

绿色食品生产中土壤作物系统铅的积累与迁移研究*

李丽光^{1**} 何兴元¹ 曹志强² 陈玮¹

(¹中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; ²沈阳农业大学, 沈阳 110161)

【摘要】 研究了 Pb 在土壤-作物生态系统中的积累和迁移, 并结合水稻绿色食品生产, 进行了无机肥、有机肥和生物菌肥及其配比试验. 结果表明, 土壤全 Pb 含量随土层的加深而逐渐递减, 收获后土壤全 Pb 含量在 0~15 和 15~30 cm 分别为 11.14 和 9.37 mg·kg⁻¹. 水稻根从土壤中吸收 Pb, 并向茎、叶和籽粒中迁移. 在同一生长期, 水稻植株不同部位全 Pb 累积态势为: 根>茎叶>籽粒. 在不同生长期, 随水稻生长发育, 全 Pb 含量缓慢增加, 至收获时, 606-14 和辽梗 294 籽粒中全 Pb 含量分别为 0.008 和 0.007 mg·kg⁻¹, 均低于绿色食品标准. 方差分析表明, 品种间产量差异显著; 不同处理间产量差异不显著. 试验结果表明, 可以用有机肥或生物菌肥来代替无机肥进行水稻生产.

关键词 绿色食品 水稻 土壤 Pb 积累与迁移

文章编号 1001-9332(2004)05-0891-04 **中图分类号** X171 **文献标识码** A

Accumulation and translocation of lead in soil-crop system of green food production. LI Liguang¹, HE Xingyuan¹, CAO Zhiqiang², CHEN Wei¹ (¹Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; ²Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(5): 891~894.

In this paper, the accumulation and translocation of lead in soil-crop ecosystems were studied through fertilization with chemical fertilizer, manure and bio-fertilizer. The results showed that the soil total Pb content was decreased with soil depth. It was 11.14 and 9.37 mg·kg⁻¹ in 0~15 and 15~30 cm after harvest, respectively. Rice root absorbed lead from soil, and transferred it to stem-leaf and grain. The Pb content in rice plant was root>stem and leaf>grain, which was increased with rice growth. The grains of 606-14 and Liao 294 contained 0.008 and 0.007 mg·kg⁻¹ of Pb, respectively, which is under the standard of green food. Variance analysis indicated that the grain yield of different varieties had a significant variance, but no significant variance was found among different treatments. It could be summarized that manure or bio-fertilizer could be the substitute of chemical fertilizer in producing rice.

Key words Green food, Rice, Soil, Lead, Accumulation and translocation.

1 引言

随着农业化学物质源源不断地输入土壤, 有害物质在土壤中逐渐富集, 并通过食物链直接威胁人类的身体健康. 因此, 自 20 世纪 70 年代初, 很多国家鼓励本国无污染食品的生产和发展. 1990 年我国决定开发无污染、安全、优质的营养食品, 并将其定名为“绿色食品”. 我国绿色食品分为 A 级和 AA 级^[15].

绿色食品生产基地的环境标准, 按其介质不同, 可分为空气、水、土壤 3 部分. 其中土壤环境质量是影响绿色食品质量的最重要因素. 在众多影响土壤质量的因子中, 最常见的就是重金属. 重金属在土壤和作物中的含量是绿色食品能否达到标准的一个关键指标. 在危害农田的重金属中, 以 Pb 最为常见^[4].

农田中 Pb 的研究已有很多, 大多以人工控制为主, 结合盆栽试验得出结论. 南忠仁等^[3]认为, 人工控制下重金属元素 Pb 的迁移规律, 不能反映大田条件下重金属的迁移规律. 因此, 在大田条件下对 Pb 的积累与迁移规律进行研究就显得十分重要. 本试验着重研究了大田条件下 Pb 在土壤-作物生态系统中的积累和迁移情况, 结合水稻绿色食品生产, 进行化肥、有机肥、生物菌肥及其配比试验, 通过对 Pb 在土壤、作物和肥料中的含量监测, 了解土壤和作物受 Pb 污染的程度, 为科学施肥, 提供可靠依据. 在保证产品安全、营养、无污染的前提下, 保证土壤的质量不下降, 从而使绿色食品生产可持续发展.

* 国家重点基金研究发展规划资助项目(2002CB111506).

** 通讯联系人.

2002-10-12 收稿, 2003-02-28 接受.

2 材料与方法

2.1 供试材料

供试土壤为台安县新华农场水稻土,基本性质见表1. 供试品种为辽梗294和606-14.辽梗294为当地主栽品种,606-14为沈阳农业大学提供.供试肥料为无机肥(尿素与磷酸二铵)、有机肥(鸡粪肥)和生物菌肥(沈阳农业大学提供).5个肥力处理依次为:处理1,无机肥;处理2,无机肥:有机肥=1:1;处理3,无机肥:生物菌肥=1:1;处理4,无机肥:生物菌肥=1:2;处理5,无机肥:生物菌肥=2:1.

表1 供试土壤的基本性质

土层深度 Soil depth (cm)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	全磷 Total P (g·kg ⁻¹)	全钾 Total K (g·kg ⁻¹)	有机质 Organic matter (%)
0~15	0.87	0.88	22.7	1.54
15~30	0.64	0.39	21.8	1.29

2.2 试验方法

试验于2001年在辽宁省鞍山市台安县新华农场进行,采用裂区设计,2个品种,5个处理,3次重复,计30个小区.各小区之间用厚塑料布隔开,塑料布入土15cm,上面用曲别针固定在竹杆上.定期调查取样,收获后考种,测产.

2.3 分析方法

土壤样品全氮采用开氏消煮-蒸馏法测定;全磷采用硫酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法测定;全钾采用氢氧化钠熔融原子吸收分光光度法测定;有机质采用开氏消煮-重铬酸钾法测定;重金属Pb采用火焰原子吸收分光光度法测定;根、茎叶及籽粒中的Pb均采用氢化物原子荧光光谱法测定.

3 结果与分析

3.1 土壤和肥料中的Pb

土壤全Pb含量见图1.全Pb含量的背景值为9.2 mg·kg⁻¹(0~15 cm)和7.6 mg·kg⁻¹(15~30 cm),低于绿色食品所要求的标准(66.64~50.16 mg·kg⁻¹),表明该地适合生产绿色食品.

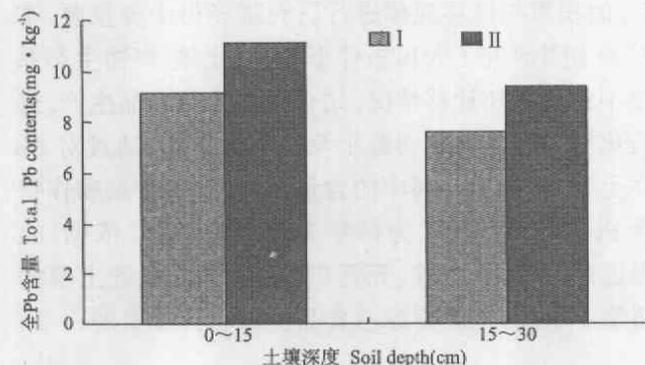


图1 土壤全Pb含量

Fig.1 Contents of lead in soil.

I. 背景值 Background value, II. 收获后 After harvest.

在生产过程中施用肥料,有可能造成Pb污染.

本次试验无机肥中全Pb含量未检出,有机肥中全Pb含量为3.11 mg·kg⁻¹,生物菌肥中为2.82 mg·kg⁻¹.肥料中的Pb在土壤中经过一个生长季的累积后,土壤全Pb含量分别为11.14 (0~15 cm)和9.37 mg·kg⁻¹(15~30 cm),仍低于绿色食品标准,说明土壤环境未被破坏,该地可持续进行绿色食品生产.由图1可知,随着土层的加深,全Pb含量逐渐递减,大部分Pb累积于0~15 cm表土层内,这与文献报道是一致的^[7].根据全年土壤全Pb含量的累积,在目前这种施肥状况下,种植606-14和辽梗294的土壤全Pb含量大约分别经过26~33和32~36年可能超过绿色食品标准.

3.2 Pb在水稻植株中的分布

3.2.1 植株各个部分全Pb的积累 从图2可以看出,随着水稻的生长发育,根中全Pb含量逐渐增加.两个品种相比,606-14根中全Pb含量高于辽梗294.不同处理相比,606-14在抽穗期、灌浆期、成熟期均表现为处理3全Pb含量最低;辽梗294在抽穗期和成熟期表现为处理3全Pb含量最低,灌浆期处理2全Pb含量最低.

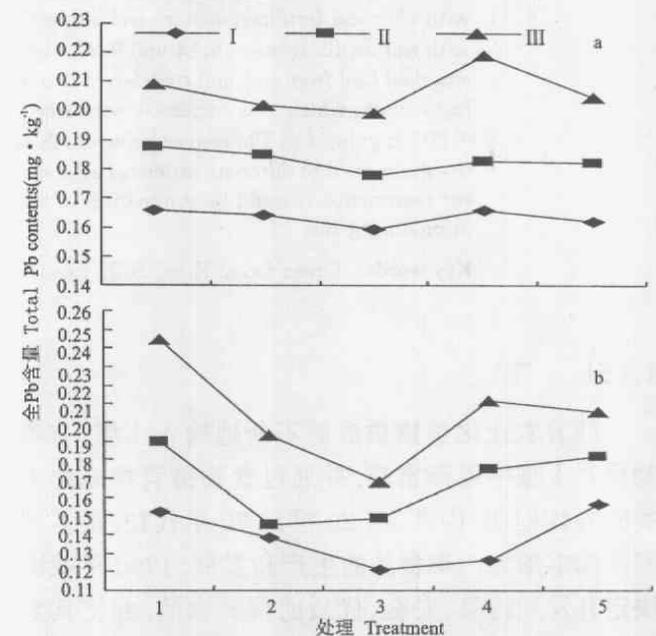


图2 根中全Pb含量

Fig.2 Contents of Pb in roots of 606-14 and Liao 294.

a) 606-14, b) 辽梗294 Liao 294, I. 抽穗期 Heading stage, II. 灌浆期 Filling stage, III. 成熟期 Ripening stage. 下同 The same below.

由图3可知,茎叶中全Pb含量规律与根中基本一致,即两个品种比较,辽梗294茎叶中全Pb含量较低;5个处理比较,处理2和处理3中茎叶全Pb含量较低.

水稻发育的不同时期两个品种籽粒中的全Pb含量见图4.抽穗期籽粒中全Pb未检出,这可能与

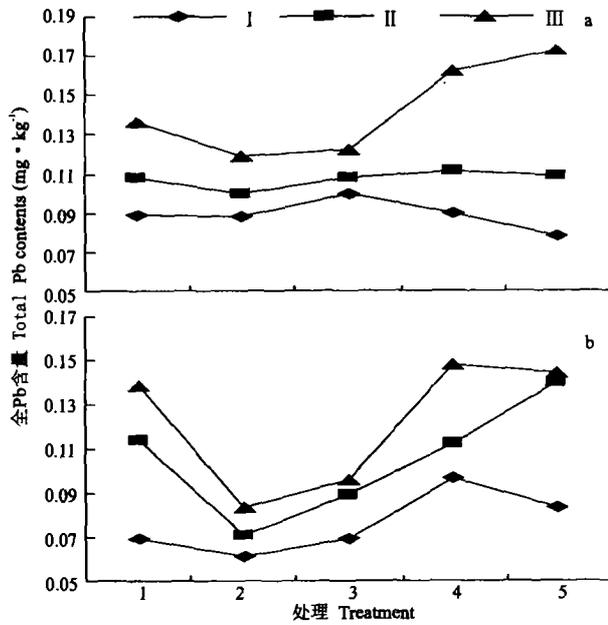


图3 茎叶中全 Pb 含量

Fig.3 Contents of Pb in stems and leaves of 606-14 and Liao 294.

在刚刚抽穗时就取样有关。有文献报道,籽粒中的 Pb 主要是抽穗以后才被吸收的^[9]。在不同品种、不同处理中,籽粒中全 Pb 含量均较低,未超过绿色食品标准($0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。从不同品种来看,辽粳 294 含量更低一些。在不同处理中,以处理 2 和处理 3 籽粒全 Pb 含量较低。据报道,世界稻米 Pb 含量一般为 $0.07 \sim 0.14 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,例如北京水稻糙米中 Pb 含量为 $0.07 \sim 0.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,陕南稻米 Pb 含量为 $0.007 \sim 0.145 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

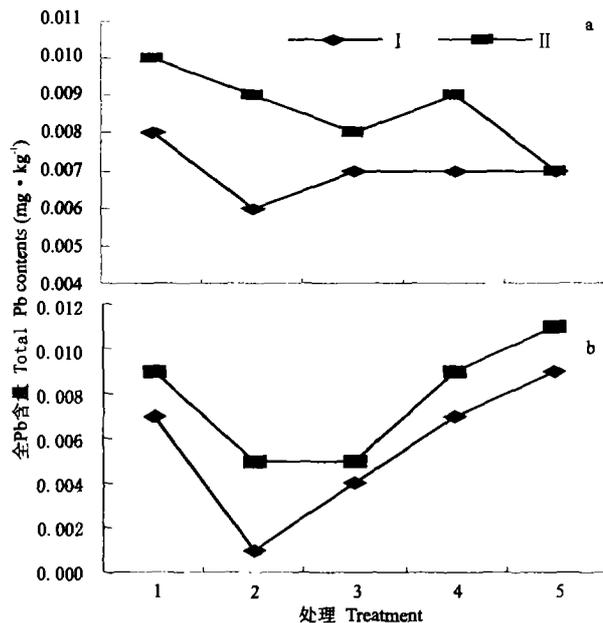


图4 籽粒中全 Pb 含量

Fig.4 Contents of Pb in grains of 606-14 and Liao 294.

I. 灌浆期 Filling stage, II. 成熟期 Ripening stage.

从图 2~4 可以看出,无机肥与有机肥配比为 1

:1 和无机肥与生物菌肥配比为 1:1 两种处理植株全 Pb 含量较低,处理 4 和处理 5 全 Pb 含量不稳定。从不同时期各部分全 Pb 含量来看,该试验地的环境状况十分适合生产绿色食品。

3.2.2 植株全 Pb 含量 由图 5 可知,两个品种植株全 Pb 含量大体按根、茎叶、籽粒顺序递减^[5,10,13],表现为金字塔型^[2]。一般来讲,人食用部分的 Pb 含量最低。Zimdahl^[14]研究发现,只有占根部总量 3% 的 Pb 可以运至地上部分。南忠仁等^[3]也认为,重金属主要累积于农作物的根部。本试验得出相似结论,但 Pb 在根、茎叶和籽粒中的迁移比例与文献中并不完全一致,这可能是由于土壤母质条件和生长环境不同的缘故。茎叶和籽粒全 Pb 含量低于根,这与稻根中活性较低的 Pb 形态占优势,Pb 难以向上运移有关^[12]。不同处理中以处理 2 和处理 3 全 Pb 含量较低,说明化肥与有机肥或生物菌肥配合施用对作物是有益的,这与 Sarkar^[6]的研究结果一致。Sarkar^[6]认为,要保持土壤生产力,必须在水稻田中配合施用有机肥和化肥。Suzuki 等^[8]连续 60 年施用有机肥或无机肥的试验结果也证明了上述结论。Zimdahl^[14]也指出,施用有机肥料可降低植物对 Pb 的吸收量。

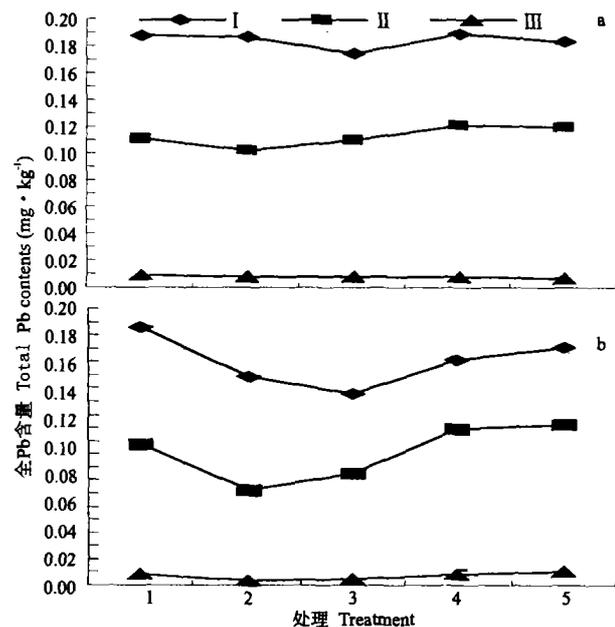


图5 植株中全 Pb 含量

Fig.5 Contents of Pb in plant of 606-14 and Liao 294.

3.3 土壤作物系统中 Pb 的迁移

在土壤-作物系统中,从土壤、根、茎叶到籽粒,全 Pb 含量逐渐减少(图 6)。研究发现,土壤中只有 $0.003\% \sim 0.005\%$ 的 Pb 能被植物吸收^[13],而在植株体内以根系 Pb 富集最多,向籽粒迁移量极少。王

新等^[11]对水稻的研究表明, 根的吸收量占整个作物吸收量的 86%~99.6%, 而籽粒吸收量只占 0.097%~2.28%。本试验所得结论与上述文献基本一致。

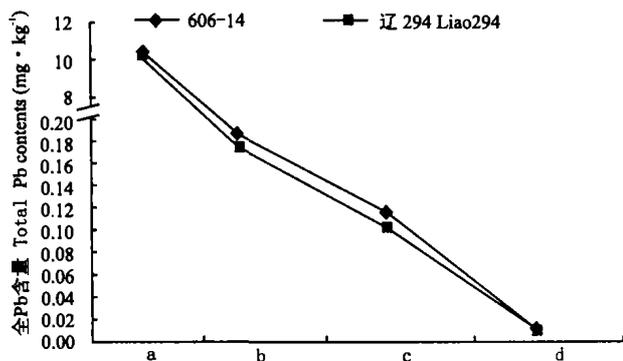


图6 土壤-作物系统中全 Pb 的迁移

Fig. 6 Migration of lead in soil-crop system.

a) 土壤 Soil, b) 根 Root, c) 茎叶 Stem and leaf, d) 籽粒 Grain.

4 结 论

4.1 水稻生产前后土壤全 Pb 含量均低于绿色食品基地所要求的背景值, 表明此生产基地适合发展绿色食品。土壤全 Pb 含量随土层加深而逐渐递减, 大部分 Pb 累积于 0~15 cm 表土层内。

4.2 水稻根从土壤中吸收 Pb, 并向茎叶和籽粒中迁移。在同一生长期, 水稻植株不同部位全 Pb 累积态势为: 根 > 茎叶 > 籽粒。在不同生长期, 随着水稻的生长发育, 全 Pb 含量缓慢增加。

4.3 产量方差分析表明, 品种间产量差异显著, 不同处理间产量差异不显著。由此可见, 可以用有机肥或生物菌肥来代替无机肥进行水稻生产。

4.4 就目前土壤-作物系统污染状况的研究看, 很少有单一污染, 多为复合污染。土壤-作物系统是个复杂的生态系统, 其重金属的来源是多方面的。本试验从生态系统角度出发, 对其中的土壤和肥料两项来源研究较深入, 在其它方面并未做出研究。如果需要全面评价绿色食品产地状况, 必须对各个因素进

行分析、研究。

参考文献

- Chen H-M(陈怀满), *et al.* 1996. Pollution of Heavy Metal in Soil-Plant System. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Cheng H(程宏), Dai J(戴军). 1992. Statistical analysis on lead intake by nutritive organs of vegetables. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 11(2): 14~17(in Chinese)
- Nan Z-R(南忠仁), Cheng G-D(程国栋). 2001. Behaviors of heavy metals(Cd and Pb) in crops grown in land of arid regions irrigated by wastewater. *Agro-Environ Prot* (农业环境保护), 20(4): 210~213(in Chinese)
- Paulo C, Gomes, Mauricio PF, *et al.* 2001. Selectivity sequence and competitive adsorption of heavy metals by Brazilian soils. *Soil Sci Soc Am J*, 65(4): 1115~1121
- Raúl S, Lavado, Claudia A, *et al.* 2001. Nutrient and heavy metal concentration and distribution in corn, soybean and wheat as affected by different tillage systems in the Argentine Pampas. *Soil Till Res*, 62(1-2): 55~60
- Sarkar MC. 1993. Long-term effect of fertilizer on soil ecosystem. *Progr Soil Sci* (土壤学进展), 21(4): 28~31(in Chinese)
- Sutherland RA. 2000. Depth variation in copper, lead and zinc concentrations and mass enrichment ratios in soils of an urban watershed. *J Environ Qual*, 85(5): 1414~1422
- Suzuki M, *et al.* 1993. Effect of 60 years fertilization (fertilizer of organic fertilizer) on soil fertility and productivity of paddy field. *Progr Soil Sci* (土壤学进展), 21(1): 30~32(in Chinese)
- Wang K-R(王凯荣), Guo Y(郭焱), He D-Y(何电源), *et al.* 1993. Effect of heavy metal pollution on quality of rice. *Agro-Environ Prot* (农业环境保护), 12(6): 254~256(in Chinese)
- Wang X(王新), Liang R-L(梁仁禄). 2000. Interaction and ecological effect of combined pollution for heavy metals on soil-rice paddy system. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 19(4): 38~42(in Chinese)
- Wang X(王新), Wu Y-Y(吴燕玉). 1995. Effect of modification treatments on behavior of heavy metals in combined polluted soil. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 6(4): 440~444(in Chinese)
- Xu J-L(许嘉琳), Bao Z-P(鲍子平), Yang J-R(杨居荣), *et al.* 1991. Chemical forms of Pb, Cd and Cu in crops. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2(3): 244~248(in Chinese)
- Yang Z-Y(杨卓亚), Zhang F-S(张福锁). 1993. Lead in soil-plant system. *Progr Soil Sci* (土壤学进展), 21(5): 1~10(in Chinese)
- Zimdahl RL, Skogerboe RK. 1977. Behavior of lead in soil. *Sci Technol*, 11: 1202~1207
- Zhang Y(张勇), Liang W-J(梁文举). 2001. On the construction of green food sci-tech demonstration area in Liaoning Province. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 20(3): 78~80(in Chinese)

作者简介 李丽光, 女, 1973年生, 在读博士, 主要从事土壤生态学研究. E-mail: llg7308@163.com