

外源 Pb 对不同水稻品种籽粒中 Pb 含量的 基因型差异研究

翁国华, 张居念, 张 丹, 郑家团

(福建省农业科学院水稻研究所, 福建 福州 350019)

摘 要:采用田间小区试验方法, 选用福建省大面积推广应用的 7 个水稻品种为试材, 在外施 $PbCl_2$ 不同处理条件下, 研究了不同基因型的水稻糙米对重金属元素 Pb 的吸收累积差异。结果表明, 在不同浓度的 Pb 处理下, 水稻糙米中 Pb 含量在品种间存在显著差异, 而且不同水稻品种的籽粒对土壤中重金属 Pb 的敏感性不同, 以此可找出适合污染地区种植的品种。

关键词:水稻; Pb 含量; 基因型

中图分类号: X503.231 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2009)11-2232-04

Effect of Exogenous Lead on Genotypic Difference of Lead Content in Grains of Different Rice Varieties

WENG Guo-hua, ZHANG Ju-nian, ZHANG Dan, ZHENG Jia-tuan

(Rice Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350019, China)

Abstract: With seven rice cultivars as materials which were popularized and applied in a large area in Fujian, the differences of absorption and accumulation of heavy metal lead (Pb) in grains of different rice genotypes were studied by different application of exogenous $PbCl_2$. The results showed that the content of Pb in grains showed significant differences between the rice cultivars at different Pb concentration treatment. Furthermore, the sensitivity of grains of different rice varieties to heavy metal Pb in soils was different. Then, the rice varieties which were suitable for cultivation in polluted areas could be identified.

Keywords: rice; lead concentration; genotype

重金属对稻米的污染已引起人们的极大关注。污染稻米的重金属主要有 Pb、Cd 等, 它们在环境中不能进行生物降解, 被稻株吸收后, 参与食物链的循环^[1], 一旦进入人体, 会对人体造成潜在性的危害, 引起致畸、致癌和致突变等。因此, 研究重金属对水稻的污染及控制对策, 筛选低 Pb 品种, 并加以推广种植, 对保证稻米卫生标准, 对提高我国大米市场竞争力有着重要意义。

目前水稻重金属污染及其控制技术的研究进展

主要有: (1) 不同类型水稻对重金属的富集差异。杨居荣等^[2]研究提出杂交晚稻对 Pb 的富集能力比早稻强。(2) 水稻不同部位对重金属的富集差异。王新等^[3-4]研究了重金属在土壤水稻系统中的行为特性, 发现水稻植株各器官重金属分布特点为根>茎叶>籽实。指出水稻根系吸收重金属的量较多, 占整个作物体吸收量的 58%~99%。Pb 籽实吸收量占总吸收量的 0.01%~0.3%。(3) 降低稻米重金属污染的技术。屠乃美等^[5]研究提出石灰和钙镁磷肥主要是提高土壤 pH 值, 使 Pb 与碳酸盐、磷酸盐、氢氧化物等形成难溶的化合物而降低其有效性。谭周磁等^[6]研究指出水稻补施低浓度的 Se 可降低大米中 Pb 等重金属含量。

综上所述, 虽然我国许多地区, 稻作科技工作者对水稻重金属污染状况及控制技术均作了大量的研究, 但对水稻不同品种对 Pb 吸收、分配方面的研究报

收稿日期: 2009-08-20

基金项目: 福建省重大项目 (2007N2003); 福建省发改委项目 (2007-979); 农业部闽台农作物种质资源利用重点开放实验室项目

作者简介: 翁国华 (1963—), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事水稻育种研究。E-mail: www.fjwgh@126.com

通讯作者: 郑家团 E-mail: superrice63@163.com

道很少,而福建省在这方面报道更少,所以本文以福建省有代表性主栽的 7 个水稻品种为材料,在外施 PbCl_2 不同处理条件下,研究水稻籽粒中重金属 Pb 含量的积累规律。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用不同类型的水稻品种(组合)7 个,分别是Ⅱ优航 2 号、特优航 2 号、宜香优 673、Ⅱ优 633、全优 527、两优 816、两优多系 1 号,种子由福建省农科院提供。

1.2 试验方法

试验于 2008 晚季在闽清县白中镇进行。试验田前作水稻。试验采用随机区组设计,设 4 个处理:T1(施用 PbCl_2 0.1 kg,折算 $5.55 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$)、T2(施用 PbCl_2 0.2 kg,折算 $11.1 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) T3(施用 PbCl_2 0.4 kg,折算 $22.2 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) T4(施用 PbCl_2 0.6 kg,折算 $33.3 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$)(表 1)。施入 0~15 cm 表层土壤中,并与土壤搅拌耕耘均匀后,小区之间作泥埂并用塑料薄膜包埂防渗,待平衡 15 d 后,移植水稻秧苗,均设 3 个重复。小区间用田埂隔离,小区面积 4 m^2 。每个品种种植 10 丛,株行距 $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 。试验过程施一次混合基肥($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=16:16:16$) $30 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$,其他栽培管理与大田相同。 PbCl_2 为分析纯。

1.3 取样及测定方法

在施用了 PbCl_2 10 d 后,分别在试验田按梅花形选 5 个点,取耕作层的土样(0~15 cm),取样时用土铲将土块挖起,再用小刀将土块外围削去一层,取中央的土壤,然后将这些土样混合均匀,按四分法再取约 1 kg 混合土样,15 d 后,检测 Pb 含量和 pH 值。水稻成熟后,每小区随机取 5 丛,将稻谷晒干、脱粒、分别装袋,待 3 个月后(便于各种微量元素趋于稳定)进行化验。在化验前去杂物,将稻谷加工成糙米,磨碎,过 20 目筛,储于玻璃瓶中,保存待化验。

稻米中 Pb 的测定按 GB/T5009.12—2003 标准,用石墨炉原子吸收光谱法。

土壤中的 Pb 按 GB/T17141—1997 标准测定,用石墨炉原子吸收分光光度法,pH 按 LY/T1239—1999 标准测定。灌溉水的 Pb 按 GB/T7475—1987 标准测定,用原子吸收分光光度法,灌溉水的基本理化性质 $\text{Pb} < 0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,pH 值 7.01。

以小区平均值进行统计分析,数据处理采用 DPS 统计软件。

2 结果与分析

2.1 不同处理条件下土壤 Pb 含量的变化与分析

施用重金属,土壤中 Pb 含量的变化数据列于表 1。从表 1 可见,土壤中施用了 PbCl_2 后,土壤中的 Pb 含量大幅度地提高了。而土壤的 pH 值下降,可能是因为施用 PbCl_2 量越大,Pb 与土壤中的碳酸盐、磷酸盐、氢氧化物等形成难溶的化合物就越多,土壤的 pH 值则下降也越多。

表 1 重金属处理土壤中 Pb 含量的变化
Table 1 Content of Pb in soil after heavy metal applied

不同处理	Pb/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	pH 值
T1($5.55 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$)	97.3	6.66
T2($11.1 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$)	156.6	6.12
T3($22.2 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$)	269.7	6.04
T4($33.3 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$)	356.9	5.80

2.2 水稻籽粒重金属 Pb 积累的品种间差异

由表 2 可知,水稻糙米 Pb 含量随土壤 Pb 含量的增加而提高,糙米 Pb 含量未超过 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的质量安全标准只有 T1 处理下Ⅱ优 633 的品种,其余各处理、各品种的糙米 Pb 含量均超过质量安全标准。在 T1 处理下,两优多系 1 号糙米 Pb 含量为 $0.564 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,Ⅱ优 633 的 Pb 含量仅为 $0.171 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,两者相差 $0.393 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,两优多系 1 号、两优 816 两者之间的糙米 Pb 含量差异未达到极显著水平,与其他 5 个品种均达到极显著水平,宜香优 673、Ⅱ优航 2 号、特优航 2 号、Ⅱ优 633 之间的糙米 Pb 含量差异未达到显著水平,但与其他品种达到极显著水平;在 T2 处理下,两优多系 1 号与两优 816 品种,宜香优 673 与Ⅱ优 633 品种,Ⅱ优航 2 号与特优航 2 号品种之间的糙米 Pb 含量差异未达到极显著水平外,其他各品种间糙米的 Pb 含量差异达到极显著水平;在 T3 处理下,两优多系 1 号、两优 816 两者之间,全优 527、宜香优 673、Ⅱ优 633 三者之间,Ⅱ优航 2 号、特优航 2 号两者之间糙米 Pb 含量差异未达到极显著水平外,与其他品种之间糙米 Pb 含量差异达到极显著水平。在 T4 处理下,水稻对重金属 Pb 积累的品种间差异进一步扩大分化,两优多系 1 号、两优 816 两者之间,全优 527、Ⅱ优 633 两者之间,宜香优 673、特优航 2 号、Ⅱ优 633 三者之间,宜香优 673、Ⅱ优航 2 号、特优航 2 号三者之间糙米 Pb 含量差异未达到极显著水平外,与其他品种之间糙米 Pb 含量差异均达到极显著水

表 2 土壤 Pb 对水稻糙米 Pb 含量的影响(mg·kg⁻¹)
Table 2 Effect of Pb in soil on Pb content in brown rice(mg·kg⁻¹)

品种	T1			T2			T3			T4		
两优多系 1 号	0.564±0.024	a	A	0.812±0.008	a	A	1.284±0.036	a	A	1.582±0.007	a	A
两优 816	0.498±0.019	b	A	0.825±0.015	a	A	1.366±0.033	a	A	1.508±0.041	a	A
全优 527	0.345±0.025	c	B	0.736±0.019	b	B	1.120±0.007	b	B	1.261±0.051	b	B
宜香优 673	0.229±0.020	d	C	0.516±0.004	c	C	0.887±0.001	c	C	0.973±0.025	cd	CD
Ⅱ 优航 2 号	0.225±0.019	d	C	0.388±0.014	d	D	0.661±0.008	d	D	0.882±0.010	d	D
特优航 2 号	0.208±0.013	d	C	0.423±0.018	d	D	0.708±0.037	d	D	0.970±0.014	cd	CD
Ⅱ 优 633	0.171±0.004	d	C	0.517±0.024	c	C	0.988±0.066	c	BC	1.136±0.135	bc	BC

注:同列中不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著;不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

平。

2.3 糙米 Pb 含量与土壤的总 Pb 含量的关系

从表 3 可以看出,土壤中 Pb 含量与糙米中 Pb 含量之间呈显著正相关。7 个水稻品种糙米 Pb 含量在稻米质量安全标准 0.2 mg·kg⁻¹ 时的土壤总 Pb 含量分别为:Ⅱ 优航 2 号(85.07 mg·kg⁻¹)、特优航 2 号(88.46 mg·kg⁻¹)、宜香优 673(63.68 mg·kg⁻¹)、Ⅱ 优 633(85.48 mg·kg⁻¹)、全优 527(27.12 mg·kg⁻¹)、两优 816(6.83 mg·kg⁻¹)、两优多系 1 号(2.34 mg·kg⁻¹)。糙米 Pb 含量在稻米质量安全标准 0.2 mg·kg⁻¹ 时可容许的土壤总 Pb 含量,从高到低顺序为特优航 2 号>Ⅱ 优 633>Ⅱ 优航 2 号>宜香优 673>全优 527>两优 816>两优多系 1 号。7 个水稻品种的糙米 Pb 含量在 0.2 mg·kg⁻¹ 时土壤 Pb 含量平均值为 51.28 mg·kg⁻¹。而 7 个水稻品种的糙米 Pb 含量对土壤 Pb 含量的变化敏感度从高到低顺序为两优多系 1 号>两优 816>全优 527>宜香优 673>Ⅱ 优航 2 号>Ⅱ 优 633>特优航 2 号。

2.4 不同土壤 Pb 浓度处理间糙米 Pb 含量的关系

表 4 反映了不同浓度土壤 Pb 处理间水稻籽粒

表 4 不同 Pb 浓度处理间糙米 Pb 含量的关系

Table 4 Relation of Pb content in brown rice at different Pb concentration treatment

处理	T4	T3	T2	T1
T4	1.000			
T3	0.186	1.000		
T2	0.585**	0.399	1.000	
T1	0.867**	0.682**	0.283	1.000

注:* 和 ** 分别表示相关达到 5%和 1%水平(0.498 和 0.582)。

Pb 含量的相关关系,土壤 Pb 浓度 T1、T4 和 T2、T4 及 T1、T3 处理间糙米 Pb 含量的相关系数达到显著正相关水平,土壤 Pb 浓度 T3、T4 与 T2、T3 处理间的糙米 Pb 含量相关不显著。这一结果表明,如果土壤中的 Pb 含量变化较大,则在该条件下糙米 Pb 含量的变化也较大,同时土壤 Pb 浓度差异需超过 170 mg·kg⁻¹ 条件下,糙米 Pb 含量差异才有可能达到显著水平。因此,要筛选籽粒 Pb 低积累的水稻品种,应在土壤 Pb 含量相差较大或直接在 Pb 污染较重的土壤上选择。

3 讨论

在不同浓度的土壤 Pb 处理条件下,不同品种糙米中重金属 Pb 含量的高低顺序发生变化,反映出不同水稻品种对土壤中的重金属 Pb 的富集能力不同。可见通过筛选低 Pb 的水稻基因型品种,加以推广种植,维护人类健康是可行的。这与王新等人研究的作物吸收的重金属主要来源于土壤,其积累量主要取决于土壤重金属含量^[2-4,7-8],以及刘建国等人研究的作物种间和种内不同基因型间在重金属的吸收和积累上存在明显差异^[9-12],张潮海等研究水稻对污染土壤中 Cd、Pb、Cu、Zn 的富集规律的探讨中得出的水稻稻谷 Pb 与土壤全 Pb 之间存在显著正相关的结论也基

表 3 糙米的 Pb 含量与土壤总 Pb 含量的关系

Table 3 Relationship between Pb content in brown rice and Pb content in soil

品种	回归方程	R
Ⅱ 优航 2 号	y=0.002 5x-0.013 5	0.999 8
特优航 2 号	y=0.002 9x-0.053 0	0.998 2
宜香优 673	y=0.002 9x+0.016 6	0.970 3
Ⅱ 优 633	y=0.003 7x-0.119 4	0.979 3
全优 527	y=0.003 4x+0.106 7	0.969 9
两优 816	y=0.004 0x+0.172 8	0.980 0
两优多系 1 号	y=0.004 0x+0.190 8	0.999 0

注:y 为糙米 Pb 含量,x 为土壤 Pb 含量。

本一致^[13]。

匡少平等^[9]研究认为,水稻籽粒的 Pb 含量受水稻品种的基因型及环境互作等方面的影响。本研究结果也表明,要筛选籽粒 Pb 低积累的水稻品种,应在土壤 Pb 含量相差较大或直接在 Pb 污染较重的土壤上选择。第二要降低稻米中 Pb 含量,必须要加强污染源的综合治理,控制农田 Pb 污染程度,就可生产出绿色稻米。

4 结论

水稻糙米中的 Pb 含量与土壤中的 Pb 含量呈显著正相关。在 97.3~356.9 mg·kg⁻¹ 不同浓度的土壤 Pb 处理中,7 个水稻品种的糙米 Pb 含量对土壤 Pb 含量的变化敏感度从高到低顺序为两优多系 1 号>两优 816>全优 527>宜香优 673>Ⅱ优航 2 号>Ⅱ优 633>特优航 2 号,品种糙米的 Pb 含量在品种间差异显著。土壤 Pb 浓度 T1、T4 和 T2、T4 及 T1、T3 处理间糙米 Pb 含量的相关系数达到显著正相关水平,土壤 Pb 浓度 T3、T4 与 T2、T3 处理间的糙米 Pb 含量相关不显著。

参考文献:

- [1] 朱 燕,郑履端.食用稻米重金属污染及其控制技术[J].福建农林大学学报,2003(增刊):109-114.
ZHU Yan, ZHENG Lv-duan. Heavy metal pollution of edible rice and its control technology[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University*, 2003(Special): 109-114.
- [2] 杨居荣,查 燕,刘 虹.污染稻、麦籽实中 Cd、Cu、Pd 的分布及其存在形态初探[J].中国环境科学,1999,19(6):500-504.
YANG Ju-rong, ZHA Yan, LIU Hong. The distribution and chemical forms of Cd, Cu and Pb in polluted seeds[J]. *China Environmental Science*, 1999, 19(6): 500-504.
- [3] 王 新,吴燕玉.重金属在土壤-水稻系统中的行为特征[J].生态学报,1997,16(4):10-14.
WANG Xin, WU Yan-yu. Behaviour property of heavy metals in soil-rice system[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1997, 16(4): 10-14.
- [4] 王 新,吴燕玉.不同作物对重金属复合污染物吸收特性的研究[J].农业环境保护,1998,17(5):193-196.
WANG Xin, WU Yan-yu. Heavy metal pollutant absorption properties of different crops[J]. *Agro-environmental Protection*, 1998, 17(5): 193-196.
- [5] 屠乃美,郑 华,邹永霞,等.不同改良剂对铅镉污染稻田的改良效应研究[J].农业环境保护,2000,19(6):324-326.
TU Nai-mei, ZHENG Hua, ZOU Yong-xia, et al. Effects of different modifiers on rice growth and Pb & Cd contents of rice and soil in Pb-Cd-contaminated paddy field[J]. *Agro-environmental Protection*, 2000, 19(6): 324-326.
- [6] 谭周磁,陈嘉勤,薛海霞.硒(Se)对降低水稻重金属 Pb、Cd、Cr 污染的研究[J].湖南师范大学自然科学学报,2000,23(3):80-83.
TAN Zhou-ci, CHEN Jia-qin, XUE Hai-xia. Studies on the role of selenium(Se) in decreasing Pb, Cd and Cr pollution to rice[J]. *Acta Sci Nat Univ Norm Hunan*, 2000, 23(3): 80-83.
- [7] NY5115—2002 农业行业标准,无公害食品大米标准[S].
NY5115—2002 Agricultural Standard, Standard of free-pollutant rice [S].
- [8] 刘云惠,魏显有,王秀敏,等.土壤中铅镉的作物效应研究[J].河北农业大学学报,1999,22(1):24-28.
LIU Yun-hui, WEI Xian-you, WANG Xiu-min, et al. Research on crop effects of lead and cadmium in soil[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 1999, 22(1): 24-28.
- [9] 匡少平,徐 仲,张书圣.水稻对土壤中环境重金属激素铅的吸收效应及污染防治[J].环境科学与技术,2002,25(2):32-34.
KUANG Shao-ping, XU Zhong, ZHANG Shu-sheng. Absorption effect of heavy metals hormones lead by rice from soil environment and its pollution control[J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, 25(2): 32-34.
- [10] 蒋 彬,张慧萍.水稻精米中铅镉砷含量基因型差异的研究[J].云南师范大学学报,2002,22(3):37-40.
JIANG Bin, ZHANG Hui-ping. Genotypic differences in concentrations of plumbum, cadmium and arsenicum in polished rice grains[J]. *Journal of Yunnan Normal University*, 2002, 22(3): 37-40.
- [11] 吴启堂,陈 卢,王广寿.水稻不同品种对 Cd 吸收累积的差异和机理研究[J].生态学报,1999,19(1):104-107.
WU Qi-tang, CHEN Lu, WANG Guang-shou. Differences on Cd uptake and accumulation among rice cultivars and its mechanism[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(1): 104-107.
- [12] 刘建国,李坤权,张祖建,等.水稻不同品种对铅吸收、分配的差异及机理[J].应用生态学报,2004,15(2):291-294.
LIU Jian-guo, LI Kun-quan, ZHANG Zu-jian, et al. Difference of lead uptake and distribution in rice cultivars and its mechanism[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(2): 291-294.
- [13] 张潮海,华村章,邓汉龙,等.水稻对污染土壤中铅、镉、铜、锌的富集规律的探讨[J].福建农业学报,2003,18(3):147-150.
ZHANG Chao-hai, HUA Cun-zhang, DENG Han-long, et al. Investigation on the enrichment of Cd, Pb, Cu and Zn by rice in the field near a smelting plant[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2003, 18(3): 147-150.