



李琬,王雪扬,卢环,等.叶面喷施锌肥对小豆产量及籽粒锌含量的影响[J].黑龙江农业科学,2024(7):18-23.

叶面喷施锌肥对小豆产量及籽粒锌含量的影响

李琬^{1,2},王雪扬²,卢环²,刘森^{1,2},王晨²,高墙²,孟宪欣²,尹振功²

(1.黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所,黑龙江 哈尔滨 150023; 2.黑龙江省农业科学院,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为促进黑龙江省小豆产业提质增效,以龙红豆4号和冀红352为试验材料,分别于2022和2023年进行硫酸锌施用浓度和施用次数效果试验。2022年,设置5个 ZnSO_4 浓度(质量百分数为0%,0.1%,0.2%,0.3%和0.4%),在结荚期进行叶面喷施处理,研究其对小豆产量因子及籽粒锌含量的影响,并筛选出最佳施用浓度(0.3%)。2023年,在结荚初期、结荚中期、结荚初期+结荚中期,进行叶面喷施0.3%的 ZnSO_4 筛选出最佳喷施次数。2年研究表明,喷施外源 ZnSO_4 可提高小豆单株有效荚数、单株粒重和百粒重。喷施0.3%的硫酸锌最为适宜,能有效提高小豆百粒重和籽粒锌含量,分别较CK提高6.68%~9.97%和16.17%~25.33%;在结荚初期+结荚中期叶面喷施2次浓度为0.3%的外源 ZnSO_4 可显著提高小豆籽粒锌含量,龙红豆4号和冀红352较对照分别提高33.33%和48.16%,喷施2次与喷施1次相比,显著提高了冀红352的单株产量。

关键词:小豆;外源锌;产量;籽粒锌含量

小豆(*Vigna angularis*),又名红小豆、赤小豆、红豆等,其籽粒富含铁、蛋白质等营养元素,是药食同源作物^[1]。小豆在我国广泛种植,尤其是黑龙江省种植面积大,是核心产区之一^[2],同时小豆是重要的救灾作物和填闲作物^[3-4],也是典型的种植结构调整作物^[4]。

小豆作为一种非常重要的食用豆类^[5],其籽粒中富含铁元素,有助于提高血液中铁的含量,从而提高血氧含量,促进血液循环,预防贫血等。在植物体内,锌对多种酶起调节、稳定和催化作用,会影响高等植物体内的核酸、蛋白质和激素代谢,以及光合作用和呼吸作用^[6-7]。锌是人体最容易缺乏的3种微量营养元素之一,缺锌会引起消化功能、免疫功能等异常^[8]。

随着我国居民生活水平日益提高,对膳食结构和营养均衡有了新的更高要求,如何把小豆营养品质提高,做到锌铁同补,是小豆产业提质增效的重要研究方向之一。叶面喷施锌肥对谷子^[8]、小麦^[9]、水稻^[10]、花生^[11]、马铃薯^[12]、玉米^[13]等作物的产量和品质都具有良好的效果。李宇航^[13]研究指出叶面喷施锌肥有利于糯玉米的生长发育,可提高其穗重、穗长、穗粗等,降低秃尖长度。吕军等^[14]研究表明,喷施浓度为0.4%的锌肥有利于提高马铃薯产量和品质。付力成^[15]研

究表明,叶面施用锌肥不仅能够提高水稻抗氧化酶活性及叶绿素含量,还能有效提高水稻植株及籽粒锌含量。在小豆上应用外源锌的研究尚未开展,鉴于此,本研究开展结荚期叶面喷施微量硫酸锌,研究其对小豆产量和品质的影响,并明确最佳施用浓度及次数,以期为黑龙江省小豆产业提质增效和富锌小豆生产提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试小豆品种为龙红豆4号和冀红352,由国家食用豆产业技术体系栽培生理岗位提供;供试硫酸锌为科密欧试剂 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (分析纯),由天津市科密欧化学试剂有限公司生产。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于2022—2023年在黑龙江省农业科学院国家现代农业科技示范展示基地进行,试验地块前茬作物为玉米。田间试验小区为6行区,行长5 m,株距15 cm,人工精量点播每穴3粒,初生叶期间苗,每穴保苗2株。

2022年开展浓度筛选试验,于5月25日进行播种。试验采用完全随机设计,设置5个处理,CK(喷施蒸馏水)、Z1(叶面喷施0.1%锌肥)、Z2(叶面喷施0.2%锌肥)、Z3(叶面喷施0.3%锌

收稿日期:2024-01-02

基金项目:黑龙江省重点研发计划项目(GA21B009-14);国家食用豆产业技术体系项目(CARS-08-G8)。

第一作者:李琬(1977—),女,博士,助理研究员,从事食用豆生理研究。E-mail:hliwan@hotmail.com。

肥)、Z4(叶面喷施 0.4% 锌肥)。各处理 3 次重复,待植株长至结荚初期(7 月 7 日),于傍晚 16:00 进行人工叶面喷施不同浓度硫酸锌溶液,各处理喷施量均折合为 225 L·hm⁻²。其他管理措施同大田生产保持一致。

2023 年开展喷施次数试验,于 5 月 28 日进行播种。采用随机区组设计,2 个小豆品种各设置 4 个处理,CK(喷施蒸馏水)、T1(结荚初期叶面喷施 1 次 0.3% 锌肥)、T2(结荚初期和中期各叶面喷施 1 次 0.3% 锌肥)、T3(结荚中期叶面喷施 1 次 0.3% 锌肥),各处理 3 次重复。待植株长至结荚初期(7 月 10 日),于傍晚 16:00 进行人工叶面喷施(T1 和 T2 处理),各处理喷施量均折合为 225 L·hm⁻²。待植株长至结荚中期(7 月 25 日),于傍晚 16:00 进行人工叶面喷施(T2 和 T3 处理),各处理喷施量均折合为 225 L·hm⁻²。其他管理措施同大田生产保持一致。

1.2.2 测定项目及方法 待小豆植株成熟后,选取连续 10 株进行考种,取平均数作为 1 个生物学重复。质量用百分之一天平称量,籽粒锌含量使用电感耦合等离子体质谱仪检测,方法参照 GB 5009.268—2016。

1.2.3 数据分析 用 Excel 2010 处理试验数据并作图,使用 DPS 20.0 软件选择新复极差法进行显著性差异检验。

2 结果与分析

2.1 叶喷不同浓度锌肥对小豆产量性状的影响

2.1.1 单株有效结荚数 由表 1 可知,结荚初期喷施硫酸锌有促进小豆单株有效荚数增多的作用。对龙红豆 4 号来说,与 CK 相比,Z1、Z2、Z3、Z4 处理分别提高了 5.37%、10.58%、21.17% 和 10.58%,方差分析结果表明 Z3 处理显著提高了

小豆单株有效荚数,但未达到极显著水平。

对冀红 352 来说,与 CK 相比,Z1、Z2、Z3、Z4 处理分别提高了 4.71%、9.57%、33.29% 和 9.57%,经方差分析可知 Z3 处理显著提高了小豆单株有效荚数,但未达到极显著差异水平。

2.1.2 单株粒数 结荚初期喷施硫酸锌可增加小豆单株粒数。就龙红豆 4 号而言,各处理小豆单株粒数由高到低的顺序为 Z3>Z2=Z4>Z1>CK,其中 Z3、Z2、Z4 和 Z1 处理较 CK 分别提高了 18.58%、2.65%、2.65% 和 1.75%,经方差分析可知 Z3 处理显著提高了小豆单株粒数,并与其他处理达到极显著差异水平。

就冀红 352 来说,各处理小豆单株粒数由高到低的顺序为 Z3>Z2>Z4>Z1>CK,其中 Z3、Z2、Z4 和 Z1 处理较 CK 分别提高了 29.67%、17.18%、8.58% 和 4.69%,经方差分析可知 Z3 处理显著提高了小豆单株粒数,并且 Z3 处理与 CK 之间达到极显著差异水平(P<0.01)。

2.1.3 单株粒重 结荚初期喷施硫酸锌对小豆单株粒重具有增加的作用。对龙红豆 4 号而言,各处理小豆单株粒重由高到低的顺序为 Z3>Z4>Z2>Z1>CK,其中 Z3、Z4、Z2、Z1 处理较 CK 分别提高了 4.06%、2.71%、2.32% 和 1.75%,方差分析结果表明 Z3、Z4 和 Z2 处理与 CK 之间差异达到显著水平,且 Z3 处理与 CK 之间达到极显著差异水平。

就冀红 352 来说,各处理小豆单株粒重由高到低的顺序为 Z3>Z2>Z4>Z1>CK,其中 Z3、Z2、Z4、Z1 处理较 CK 分别提高了 14.74%、7.79%、7.58% 和 3.16%,方差分析结果表明 Z3、Z2 和 Z4 处理与 CK 之间存在显著性差异,并且均达到极显著差异水平。

表 1 叶喷不同浓度硫酸锌对小豆产量性状的影响

品种	处理	单株有效荚数/个	单株粒数/粒	单株粒重/g	百粒重/g
龙红豆 4 号	CK	6.33±0.40 aA	37.67±0.74 bB	5.17±0.04 cB	13.44±0.12 bB
	Z1	6.67±0.07 bA	38.33±0.59 bB	5.26±0.02 bcAB	13.58±0.04 bB
	Z2	7.00±0.27 abA	38.67±1.30 bB	5.29±0.03 abAB	13.64±0.06 bB
	Z3	7.67±0.07 aA	44.67±0.79 aA	5.38±0.03 aA	14.78±0.23 aA
	Z4	7.00±0.27 abA	38.67±1.07 bB	5.31±0.01 abAB	13.79±0.16 bB
冀红 352	CK	7.00±0.46 bA	42.67±1.04 cB	4.75±0.02 cC	11.23±0.10 bB
	Z1	7.33±0.24 abA	44.67±1.85 bcB	4.90±0.10 bcBC	11.52±0.04 bAB
	Z2	7.67±0.35 abA	50.00±1.33 abAB	5.12±0.06 bAB	11.63±0.09 abAB
	Z3	9.33±0.24 aA	55.33±0.74 aA	5.45±0.05 aA	11.98±0.11 aA
	Z4	7.67±0.96 abA	46.33±2.60 bcAB	5.11±0.07 bAB	11.47±0.15 bAB

注:数据为 3 次重复的平均值±标准误,数据后不同大、小写字母表示处理间在 P<0.01 和 P<0.05 水平差异显著。下同。

2.1.4 百粒重 结荚初期喷施硫酸锌可提高小豆百粒重。具体来看,龙红豆4号各处理的百粒重由高到低的顺序为 Z3>Z4>Z2>Z1>CK,其中 Z3、Z4、Z2 和 Z1 处理较 CK 分别提高了 9.97%、2.60%、1.49%和 1.04%,经方差分析可知 Z3 处理显著提高了小豆百粒重,并且达到极显著差异水平。

冀红 352 各处理的百粒重由高到低的顺序为 Z3>Z2>Z1>Z4>CK,其中 Z3、Z2、Z1 和 Z4 处理较 CK 分别提高了 6.68%、3.56%、2.58%和 2.14%,经方差分析可知 Z3 处理显著提高了小豆百粒重,并且与 CK 达到极显著差异水平。

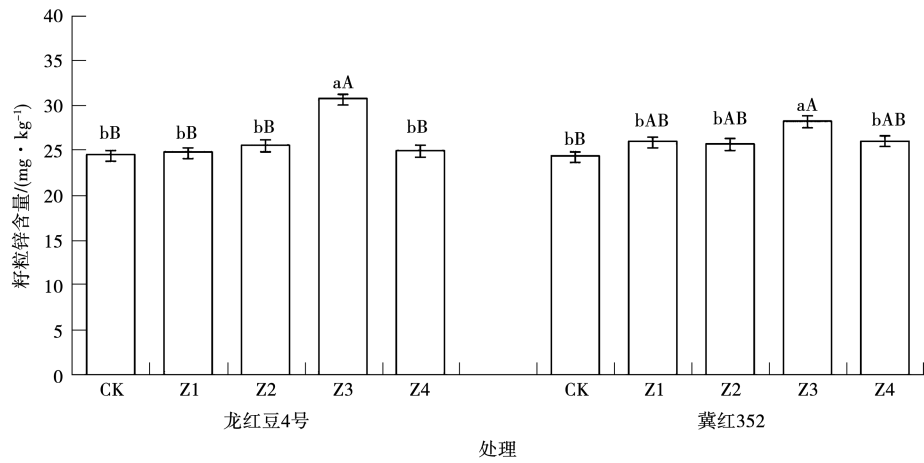


图 1 叶喷不同浓度硫酸锌对小豆籽粒锌含量的影响

注: 不同大、小写字母表示同一品种不同处理间在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

2.3 叶喷不同次数 0.3%的锌肥对小豆产量性状的影响

2.3.1 单株有效结荚数 由表 2 可知,结荚期喷施不同次数 0.3%硫酸锌对小豆单株有效荚数具有调增的效应,不同品种间效果存在差异。就龙红豆4号而言,与 CK 相比,T1、T2 和 T3 处理分

2.2 叶喷不同浓度锌肥对小豆籽粒锌含量的影响

由图 1 可知,龙红豆4号小豆籽粒锌含量由高到低的顺序为 Z3>Z2>Z4>Z1>CK,其中,Z3、Z2、Z4 和 Z1 处理锌含量比 CK 分别高 25.33%、4.41%、1.86%和 1.07%,经方差分析可知 Z3 处理极显著高于 CK,其他各处理与 CK 差异不显著。

对冀红 352 来说,籽粒锌含量由高到低的顺序为 Z3>Z4>Z1>Z2>CK,其中,Z3、Z4、Z1 和 Z2 处理锌含量比 CK 分别高 16.17%、7.21%、6.77%和 5.69%,经方差分析可知 Z3 处理极显著高于 CK($P<0.01$),其他各处理与 CK 之间的差异不显著。

别提高了 23.46%、52.91%和 17.64%,方差分析结果表明,T2 处理显著高于 CK($P<0.05$)。

冀红 352 单株有效荚数表现为 T2 处理最高,为 9.00,T1、T2 和 T3 处理较 CK 分别提高了 21.17%、42.18%和 15.80%,经方差分析可知 T2 处理极显著高于 CK($P<0.01$)。

表 2 叶喷不同次数 0.3%硫酸锌对小豆产量性状的影响

品种	处理	单株有效荚数/个	单株粒数/粒	单株粒重/g	百粒重/g
龙红豆 4 号	CK	5.67±0.55 bA	34.33±1.09 cB	4.10±0.18 bB	12.07±0.05 bA
	T1	7.00±0.72 abA	45.00±1.76 abAB	4.82±0.35 abAB	12.67±0.13 aA
	T2	8.67±0.46 aA	50.33±1.92 aA	5.55±0.16 aA	12.66±0.18 aA
	T3	6.67±0.74 abA	42.33±2.55 bAB	4.69±0.08 abAB	12.27±0.10 abA
冀红 352	CK	6.33±0.38 bB	40.67±3.77 bB	5.70±0.21 bB	13.59±0.10 bB
	T1	7.67±0.08 abAB	47.00±2.25 bAB	6.40±0.20 bAB	13.79±0.03 abAB
	T2	9.00±0.58 aA	60.67±1.30 aA	7.47±0.11 aA	14.05±0.03 aA
	T3	7.33±0.38 bAB	47.67±2.17 bAB	6.37±0.42 bAB	13.66±0.10 bAB

2.3.2 单株粒数 结荚期喷施不同次数 0.3%硫酸锌对小豆单株粒数有一定的影响,不同品种

间表现不一致。具体来看,不同处理龙红豆4号单株粒重的高低顺序为 T2>T1>T3>CK,T2、

T1 和 T3 处理较 CK 分别高 46.61%、31.08% 和 23.30%，方差分析结果表明 T2、T1 和 T3 处理与 CK 之间差异均达到显著水平 ($P < 0.05$)，T2 处理与 CK 之间差异达极显著水平 ($P < 0.01$)。

冀红 352 的单株粒数表现为 T1、T2 和 T3 处理较 CK 分别提高了 15.56%、49.18% 和 17.21%，且 T2 处理极显著高于 CK ($P < 0.01$)。

2.3.3 单株粒重 结荚期喷施不同次数 0.3% 硫酸锌对小豆单株粒重作用明显。对龙红豆 4 号来说，单株粒重的高低顺序为 $T2 > T1 > T3 > CK$ ，T2、T1 和 T3 处理较 CK 分别高 35.37%、17.56% 和 14.39%，方差分析结果表明 T2 处理与 CK 之间差异达到极显著水平 ($P < 0.01$)。

就冀红 352 单株粒重来说，T1、T2 和 T3 处理较 CK 分别提高了 12.28%、31.05% 和 11.75%，经方差分析可知 T2 处理极显著高于 CK ($P < 0.01$)。

2.3.4 百粒重 结荚期喷施不同次数 0.3% 硫酸锌对小豆百粒重具有增加的效应。对龙红豆 4 号来说，百粒重的高低顺序为 $T1 > T2 > T3 > CK$ ，T1、T2 和 T3 处理较 CK 分别高 4.97%、4.89% 和 1.66%，方差分析结果表明 T1 和 T2 处理与

CK 之间差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。

就冀红 352 百粒重来说，T1、T2 和 T3 处理较 CK 分别提高了 1.47%、3.38% 和 0.52%，经方差分析可知 T2 处理极显著高于 CK ($P < 0.01$)。

2.4 叶喷不同次数 0.3% 的锌肥对小豆籽粒锌含量的影响

由图 2 可知，结荚期喷施不同次数浓度为 0.3% 的硫酸锌对小豆籽粒锌含量的影响很大。对龙红豆 4 号而言，籽粒锌含量的高低顺序为 $T2 > T1 > T3 > CK$ ，T2、T1 和 T3 处理较 CK 分别提高 33.33%、17.48% 和 15.72%，方差分析结果表明，T2、T1 和 T3 处理均极显著高于 CK，同时 T2 处理也极显著高于 T1 和 T3，说明喷施 2 次 0.3% 的硫酸锌对龙红豆 4 号小豆籽粒锌含量的增加效果更为显著。

就冀红 352 而言，籽粒锌含量变化规律与龙红豆 4 号完全相同，也表现为 $T2 > T1 > T3 > CK$ ，T2、T1 和 T3 处理较 CK 分别提高 48.16%、15.52% 和 13.88%，方差分析结果表明，T2、T1 和 T3 处理均极显著高于 CK，同时 T2 处理也极显著高于 T1 和 T3 ($P < 0.01$)。

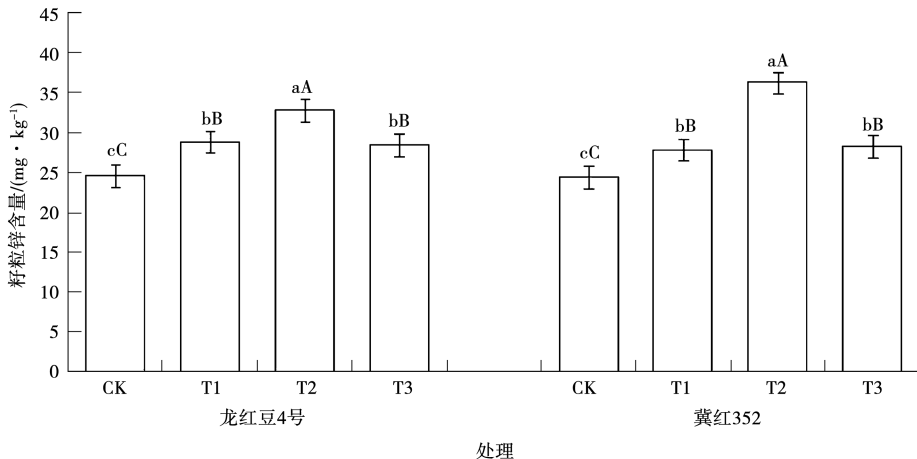


图 2 叶喷不同次数 0.3% 的锌肥对小豆籽粒锌含量的影响

3 讨论

锌是植物生长必需的微量元素之一，在作物新陈代谢过程中起着重要的作用，同时它也是多种酶的组分，具有促进蛋白质代谢、生殖器官发育及提高抗逆性等生理功能^[16]。适量施入外源锌肥能促进作物生长发育，提高保护酶活性，降低活性氧类物质生成和积累，还可以提升作物产量和品质^[17]。相关研究表明，过量施用锌肥对植物生长起到毒害作用，杜雪等^[18]对火炬树的研究中提

出锌肥施入表现为低促高抑的现象，适宜低浓度锌能提高抗氧化酶活性、起到抗逆促进生长的作用，但是高浓度则产生抑制的影响^[17-18]，相关的结论在小麦的研究中也得到证实^[16-17]。说明适宜浓度的施入，是提高外源锌肥促进作物生长的关键，本研究 2022 年浓度试验结果也表明叶面喷施较低 (0.1%) 或过高浓度 (0.4%) 的 $ZnSO_4$ 溶液对小豆籽粒锌含量作用不明显，只有施用适宜浓度 (0.3%) 才可显著提高小豆籽粒锌含量。

锌在人体免疫、生长发育及泌乳哺育等生理过程中作用明显,缺锌可导致人体发育迟缓,智力低下,加速衰老。锌不能在人体内由生理生化反应自动合成,因此增加膳食中锌的摄入量成为解决人类缺锌问题的重要措施。杨春霞等^[19]研究表明叶面喷施适量锌肥可以显著提升籽粒小麦产量和锌含量,董扬^[8]对谷子的研究中、肖静^[11]对花生的研究中、郭九信等^[20]、周三妮等^[21]在水稻的研究中也与本研究得到了相同的结果。庞丽丽等^[22]研究发现,玉米喷施锌肥的适宜浓度为 0.3%~0.4%,这与本研究在小豆上适宜喷施的浓度基本一致,说明这个浓度的锌肥可能适合在不同作物中应用。李辛^[23]研究表明叶面喷施锌肥的时期一般选择在植株生长的中后期。小豆开花结荚鼓粒期持续时间长,存在共同期,而鼓粒期是小豆籽粒产量和质量形成的关键期,本研究选择小豆结荚初期和结荚中期,喷施浓度为 0.3%的 ZnSO_4 溶液极显著提高了小豆籽粒的锌含量,结荚中期进行 2 次喷施的效果更为明显,对提高籽粒的锌含量与只喷施 1 次之间存在极显著的差异,因此中后期喷施锌肥更有助于小豆产量的增加以及籽粒锌含量的积累。

目前,对作物 Zn 营养方面的多数研究集中在对作物产量和品质的提高^[24-25],而对 Zn 在作物籽粒中的积累和运输方面研究得相对较少,同时对于 Zn 在籽粒中积累的机理还不是很清楚。因此后续将开展叶面喷锌肥对不同基因型小豆植株锌的吸收、积累、分配方面的研究。

4 结论

2022 年研究表明,小豆结荚期喷施浓度为 0.3%的硫酸锌(Z3)处理对小豆产量及籽粒锌含量提高具有较好的效果,与对照相比,其可使龙红豆 4 号和冀红 352 的单株荚数分别显著提高 21.17%和 33.29%,使单株粒数分别显著提高 18.58%和 29.67%,单株粒重分别显著提高 4.06%和 14.74%,百粒重分别显著提高 9.97%和 6.68%;同时可以使籽粒锌含量极显著提高 25.33%和 16.17%。

2023 年研究表明,结荚初期或结荚中期喷施 1 次硫酸锌(T1 或 T3)即可使龙红豆 4 号和冀红 352 的籽粒锌含量极显著提高 17.48%和 15.72%、15.52%和 13.88%;结荚初期+结荚中期喷施 2 次硫酸锌(T2)对小豆籽粒锌含量的提高作用更

为明显,龙红豆 4 号和冀红 352 籽粒锌含量分别比 CK 极显著提高了 33.33%和 48.16%,喷施 2 次硫酸锌(T2)与喷施 1 次硫酸锌(T1、T3)之间小豆籽粒锌含量差异也达到极显著水平,说明结荚初期+结荚中期喷施 2 次硫酸锌的生产效果更好。这为提高小豆营养品质及产品附加值提供了良好的理论基础,可为小豆产业提质增效提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 项洪涛,李璇,何宁,等. 苗期低温胁迫下烯效唑对红小豆根系抗寒生理及产量的影响[J]. 草业学报,2019,28(7):92-102.
- [2] XIANG H T, LI W, LIU J, et al. Effect of exogenous abscisic acid (ABA), a potential growth regulator on physiological response to chilling stress of adzuki bean (*Vigna angularis*) at flowering stage [J]. Legume Research an International Journal,2023,46(12):1604-1609.
- [3] 罗海婧,张永清,石艳华,等. 不同红小豆品种幼苗对干旱胁迫的生理响应[J]. 植物科学学报,2014,32(5):493-501.
- [4] 李璇,李博,项洪涛,等. 淹水胁迫及外源脱落酸对红小豆幼苗茎部生理及产量的影响[J]. 河南农业科学,2021,50(7):48-56.
- [5] 赵建京,范志红,周威. 红小豆保健功能研究进展[J]. 中国农业科技导报,2009,11(3):46-50.
- [6] LAMBERS H, BRUNDRETT M C, RAVEN J A, et al. Plant mineral nutrition in ancient landscapes: high plant species diversity on infertile soils is linked to functional diversity for nutritional strategies[J]. Plant and Soil,2011,348(1):7-27.
- [7] HAYDON M J, COBBETT C S. A novel major facilitator superfamily protein at the tonoplast influences zinc tolerance and accumulation in *Arabidopsis* [J]. Plant Physiology,2007,143(4):1705-1719.
- [8] 董扬. 叶面喷施锌肥对谷子籽粒产量及锌含量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2023(6):29-33.
- [9] 周国勤,申冠宇,陈真真,等. 微量元素对小麦产量品质的影响研究[J]. 农学学报,2023,13(1):11-15.
- [10] 胡法龙,赵洋,蔡永盛,等. 硫酸锌对盐碱地水稻穗部性状及产量的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2014,26(5):10-14.
- [11] 肖静. 结荚期喷施硫酸锌对高油酸花生生产的影响[J]. 基层农技推广,2023,11(6):87-89.
- [12] 杜平. 外源锌对马铃薯生长及块茎锌含量的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2021.
- [13] 李宇航. 叶面喷锌对糯玉米产量、籽粒中营养品质及矿质元素的影响[D]. 晋中:山西农业大学,2021.
- [14] 吕军,高青青,赵帆,等. 叶面喷施锌肥对马铃薯农艺性状、产量及品质的影响[J]. 陕西农业科学,2021,67(9):5-8.
- [15] 付力成. 叶面喷施锌肥对水稻锌吸收、分配及积累的影响[D]. 杭州:浙江大学,2011.
- [16] 胡兆平,马存金,任士伟,等. 硫酸锌拌种对小麦幼苗生长

发育的影响[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(4): 613-617.

[17] 曹梦琳, 赵智勇, 毕红园, 等. 灌浆期喷施外源锌对小麦生理特性及产量的影响[J]. 农业与技术, 2022, 42(23): 5-8.

[18] 杜雪, 彭玉兰, 张新彤, 等. 重金属铜、锌对火炬树幼苗生长及生理指标的影响[J]. 西南农业学报, 2022, 35(6): 1407-1414.

[19] 杨春霞, 张艳, 夏学智. 叶面喷施和滴灌条件下增施微肥对春小麦微量元素含量和产量的影响[J]. 河南农业科学, 2023, 52(2): 38-46.

[20] 郭九信, 廖文强, 孙玉明, 等. 锌肥施用方法对水稻产量及籽粒氮锌含量的影响[J]. 中国水稻科学, 2014, 28(2): 185-192.

[21] 周三妮, 王云霞, 赖上坤, 等. FACE 下二氧化碳、施氮量、密度和锌肥对Ⅱ优 084 稻米锌浓度及有效性的影响[J]. 中国水稻科学, 2014, 28(3): 289-296.

[22] 庞丽丽, 邹春琴. 主要粮食作物生产体系中锌肥的合理利用[J]. 中国农学通报, 2011, 27(27): 12-17.

[23] 李辛. 锌肥施用方式对玉米锌吸收积累的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013.

[24] 张晓, 卜冬宁, 李瑞奇, 等. 叶面喷施微肥对冬小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(4): 747-749.

[25] 孟丽梅, 杨子光, 张珂, 等. 喷施微肥对小麦籽粒产量及微量元素含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(14): 4283-4285.

Effects of Foliar Spraying Zinc Fertilizer on Seed Yield and Zinc Content of Adzuki Bean

LI Wan^{1,2}, WANG Xueyang², LU Huan², LIU Miao^{1,2}, WANG Chen², GAO Qiang², MENG Xianxin², YIN Zhengong²

(1. Institute of Crop Cultivation and Tillage, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150023, China; 2. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to promote the improvement of quality and efficiency in the adzuki bean industry in Heilongjiang Province, experiments were conducted on the effects of zinc sulfate application concentration and application frequency using Longhongdou 4 and Jihong 352 as experimental materials in 2022 and 2023, respectively. In 2022, five concentrations of ZnSO₄ (mass percentages of 0%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, and 0.4%) were set up for foliar spraying during the podding stage to study their effects on the yield factors of adzuki beans and the zinc content in seeds. The optimal application concentration (0.3%) was selected. In 2023, foliar spraying of 0.3% ZnSO₄ was conducted during the early, middle, and early+middle stages of podding to select the optimal spraying frequency. The results of the 2-year experiment showed that spraying exogenous ZnSO₄ can increase the effective pods per plant, grain weight per plant, and hundred grain weight of adzuki beans. Spraying 0.3% ZnSO₄ was the most suitable, which could effectively increase the 100 grain weight and zinc content of adzuki beans, increasing by 6.68%—9.97% and 16.17%—25.33% respectively compared to CK; Spraying exogenous ZnSO₄ with a concentration of 0.3% twice during the early and middle stages of podding could significantly increase the zinc content in adzuki bean seeds. Longhongdou 4 and Jidou 352 increased the zinc content by 33.33% and 48.16%, respectively. Compared with spraying once, spraying twice significantly increased the yield per plant of Jihong 352.

Keywords: adzuki bean; exogenous zinc; yield; zinc content in seeds

著作权使用声明

本刊已许可中国知网、维普网、万方数据、博看网、长江文库、超星、龙源期刊网、中邮阅读网等知识服务平台以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含著作权使用费,所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。

黑龙江农业科学编辑部