



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.

# 叶面喷施锌肥对谷子籽粒产量及锌含量的影响

董 扬

(黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘要:**为了促进富锌谷子生产,以黑龙江省主栽谷子品种嫩选 17 为试验材料,采用裂区设计,设置 5 个外源锌剂量(0, 2, 3, 4 和 5  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ),在拔节期、抽穗期、灌浆期进行叶面喷锌处理,研究不同生育期不同供锌水平对嫩选 17 产量因子及籽粒锌含量的影响。结果表明,产量指标对外源锌的响应有所不同,外源锌对穗长正效应随着喷施时期推移效果逐渐变小,而对单穗重、千粒重、产量、含锌量的正效应随着喷施时期推移,效果逐渐显现;剂量效应表现明显,中低剂量(T1~T3)下对谷子产量指标及籽粒锌含量有促进作用,高剂量(T4)下则表现为抑制作用;抽穗期和灌浆期施用外源锌能够显著提高谷子籽粒锌含量,喷施时期对籽粒锌含量的影响表现为灌浆期>抽穗期>拔节期。利用模糊隶属函数分析计算出在灌浆期施用 4  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  的硫酸锌对提高嫩选 17 产量因子及含锌量效果最好,5  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  施用剂量下效果次之。

**关键词:**谷子; 锌含量; 产量; 硫酸锌

谷子起源于我国黄河流域,在我国已经有 8 000 年的种植历史,对我国农耕文明产生了深远影响,其具有抗逆性强、营养价值高等特点,是典型的环境友好型作物,在中国的栽培面积居世界首位<sup>[1-3]</sup>。锌是动植物体内的必需微量元素,能够维持植物和动物的正常生理活动和功能,动植物生命活动中许多种酶必须有锌参与才能发挥作用<sup>[4]</sup>。对于植物来说,缺锌症状主要是植物叶片褪绿黄白化,叶形显著变小,生长缓慢、叶小、茎节间缩短,甚至节间生长完全停止<sup>[5]</sup>。对于人体来说,缺锌的人群容易出现消化功能减退、生长发育落后、免疫功能降低、智能发育延迟<sup>[6]</sup>。

锌对作物生理、产量及锌含量的影响在马铃薯、西瓜、番茄、小麦等大田和园艺农作物上广泛应用<sup>[7-10]</sup>。前人关于谷子叶面喷施锌的响应也做过一些研究,黄珊珊等<sup>[11]</sup>在谷子灌浆期喷施 4 种浓度的硫酸锌,研究发现谷子的光合指标均得到不同程度改善,产量指标随着浓度增加呈先升高后降低的变化趋势,综合分析出 0.004  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  的硫酸锌浓度处理下增产效果显著。高慧雅等<sup>[12]</sup>研究表明在谷子孕穗期连续 3 d 喷施 3 个剂量水平的硫酸锌后,可以显著提高谷子叶片中的抗氧

化酶活性及产量。前人对于谷子的富锌效应研究大多只是考虑到剂量水平而没有考虑到喷施时期,鉴于此本研究以黑龙江省主栽谷子品种嫩选 17 为研究对象,以硫酸锌为外源锌供体,在谷子拔节期、抽穗期和灌浆期对其叶面喷施硫酸锌进行富锌处理,探究叶面喷施外源锌对谷子产量因子和籽粒锌含量的影响,进而明确最佳施锌时期和剂量,为本地区谷子生产提质增效和富锌谷子生产提供技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试谷子品种嫩选 17 为黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院育成品种,登记号 GDP 谷子 2019(230069);锌肥供体为硫酸锌( $\text{ZnSO}_4$ )分析纯,购自无锡市晶科化工有限公司。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2021 年 5 月—9 月在依安县农业科技园进行,试验地块前茬为大豆。4 月 22 日灭茬、旋耕、起垄,施磷酸二铵 200  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、尿素 100  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、硫酸钾 75  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,4 月 27 日灌水,5 月 10 日采用机械开沟,人工播种,播后镇压。试验采用裂区设计,喷施时期为主因素,施药剂量为副因素,喷施分别设定在 3 个时期:拔节期(S1)、抽穗期(S2)和灌浆期(S3)。硫酸锌设 2  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (T1)、3  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (T2)、4  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (T3)、5  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (T4) 4 个剂量梯度,以清水(T0)为对照,共计 15 个处理,按照各处理设计剂量将硫酸锌溶于 2 L 清

收稿日期:2023-01-26

基金项目:齐齐哈尔市科学技术局创新激励项目(CNYGG-2022041, CNYGG-2022031);国家现代农业产业技术体系(CARS-06-14.5-B21)。

作者简介:董扬(1982—),女,硕士,助理研究员,从事杂粮作物遗传育种工作。E-mail:dongyang0717@126.com。

水中,采用水溶液叶面喷施的方法对各小区进行富锌处理,每小区硫酸锌溶液喷施量均为 2 L。每个小区为 4 行区,行长 4 m,小区面积 10.8 m<sup>2</sup>,3 次重复。各处理定植密度均为 40 万株·hm<sup>-2</sup>。

1.2.2 测定项目及方法 于成熟期每处理中间 4 行随机选取谷子 20 株,测定穗长、穗粗、单穗重、千粒重并对小区测产。

采用原子荧光法<sup>[13]</sup>对谷子不同施锌处理的籽粒锌含量进行测定。

1.2.3 数据分析 用 Excel 2019 和 SPSS 19.0 软件进行数据统计及方差分析。参照孙东雷<sup>[14]</sup>的方法运用模糊隶属函数和均方差系数赋予权重对参试品种进行综合评价,具体公式如下:

$$U_{ij} = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (1)$$

式中, $U_{ij}$ 表示*i*处理第*j*个指标的隶属函数值; $X_{ij}$ 表示*i*处理第*j*个指标值; $X_{j\max}$ 和 $X_{j\min}$ 分别表示第*j*个指标值中的最大值和最小值。

$$P_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 / \bar{X}_j} \quad (2)$$

$$W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j \quad (3)$$

式中, $W_j$ 表示第*j*个指标在所有指标中的权重; $P_j$ 为第*j*个指标的均方差系数。

$$D_i = \sum_{j=1}^n [U_{ij} \cdot W_j] \quad (4)$$

式中, $D_i$ 表示第*i*个处理的综合评价值,根据*D*值大小可以对各施锌处理下谷子综合表现进行排序。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同时期施用不同剂量锌肥对谷子穗部性状及产量的影响

2.1.1 穗长 由图 1 可知,穗长对不同喷施时期及喷施剂量外源锌的响应有所不同,在灌浆期(S3)喷施处理对穗长无显著影响,在拔节期(S1)和抽穗期(S2)喷施处理,嫩选 17 的穗长总体呈先升高后下降的变化趋势。拔节期喷施 T2~T4 处理的穗长显著高于 T0 处理,其中 T3 处理下的穗长最大(23.96 cm),较 T0 处理增加了 5.83%;抽穗期喷施只有 T3 处理下的穗长显著高于 T0 处理,较 T0 处理增加了 3.61%。综合来看随着喷施时期的推移,嫩选 17 穗长变化对硫酸锌的响应逐渐变弱。

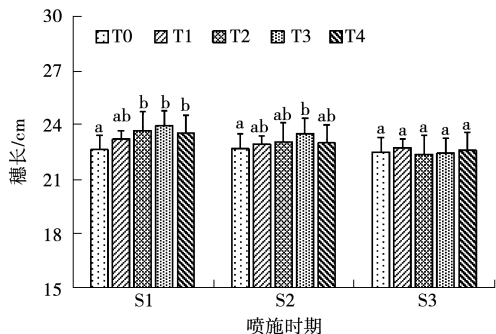


图 1 不同施锌处理对谷子嫩选 17 穗长的影响

注:不同小写字母表示在  $P < 0.05$  水平差异显著。下同。

2.1.2 单穗重 由图 2 可知,单穗重对不同喷施时期及喷施剂量外源锌的响应大体相同,在各喷施时期下,随着喷施剂量升高,单穗重整体呈先升高后降低的变化趋势,3 个喷施时期中,低剂量(T1)处理下的单穗重均与 T0 差异均不显著。拔节期和灌浆期喷施时,T2~T4 处理下的单穗重显著高于 T0;抽穗期喷施时,T3~T4 处理下的单穗重显著高于 T0;3 个喷施时期均在 T3 剂量处理下单穗重达到最高,分别比 T0 增加 4.04%、5.63%和 8.61%。从喷施时期来看,嫩选 17 的单穗重表现为灌浆期>抽穗期>拔节期,在灌浆期喷施外源锌对单穗重提高效果最好。

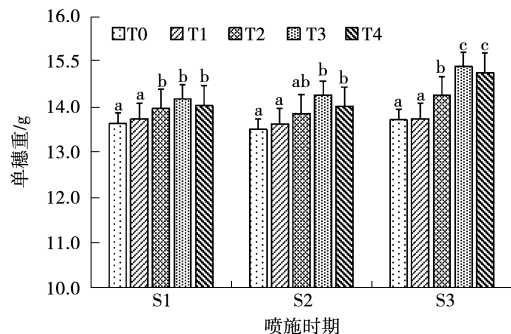
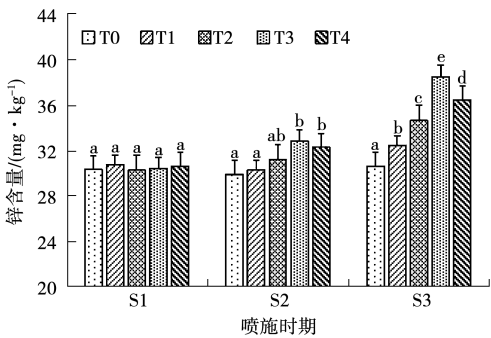
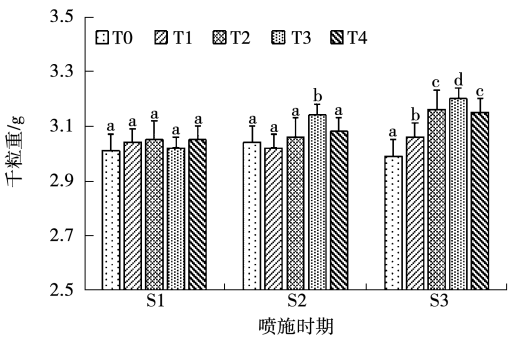


图 2 不同施锌处理对谷子嫩选 17 单穗重的影响

2.1.3 千粒重 由图 3 可知,千粒重对不同喷施时期及喷施剂量外源锌的响应有所不同。在拔节期进行 T1~T4 剂量外源锌喷施处理后,嫩选 17 的千粒重与 T0 相比没有显著变化;抽穗期只有 T3 处理下的千粒重显著高于 T0 处理,较 T0 处理增加了 3.29%。灌浆期喷施外源锌 T1~T4 剂量处理下的千粒重呈先升高后下降的变化趋势,且 T1~T4 处理千粒重均显著高于 T0 处理,T3 剂量下千粒重最高(3.14 g),较 T0 增加 7.02%。



**图 3 不同施锌处理对谷子嫩选 17 千粒重的影响**

2.1.4 产量 由图 4 可知,谷子嫩选 17 产量对各处理的响应与单穗重大体相同,在各喷施时期下,随着喷施剂量升高,产量整体呈先升高后降低的变化趋势,3 个喷施时期下,低剂量(T1)处理下的单穗重均与 T0 差异不显著。拔节期和抽穗期喷施,T3~T4 处理下的单穗重显著高于 T0,灌浆期喷施时,T2~T4 处理下的产量显著高于 T0;3 个喷施时期均在 T3 剂量处理下产量达到最高,分别为 4 058.35,4 180.17 和 4 352.96 kg·hm<sup>-2</sup>,比 T0 增加 5.37%、9.38% 和 12.37%。从喷施时期来看,嫩选 17 的产量整体表现为灌浆期>抽穗期>拔节期,在灌浆期喷施外源锌对产量提高效果最好。

图 5 不同施锌处理对谷子嫩选 17 籽粒锌含量的影响

2.3 不同锌肥处理的综合评价

为避免单一指标的片面性,本试验将穗部指标(穗长、单穗重、千粒重)、产量与籽粒锌含量相结合,将原始数据经过模糊隶属函数标准化,而后采用均方差系数赋予权重法计算了不同施锌处理下嫩选 17 各性状指标的综合评价。结果显示,将原始数据通过公式(1)进行隶属函数标准化(表 1),然后通过公式(2)和公式(3)确定各指标的权重系数,权重系数分别为穗长(11.15%)、单穗重(15.03%)、千粒重(10.57%)、产量(22.00%)、锌含量(41.25%),利用公式(4)计算出各施锌处理下嫩选 17 的综合评价价值。由表 1 可知,嫩选 17 在灌浆期 T3、T4 处理下的综合评价价值最高,分别为 0.89 和 0.75,富锌效果最好。

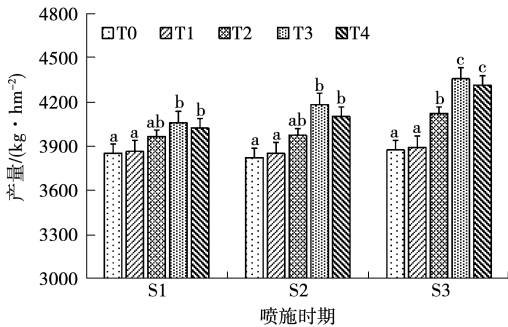


表 1 不同施锌处理下谷子嫩选 17 各性状指标的隶属函数值及排序

处理	穗长	单穗重	千粒重	产量	锌含量	D 值	排序
S1T0	0.16	0.09	0.10	0.06	0.05	0.07	14
S1T1	0.53	0.17	0.24	0.08	0.10	0.17	11
S1T2	0.83	0.33	0.29	0.27	0.04	0.25	9
S1T3	1.00	0.49	0.14	0.45	0.06	0.32	6
S1T4	0.73	0.38	0.29	0.38	0.08	0.29	7
S2T0	0.20	0.00	0.24	0.00	0.00	0.05	15
S2T1	0.35	0.09	0.14	0.05	0.05	0.10	12
S2T2	0.44	0.25	0.33	0.28	0.15	0.25	8
S2T3	0.73	0.55	0.71	0.67	0.34	0.53	3
S2T4	0.39	0.37	0.43	0.52	0.28	0.38	5
S3T0	0.07	0.15	0.00	0.10	0.08	0.09	13
S3T1	0.22	0.17	0.33	0.13	0.30	0.24	10
S3T2	0.00	0.54	0.81	0.56	0.55	0.52	4
S3T3	0.03	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	1
S3T4	0.13	0.90	0.76	0.92	0.76	0.75	2
权重/%	11.15	15.03	10.57	22.00	41.25		

**图 4 不同施锌处理对谷子嫩选 17 产量的影响**

2.2 不同时期施用不同剂量锌肥对谷子籽粒锌含量的影响

由图 5 可知,锌含量对不同喷施时期及喷施剂量外源锌的响应有所不同。嫩选 17 在拔节期喷施外源锌,T1~T4 处理下的锌含量均与 T0 差异不显著,抽穗期、灌浆期喷施时籽粒中锌含量随着剂量升高均呈先上升后下降的变化趋势。抽穗期喷施 T3、T4 处理下的籽粒中锌含量显著高于 T0 处理,分别较 T0 处理增加了 9.73% 和 7.99%。灌浆期喷施 T1~T4 剂量处理下的籽粒中锌含量均显著高于 T0 处理,T3 剂量下籽粒中锌含量达到最高(38.47 mg·kg<sup>-1</sup>),较 T0 增加 25.55%。



### 3 讨论

穗部性状指标和产量是评判是外源锌对谷子生长影响中最直观的指标,也是农业生产中最关心的指标。本研究中,各喷施时期下随着喷施剂量升高,产量呈先升高后降低的变化趋势,均在T3剂量下达到最高,T4剂量下产量开始下降,这一结果符合 Bertrand 生物剂量规律,即低浓度时,对植物的生长有促进效应,过量则对植物构成毒害<sup>[15]</sup>,本结论与曹梦琳<sup>[16]</sup>研究结果一致。拔节期 T2~T4 剂量处理的千粒重与 T0 差异不显著,而穗长和单穗重却显著高于 T0,这说明单穗重增加是通过提高穗粒数实现的。而通过抽穗期和灌浆期各剂量处理后的调查数据可以发现,抽穗期 T2 和 T4 剂量处理下的穗长及灌浆期 T1~T4 剂量下的穗长均与 T0 差异不显著,而单穗重(抽穗期 T3~T4、灌浆期 T2~T4)和千粒重(抽穗期 T3、灌浆期 T2~T4)却显著高于 T0,这是由于抽穗期和灌浆期谷子的穗粒数已基本确定,增产效应是通过提高千粒重实现的,这与邢艳丽<sup>[17]</sup>的研究结果一致。从喷施时期来看,各性状指标对喷施时期的响应并不相同,在拔节期喷施外源锌对穗长有一定影响,随着喷施时期推移效果逐渐变差,而单穗重、千粒重、产量、含锌量的表现规律与穗长相反,随着喷施时期推移,效果逐渐显现,不同生育时期下富锌处理后谷子性状指标变化趋向性并不一致,可能是由物种生物特性决定的。

贾永华等<sup>[18]</sup>对于不同作物的富锌研究结果表明,通过叶面喷施处理相比拌种或土壤施用,具有富锌见效快、效率高的特点,粮食作物经过叶面喷锌处理后,其籽粒中的锌含量可显著增加,但富锌效果与作物种类、喷施剂量、喷施时期有关<sup>[19-21]</sup>。本研究中嫩选 17 在拔节期处理的富锌效果不显著,而在抽穗期和灌浆期 T2~T4 处理下均可显著提高籽粒锌含量,且富锌效果呈先上升后下降的变化趋势,这与曹梦琳<sup>[16]</sup>研究中锌含量变化规律并不完全一致,可能是由于参试谷子品种对锌敏感度不同造成的。抽穗期和灌浆期 T3 剂量处理下锌含量达到最高,随后 T4 剂量处理下锌含量有所下降,这说明较高剂量锌对嫩选 17 产生了毒害作用,从而影响了锌元素吸收利用。不同生育时期叶面喷锌对嫩选 17 籽粒锌富集效果好的时期为灌浆期,这说明生育后期喷施锌肥更有利于谷子对锌的吸收积累,因为灌浆期是谷子籽粒形成的关键生育期,所以此时喷施锌可以更好地提高成熟后籽粒的锌含量。

### 4 结论

外源锌对提高谷子产量及籽粒中锌含量具有重要作用,从施锌时期来看,灌浆期施锌对嫩选 17 各指标提高效果优于拔节期和抽穗期。利用模糊隶属函数分析计算出在灌浆期施用  $4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的硫酸锌对提高嫩选 17 产量因子及籽粒中锌含量效果最好, $5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  施用剂量下效果次之。

#### 参考文献:

- [1] 刁现民. 中国谷子产业与产业技术体系[M]. 北京:中国农业科学与技术出版社,2011:20-30.
- [2] 李顺国,刘斐,刘猛,等.新时期中国谷子产业发展技术与展望[J]. 农学学报,2018,8(6):96-100.
- [3] 闫锋. 不同拌种剂对谷子白发病的防效评价[J]. 黑龙江农业科学,2022(6):49-52.
- [4] 谢奎忠,孙小花,罗爱花,等. 基施锌肥对长期连作马铃薯抗病性相关酶活性、土传病害和产量的影响[J]. 作物杂志,2022(4):154-159.
- [5] 杨秀芳,李会宁,马晓强,等. 不同锌肥处理对玉米生长的影响[J]. 耕作与栽培,2022,42(5):57-59.
- [6] 杨茜,吴娜,赵旬,等. 施锌对盐碱地玉米生理特性及籽粒锌含量的影响[J]. 中国农业科技导报,2022,24(9):166-176.
- [7] 毛伟荣. 施用锌肥对马铃薯产量的影响[J]. 特种经济动植物,2022,25(9):22-23.
- [8] 田琳,郭月萍,曾烨,等. 不同锌肥追肥量对温室小果型西瓜产量及品质的影响[J]. 蔬菜,2022(6):20-23.
- [9] 王妮妮. 不同锌肥施用方式对设施番茄产量和品质的影响[J]. 农业科技通讯,2022(9):129-131.
- [10] 李萌,谢平,黄应,等. 氮肥用量和喷施锌钾肥对小麦籽粒锌含量及生物有效性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2022,28(4):632-642.
- [11] 黄珊珊,王宏富,郑培斌,等. 灌浆期喷施硫酸锌对谷子光合特性及产量构成的影响[J]. 山西农业科学,2021,49(6):720-724.
- [12] 高慧雅,张爱军,赵丽. 叶面喷施锌硒肥对谷子抗氧化酶活性及籽粒锌硒含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(9):1724-1731.
- [13] 唐梦珊,吕志远,赵晓涵,等. 喷锌对黄土高原小麦籽粒营养品质及锌分布的影响[J]. 农业环境科学学报,2023,42(1):27-36.
- [14] 孙东雷,卞能飞,王幸,等. 高油酸花生萌发期耐冷性综合评价及种质筛选[J]. 核农学报,2021,35(6):1263-1272.
- [15] DJANAGUIRAMAN M, DEVI D D, SHANKER A K, et al. Selenium-an antioxidant protectant in soybean during senescence[J]. Plant and Soil, 2005, 272(1-2):77-86.
- [16] 曹梦琳. 喷施外源锌对谷子光合生理特性与品质及锌富集的研究[D]. 太谷:山西农业大学,2019.
- [17] 邢艳丽. 叶面喷施硫酸锌对张杂谷 10 号农艺性状及产量的影响[D]. 太谷:山西农业大学,2019.
- [18] 贾永华,李晓龙,牛锐敏,等. 叶面喷锌对苹果叶片生长及产量品质的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):218-220.
- [19] 蒋曦龙,王澜,乔月彤,等. 叶面喷锌对两种类型玉米产量、籽粒锌等矿质营养元素含量的影响[J]. 山东农业科学,2021,53(3):72-78.
- [20] 李宇航,杜天庆,龚芮,等. 叶面喷锌对糯玉米生理特性、籽粒锌含量及产量的影响[J]. 河南农业科学,2020,49(10):26-32.
- [21] 郝兴顺,姜雨含,吴玉红,等. 汉中地区稻种锌、铁、锰营养基因型差异及叶面喷锌对籽粒锌含量的影响[J]. 中国稻米,2019,25(4):74-77.

# Effects of Foliar Spraying Zinc Fertilizer on Grain Yield and Zinc Content of Millet

DONG Yang

(Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China)

**Abstract:** In order to promote the production of zinc rich millet, Nenxuan 17, the main millet variety in Heilongjiang Province, was used as the experimental material, and five zinc doses (0, 2, 3, 4 and 5 kg·ha<sup>-1</sup>) were set up in the split zone design. The leaf zinc spraying treatments were carried out at jointing stage, heading stage and filling stage. To study the effects of different zinc supply levels at different growth stages on yield factors and grain zinc content in Nenxuan 17. The results showed that the yield index had different responses to exogenous zinc. The positive effect of exogenous zinc on panicle length gradually decreased with the application period, while the positive effect on panicle weight, 1 000-grain weight, yield and zinc content gradually appeared with the application period. The dose effect was obvious. The medium and low dose (T1~T3) could promote the grain yield index and grain zinc content, while the high dose (T4) could inhibit the grain zinc content. Application of exogenous zinc at heading stage and filling stage could significantly increase the zinc content of grain. The influence of spraying stage on the zinc content of grain was as follows: filling stage> heading stage> jointing stage. The fuzzy membership function analysis was used to calculate that the application of 4 kg·ha<sup>-1</sup> zinc sulfate at the filling stage had the best effect on increasing the yield factor and zinc content of Nenxuan 17, followed by the application dose of 5 kg·ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** foxtail millet; zinc content; yield; zinc sulfate

立足黑龙江 辐射全中国 聚焦大农业 促进快发展

## 欢迎订阅2024年《黑龙江农业科学》

《黑龙江农业科学》是黑龙江省农业科学院主管、主办的综合性农业科技期刊，是全国优秀期刊、黑龙江省优秀期刊。现已被中国核心期刊（遴选）数据库、中国学术期刊综合评价数据库等多家权威数据库收录。

月刊，每月10日出版，国内外公开发行。全国各地邮局均可订阅，国内邮发代号14-61，每期定价25.00元。

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎关注微信公众号

地址：哈尔滨市南岗区学府路368号《黑龙江农业科学》编辑部

邮编：150086

电话：0451-51522869

投稿网址：hljnykx.haasep.cn E-mail:nykx1357@sina.com (非投稿邮箱)

