

喷施有机硒生物肥对陇东黄土旱塬春玉米产量及硒累积的影响

续创业¹, 张建军², 党翼², 张铠鹏¹, 赵海燕¹, 王腾飞¹,
魏江文¹, 周刚², 冯春艳³

(1. 平凉市农业科学院, 甘肃 平凉 744000; 2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所,
甘肃 兰州 730070; 3. 兰州市动物疫病预防控制中心, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 探究喷施有机硒生物肥对陇东黄土旱塬春玉米产量及硒积累的影响, 为陇东旱塬区富硒玉米生产提供参考。以玉米品种先玉 1483 为试验材料, 设置 120、240、360、720 kg/hm² 不同梯度有机硒生物肥喷施处理。结果表明, 喷施有机硒生物肥显著影响玉米生物产量, 对玉米籽粒产量无显著性影响。喷施有机硒生物肥 240 kg/hm² 处理玉米产量最高, 生物产量和籽粒产量分别较喷施清水对照提高了 17.68%、5.55%。玉米籽粒、秸秆硒含量均随有机硒生物肥喷施量增加而显著增加, 分别较喷施清水对照提高 0.28~1.49、5.86~22.31 倍。综上, 喷施有机硒生物肥对陇东黄土旱塬春玉米的产量和籽粒、秸秆硒含量有一定促进作用, 尤以喷施有机硒生物肥 240 kg/hm² 时效果最佳。

关键词: 有机硒生物肥; 春玉米; 产量; 硒含量; 黄土旱塬

中图分类号: S513; S147.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2025)07-0613-04

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2025.07.004

Effects of Foliar Application of Organic Selenium Bio-fertilizer on the Yield and Selenium Accumulation in Spring Maize on the Dryland Areas of Loess Plateau in Eastern Gansu

XU Chuangye¹, ZHANG Jianjun², DANG Yi², ZHANG Kaipeng¹, ZHAO Haiyan¹, WANG Tengfei¹,
WEI Jiangwen¹, ZHOU Gang², FENG Chunyan³

(1. Pingliang Academy of Agricultural Sciences, Pingliang Gansu 744000, China; 2. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Lanzhou Animal Disease Prevention and Control Centre, Lanzhou Gansu 730050, China)

Abstract: To investigate the effects of foliar application of organic selenium bio-fertilizer on yield and selenium accumulation in spring maize on the Dryland of Loess Plateau in eastern Gansu, and to provide a reference for selenium-enriched maize production in this region, a field experiment was conducted using the maize variety Xianyu1483. Four application rates of organic selenium bio-fertilizer (120, 240, 360, 720 kg/ha) were set as treatments. Results showed that foliar application of organic selenium bio-fertilizer significantly affected maize biomass yield, while the grain yield was not significantly influenced. The highest maize yield was observed at 240 kg/ha, with biomass and grain yields increased by 17.68% and 5.55%, respectively, compared to the water-sprayed control. Selenium content in both grain and straw increased significantly with higher fertilizer application, reaching 0.28 to 1.49 and 5.86 to 22.31 times compared to the control levels, respectively. In conclusion, foliar application of organic selenium bio-fertilizer promotes biomass yield and selenium enrichment in grain and straw of spring maize on the dryland of Loess Plateau, with the best effect observed at 240 kg/ha.

Key words: Organic selenium bio-fertilizer; Spring maize; Yield; Selenium content; Dryland of Loess Plateau

硒(Se)是世界卫生组织公认的人体必需微量元素 元素之一^[1]。据估计, 全球大约有 1/6 的人缺硒,

收稿日期: 2025-02-19; 修订日期: 2025-06-12

基金项目: 甘肃省重点研发计划(22YF7N216); 国家重点研发计划(2024YFD23002); 中央引导地方科技发展资金项目(24ZYQA022); 甘肃省技术创新引导计划科技专员专项(25CXGL003); 平凉市重点研发计划-农业类(PL-STK-2024A-027、PL-STK-2024A-036)。

作者简介: 续创业(1983—), 男, 甘肃静宁人, 研究员, 主要从事作物高效栽培技术研究及新品种推广工作。Email: 28438316@qq.com。

通信作者: 冯春艳(1978—), 女, 甘肃会宁人, 主要从事畜牧技术科研与推广工作。Email: 469855916@qq.com。

中国 72% 的地区土壤缺硒, 其中 1/3 极度缺硒^[2]。缺硒会导致人类的克山病、大骨节病及高血压等疾病^[3]。研究表明, 通过食物链形式摄入是人体硒的主要来源, 富硒农产品被认为是人体补充硒最安全、有效的方式^[4-6]。玉米籽粒及秸秆作为主要食物链来源之一, 通过农艺措施提升其富集硒元素能力, 可以使畜禽间接食用富硒饲草料, 最终通过肉、蛋、奶等形式满足人体对硒元素的需求。邹成林等^[7]研究表明, 通过土壤施硒、叶面喷硒、硒肥拌种或包衣等农艺措施可明显改善玉米籽粒中硒含量。因此, 通过人为调控作物的硒富集水平, 收获富硒产品对改善硒缺乏具有重要意义。

玉米是甘肃省第一大粮食作物, 常年播种面积在 100 万 hm^2 , 占全省粮食播种面积的 40%, 产量 50% 以上^[8], 承担着粮食安全和饲草安全的重任。甘肃陇东黄土旱塬因地势平坦、水热条件较好, 是西北旱作玉米的主产区^[9]。随着人们对健康饮食的日益重视, 富硒玉米的研究与应用具有广阔前景。然而, 不同植物的生长与硒的形态及浓度有较大关系, 适宜的硒浓度能促进植物生长发育, 提高作物品质, 反之则可能抑制植物生长, 造成土壤环境硒污染、影响人体健康等不良后果^[10-11]。为此, 通过研究有机硒生物肥不同喷施量对玉米籽粒产量及其构成因素、植株硒含量的影响, 筛选适宜的有机硒生物肥喷施量, 以期为陇东旱塬区富硒玉米生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2021 年在甘肃省平凉市泾川县平凉市农业科学院高平试验站进行, 当地海拔 1 320 m, 年均气温 9.3 $^{\circ}\text{C}$, 年均降水量 583.5 mm, 降水时空分布不均, 降水集中在 7—9 月份, 年均蒸发量 1 384 mm, 无霜期 172 d, 无灌溉条件, 为典型的旱作雨养农业区。耕层土壤类型为覆盖黑垆土, 耕层土壤含有机质 7.64 g/kg、速效氮 112.00 mg/kg、

速效磷 0.24 mg/kg、速效钾 88.57 g/kg。

1.2 供试材料

指示玉米品种为先玉 1483, 由敦煌种业先锋良种有限公司提供。供试宝丰宁有机硒生物肥(硒含量 $\geq 200 \text{ mg/kg}$, 有效活菌数 $\geq 2 \text{ 亿 CFU/mL}$)由苏州寰保农业科技有限公司提供。供试尿素(含 N 45%, 释放期 $> 60 \text{ d}$, 初始释放率小于 10%)由安徽茂施农业科技股份有限公司生产, 普通过磷酸钙(含 P_2O_5 16%)由云南安宁万合磷肥厂有限责任公司生产。

1.3 试验设计

试验共设 120 kg/hm^2 (S120)、240 kg/hm^2 (S240)、360 kg/hm^2 (S360)、720 kg/hm^2 (S720) 4 个有机硒肥喷施用量处理, 以喷施等量清水为对照 (CK)。喷施时间、喷施时期、喷施用量及稀释比例见表 1, 高温天气喷施作业在 18:00 时后进行。试验随机区组排列, 3 次重复, 小区面积 33 m^2 (3 m $\times$ 11 m)。试验采用全膜双垄沟穴播种植, 地膜为幅宽 1.2 m 的全生物降解地膜, 种植密度 6.75 万株 hm^2 。5 月上旬覆膜播种前结合整地一次性基施聚氨酯包膜控释尿素 300 kg/hm^2 、普通过磷酸钙 240 kg/hm^2 , 整个生育期不再追施氮肥。7 月中旬喷施 20% 啞菌酯悬浮剂 + 12.5% 苯醚甲环唑悬浮剂 + 2.5% 高效氯氟氰菊酯乳油防治玉米大斑病和双斑萤叶甲。其他田间管理同当地大田。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 产量及产量构成因素 收获前, 每小区选择长势均匀处采样, 调查 10 m 行长的株数, 计算收获株数, 并按 2 整行(除去边行株)逐株取 30 株测产, 脱粒后使用 PM-8188-A 谷物水分测定仪(上海冠唯仪器有限公司)测定含水量, 重复 3 次, 换算成标准含水量(14%)下的籽粒产量。每小区另取 10 株调查穗长、穗粗、秃尖长、穗行数和行粒数, 计算穗粒数和百粒重^[12]。

1.4.2 生物产量 收获前每小区中间行取玉米单株 3 株, 于 105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青 1 h 后, 75 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重,

表 1 玉米有机硒生物肥试验设计

喷施时期	喷施时间 (日/月)	S120		S240		S360		S720	
		用药量 /(kg/hm^2)	稀释比例 /(w/w)	用药量 /(kg/hm^2)	稀释比例 /(w/w)	用药量 /(kg/hm^2)	稀释比例 /(w/w)	用药量 /(kg/hm^2)	稀释比例 /(w/w)
大喇叭口期	21/6	15	1:150.0	30	1:75.0	45	1:50.0	90	1:25.0
抽雄期	27/7	15	1:150.0	30	1:75.0	45	1:50.0	90	1:25.0
灌浆初期	15/8	30	1:75.0	60	1:37.5	90	1:25.0	180	1:12.5
灌浆中期	3/9	30	1:75.0	60	1:37.5	90	1:25.0	180	1:12.5
生理成熟期	14/9	30	1:75.0	60	1:37.5	90	1:25.0	180	1:12.5
合计		120		240		360		720	

测定单株生物产量。

小区生物产量 = 单株生物产量 × 收获密度

1.4.3 籽粒和秸秆硒元素含量 收获前每小区中间行随机摘取果穗 20 个，人工脱粒，取混合样用于籽粒硒元素含量测定。收获前每小区中间行随机取玉米单株 5 株，105 ℃杀青 1 h，75 ℃烘干至恒重，装袋备用。籽粒和秸秆中硒含量依据《食品安全国家标准 食品中硒的测定》(GB 5009.93—2010)，采用氢化物原子荧光光度法测定^[13]。

1.5 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 2010 软件进行统计，使用 SPSS 20 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 有机硒生物肥对玉米穗部性状及生物产量的影响

由表 2 可以看出，不同浓度有机硒生物肥喷施处理下玉米穗长和穗粗差异不显著，均能显著降低秃尖长，降幅为 18.52% ~ 37.04%。生物产量以 S240 最高，为 52 639.5 kg/hm²，显著高于其他处理 ($P<0.05$)，较 CK 增加 17.68%；S120、S360 间差异不显著，分别为 49 023.0、48 880.5 kg/hm²，显著高于 S720 和 CK ($P<0.05$)，较 CK 分别增加 9.60%、9.28%；S720 最低，为 44 728.5 kg/hm²，较 CK 减少 4.20%，与 CK 差异不显著。说明适量喷施有机硒生物肥有利于提高玉米生物产量，但浓度过高反而会导致生物产量降低。

表 2 有机硒生物肥对玉米穗部性状及生物产量的影响

处理	穗长 /cm	穗粗 /mm	秃尖长 /cm	生物产量 /(kg/hm ²)
S120	18.8±0.1 a	51.8±0.1 a	0.40±0.1 b	49 023.0±798.0 b
S240	18.7±0.3 a	51.9±0.4 a	0.36±0.1 b	52 639.5±354.0 a
S360	18.7±0.1 a	51.2±0.7 a	0.34±0.1 b	48 880.5±682.5 b
S720	19.0±0.1 a	51.2±0.1 a	0.44±0.1 b	42 849.0±960.0 c
CK	19.1±0.2 a	51.5±0.2 a	0.54±0.1 a	44 728.5±516.0 c

2.2 有机硒生物肥对玉米产量构成因素及产量的影响

由表 3 可以看出，喷施不同浓度有机硒生物肥处理下玉米穗粒数无显著性差异。各施肥处理百粒重均高于 CK，增幅 0.23% ~ 2.73%，其中 S240 最重，为 45.2 g，与 S120 差异不显著，显著高于其他处理($P<0.05$)；S120 次之，为 45.1 g，显著高于 S360 和 CK($P<0.05$)。籽粒产量各施肥处理间无显著性差异，其中 S240、S120、S360 较 CK 分别增加了 5.55%、2.60%、2.12%，S720 较 CK 降低 0.31%。说明适量喷施有机硒生物肥有利于提高玉米生物产

表 3 有机硒生物肥对玉米籽粒产量及构成因素的影响

处理	穗粒数 /粒	百粒重 /g	籽粒产量 /(kg/hm ²)
S120	633.3±10.9 a	45.1±0.7 ab	15 550.5±574.5 a
S240	637.2±17.2 a	45.2±0.1 a	15 997.5±364.5 a
S360	604.4±5.7 a	44.1±0.2 c	15 477.0±471.0 a
S720	606.1±2.4 a	44.4±0.1 bc	15 109.5±405.0 a
CK	593.8±32.6 a	44.0±0.1 c	15 156.0±280.5 a

量，但浓度过高反而导致籽粒产量降低。

2.3 有机硒生物肥对玉米秸秆硒含量的影响

由表 4 可以看出，喷施有机硒生物肥可以显著提高玉米秸秆和籽粒的硒含量，且硒含量随有机硒生物肥喷施浓度的增加呈显著增加趋势。处理 S120、S240、S360、S720 玉米秸秆硒含量分别较 CK 提高了 5.86、8.57、14.84、22.31 倍；玉米籽粒分别 CK 提高了 0.28、0.54、0.86、1.49 倍。

表 4 有机硒生物肥对玉米秸秆及籽粒硒含量的影响

处理	秸秆		籽粒	
	硒含量 /(μg/kg)	较CK增加 倍数 /倍	硒含量 /(μg/kg)	较CK增加 倍数 /倍
S120	593.7±11.5 d	5.86	56.3±1.6 d	0.28
S240	828.6±2.2 c	8.57	68.0±2.6 c	0.54
S360	1 371.8±3.5 b	14.84	82.0±2.0 b	0.86
S720	2 018.6±4.2 a	22.31	109.9±2.1 a	1.49
CK	86.6±1.2 e		44.1±0.4 e	

3 讨论与结论

陇东旱塬区是甘肃省重要的粮食和畜牧产品生产基地，玉米已成为该区域第一大粮食作物。籽粒和秸秆硒元素的高低，对于改善当地硒元素缺乏以及富硒畜禽产品开发具有重要意义。喷施硒肥是提高作物籽粒硒含量的重要途径。研究表明，喷施硒肥可以显著增加玉米籽粒硒含量，并对玉米产量及其构成因素有影响^[14]。黄龙伍等^[15]对鲜食玉米进行螯合硒叶面喷施，发现不同浓度螯合硒对玉米产量及其构成因素均有一定影响，但处理间差异不显著。罗连光等^[16]研究表明，利用富硒植物营养素栽培的玉米百粒质量比清水对照增加 28.7%。郑阳等^[17]研究认为，通过叶面喷施硒肥可以显著提高糯玉米籽粒硒含量，且随外源硒量增加而增加，产量也略有增加。郝玉波等^[18]试验表明，低含量硒促进玉米植株生长，玉米生物产量和籽粒产量均显著增加，高含量硒抑制了玉米植株生长。本研究结果表明，有机硒生物肥不同喷施浓度在玉米产量及其构成因素上无显著差异，但均高于喷施清水对照，此结论与罗连光等^[16]的试验结果一致。有机硒生物肥喷施量为

120、240、360 kg/hm² 时, 玉米生物产量和籽粒产量均高于喷施清水对照, 且二者均在 240 kg/hm² 时最高, 较喷施清水对照分别高 17.68%、5.55%, 反而在 720 kg/hm² 处理下玉米生物产量和籽粒产量均低于喷施清水对照, 分别减少 4.20%、0.31%, 这与前人的研究结果基本一致^[17-18], 原因可能有机硒生物肥过量导致玉米出现硒中毒, 反而影响其生物产量和籽粒产量。

籽粒和秸秆是玉米主要的收获器官, 其硒元素含量对于人体吸收硒有着重要的实际意义。黄丽美等^[19]研究表明, 随着叶面喷施硒肥浓度的增加, 玉米籽粒硒含量显著提高了约 1~5 倍。黄爱花等^[20]研究表明, 鲜食甜玉米籽粒硒含量均随着硒肥料浓度的增加而增加, 在大喇叭口期喷施硒肥玉米籽粒硒含量较喷施清水对照提高 13.4~39.8 倍, 差异达极显著水平。本试验结果表明, 喷施有机硒生物肥可显著提高玉米籽粒、秸秆硒含量, 与喷施清水对照相比, 其秸秆、籽粒硒含量分别提高了 5.86~22.31、0.28~1.49 倍, 且随有机硒生物肥的浓度增加而显著增加。综上所述, 喷施有机硒生物肥 240 kg/hm² 处理下, 玉米生物产量及籽粒产量最高, 而秸秆和籽粒硒含量以喷施有机硒生物肥 720 kg/hm² 处理最高。有研究表明, 过量补硒导致仔猪反应迟钝、不喜运动、喜趴卧、食欲锐减、黏膜发绀、部分有脱毛现象^[21]。为此, 玉米籽粒、秸秆硒含量过高反而不利于作为饲料原料进行直接喂养。结合陇东旱塬区玉米主要作为饲料的现实, 建议使用 240 kg/hm² 作为外源硒肥喷施的最佳用量, 既可以显著促进玉米生长, 增加其籽粒和生物产量, 又可以明显增加籽粒和秸秆硒含量。

参考文献:

- [1] 谢亚萍, 袁明璐, 任亮, 等. 硒肥促进作物提质增产机理研究进展[J]. 寒旱农业科学, 2025, 4(1): 8-13.
- [2] 沈乐丞, 温志刚, 廖涵, 等. 叶面喷施不同硒肥对水稻硒含量及硒形态和稻米组分的影响[J]. 中国农业科技导报(中英文), 2025, 27(3): 206-215.
- [3] 牛琴剑, 左刚, 夏志远, 等. 富硒畜禽产品与人类健康[J]. 中国科学: 生命科学, 2025, 55(3): 508-517.
- [4] 周圣利, 程水源, 杜赛男, 等. 富硒大豆苗的硒含量和主要营养品质分析及评价[J]. 食品科技, 2025, 50(4): 26-34.
- [5] 史祥宾, 刘凤之, 王孝娣, 等. 氨基酸硒叶面肥对梨果实硒含量及品质的影响[J]. 中国南方果树, 2016, 45(5): 105-107; 112.
- [6] 王玮, 汪国莲, 梁双林, 等. 叶面喷施氨基多糖硒肥对西瓜生长及产量品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(6): 1413-1420.
- [7] 邹成林, 翟瑞宁, 黄开健, 等. 叶面喷施硒肥对糯玉米产量、硒含量及重金属含量的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(4): 854-859.
- [8] 张巧霞, 郑富国, 白光庭, 等. 早熟玉米新品种亚盛 12 号选育报告[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(5): 422-424.
- [9] 党翼, 张建军, 赵刚, 等. 陇东旱塬覆膜玉米产量和氮肥利用率对秸秆还田与减氮的响应[J]. 草业科学, 2023, 40(1): 236-248.
- [10] 岳竞之, 孙迷平, 牛小沛, 等. 叶面施硒对玉米籽粒硒含量、产量的影响及富硒玉米安全生产[J]. 耕作与栽培, 2023, 43(1): 7-11; 17.
- [11] 赵丹, 高嵩, 李海燕, 等. 富硒有机肥在玉米上的应用效果初探[J]. 辽宁农业科学, 2024(2): 86-88.
- [12] 王晓媛, 孙娇. 有机肥替代氮肥对银北灌区盐化灌淤土理化性质及玉米生长的影响[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(1): 51-56.
- [13] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中硒的测定: GB 5009.93—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [14] 刘春菊, 刘夫国, 陈伟, 等. 叶面喷施硒肥对鲜食玉米硒富集的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(4): 713-716.
- [15] 黄龙伍, 杨建波, 陈翠萍, 等. 硒肥施用对鲜食玉米生长及品质的影响[J]. 南方农业, 2020, 14(14): 25-26; 28.
- [16] 罗连光, 郭亚飞, 杨勇, 等. 富硒植物营养素对桂东山区夏甜玉米产量及硒含量的影响[J]. 作物研究, 2013, 27(4): 311-313.
- [17] 郑阳, 杨华, 付忠军, 等. 不同硒处理对糯玉米籽粒硒含量及品质的影响[J]. 西南农业学报, 2013, 6(23): 1899-1901.
- [18] 郝玉波, 刘华琳, 慈晓科, 等. 施硒对两种类型玉米硒元素分配及产量、品质的影响[J]. 应用生态学报, 2012(2): 411-418.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 张军, 崔莹. 过量补硒对健康仔猪生长性能的影响[J]. 中国猪业, 2018, 13(3): 42-44.