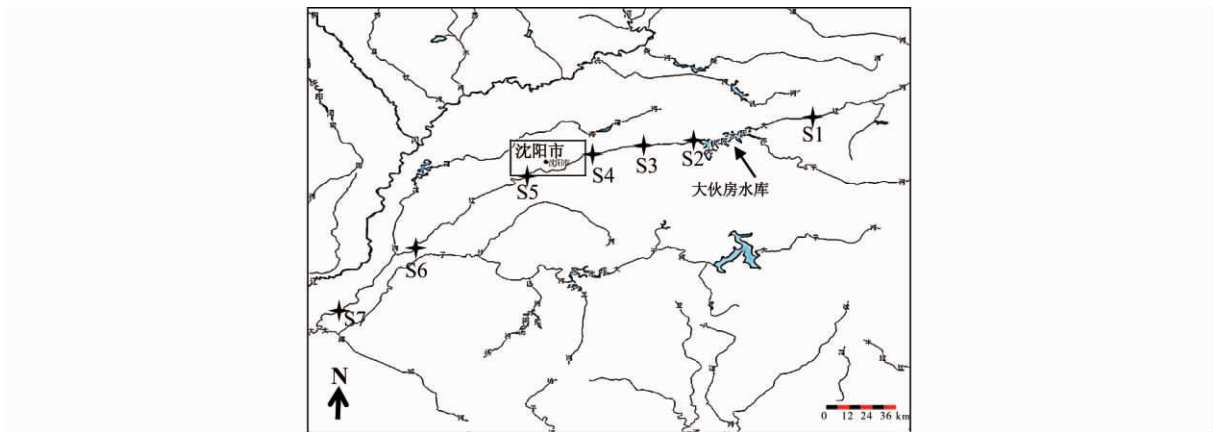


图1 浑河野生鲫鱼的采样点位分布图

注: S1 大伙房水库前; S2 大伙房水库坝下; S3 抚顺段上游; S4 抚顺段下游; S5 沈阳段; S6 辽阳段; S7 鞍山段

Fig. 1 Sampling sites for collecting wild crucian carps from Hun River