

不同肥源对玉米籽粒硒和镉含量的影响

杨鹏¹, 李涛¹, 王涛¹, 魏伟², 曾小彤^{2*}

¹达州市土壤肥料与生态建设工作站, 四川 达州

²四川文理学院化学化工学院, 特色植物开发研究四川省高校重点实验室, 四川 达州

Email: *755765171@qq.com

收稿日期: 2020年9月22日; 录用日期: 2020年10月7日; 发布日期: 2020年10月14日

摘要

研究不同肥源对玉米籽粒硒和镉含量的影响, 为高硒低镉玉米生产的合理施肥提供科学指导。在施用农家肥、有机无机肥、复合肥和硒肥的处理下发现, 单独施用化肥对玉米籽粒硒含量没有显著影响($P > 0.05$), 但会不同程度地引起镉含量升高, 特别是使用农家肥时, 镉含量会显著升高($P < 0.01$)。叶面喷施硒肥可以显著地提高玉米籽粒硒含量($P < 0.01$), 同时还会降低玉米籽粒的镉含量。不同浓度的硒肥处理表明, 所有玉米籽粒硒含量均达到了富硒食品的要求。当硒肥浓度为0.2、0.4和0.6 g/L时, 玉米籽粒镉含量随硒含量升高而降低, 而在0.8和1 g/L时, 镉会随硒含量升高而显著升高。研究结果表明, 叶面喷施硒肥可以作为生产富硒玉米的优先措施, 同时也应合理选择化肥种类和叶面喷施硒肥的浓度以控制玉米籽粒的镉含量。

关键词

玉米, 硒含量, 镉含量, 叶面喷施硒肥

Effects of Different Fertilizer Sources on Selenium and Cadmium Content in Corn Grain

Peng Yang¹, Tao Li¹, Tao Wang¹, Wei Wei², Xiaotong Zeng^{2*}

¹Dazhou Soil Fertilizer and Ecological Construction Workstation, Dazhou Sichuan

²Key Laboratory of Exploitation and Study of Distinctive Plants in Education Department of Sichuan Province, School of Chemistry and Chemical Engineering, Sichuan University of Arts and Science, Dazhou Sichuan

Email: *755765171@qq.com

Received: Sep. 22nd, 2020; accepted: Oct. 7th, 2020; published: Oct. 14th, 2020

*通讯作者。

Abstract

The effects of different fertilizer sources on selenium and cadmium content in corn grain were studied to provide scientific guidance for rational fertilization in maize production with high selenium and low cadmium. Under the treatment of farm manure, organic and inorganic fertilizer, compound fertilizer and selenium fertilizer, it was found that chemical fertilizer alone had no significant effect on selenium content of corn grain ($P > 0.05$), but it could cause cadmium content increase to different degrees, especially when using farm manure, cadmium content would increase significantly ($P < 0.01$). Foliar spraying of selenium fertilizer can significantly increase the selenium content of corn grain ($P < 0.01$), and also reduce the cadmium content of corn grain. Under different concentrations of selenium fertilizer, the selenium content of all corn grains reached the requirement of selenium enrichment. When the concentration of selenium fertilizer was 0.2, 0.4 and 0.6 g/L, the cadmium content in corn grain decreased with the increase of selenium content, while at 0.8 and 1 g/L, the cadmium content increased significantly with the increase of selenium content. The results showed that foliar spraying of selenium fertilizer could be the preferred method to produce selenium enriched maize, additionally, fertilizer types and concentration of selenium fertilizer should be selected rationally to control the cadmium content of corn grain.

Keywords

Corn, Selenium Content, Cadmium Content, Foliar Spraying of Selenium Fertilizer

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

硒(selenium, Se)作为一种必需的微量元素,能提高人体的免疫力且与人的健康密不可分[1]。人体缺硒会引起如大骨节病和克山病等疾病[2] [3],但过量的摄取硒反而会使人中毒[4]。镉(cadmium, Cd)作为一种重金属,长期摄取镉超标的食物会导致一系列的疾病。据调查,我国处于缺硒状态的土地大约有72%,其中三分之一的面积缺硒较为严重,同时我国已有7%耕地受到了重金属镉的污染[5] [6]。玉米作为我国主要的粮食作物,在我国有着广大的消费基础和群体。因此,提高玉米的硒含量,通过饮食增加人体摄硒量是重要的补硒途径。万源地区是我国为数不多的富硒地之一,富硒农产品是当地积极推广富硒经济作物之一[7]。但镉在万源富硒种植区土壤中具有较高的自然本底值[8]。基于此,如何使玉米籽粒中的硒含量达到较高的水平,同时又能控制镉在玉米籽粒中的富集是当前富硒农作物的研究热点[9]。有研究表明,硒与镉在植物体内的积累有一定的相互作用[10]。由于地理位置等原因,万源地区近年来玉米生产面积逐年增加。因此,本研究以万源市某乡镇种植的玉米为研究对象,在分析土壤理化性质的基础上,通过基施不同种类化肥及在玉米喇叭口期叶面喷施硒肥,研究不同肥源及叶面喷施硒肥对玉米籽粒硒和镉含量的影响。并进一步探索硒与镉之间的相互作用,为合理施肥提供指导。本文可为玉米种植提供高硒低镉的施肥技术,为该地区科学施肥及优质的富硒玉米持续健康发展提供科学支撑。

2. 实验材料及方法

2.1. 实验材料

实验于2020年4月~8月在万源市某乡镇进行。实验场地为万源某乡镇农田,实验玉米品种为中单

808。该品种玉米幼苗叶鞘绿色，成株株高 314 cm 左右，穗位 147 cm 左右。雄穗分枝多，花药绿色，花丝绿色，生育期 126 天左右。中单 808 具有一定的抗病性，如抗小斑病、茎腐病和矮花叶病等。叶面喷施硒肥为绿维康有机富硒肥(200 mL/瓶)，购买于陕西杨凌澳邦生物科学有限公司。复合肥(N + P₂O₅ + K₂O = 45%)和有机无机肥(N + P₂O₅ + K₂O = 25%)购买于四川省珙县中正化学工业有限公司。农家肥为当地农户提供。试验场地土壤基本理化性质如表 1 所示。

Table 1. Properties of the tested soils

表 1. 供试土壤基本理化性质

项目	有机质 (g/kg)	水解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	硒 (mg/kg)	镉 (mg/kg)	pH
含量	26.63	324.52	43.56	256.71	0.47	0.25	6.78

2.2. 实验方法

实验共设 8 个处理组，每个处理组 3 个重复，具体如下：农家肥，有机无机肥，复合肥，农家肥 + 硒肥，有机无机肥+硒肥，复合肥+硒肥，硒肥和清水对照组(CK)，共 24 个处理小区。每个小区面积为 9 m² 并固定种植 50 株。所有小区都在同一实验农田中，小区之间采用大行距加以区分。农家肥，有机无机肥和复合肥均基施入土，一次性施肥，化肥使用量均为 1 kg。叶面喷施硒肥的时间为晴朗天 17:00 后，喷施时期为玉米的喇叭口期，硒肥喷施浓度为 0.4 g/L。为进一步研究喷施硒肥对玉米籽粒中的硒和镉含量，实验研究了喷施不同浓度硒肥对结果的影响。叶面硒肥的浓度设为 0.2、0.4、0.6、0.8 和 1.0 g/L 的五个组，每组 3 个重复，叶面硒肥喷施时间及时期均与上述处理相同。样品中的硒和镉的分析测定参考黄爱花[11]等人的分析方法。

2.3. 数据分析

使用 Excel 2013 进行数据整理，采用 SPSS 24.0 进行统计分析。

3. 结果与讨论

3.1. 不同肥源对玉米籽粒中硒及镉含量的影响

不同施肥条件下，玉米籽粒中硒和镉含量如表 2 所示。由表 2 可知不同施肥条件下玉米籽粒中的硒含量均有所提升(0.021~0.291 mg/kg)，特别是在基施化肥后进行叶面喷施硒肥的处理下，玉米籽粒中的硒含量较对照组(0.017 mg/kg)有显著增加($P < 0.01$)。在叶面喷施硒肥的条件下，有机无机肥处理较农家肥和复合肥更能增加玉米籽粒中的硒含量，在不同的处理下基本上满足以下特征：硒肥 > 有机无机肥 > 复合肥 > 农家肥 > 不施肥。单独使用化肥时，玉米籽粒对硒的富集作用较小，相比于对照组，玉米籽粒中的硒含量有轻微上升(0.021~0.028 mg/kg)，但结果并不显著($P > 0.05$)。另外，只在喇叭口期对叶面喷施硒肥，却能显著增加玉米籽粒中的硒含量($P < 0.01$)，但其玉米籽粒中硒含量略低于“基施化肥+喷施硒肥”处理后的玉米籽粒。这表明硒肥能显著提高玉米籽粒中的硒含量，而且基施化肥可以促进玉米籽粒对硒的吸收，这与李圣男等人[12]的研究结果一致。不同处理后的玉米籽粒中的镉含量(0.018~0.068 mg/kg)较对照组中玉米籽粒中的镉含量(0.019 mg/kg)有轻微上升。表明基施化肥和叶面喷施硒肥均能影响玉米籽粒中的镉含量。由表 2 可知，仅基施不同种类的化肥的玉米籽粒镉含量要略高于“基施化肥 + 喷施硒肥”处理后的玉米籽粒中的镉含量。同时，在使用农家肥与“农家肥 + 喷施硒肥”的处理组中的玉米籽粒镉含量(0.068 mg/kg 和 0.051 mg/kg)较对照组中的玉米籽粒镉含量有显著上升($P < 0.01$)，这可能与农家

肥中含有较高浓度的重金属有关[13]。通过表 2 的结果可知, 叶面施硒对于增加玉米的硒含量非常有效, 经过叶面施硒的玉米籽粒中硒含量均达到了富硒的要求。但在施肥过程中需注意不同化肥与硒肥的合理搭配, 同时应注意农家肥可能会增加玉米籽粒中重金属的含量。

Table 2. Selenium and cadmium contents in corn grain under different fertilizer sources

表 2. 不同肥源下玉米籽粒中的硒和镉含量

施肥种类	不施肥	农家肥	有机无机肥	复合肥	农家肥 +硒肥	有机无机肥 +硒肥	复合肥 +硒肥	硒肥
硒含量 (mg/kg)	0.017 ± 0.003	0.021 ± 0.006	0.028 ± 0.008	0.027 ± 0.010	0.251 ± 0.012 ^{ab}	0.291 ± 0.018 ^{ab}	0.287 ± 0.016 ^{ab}	0.214 ± 0.011 ^{ab}
镉含量 (mg/kg)	0.019 ± 0.004	0.068 ± 0.009 ^{ab}	0.035 ± 0.004 ^a	0.035 ± 0.004 ^a	0.051 ± 0.002 ^{ab}	0.021 ± 0.003	0.030 ± 0.003 ^a	0.018 ± 0.002

注: a 表示差异显著($P < 0.05$), b 表示差异极显著($P < 0.01$)。

3.2. 不同浓度的硒肥对玉米籽粒中硒和镉含量的影响

为进一步研究不同浓度硒肥对玉米籽粒硒含量的影响以及硒和镉在玉米籽粒之间的累积关系, 指导富硒玉米的合理施肥, 本文将叶面喷施硒肥的浓度设为 0.2、0.4、0.6、0.8 和 1 g/L 5 个水平。由表 3 可知, 随硒肥浓度的增加, 玉米籽粒硒含量也随之增加, 但镉含量呈现出先降低后增加的现象。当硒肥浓度为 1 g/L 时, 镉含量达到了 0.087mg/kg, 但未超过 GB 2762-2012《食品中污染限量》中的镉含量的限定值(0.1 mg/kg)。在不同浓度的硒肥处理下, 玉米籽粒硒含量介于 0.185~0.486 mg/kg 之间, 符合 GB 28050-2011《预包装食品营养标签通则》的硒含量要求(0.15~0.50 mg/kg), 属于富硒产品。同时, 在叶面喷施的硒肥浓度为 0.2 和 0.4 g/L 时, 玉米籽粒硒含量增加较为缓慢, 但当叶面肥为 0.6、0.8 和 1 g/L 时, 玉米籽粒硒含量出现了显著增加($P < 0.05$), 特别是在叶面肥为 1 g/L 时, 玉米籽粒硒含量已经较为接近 0.50 mg/kg 的上限值。有研究表明过量摄入硒同样会产生毒害作用, 同时可能导致玉米减产和影响玉米品质等问题[14], 因此在叶面喷施硒肥时需严格控制施肥浓度, 避免玉米籽粒中硒含量过高。

Table 3. Selenium and cadmium contents in corn grain under different concentrations of selenium fertilizer

表 3. 不同浓度硒肥时玉米籽粒硒和镉的含量

硒肥浓度(g/L)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
硒含量(mg/kg)	0.018 ± 0.002	0.185 ± 0.003	0.214 ± 0.004	0.374 ± 0.002 ^a	0.436 ± 0.005 ^a	0.486 ± 0.005 ^{ab}
镉含量(mg/kg)	0.017 ± 0.002	0.019 ± 0.003	0.017 ± 0.002	0.012 ± 0.003 ^a	0.072 ± 0.004 ^{ab}	0.087 ± 0.003 ^{ab}

注: a 表示差异显著($P < 0.05$), b 表示差异极显著($P < 0.01$)。

3.3. 玉米籽粒中硒与镉之间的相互作用

研究表明[15], 植物对硒和镉的吸收积累具有一定的机理特性。硒与镉之间存在一定的相互作用, 富硒能减弱镉的毒害作用。但硒与镉之间是拮抗还是伴随作用, 目前的研究还没有形成统一观点。黄爱花等人[11]认为硒与镉之间的相互作用与硒肥的喷施时期有关, 其研究表明在拔节期和喇叭口期喷施硒肥会促进镉的吸收, 而抽雄期硒肥处理会对镉的吸收产生拮抗作用。另外也有研究表明[10] [16]施用硒肥可以对重金属镉产生拮抗作用。本研究在仅基施不同化肥时发现与对照组相比, 三种肥源都引起了硒与镉含量的升高, 表明在施用农家肥、有机无机肥和复合肥时, 镉与硒是伴随作用。但在“基施化肥 + 喷施硒肥”的处理下, 玉米籽粒镉含量较仅施用化肥时有轻微的下降, 表明叶面喷施硒肥将对玉米籽粒镉含量

有一定的影响。仅叶面喷施硒肥时,当叶面肥浓度为0.2、0.4和0.6 g/L时,玉米籽粒硒含量逐渐增加,但镉含量逐渐降低,特别是在叶面硒肥为0.6 g/L时,镉含量仅为0.012 mg/kg,较对照组显著降低($P < 0.05$)。因此在上述3个浓度范围内,玉米籽粒硒将会对镉的富集产生拮抗作用。但当硒肥浓度为0.8和1 g/L时,随着硒含量的增加,镉含量表现出显著增加,根据相关性分析,两者呈现出显著的正相关($r = 0.543$, $P < 0.01$),说明在0.8和1 g/L时,硒与镉表现为伴随作用,硒将会促进镉的吸收,这一现象与曾宇斌等人[17]的研究一致。因此,喷施硒肥时,在关注硒含量的基础上,还应注意镉含量升高等问题。

4. 结论

通过叶面喷施硒肥和基施不同化肥,研究了不同肥源对玉米籽粒硒和镉含量的影响。结果表明叶面喷施硒肥和基施不同化肥均能增加玉米籽粒内的硒含量,但仅基施化肥时,硒含量增加并不明显,而仅叶面喷施硒肥和“基施化肥+叶面喷施硒肥”处理时的硒含量均超过了0.15 mg/kg,达到了富硒产品的标准。基施化肥会不同程度地引起镉含量的增加,特别是基施农家肥时,玉米籽粒镉含量达到了0.068 mg/kg,但均未超过相应标准。玉米硒含量随叶面喷施硒肥的浓度的增加而不同程度地增加,当硒肥浓度在0.6 g/L以下时,镉在玉米籽粒内的积累会受到硒的阻碍,而硒肥浓度在0.8~1 g/L时,硒会促进镉的吸收。因此通过叶面喷施硒肥可作为生产富硒玉米的优先措施,但在施用不同肥源及叶面喷施硒肥时,应该综合考虑硒和镉的含量,实现玉米硒含量高而重金属镉含量低的优质富硒玉米。

基金项目

达州市科技局项目(项目编号:19YYJC0012)。

参考文献

- [1] Ambroziak, U., Hybsier, S., Shahnazaryan, U., *et al.* (2017) Severe Selenium Deficits in Pregnant Women Irrespective of Autoimmune Thyroid Disease in an Area with Marginal Selenium Intake. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, **44**, 186-191. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.08.005>
- [2] Garousi, F. (2017) The Essentiality of Selenium for Humans, Animals, and Plants, and the Role of Selenium in Plant Metabolism and Physiology. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, **10**, 75-90. <https://doi.org/10.1515/ausal-2017-0005>
- [3] 陈析羽, 张浩, 汤虎, 等. 富硒食品的研究进展与展望[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(6): 11-14.
- [4] 罗杰, 温汉辉, 吴丽霞, 等. 自然富硒与人工富硒肥的比较[J]. 中国农学通报, 2011, 27(33): 90-97.
- [5] 布和敖斯尔, 张东威, 刘力. 土壤硒区域环境分异及安全阈值的研究[J]. 土壤学报, 1995, 32(2): 186-193.
- [6] 黄太庆, 江泽普, 黄雁飞, 等. 不同配方含硒叶面肥对水稻富硒降镉的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(7): 1185-1189.
- [7] 薛德炳, 任春. 万源富硒茶的市场潜力[J]. 茶业通报, 2011, 33(1): 23-25.
- [8] 王国明. 四川省万源县东部特色农业区镉地球化学特征[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- [9] 李慧云. 施硒条件下不同肥源对玉米生物量和品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
- [10] 张美德, 艾伦强, 卢超, 等. 硒对镉胁迫下白术幼苗生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 306-308.
- [11] 黄爱花, 黄开健, 彭楷, 等. 叶面喷施硒肥对甜玉米籽粒富硒、重金属含量及产量的影响[J]. 南方农业学报, 2019, 50(1): 40-44.
- [12] 李圣男, 岳士忠, 李花粉, 等. 基施富硒有机肥料对玉米和土壤硒含量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(6): 571-576.
- [13] 曹铁华, 梁炬赫, 高洪军, 等. 不同施肥模式下土壤-玉米中重金属累积规律及安全性分析[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(5): 37-41, 62.
- [14] 李圣男, 岳士忠, 乔玉辉, 等. 中国富硒玉米的生产与富硒效应[J]. 中国农学通报, 2014, 30(30): 6-10.

- [15] 尹俊钦, 涂路遥, 赵小虎, 等. 硒对菜地土壤镉微区分布及吸附解析特性的影响[J]. 环境科学学报, 2015, 35(7): 2254-2260.
- [16] 黄丽美, 徐宁彤, 曲琪环. 硒对玉米产量及籽粒营养品质、重金属含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(10): 59-61.
- [17] 曾宇斌, 郑淑华. 不同硒水平对大豆不同部位累积镉的影响[J]. 环境保护科学, 2017, 43(3): 116-119.