

叶面喷硒对不同作物籽粒硒含量及产量的影响

匡恩俊, 迟凤琴*, 张久明, 宿庆瑞

(黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室,
黑龙江省肥料工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 分析了黑龙江省主栽作物(水稻、大豆、玉米和小麦)叶面喷硒的效果。结果表明: 原始籽粒含硒量以大豆最高, 玉米最低, 顺序为大豆>小麦>水稻>玉米; 而施入等量的硒后, 4种作物籽粒硒含量都有明显的提升, 提升幅度与喷硒量呈正相关, 其中以小麦和水稻增加最高, 大豆次之, 玉米最少, 且硒含量均在安全补硒值的范围之内。叶面喷硒后作物增产效果不明显。确定了叶面喷硒的浓度范围为 $11.25 \sim 22.50 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$, 即可使水稻、大豆、玉米和小麦籽粒中硒含量满足低硒区居民补硒的需要; 施硒时期综合比较, 水稻的最佳喷硒时期是在扬花后期, 玉米的最佳喷硒时期是在抽雄期, 大豆是在初花期, 小麦是在孕穗期。腐植酸硒降低了高浓度硒对作物的毒害作用, 在生产实际中更具有安全性。

关键词: 作物; 硒; 产量

中图分类号: S143.7*9

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257(2018)04-0133-04

硒(Se)是生态环境中重要的微量元素之一, 具有防癌、抗肿瘤和抗衰老的作用^[1], 生态环境中硒的来源、类型、对人和动物的影响及安全的补硒方法已经成为研究的重点。适宜补硒对作物籽粒增硒、增产效果明显^[2-8], 水稻增产幅度在 $4.56\% \sim 11.43\%$ ^[5], 小麦增产 19.5% ^[9], 叶面喷施硒肥可使玉米籽粒含硒量增加到8倍以上^[10], 施硒后的小麦体内主要以有机态硒存在, 增强了抗氧化的作用; 在小麦喷硒中, 叶面喷施 $7.5 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ 亚硒酸钠经济有效^[2], 籽粒硒含量与硒肥用量成线性关系^[11]。罗胜国等^[12]在黑龙江省低硒地区对小麦、玉米和大豆进行叶面喷硒, 叶面喷硒 $30 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ 即可使小麦、玉米和大豆籽粒的硒含量满足低硒地区居民补硒的需要。

东北地区是典型的缺硒区, 黑龙江省土壤总硒含量变幅为 $0.01 \sim 0.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 $0.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[13]; 大多数土壤(70.54%)属于缺硒及潜在缺硒土壤范畴, 通过外源补硒来弥补土壤硒的

不足。水稻、玉米、小麦和大豆占黑龙江省总种植面积的80%以上, 其中水稻是黑龙江省主栽作物, 种植面积达到400万 hm^2 以上。通过作物外源硒的施用, 提高作物秸秆和籽粒中的含硒量, 是安全经济的补硒方法。在此背景下, 分别在水稻、玉米、大豆和小麦上喷施不同浓度硒, 为了明确不同作物喷硒后籽粒吸收硒的效果及硒在不同作物上施用的安全阈值, 提高农产品中的含硒量, 以补充人体缺硒具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 土壤

试验地点设在哈尔滨市民主科技园区(民主乡)。土壤类型: 黑土。土壤基本理化性状见表1。饲料级亚硒酸钠: 亚硒酸钠含量大于98%。

1.2 试验处理

分别在哈尔滨市民主乡设置了大豆(黑农69)、玉米(龙高12)和小麦(龙辐麦19)、水稻(稻花香)的富硒试验, 浓度设置为: ①对照: 不施用硒肥; ②1Se: 按照亚硒酸钠施用量 $11.25 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$; ③2Se: 按照亚硒酸钠施用量 $22.50 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$; ④4Se: 按照亚硒酸钠施用量 $45.00 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$; 试验采用大区对比的方法。于每年7月下旬对作物进行富硒叶面肥的喷施试验。水稻扬花期、大豆盛花末期、玉米大喇叭口期, 小麦盛花末期于晴朗天气的

收稿日期: 2017-09-27; 最后修订日期: 2017-11-20

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303106); 国家重点研发计划项目(2016YFD0300806-2)。

作者简介: 匡恩俊(1982-), 女, 黑龙江省海林人, 助理研究员, 硕士, 研究方向为土壤肥力。E-mail: kuangenjia2002@163.com。

通讯作者: 迟凤琴, E-mail: fqchi2013@163.com。

早晚叶面喷施。使用时先将袋内的小袋母剂溶解，再加入其余部分，然后加 20 kg 水搅拌均匀，用喷

雾器向大豆茎叶上喷施。
富集系数 (BCF) = 籽粒含硒量/土壤含硒量 × 100%

表 1 土壤基本情况

试验地点	有机质 (g · kg ⁻¹)	全氮 (g · kg ⁻¹)	全磷 (P g · kg ⁻¹)	全钾 (K g · kg ⁻¹)	碱解氮 (mg · kg ⁻¹)	有效磷 (P mg · kg ⁻¹)	速效钾 (K mg · kg ⁻¹)	硒 (mg · kg ⁻¹)	pH 值
民主乡	32.00	2.40	0.44	8.84	103.10	15.46	69.58	0.23	6.60

1.3 数据分析

数据的计算与处理采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0、Sigmaplot 10.0 软件进行统计和相关性分析并作图。采用最小显著法 (LSD) 检验试验数据的差异显著性水平 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同浓度硒对作物含硒量的影响

在大豆、玉米、水稻和小麦上，施用硒肥均能显著提高作物籽粒的含硒量，并随着施硒浓度的增加而增加。对比各种作物籽粒硒含量的本底值，以大豆含量最高，在 0.1 mg · kg⁻¹ 以上，其次是小麦和水稻，约为 0.06 mg · kg⁻¹，玉米籽粒的本底值最低，不到 0.01 mg · kg⁻¹。4 种作物的硒富集系数变化明显 (图 1)，以大豆富集系数最高，玉米的最低，水稻和小麦居中，说明大豆吸收硒的能力较强，玉米吸收能力最弱。

当施用不同浓度硒肥时，均能增加作物籽粒的硒含量，且随着硒浓度的升高而升高 (图 2)。水稻施用 2Se 时，籽粒中的硒含量达到 0.4 mg · kg⁻¹，

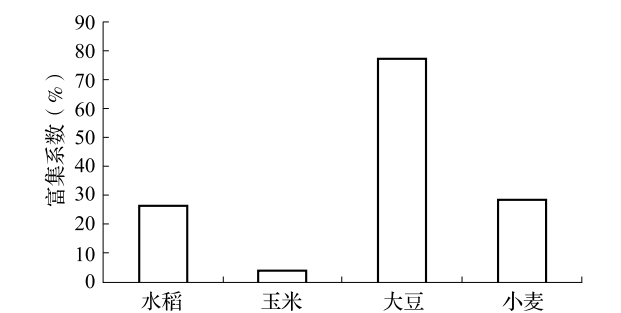


图 1 不同作物的硒富集系数

当施用到 4Se 浓度时，已经超过了 1 mg · kg⁻¹，硒含量过高。玉米施硒后籽粒中硒增加幅度缓慢，当施用 2Se 和 4Se 浓度时，籽粒含硒量均低于 0.3 mg · kg⁻¹，高浓度的硒也不能显著增加籽粒硒的含量。当大豆施用 1Se 时，籽粒中硒含量仅增加了 0.03 mg · kg⁻¹，施用到 2Se 量时，也只是增加了 0.08 mg · kg⁻¹，浓度到 4Se 时，硒含量达到了 0.52 mg · kg⁻¹，施入高量硒肥籽粒硒含量增加的幅度仍然很小。小麦喷施 1Se 时籽粒硒含量达到 0.2 mg · kg⁻¹，随着浓度的增加，籽粒含硒量分别增加到 0.35 和 0.65 mg · kg⁻¹。

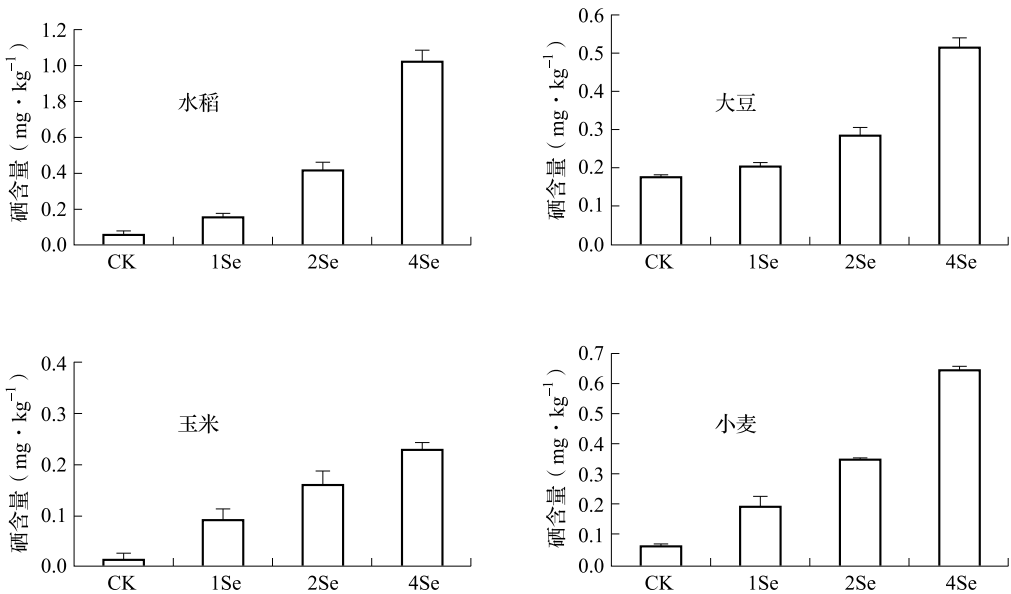


图 2 不同作物籽粒硒含量

对比4种作物喷硒后,籽粒硒含量均与硒的浓度成正相关关系,但不同作物吸收硒的规律不同。图3为不同作物吸收硒的拟合曲线,当水稻喷施硒肥时,籽粒硒含量以指数的形式增长,而小麦与薯

函数的曲线拟合较好。喷施硒后水稻籽粒硒含量增加最大,小麦次之,其次是大豆,玉米籽粒硒含量增加的最少。喷施低浓度硒时,各作物均能提升籽粒含硒量,均在 $0.1 \sim 0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的安全范围内。

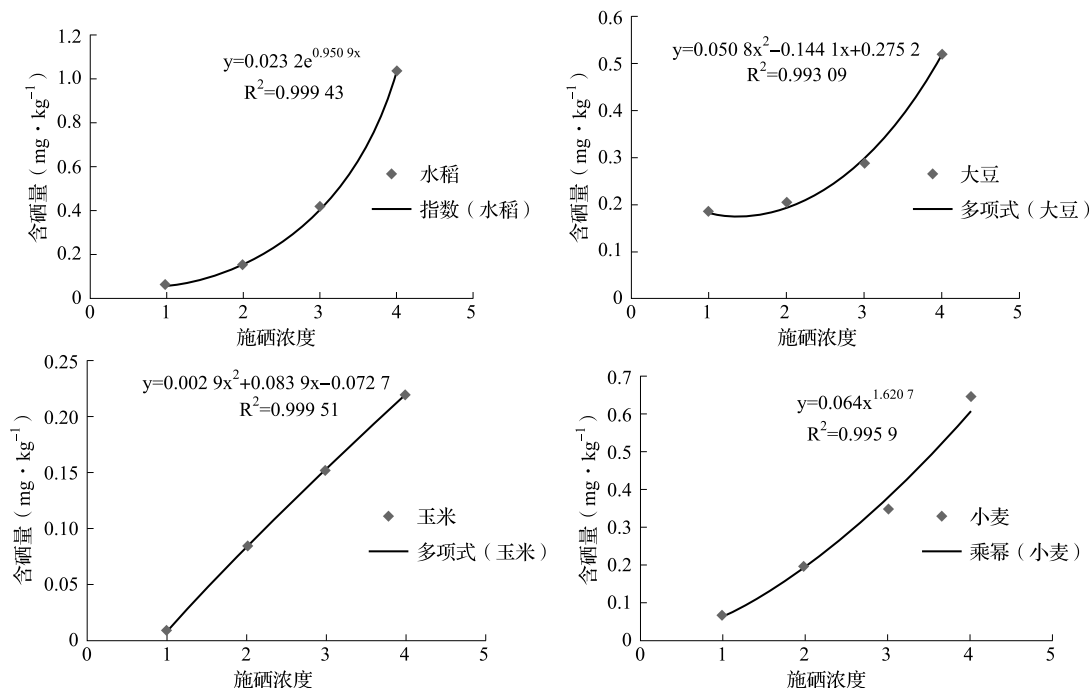


图3 不同作物硒拟合曲线

注:横坐标1、2、3、4分别代表CK、1Se、2Se、4Se的浓度。

2.2 不同浓度硒对作物产量的影响

对比水稻、玉米、大豆、小麦4种黑龙江省主栽作物,水稻和小麦产量在施用低量硒时有增加的趋势,均在2Se量时增产最多,水稻为22.88%、小麦为9.11%,且水稻与对照相比差异达到了显著水平($P < 0.05$);4Se量时只有小麦还增产3.77%,水稻减产最多,达到了9.46%。玉米和大豆施用硒肥后均有减产的趋势,但差异不显著,其中,大豆减产趋势要高于玉米。

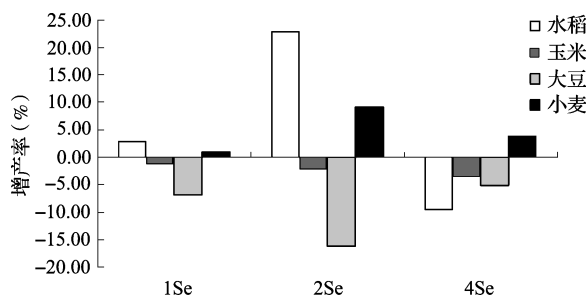


图4 不同作物增产率

3 结论与讨论

国家标准中粮食硒含量在 $0.1 \sim 0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

为正常,高于 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 会产生硒中毒。迟凤琴等^[13]发现黑龙江省的土壤硒含量整体低于全国的平均值($0.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),属于缺硒和潜在缺硒的地区,植物对土壤中硒的吸收系数(吸收系数=植物全硒/土壤全硒)大约10%~50%之间,所以,黑龙江省谷物中本底硒含量远低于食品含硒的安全范围($0.1 \sim 0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),食物是人体硒的主要来源,而食物链中的硒主要来源于土壤,因此农产品富硒是解决人体硒缺乏的有效途径。

关于小麦、玉米和大豆施硒的研究报道,相比中耕时土壤施用或者拌种、种子包衣处理,叶面喷硒在农业生产中效果明显且节约成本^[14-15]。张洋^[16]研究表明,硒肥处理的春小麦收获后硒吸收累积量大小依次为籽粒>茎>叶>根,且硒肥处理能促进不同品种春小麦产量的提高。这与本试验小麦喷施不同量的硒均能增加小麦产量结果一致。对比水稻、玉米、大豆、小麦4种黑龙江省主栽品种,原始籽粒含硒量以大豆最高,玉米最低,4种作物的本底值为大豆>小麦>水稻>玉米;而施入等量的硒后,4种作物籽粒硒含量都有明显的提升,

其中以小麦和水稻提升的效果最高,大豆次之,玉米最少,且硒含量的增加均在安全补硒值的范围之内。如果要通过提高粮食中的硒值来补充人体硒的摄入,以水稻、小麦的效果最佳,应大面积推广,大豆作为辅助补充硒元素,玉米则可作为饲料,成为动物体内硒的主要来源。

叶面喷施的残留影响比土壤施用的要短,吸收率高且易操作;对黑龙江省缺硒区对水稻、大豆、玉米和小麦进行了叶面喷硒研究结果表明:作物籽粒中含硒量的提高幅度与喷硒量呈正相关。叶面喷施亚硒酸钠 $11.25 \sim 22.50 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$,即可使水稻、大豆、玉米和小麦籽粒中硒含量满足低硒区居民补硒的需要;施硒方法综合比较,水稻的最佳喷硒时期是在扬花后期,玉米是在抽雄期,大豆是在初花期,小麦是在孕穗期,这几个时期是作物对养分需求最大时期,也是硒的吸收关键时期,喷施外源硒对作物的富硒效果明显,既能补充食品中低硒现状,又能与其他重金属产生拮抗作用,从而也保障了人类健康的潜在风险。另外,利用腐植酸较强的离子交换能力和吸附能力^[17],可降低高浓度硒对作物的毒害作用,在生产实际中更具有安全性,下一步还应对腐植酸硒进行深入的研究。

参考文献:

- [1] Schrauzer G N. Anticarcinogenic effects of selenium [J]. Cellular and Molecular Life Sciences, 2000, 57: 1864-1873.
- [2] 宋家永,王海红,朱喜霞,等. 叶面喷硒对小麦抗氧化性能及籽粒硒含量的影响 [J]. 麦类作物学报, 2006, (6): 178-181.
- [3] 彭涛,赵伟峰,张庆社,等. 富硒营养液对不同冬小麦品种产量及籽粒硒含量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2015,

43 (21): 75-76.

- [4] 张鹏飞. 谷子硒肥肥效试验研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2010.
- [5] 李佳. 硒对寒地水稻产量和稻米安全品质的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- [6] 李海,张翔宇,杨如达,等. 不同施硒方式对糜子产量及相关性状的影响 [J]. 现代农业科技, 2015, (2): 29-37.
- [7] 郭美俊,郭平毅,原向阳,等. 叶面喷施亚硒酸钠对谷子光合特性及产量构成的影响 [J]. 核农学报, 2014, (6): 1099-1107.
- [8] 迟凤琴,匡恩俊,张久明,等. Se 肥施用方式和施用时期对水稻含 Se 量及产量的影响 [J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31 (6): 560-564.
- [9] 张妮,李琦,张栋,等. 外源硒对滴灌小麦籽粒硒含量及产量的影响 [J]. 麦类作物学报, 2015, (7): 995-1001.
- [10] 杨德平,周成河,饶莉,等. 玉米籽粒含硒量与土壤硒的关系及施硒肥的富硒效应 [J]. 安徽农业科学, 2015, 43 (33): 195-196.
- [11] 王建伟. 硒锌对典型旱地主要作物产量及矿质营养的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [12] 罗胜国,徐宁彤,刘元英. 叶面喷硒提高粮食中的硒含量 [J]. 东北农业大学学报, 1999, 30 (1): 18-22.
- [13] 迟凤琴,徐强,匡恩俊,等. 黑龙江省土壤硒分布及其影响因素研究 [J]. 土壤学报, 2016, 53 (5): 1262-1274.
- [14] Li H F, McGrath S P, Zhao F J. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite [J]. New Phytologist, 2008, 178 (4): 92-102.
- [15] Hawkesford M J, Zhao F J. Strategies for increasing the selenium content of wheat [J]. Journal of Cereal Science, 2007, 46 (3): 282-292.
- [16] 张洋. 喷施硒、锌肥对不同品种春小麦产量及硒吸收积累特性的影响 [J]. 南方农业学报, 2012, 43 (5): 626-629.
- [17] 孙克刚,张梦,李玉顺. 腐植酸尿素对冬小麦增产效果及氮肥利用率的影响 [J]. 腐植酸, 2016, (3): 18-21.

The effect on crop selenium content and yield by foliar application of selenium

KUANG En-jun, CHI Feng-qin*, ZHANG Jiu-ming, SU Qing-rui (Institute of Soil Fertilizer and Environment Resource, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, the Key Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province, Heilongjiang Fertilizer Engineering Research Center, Harbin Heilongjiang 150086)

Abstract: The effects of foliar application of Selenium (Se) on rice, soybean, maize and wheat were analyzed. Result showed that the original Se content was the highest in soybean and the lowest in maize, the order was soybean > wheat > rice > maize. After foliar application of Se with same concentration, the grain Se content increased obviously in all the crops, and grain Se content positively correlated with the concentration of Se. In wheat and rice it increased more than other crops, and maize had the lowest Se content, and all the grain Se content was within the range of safe selenium. The range of Se concentration was about $11.25 \sim 22.50 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$, which could meet the needs of the residents in low Se region. The best foliar application period of Se for rice was in the later blooming stage, for maize was in the tasseling stage, for soybean was in the first flowering stage, and for wheat was in the pregnancy stage. Humic acid Se reduced the toxicity of high concentration of Se to crops and it was more safely in production.

Key words: crop; selenium; yield