

Effects of Fertilization on Lead Uptake and Accumulation in *Oenanthe stolonifera*

Minghao Piao^{1,2}, Peng Qu¹, Jiakuan Xu³, Guoqin Zhan³, Jianguo Liu^{1*}

¹School of Environmental and Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou Jiangsu

²Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Mudanjiang Heilongjiang

³Changzhou Station for Horticultural Technology Spread, Changzhou Jiangsu

Email: liujianguo@cczu.edu.cn

Received: May 30th, 2015; accepted: Jun. 15th, 2015; published: Jun. 18th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In order to study the effects of different fertilizations on the accumulation of lead (Pb) in *Oenanthe stolonifera* D.C., and to investigate the pollution sources of Pb in *Oenanthe stolonifera* and the preventing technologies, three sampling areas were selected in the production region. In the areas, the soils, irrigation water, fertilizers and *Oenanthe stolonifera* plants were sampled to test Pb concentrations. The results showed that Pb concentrations exceeded the maximum allowable concentrations (MAC, according to the Chinese Standards) in some *Oenanthe stolonifera* and irrigation water samples in three areas, and in some soil samples in two areas. Pb accumulations in *Oenanthe stolonifera* samples were related highly to Pb concentrations of irrigation water samples, and somewhat with Pb concentrations of soil samples, but had no evident relation with Pb concentrations of the fertilizers. Therefore, the Pb in irrigation water was the main source of Pb pollution in *Oenanthe stolonifera*, and the Pb in soils might be another pollution source. Application of the fertilizer diammonium phosphate reduced Pb concentration of *Oenanthe stolonifera* greatly, and had no significant influence on the yield of *Oenanthe stolonifera*. It can be concluded that Pb concentration in the irrigation water should be reduced, in the production of *Oenanthe stolonifera*, or the cleaner irrigation water ought to be selected. Diammonium phosphate is the suitable fertilizer.

Keywords

Oenanthe stolonifera D.C., Lead (Pb), Fertilization, Pollution

*通讯作者。

追肥对白芹吸收积累铅的影响

朴明浩^{1,2}, 瞿 鹏¹, 徐加宽³, 詹国勤³, 刘建国^{1*}

¹常州大学, 环境与安全工程学院, 江苏 常州

²黑龙江省农业科学院牡丹江分院, 黑龙江 牡丹江

³常州市园艺技术推广站, 江苏 常州

Email: *liujianguo@cczu.edu.cn

收稿日期: 2015年5月30日; 录用日期: 2015年6月15日; 发布日期: 2015年6月18日

摘 要

为研究不同追肥对白芹吸收积累铅的影响及探索白芹铅污染原因及控制技术, 本文在白芹核心产地选择三个试验区设置了追肥试验, 并对土壤、灌溉水、肥料和白芹产品进行了取样测定。样品测定结果表明, 三个试验区都存在白芹样品及灌溉水样品铅含量超标情况, 在二个试验区存在土壤样品铅含量超标情况, 白芹铅含量超标与灌溉水铅含量高度相关, 与土壤铅含量有一定关系, 但与肥料中铅含量的关系不明显。白芹铅含量超标的主要来源是灌溉水中的铅, 另一个来源可能是土壤中的铅。追肥研究表明, 追施磷酸二铵能大幅度降低白芹铅含量, 对白芹产量没有显著影响。因此, 在白芹生产中, 应降低灌溉水的铅浓度或选用更清洁的水源, 选用磷酸二铵作为追肥品种。

关键词

白芹, 铅, 追肥, 污染

1. 引言

白芹(*Oenanthe stolonifera* D.C.)是一种水生宿根草本植物, 属伞形科水芹属, 是中国优良水芹品种之一[1] [2]。江苏栽培白芹已有 800 多年历史, 白芹是著名的江苏省地方特色蔬菜, 是采用水芹早育、一次性深培土的独特栽培工艺培植出来的水芹软化产品, 为苏南地区传统经典美食[3] [4]。2007 年, 白芹获得中华人民共和国原产地证明商标。

白芹以外感洁白如玉、口感脆嫩爽口而闻名。其风味清香, 品质好, 产量高, 抗病性强, 四季均可栽培。白芹的茎和叶柄富含多种维生素和无机盐, 其中以钙、磷、铁的含量较高, 具有一定的药用价值, 能起到清热解暑、宣肺利尿、降低血压等保健功能, 是一种新型的保健特色蔬菜, 在江浙一带深受消费者喜爱[5] [6]。白芹是江苏省重点开发的优势特色农产品, 但近年来, 白芹在绿色食品抽检中, 出现了个别样品铅含量超标现象, 给白芹产业发展带来了一定的影响。

铅是一种来源和分布都非常广泛的重金属污染元素, 其污染源主要包括: 采矿、冶炼、化石燃料的燃烧、公路交通、油漆、造纸、工业及生活污水的排放等等[7] [8]。铅有很强的毒性, 过量的铅对人体的多种器官产生毒害作用, 包括中枢神经、红细胞细胞、肾脏、心血管及男女的生殖系统等。铅毒害会造成男性精子数量减少、畸形精子比例上升, 也会造成女性流产机会增加。儿童对铅毒害的敏感性要远高于成年人, 即使较低剂量的铅也会对儿童的中枢神经系统造成永久性伤害[9] [10]。

本文的目的是研究不同追肥对白芹吸收积累的影响, 并探索白芹铅污染原因及控制技术, 为白芹

铅污染控制技术措施的制定提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 铅污染情况取样检测

在常州市溧城镇庄家村、七里岗村和长阳村设立三个试验区，分别对各试验区的灌溉水、土壤、肥料及白芹产品等四大类样品进行取样、测定铅含量，得出各试验区的铅污染数据。

2.2. 追肥试验

在各试验区同时进行追肥试验，追肥试验的方法是在培土后 3~5 天进行追肥，设增施磷肥(磷酸二铵 300 kg/ha) (45%有效磷 + 15%氮素)、增施硅肥(有效硅 375 kg/ha)、增施草木灰(7500 kg/ha)、和常规追肥(尿素 225 kg/ha, 含氮 46%)四个处理。各试验区基肥施用方法和施用量相同，即腐熟有机肥 37.5 ton/ha, 48%三元复合肥 750 kg/ha (N、P₂O₅、K₂O 各 16%)。

2.3. 各试验区铅污染评价

各试验区土壤、灌溉水铅污染根据《绿色食品 产地环境质量》(NY/T 391-2013)进行评价，根据该标准，蔬菜产地土壤铅含量限值 ≤ 50 mg/kg，灌溉水铅含量限值 ≤ 0.1 mg/kg。肥料中铅污染根据《绿色食品 肥料使用准则》(NY/T 394-2013)进行评价，根据该标准，肥料中铅含量限值 ≤ 100 mg/kg。白芹产品铅污染根据《绿色食品 水生蔬菜》(NY/T 1405-2007)进行评价，根据该标准，水芹铅含量限值为 0.1 mg/kg。对各试验区铅污染检测结果进行分析，并通过对试验区生态环境的调研，总结出白芹铅污染的主要原因和途径。

3. 结果与讨论

3.1. 各试验区土壤铅污染情况

各试验区土壤铅含量取样检测结果见表 1。

从表 1 可以看出，三个试验区土壤平均铅含量都低于绿色食品产地环境质量标准限值(Pb ≤ 50 mg/kg)，但有 2 个试验区的部分土壤样品超标，土壤样品总体超标率为 16.7%，铅含量最高样品超标幅度高达 82.4%。从不同试验区土壤平均铅含量及样品超标率看，三个试验区土壤铅污染程度为：庄家村 > 七里岗村 > 长阳村，长阳村土壤样品中铅含量全部符合绿色食品产地环境质量标准。

3.2. 各试验区灌溉水铅污染情况

各试验区灌溉水铅含量取样检测结果见表 2。

三个试验区灌溉水平均铅含量略低于绿色食品产地环境质量标准限值(Pb ≤ 0.1 mg/kg)，但在其中 2 个试验区，灌溉水平均铅含量超标。三个试验区都存在灌溉水样品铅含量超标情况，样品总体超标率为 26.57%，铅含量最高样品超标幅度为 22%。从不同试验区灌溉水平均铅含量及样品超标率看，三个试验区灌溉水铅污染程度为：庄家村 > 七里岗村 > 长阳村。

3.3. 不同来源及种类肥料的铅含量

不同来源及不同种类肥料的铅含量见图 1。可以看出，不同种类肥料间铅含量的差异很大，变化幅度为 0.2~1.8 mg/kg。有机肥、三元复合肥、硅肥的铅含量相对较高，都在 1 mg/kg 以上；磷酸二铵、草木灰、尿素的铅含量较低，都低于 1 mg/kg。各来源及不同种类肥料的铅含量都远低于《绿色食品 肥料使用准则》(NY/T 394-2013)中肥料铅含量限值(Pb ≤ 100 mg/kg)。

Table 1. Pb concentrations in the soils of different testing areas

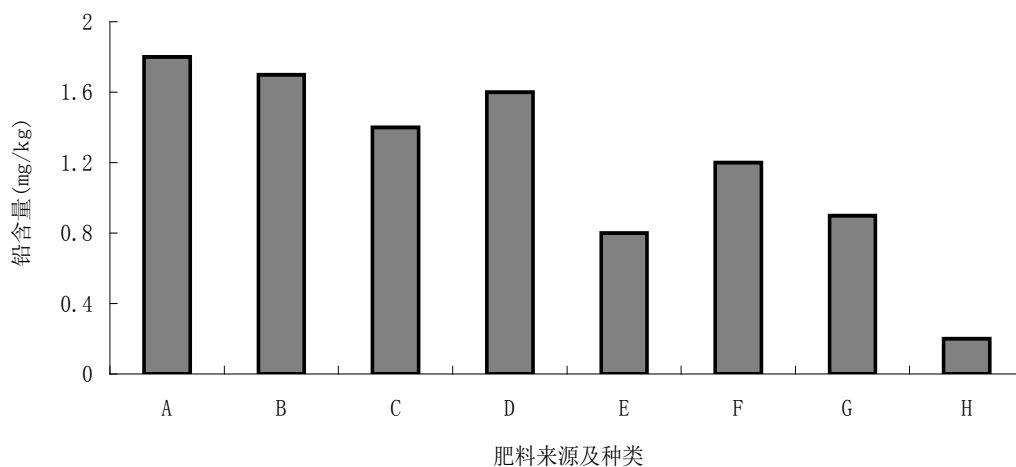
表 1. 不同试验区土壤铅含量

试验区	样品数 (个)	铅含量范围 (mg/kg)	平均铅含量 (mg/kg)	超标样品数 (个)	超标率 (%)
庄家村	10	31.7~91.2	44.6	3	30
七里岗村	10	29.5~63.4	39.8	2	20
长阳村	10	13.3~49.1	37.7	0	0
	30	13.3~91.2	40.7	5	16.7

Table 2. Pb concentrations in the irrigation water of different testing areas

表 2. 不同试验区灌溉水铅含量

试验区	样品数 (个)	铅含量范围 (mg/kg)	平均铅含量 (mg/kg)	超标样品数 (个)	超标率 (%)
庄家村	7	0.085~0.122	0.107	3	42.86
七里岗村	7	0.091~0.115	0.104	2	28.57
长阳村	7	0.069~0.106	0.079	1	14.29
	21	0.069~0.122	0.097	6	26.57



注: A 庄家村有机肥, B 七里岗村有机肥, C 长阳村有机肥, D 三元复合肥, E 磷酸二铵, F 硅肥, G 草木灰, H 尿素

Figure 1. Pb concentrations in the fertilizers of different sources and kinds

图 1. 不同来源及不同种类肥料的铅含量

3.4. 各试验区白芹产品铅污染情况

各试验区白芹铅含量取样检测结果见表 3。三个试验区白芹产品平均铅含量都低于绿色食品水生蔬菜中铅含量限值(0.1 mg/kg), 且三个试验区都存在铅含量超标的白芹样品, 样品总体超标率达 33.33%, 铅含量最高样品超标幅度为 31%。从不同试验区白芹平均铅含量及样品超标率看, 3 个试验区白芹铅污染程度为: 庄家村 > 七里岗村 > 长阳村。

从上述结果还可以看出, 即使在土壤、灌溉水及肥料铅含量未超标的取样点, 也存在白芹铅含量超标的情况, 说明白芹对环境中的铅的吸收积累能力强。前人的研究也表明, 水芹类蔬菜对土壤中铅的吸收

积累能力很强,即使在土壤铅含量符合国家有关标准的情况下,所种植的水芹中,铅含量也可能超过国家限量标准[11]。据王昕等研究,在土壤铅含量很低时(2.7 mg/kg),水芹根、叶柄、叶片中铅含量分别达到 0.32、0.38、0.37 mg/kg,超过国家限量标准数倍[12]。另外,水芹对铅胁迫的耐性及铅由根系向地上部的转运能力也较强[13]。

关于白芹铅含量超标的原因,根据以上结果分析,其污染的主要来源是灌溉水。因为:第一,三个试验区灌溉水样品的铅含量大多都接近或超过《绿色食品 产地环境质量》(NY/T 391-2013)中的限值($Pb \leq 0.1$ mg/kg),灌溉水样品铅含量的总平均值达到 0.097 mg/kg;第二,各试验区白芹铅含量超标情况与灌溉水铅含量超标情况高度一致。白芹污染的另一个原因可能与土壤有关,虽然在本研究中,白芹铅含量超标情况与土壤铅含量超标情况的相关度不太高,但因为白芹生长在土壤中,与土壤接触面大,土壤铅含量超标可能会造成白芹铅污染。各来源及不同种类肥料的铅含量都远低于《绿色食品 肥料使用准则》(NY/T 394-2013)中的限值,而且肥料的施用量相对于土壤和灌溉水来说都很小,所以白芹铅含量超标与肥料中的铅关系应该不大。

3.5. 不同追肥处理对白芹产量及铅含量的影响

不同追肥处理对白芹产量(茎鲜重)的影响见表 4。可以看出,不同追肥对白芹产量的影响差异很大,追施草木灰会使白芹产量大幅度下降,下降达极显著水平;而追施硅肥使白芹产量大幅度提高,上升也达极显著水平;追施磷酸二铵对白芹产量影响很小,变化幅度没有达到显著水平。

不同追肥处理对白芹食用部位(茎)中铅含量的影响见表 5。可以看出,追施草木灰和磷酸二铵大幅度降低了白芹食用部位的铅含量,而追施硅肥大幅度提高了白芹的铅含量,变化幅度都达到极显著水平。

综合不同追肥处理对白芹铅含量及产量的影响,施用草木灰虽然能大幅度降低白芹的铅含量,但产量也会显著下降;而施用硅肥虽然显著提高了产量,但白芹铅含量也大幅度提高;只有追施磷酸二铵,既能大幅度降低白芹食用部位的铅含量,产量也不会显著下降。所以,在白芹生产中,适宜的追肥种类是磷酸二铵。

Table 3. Pb concentrations in *Oenanthe stolonifera* of different testing areas

表 3. 不同试验区白芹铅含量

试验区	样品数 (个)	铅含量范围 (mg/kg)	平均铅含量 (mg/kg)	超标样品数 (个)	超标率 (%)
庄家村	7	0.038-0.131	0.073	3	42.86
七里岗村	7	0.045-0.123	0.064	2	28.57
长阳村	7	0.033-0.114	0.058	2	28.57
	21	0.033-0.131	0.065	7	33.33

Table 4. Effects of fertilization on the yield of *Oenanthe stolonifera*

表 4. 不同追肥处理对白芹产量的影响(g/株)

追肥处理	庄家村	七里岗村	长阳村	均值	比常规 \pm %
常规(CK)	73.8	97.5	84.6	85.3	
草木灰	42.1	88.9	67.5	66.2	-22.4**
硅肥	102.5	98.1	101.3	100.6	17.9**
磷酸二铵	89.1	76.7	83.2	83.0	-2.7

注: **与对照的差异达极显著水平($P < 0.01$)。

Table 5. Effects of fertilization on Pb concentrations in the stems of *Oenanthe stolonifera*
表 5. 不同追肥处理对白芹茎中铅含量的影响(mg/kg)

追肥处理	庄家村	七里岗村	长阳村	均值	比常规 ± %
常规(CK)	0.036	0.029	0.031	0.032	
草木灰	0.020	0.014	0.016	0.017	-46.9**
硅肥	0.060	0.032	0.043	0.045	40.6**
磷酸二铵	0.021	0.018	0.018	0.019	-40.6**

注: **与对照的差异达极显著水平($P < 0.01$)。

4. 结论

研究表明, 在三个试验区都存在白芹样品及灌溉水样品铅含量超标情况, 在二个试验区存在土壤样品铅含量超标情况, 白芹铅含量超标与灌溉水铅含量高度相关, 与土壤铅含量有一定关系, 而与肥料中铅含量关系不明显。因此, 白芹铅含量超标的主要来源是灌溉水中的铅, 另一个来源可能是土壤中的铅, 而肥料中的铅对白芹的铅含量影响很小。因此, 降低灌溉水的铅浓度或选用更清洁的灌溉水是防止白芹铅超标的有效措施。追肥研究表明, 追施磷酸二铵能大幅度降低白芹铅含量, 对白芹产量没有显著影响。综上所述, 在白芹生产中, 应密切监测灌溉水的铅含量, 选用磷酸二铵作为追肥品种。

基金项目

2014 年常州市农业三项更新工程项目; 国家自然科学基金项目(31071350)。

参考文献 (References)

- [1] 李延清, 张艳芬, 王宇鹏, 等 (2007) 溧阳白芹贮藏期间品质及生理生化特性的变化. *食品科学*, **11**, 570-574.
- [2] 王继胜 (2010) 溧阳白芹标准化生产技术. *中国农技推广*, **3**, 26-27.
- [3] 江解增, 秦玉莲, 缪旻珉 (2010) 江苏省部分水芹品种的品质分析. *中国蔬菜*, **24**, 61-65.
- [4] 徐国友, 王继胜, 周刚, 等 (2008) 不同的追肥种类对溧阳白芹产品冷藏保鲜效果的影响. *上海蔬菜*, **1**, 108-109.
- [5] 周刚, 陆伟英 (2015) 溧阳白芹春延迟栽培技术. *长江蔬菜*, **5**, 23-24.
- [6] 王炜, 李鹏霞, 黄开红, 等 (2009) 溧阳白芹产业发展与贮藏研究现状. *保鲜与加工*, **1**, 20-23.
- [7] 王继胜, 徐国友 (2005) 溧阳白芹无公害生产技术操作规程. *当代蔬菜*, **2**, 26-27.
- [8] Yadav, S.K. (2010) Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatin in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, **76**, 167-179.
- [9] Duong, T.T.T. and Lee, B.K. (2011) Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management*, **92**, 554-562.
- [10] Peralta-Videa, J.R., Lopez, M.L., Narayan, M., et al. (2009) The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. *International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, **41**, 1665-1677.
- [11] Zhang, J., Deng, H.G., Wang, D.Q., et al. (2013) Toxic heavy metal contamination and risk assessment of street dust in small towns of Shanghai suburban area, China. *Environmental Science and Pollution Research*, **20**, 323-332.
- [12] 黄凯丰, 时政, 宋毓雪, 等 (2011) 水芹的理化特性研究. *北方园艺*, **9**, 23-25.
- [13] 王昕, 徐文娟, 刘颖 (2014) Cd、Pb 复合污染在水芹不同器官的富集特性研究. *长江蔬菜*, **22**, 53-55.