

文章编号: 1003-8701(2015)04-0013-04

不同添加量重金属对水稻产量及籽粒重金属富集的影响

张秀芝¹, 李强¹, 彭畅¹, 高洪军¹,
魏雯雯¹, 赵福刚², 朱平^{1*}

(1. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130033;
2. 辽宁省大连市旅顺口区农产品质量检测中心, 辽宁 大连 116041)

摘要: 在吉林中部黑土区采用微区试验探讨了在土壤中添加不同重金属对水稻产量及重金属富集的影响, 阐述了重金属在水稻植株中的分布特征、籽粒中的富集能力及与土壤中重金属含量的关系。结果表明, Pb、Hg 的添加对水稻籽粒产量的影响差异不显著, 随着 Cd、As、Cr 添加量的增加, 籽粒产量呈下降趋势, 差异达显著水平。各重金属在水稻籽粒中的迁移能力大小为: As>Cd>Hg>Pb、Cr, 水稻茎叶、籽粒中重金属含量与土壤重金属含量呈极显著正相关关系, 且茎叶与籽粒之间的重金属含量也呈极显著正相关关系。根据回归方程计算得出引起水稻籽粒重金属含量超标(GB2762-2005)的土壤重金属临界含量分别为: Pb 43.5 mg/kg, Hg 0.19 mg/kg, Cr 355.8 mg/kg, As 0.82 mg/kg, Cd 1.29 mg/kg。

关键词: 水稻; 土壤; 重金属含量

中图分类号: S511.01

文献标识码: A

Effect of Heavy Metals with Different Additional Amount on Rice Yield and Heavy Metal Concentration in Grain

ZHANG Xiu-zhi¹, LI Qiang¹, PENG Chang¹, GAO Hong-jun¹, WEI Wen-wen¹, ZHAO Fu-gang², ZHU Ping^{1*}

(1. Institute of Agricultural Environment and Resources Research, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033; 2. Center of Agricultural Products Quality Testing, Port Arthur District, Dalian, Liaoning Province, Dalian 116041, China)

Abstract: To study the effects of heavy metals in soil on rice yield and heavy metal enrichment in grain, a micro-plot experiment was conducted to analyze the characteristics of distribution of heavy metals in plant, enrichment capacity and its relevancy with heavy metals content in soil. The results indicated that there was no significant difference in grain yield between the treatments Pb and Hg. With the increment of additional amount of Cd, As, Cr, the grain yield gradually decreased, and the difference was significant. The transportation sequence of five heavy metals in rice seeds was: As>Cd>Hg>Pb and Cr. There was a positive correlation among the contents of heavy metals in rice stem-leaves, seeds and soil. Furthermore, the significantly positive correlation between heavy content in stem-leaves and grain was found. Based on the national standards for maximum levels of heavy metal contaminants in foods (GB 2762-2005), the critical values of soil Pb, Hg, Cr, As, Cd were calculated by regression equation as 43.5mg/kg, 0.19 mg/kg, 355.8 mg/kg, 0.82 mg/kg, and 1.29 mg/kg, respectively.

Key words: Rice; Soil; Content of heavy metals

水稻是我国主要粮食作物之一, 在我国粮食

生产中占有极其重要的地位。2010年中国水稻种植面积约2987.3万hm², 占全国谷物播种面积的27.2%, 稻谷总产19576万t, 占全国粮食总产的35.8%^[1]。稻田重金属污染不仅导致水稻生长发育受阻, 水稻产量和质量下降, 积累在水稻植株内的有毒重金属可通过食物链传递, 危及人类和

收稿日期: 2015-03-25

基金项目: 农业部行业专项(20090315)

作者简介: 张秀芝(1981-), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为土壤培肥。

通信作者: 朱平, 男, 研究员, E-mail: zhuping1962@sohu.com

动物的健康^[2-4]。尤为严重的是有毒重金属在农田土壤系统中的污染过程具有隐蔽性、长期性和不可逆性的特点^[5],因此,研究重金属污染不仅对水稻生产具有指导作用,而且对环境治理,为无公害稻米的生产技术创新提供科学依据,具有重要的理论意义和实用价值。

本文采取向空白土壤中添加不同量的重金属,就土壤中不同量重金属对水稻产量及重金属在水稻植株中的分布进行研究,并深入研究水稻可食部位对重金属的富集量与土壤中重金属含量的关系,以期为研究和制订当地生态保护、粮食安全和健康风险规避措施提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于东北中部半湿润雨养生态区吉林省公主岭市(E:124°48'33.9",N:43°30'23"),土壤类型为发育于黄土母质上的中层黑土,成土母质为第四纪黄土状沉积物,地势平坦,地形呈漫冈波状起伏。年平均气温5.5℃,无霜期125~140 d,有效积温2600~3000℃·d,年降水量450~650 mm,年蒸发量1200~1600 mm,年日照时数2500~2700 h,海拔220 m,属东北单季中稻种植区。

1.2 试验设计

表1 外源污染物添加浓度设计

处理	Pb	As	Cr	Cd	Hg
T0	0	0	0	0	0
T1(低剂量)	150	18.75	225	0.3	0.5
T2(高剂量)	300	37.5	300	0.6	1.0
土壤环境质量二级标准≤	300	25	300	0.6	0.5

注:土壤重金属二级标准是保障农业生产、维护人体健康的土壤临界值

1.4 土壤重金属污染评价方法

土壤重金属污染评价方法采用中国绿色食品发展中心1994年编制的《绿色食品产地环境质量现状评价纲要(试行)》(以下简称《纲要》)中推荐的单项污染指数法。单项污染指数的定义为: $P_i = C_i/S_i$,式中 P_i 为土壤重金属元素*i*的污染指数; C_i 为土壤重金属元素*i*的实测浓度; S_i 为土壤重金属元素*i*的限量标准值(表1中的二级标准)。当 $P_i \leq 1$ 时,表示土壤未受污染; $P_i > 1$ 时,表示土壤受到污染,且 P_i 越大则污染越严重^[6]。

1.5 数据统计分析

试验数据用Microsoft Excel整理后,SAS软件进行分析,采用LSD法进行差异显著性比较。

供试土壤为黑土,质地是粘壤土,有机质26.87 g/kg,全氮1.44 g/kg,全磷0.61 g/kg,全钾18.42 g/kg,碱解氮114.00 mg/kg,速效磷11.79 mg/kg,速效钾158.33 mg/kg,pH值(水土比为2.5:1)为7.15。

试验于2010年春季开始,小区面积2 m²,区间用PPR板隔开,随机区组排列,每种重金属设3个浓度处理,3次重复。重金属添加方法:首先将小区0~20 cm耕层土壤取出,把相应量的CdSO₄·5H₂O、HgCl₂、Na₃AsO₄、Pb(NO₃)₂、CrCl₃分别配成重金属添加液(表1),均匀喷施于土壤中,反复混合均匀,回填,老化3个月。常规施肥(N:150 kg/hm²,P₂O₅60 kg/hm²,K₂O70 kg/hm²),灌溉,管理同大田。供试水稻品种为吉林省农业科学院培育的吉粳88(超级稻)。秋收测产,并取土壤、水稻地上部茎叶、籽粒测定重金属含量。

1.3 分析方法

土壤Cd、Cr、Pb全量分析采用硝酸-氢氟酸消解,原子吸收法测定;土壤As、Hg全量分析采用王水,100℃水浴消煮,原子荧光法测定;植株中Cd、Cr、Pb全量分析采用HNO₃-H₂O₂微波消解法测定;植株中As、Hg全量分析采用HNO₃-H₂O₂,100℃消解,原子荧光法测定(GB 15618-1995)(GB/T 5009.17-2003)。

2 结果与分析

2.1 不同重金属添加量对水稻籽粒产量的影响

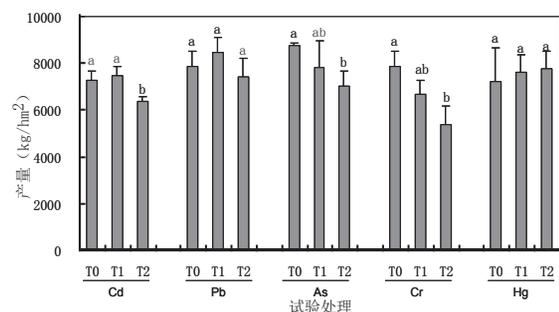


图1 不同重金属添加量下的水稻籽粒产量

注:不同字母表示差异达5%显著水平

施用不同浓度重金属,水稻籽粒产量见图1。从图1可见,土壤中施用了不同量的Pb、Hg后,水稻籽粒的产量并未受到显著影响;但添加不同量的Cd、As、Cr后,籽粒产量随着重金属Cd、As、Cr添加量的增加呈下降趋势,差异达显著水平。这说明土壤中的重金属Cd、As、Cr对水稻的产量形成具有抑制作用。

表2 土壤重金属单项污染指数

处理	重金属单项污染指数				
	Pb	As	Cr	Cd	Hg
T0	0.034±0.0007	0.016±0.0008	0.034±0.0007	0.197±0.0473	0.032±0.0088
T1	0.710±0.0492	0.025±0.0042	0.408±0.0587	0.498±0.0143	0.450±0.0051
T2	1.161±0.0923	0.037±0.0014	0.502±0.029	0.700±0.1134	1.086±0.1562

2.3 重金属在植株体内的富集

重金属的吸收富集系数可以用来表征重金属元素在土壤-水稻体系中迁移的难易程度,系数越大,迁移能力越强。为明确添加5种重金属在水稻植株体内的迁移特性,计算重金属在水稻植

2.2 土壤重金属单项污染指数

从土壤重金属单项污染指数来看(表2),添加重金属As、Cd、Cr的土壤及添加低量Pb、Hg的土壤,重金属单项污染指数在0.016~0.710之间,远小于其单项污染指数临界值(临界值为1),土壤未受到污染;高添加量的Pb、Hg土壤,Pb、Hg的单项污染指数均在1以上,已使土壤受到重金属污染,达污染水平。

株地上部的吸收富集系数(表3),结果表明:各重金属在水稻籽粒中的迁移能力大小为:As>Cd>Hg>Pb、Cr,茎叶中重金属的迁移能力为:Hg>As>Cd>Pb、Cr。茎叶中的重金属含量高于籽粒中的重金属含量。

表3 水稻植株地上不同部位对5种重金属的吸收富集系数

	Pb	As	Cr	Cd	Hg
籽粒	0.03~0.14	0.16~0.23	0.02~0.14	0.12~0.17	0.11~0.13
茎叶	0.05~0.22	0.69~1.71	0.03~0.24	0.33~1.19	0.32~2.07

2.4 耕层土壤-水稻植株各部位重金属间的相关分析

耕层土壤中重金属的含量与水稻茎叶中的重金属含量相关性较好(表4),均达到极显著水平,

表4 耕层土壤和水稻植株重金属含量之间的相关系数

项目	土-茎叶	土-稻米	茎叶-稻米
Pb	0.959 39**	0.931 14**	0.937 95**
Cd	0.959 50**	0.824 69**	0.861 35**
Hg	0.940 61**	0.952 79**	0.971 51**
As	0.891 08**	0.801 88**	0.880 00**
Cr	0.955 51**	0.861 29**	0.923 65**

注:** 极显著相关(n=9, P<0.01)

表明土壤是水稻茎叶中重金属的主要来源。5种重金属在土-稻米、茎叶-稻米中的含量相关性均呈现极显著正相关,这表明,稻米中的重金属除由耕层土壤输送外,茎叶也为稻米中重金属提供了物质来源。用土壤中重金属含量与籽粒中重金属含量作图,根据回归方程计算得出引起水稻籽粒重金属含量超标(GB2762-2005)土壤重金属临界含量分别为Pb 43.5mg/kg, Hg 0.19 mg/kg, Cr 355.8

mg/kg, As 0.82 mg/kg, Cd 1.29 mg/kg。

3 结论与讨论

目前我国受Cd、As、Cr、Pb等重金属污染的耕地面积近2000万hm²,约占总耕地面积的1/5^[7]。我国每年因重金属污染导致的粮食减产超过1200万t,造成经济损失超过200亿元^[8]。在本研究中,不同重金属对水稻籽粒产量的影响不同,Pb、Hg的添加对水稻籽粒的产量的影响差异不显著,随着重金属Cd、As、Cr添加量的增加,籽粒产量呈下降趋势,达显著水平。不同重金属在作物体内的迁移能力不同,植物对某种金属的生物富集系数越高,表明植物对该金属的吸收能力越大^[9]。本研究中,各重金属在水稻籽粒中的迁移能力大小为As>Cd>Hg>Pb、Cr,这说明Pb、Cr较难从土壤中移走,As、Cd具有较强的移动性,极易积累在植物中,对作物的毒害比较大,这与众多学者^[10-13]的研究结果一致。水稻茎叶、籽粒中重金属含量与土壤重金属含量呈极显著正相关关系,且茎叶与籽粒之间的重金属含量也呈极显著正相关关系,这说明,水稻地上部器官中重金属

的含量与土壤中重金属含量紧密相关^[7,14-15]。用土壤中重金属含量与籽粒中重金属含量进行回归分析,根据回归方程计算得出引起水稻籽粒重金属含量超标(GB2762-2005)的土壤重金属临界含量分别为:Pb 43.5 mg/kg, Hg 0.19 mg/kg, Cr 355.8 mg/kg, As 0.82 mg/kg 和 Cd 1.29 mg/kg。Cr、Cd的临界含量均高于土壤环境质量二级标准,据李志博等^[16]根据稻米 Cd 的预测模型的研究表明,在土壤 pH 为 6 和 7 时的土壤 Cd 临界值分别为 0.79 mg/kg 和 1.49 mg/kg。范中亮等^[17]研究表明,重金属的临界值在土壤类型之间差异较大,潮土和水稻土的 Cd 安全临界值分别为 1.63 mg/kg 和 0.74 mg/kg。

不同土壤类型上,重金属的生物有效性差异明显,水稻土上水稻各器官 Cd 和 Pb 的浓度显著高于潮土($P < 0.05$)^[15]。普通杂交稻 Cd 的吸收与分配因品种而异,超级稻籽粒 Cd 累积明显强于杂交稻^[18-19]。植物对重金属的吸收累积还受土壤中重金属含量和土壤基本理化性质等的影响^[20-24]。由于我国土壤种类繁多,种植作物品种差异较大,若以全国统一的土壤重金属含量限量值作为评价农产品产地土壤重金属污染的标准,可能会产生较大的误差。另外,本试验采用微区试验,对环境安全临界值的估算具有一定的局限性,因此,关于本地区土壤环境安全与作物产品安全的标准统一问题还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 张崇良,木霖.云南省水稻生产机械化发展现状及对策研究[J].中国农机化,2012(6):9-11.
- [2] 杨俊秋,翁国华.外源 Pb 含量变化对水稻品种籽粒中 Pb 含量差异的研究[J].福建稻麦科技,2010,28(3):29-31.
- [3] 姬艳芳,李永华,孙宏飞,等.凤凰铅锌矿区土壤—水稻系统中重金属的行为特征分析[J].农业环境科学学报,2008,27(6):2143-2150.
- [4] 黄绍文,金继运,和爱玲,等.农田不同利用方式下土壤重金属区域分异与评价[J].农业环境科学学报,2007,26(增刊):540-548.
- [5] 张乃明.土壤—植物系统重金属污染研究现状与展望[J].环境科学进展,1999,7(4):30-33.
- [6] Zheng G Z, Yue L P, Li Z P, et al. Assessment on heavy metals pollution of agricultural soil in Guanzhong district[J]. Journal of Geographical Sciences, 2006, 16 (1): 105-113.
- [7] 王利红,尹西翔,李赛钰,等.重金属污染水稻食用安全探讨[J].现代农业科技,2010(22):291-292.
- [8] 路子显.粮食重金属污染对粮食安全、人体健康的影响[J].粮食科学与经济,2011,36(4):14-17.
- [9] 张庆华,杨锋杰,李丙霞,等.西南某矿区土壤植物体系中重金属分析评价[J].山东科技大学学报(自然科学版),2007,26(3):15-18.
- [10] 李冰,王昌全,代天飞,等.水稻子实对不同形态重金属的累积差异及其影响因素分析[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):602-610.
- [11] Robinson B H, Leblanc M, Petit D, et al. The potential of *Thlaspi caerulescens* for phytoremediation of contamination soils[J]. Plant Soil, 1998(203): 47-56.
- [12] Lasat M M. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms[J]. J. Environ. Quality, 2002(31): 109-120.
- [13] 李晓晴,苗明升,陈虎,等.改变镉生物有效性对植物吸收积累镉的影响[J].山东师范大学学报(自然科学版),2012,27(4):128-131.
- [14] 韩爱民,蔡继红,屠锦河,等.水稻重金属含量与土壤质量的关系[J].环境监测管理与技术,2002,14(3):27-28,32.
- [15] 范中亮,季辉,杨菲,等.不同土壤类型下杂交水稻地上部器官对重金属镉和铅的富集特征[J].中国水稻科学,2010,24(2):183-188.
- [16] 李志博,骆永明,赵其国,等.基于稻米摄入风险的稻田土壤镉临界值研究[J].土壤学报,2008,45(1):76-81.
- [17] 范中亮,季辉,杨菲,等.不同土壤类型下 Cd 和 Pb 在水稻籽粒中累积特征及其环境安全临界值[J].生态环境学报,2010,19(4):792-797.
- [18] 成颜君,龚伟群,李恋卿,等.2种杂交水稻对2种不同土壤中 Cd 吸收与分配的比较[J].农业环境科学学报,2008,27(5):1895-1900.
- [19] 龚伟群,李恋卿,潘根兴.杂交水稻对 Cd 的吸收与籽粒积累:土壤和品种交互影响[J].环境科学,2006,27(8):1647-1653.
- [20] 郑春荣,孙兆海,周东美,等.土壤 Pb Cd 污染的植物效应(I)—Pb 污染对水稻生长和 Pb 含量的影响[J].农业环境科学学报,2004,23(3):417-421.
- [21] 孙兆海,郑春荣,周东美,等.土壤 Cd 污染对青菜和蕹菜生长及 Cd 含量的影响[J].农业环境科学学报,2005,24(3):417-420.
- [22] 赵勇,李红娟,魏婷婷,等.土壤、蔬菜的铅污染相关性分析及土壤铅污染阈值研究[J].中国生态农业学报,2008,16(4):843-847.
- [23] 王爱霞,张敏,黄利斌,等.南京市 14 种绿化树种对空气中重金属的累积能力[J].植物研究,2009,29(3):368-374.
- [24] 沈佳,纪桂琴,许文,等.沉水植物菹草在低温条件下对重金属 Cu、Pb、Zn 的吸附和富集[J].植物研究,2009,29(5):585-591.

(责任编辑:范杰英)