



种植密度及锌和硒对糯玉米穗部性状与鲜籽粒产量的影响

张瑞芳¹, Bosco Justin Shio¹, 郭少敏², 海江波¹, 董永利¹, 郭勇¹, 郝洛延¹

(1. 西北农林科技大学 农学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 医院, 陕西杨凌 712100)

摘要 为探明种植密度与微量元素锌和硒对糯玉米穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数、穗轴粗等穗部性状和鲜籽粒产量的影响,以‘陕白糯 11’和‘陕彩糯 1954’为材料,以种植密度为主区,设 3 个水平: D1 (3.75 万株·hm⁻²)、D2 (4.5 万株·hm⁻²)和 D3 (5.25 万株·hm⁻²);以微量元素为副区,设置为叶面喷施锌(M1)、硒(M2)和水(CK)。结果表明,喷施锌硒有利于糯玉米穗部性状的改善和产量的提升,但效果并不显著。种植密度会显著影响糯玉米的鲜籽粒产量,在一定的密度范围内,产量随着密度的增大而增大。D3M2 是实现‘陕白糯 11’穗部性状的改善和产量提升的较优组合,在 D3M2 处理下,‘陕白糯 11’鲜籽粒产量最高(9 068.61 kg·hm⁻²),与对照相比增加 8.14%;而‘陕彩糯 1954’在 D3M1 处理下鲜籽粒产量(7 622.46 kg·hm⁻²)和鲜果穗产量(10 565.61 kg·hm⁻²)最高,与对照相比分别增加 7.10%和 7.18%。

关键词 种植密度; 锌; 硒; 糯玉米; 穗部性状; 产量

锌是作物生长发育过程中的关键元素^[1],参与植物生理生化代谢活动,能够增加植物体内叶绿素的含量,影响光合反应中有关酶的合成^[2]。生育期喷施锌肥能增加作物产量,提高作物商品率^[3],缓解土壤结构性缺锌症状^[4-6]。硒参与了生物体生理代谢和生长发育中的多个生物学过程,对癌症等疾病有一定的防治作用^[7-8]。作物和人体对锌硒的需求量并不大,但是缺乏锌、硒后,作物会表现出“缺素症”,人体正常的功能代谢也会受到威胁。中国大部分土壤缺锌^[9],72%的土壤缺硒^[10]。人体自身也无法合成锌硒,只能通过饮食补充达到补锌硒的目的。匡恩俊等^[11]认为,通过作物外源硒的施用来提高作物秸秆和籽粒中的含硒量,进而可以实现人体的安全经济补硒。

糯玉米风味独特、营养丰富,被营养学家称为“新型营养保健食品”“绿色蔬菜”和“长寿食品”^[12],在中国有着广阔的发展前景。过去主要通过调整密度和肥料投入等栽培措施来实现玉米增产增收、提升品质。研究表明,密度过大过小都不利于糯玉米产量的提升,只有适宜的种植密度可以通过协调玉米群体的源库关系来达到增产目

的^[13-15]。氮磷钾肥的大量施入在实现作物增产增收、提升品质上确有成效,但与此同时,过量肥料的施用不仅会导致土壤中氮、磷、钾过剩,污染环境、而且会造成土壤板结严重,品质下降^[16-17];对于玉米而言,除了氮磷钾肥外,适量锌、硒等微量元素的施用和补充对玉米的生长发育也具有至关重要的作用。糯玉米多以鲜穗出售,穗部性状是衡量其商品品质的重要外观指标^[18],直接影响鲜食玉米的价格和市场竞争力。为了充分挖掘糯玉米的增产提质的潜力,前人更多关注施肥量和密度对糯玉米产量和品质的影响,而关于微量元素锌、硒对产量和穗部性状影响的研究较少。因此,本试验通过探究不同种植密度下,微量元素锌硒对糯玉米穗部性状及产量的影响。为实现糯玉米穗部性状的改善、产量的提升提供技术支持,为确定研究地区较为合理的糯玉米种植密度和微量元素处理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2021 年在陕西省咸阳市泾阳县西北

收稿日期:2022-11-15 修回日期:2023-01-01

基金项目:陕西省 2021 年度创新能力支撑计划(2021XYSF-12)。

第一作者:张瑞芳,女,硕士研究生,从事高效种植制度的研究。E-mail:1968660486@qq.com

通信作者:海江波,男,副教授,硕士生导师,从事高效种植制度的研究。E-mail:haijiangbo@126.com

农林科技大学小麦玉米试验示范站(34°36'N, 108°52'E)进行,该区海拔为 427.4 m,属温带大陆性季风气候,60%~70%的降雨量主要集中在 7-9 月。试验地土壤肥力均匀,土壤类型为壤土,0~40 cm 耕层基础养分如下:全氮含量为 1.46 g·kg⁻¹、速效磷含量为 17.69 mg·kg⁻¹、速效钾含量为 189.2 mg·kg⁻¹,有机质含量为 18.02 g·kg⁻¹、pH 为 7.9、有效锌的含量为 0.18 mg·kg⁻¹、全量硒含量为 0.10 mg·kg⁻¹。全生育期降水量和月平均气温如图 1 所示。

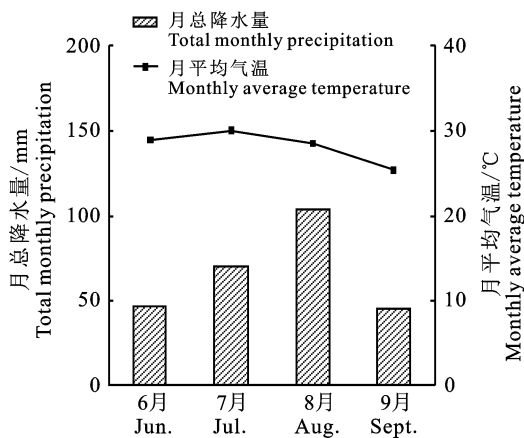


图 1 试验期间气象条件

Fig. 1 Meteorological conditions during the experiment

1.2 试验材料

供试玉米品种:‘陕白糯 11’(西北农林科技大学选育的玉米品种)、“陕彩糯 1954”(西北农林科技大学农学院专用玉米研究室提供)。供试微肥为七水合硫酸锌、富硒离子肥。

1.3 试验设计

采用二因素裂区不完全随机区组设计,每个品种设 3 个密度作为主区:D1 (3.75 万株·hm⁻²)、D2 (4.5 万株·hm⁻²)、D3 (5.25 万株·hm⁻²),叶面喷施锌(M1)和硒(M2)2 种微量元素作为副区,以喷施水为对照。小区面积为 21 m²,行距为 60 cm,株距变化以调节密度。试验地前茬种小麦,小麦收获后旋耕 2 次整地。磷肥选用磷酸二铵(N-P₂O₅-K₂O 比例为 16-44-0,用量为 375 kg·hm⁻²) 在播前施入。氮肥选用尿素(含氮 46.4%,300 kg·hm⁻²),分别在播前和拔节期按 1:1 施入。锌硒采用叶面喷施,其中锌的浓度为 2 g·L⁻¹,硒肥按照富硒离子肥的说明使用(肥与水 1:500 配制),分别于 6 叶期、8 叶期和 10 叶期均匀喷施于叶片表面。采用人工点播方式播种,出苗后及时查苗补苗。田间管理依据当

地生产实际进行。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 农艺性状 叶面积和叶绿素的测定:于抽雄期、成熟期选取有代表性的 5 株糯玉米测定“棒三叶”的叶面积和叶绿素。用直尺量取“棒三叶”叶片中脉长度和叶片宽度,利用系数法求得单叶面积,即单叶面积=叶片中脉长度×叶片宽度×系数(0.75),最后将“棒三叶”叶面积累积求和^[19]。使用便携式叶绿素仪(SPAD-502 PIUS)测定“棒三叶”的叶绿素,取平均值。

1.4.2 穗部性状 在糯玉米鲜食期,每个小区选取有代表性的 3 个果穗,去掉苞叶测定净穗鲜质量、穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数、穗轴直径等。

1.4.3 产量 在糯玉米鲜食期,统计每个小区中间 3 行 3 米样段内的果穗数,称其总鲜穗净质量,计算鲜果穗产量;每个处理分别选取 10 个代表性果穗,剥下鲜籽粒后称量,计算鲜籽粒产量。

1.5 数据处理

试验采用 Excel 进行数据整理与做图,应用 SPSS 26.0 对数据统计分析,采用 Duncan 氏法进行多重比较和差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 种植密度和锌硒对糯玉米农艺性状的影响

2.2.1 糯玉米“棒三叶”叶面积 由表 1 可知,‘陕白糯 11’“棒三叶”的叶面积大于‘陕彩糯 1954’的。2 个品种在成熟期“棒三叶”叶面积均有降低趋势。抽雄期“棒三叶”叶面积整体表现为:穗位叶>穗下叶>穗上叶,成熟期表现为:穗下叶>穗位叶>穗上叶。随着密度的增大,2 个品种的“棒三叶”总面积有不同程度的减小趋势。在成熟期密度对‘陕白糯 11’的“棒三叶”叶面积及总面积影响不显著,但锌硒处理可显著增大成熟期的总叶面积。在 D3M1 和 D3M2 处理下,‘陕白糯 11’成熟期“棒三叶”的总叶面积与对照相比分别增大了 12.25%和 11.15%。在抽雄期和成熟期,不同种植密度和锌硒处理对‘陕彩糯 1954’的总叶面积均没有显著影响,而在 D3 密度下,微量元素锌、硒的喷施有利于降低成熟期叶面积减小的幅度。由上可知,‘陕白糯 11’的整体光和面积要大于‘陕彩糯 1954’,在较高密度(D3)下,喷施微量元素锌硒能够促进‘陕白糯 11’“棒三叶”总叶面积的提高,有利于降低‘陕彩糯 1954’成熟期叶面积减小的幅度。

表 1 不同处理下糯玉米“棒三叶”的叶面积

Table 1 Total area of leaves at ear nodes and leaves at nodes immediately above and below ear nodes of corn varieties under effects of planting densities, zinc and selenium spraying

品种 Variety	密度 Density	微量元素 Microelement	抽雄期 Tasseling				成熟期 Maturity			
			穗上叶/cm ² Leaves immediately above ear node	穗位叶/cm ² Leaves at ear node	穗下叶/cm ² Leaves immediately below ear node	总叶 面积/cm ² Total	穗上叶/cm ² Leaves immediately above ear node	穗位叶/cm ² Leaves at ear node	穗下叶/cm ² Leaves immediately below ear node	总叶 面积/cm ² Total
陕白糯 11 Shaanbainuo 11	D1	CK	683.42 b	731.08 a	700.15 a	2 114.65 b	556.30 c	593.18 cd	602.95 c	1 752.42 c
		M1	740.06 ab	756.50 a	745.72 a	2 238.67 ab	629.77 bc	640.87 bcd	640.53 bc	1 911.17 bc
		M2	774.96 a	745.72 a	772.22 a	2 344.22 a	716.77 a	710.15 a	728.10 a	2 155.02 a
	D2	CK	716.37 ab	710.78 a	739.29 a	2 200.22 ab	608.38 bc	635.16 bcd	645.25 bc	1 888.78 bc
		M1	730.41 ab	759.09 a	770.29 a	2 276.76 ab	583.82 bc	599.70 bcd	638.76 bc	1 822.27 bc
		M2	714.84 ab	767.37 a	753.10 a	2 237.25 ab	558.70 c	631.30 bed	641.91 bc	1 831.91 bc
	D3	CK	690.39 b	779.04 a	707.45 a	2 151.58 b	580.91 bc	580.51 d	616.66 bc	1 778.07 c
		M1	720.05 ab	726.78 a	745.02 a	2 237.35 ab	650.16 ab	668.47 ab	677.17 ab	1 995.80 ab
		M2	687.50 b	746.28 a	728.09 a	2 138.28 b	656.89 ab	663.80 abc	655.56 bc	1 976.25 ab
方差分析 Variance analysis	D		1.702 ns	0.023 ns	1.162 ns	1.021 ns	3.994 *	1.011 ns	0.392 ns	1.841 ns
	M		1.957 ns	0.087 ns	2.799 ns	2.338 ns	5.082 **	6.321 **	4.893 **	6.653 **
	D×M		1.523 ns	0.588 ns	0.584 ns	1.341 ns	5.007 **	3.020 *	3.283 *	4.305 **
陕彩糯 1954 Shaancaينو 1954	D1	CK	574.94 ab	603.29 abc	603.69 a	1 781.91 ab	528.02 a	560.40 a	590.06 a	1 678.48 a
		M1	590.76 ab	600.55 abc	579.43 a	1 770.73 ab	566.63 a	568.10 a	563.88 a	1 698.61 a
		M2	591.52 ab	611.38 ab	618.80 a	1 821.70 ab	564.54 a	573.16 a	597.09 a	1 734.80 a
	D2	CK	572.02 ab	604.56 abc	601.71 a	1 778.28 ab	533.84 a	571.56 a	584.65 a	1 690.05 a
		M1	543.34 b	560.17 c	603.34 a	1 716.83 b	537.32 a	560.56 a	569.87 a	1 667.75 a
		M2	556.64 ab	567.04 bc	576.79 a	1 700.47 b	569.61 a	573.28 a	588.36 a	1 731.25 a
	D3	CK	593.79 a	636.50 a	608.98 a	1 839.27 a	528.08 a	557.51 a	558.93 a	1 644.52 a
		M1	550.78 ab	577.08 bc	579.25 a	1 707.10 b	527.35 a	561.42 a	568.81 a	1 657.58 a
		M2	546.86 ab	575.36 bc	583.82 a	1 706.04 b	553.89 a	549.91 a	576.03 a	1 679.84 a
方差分析 Variance analysis	D		2.94 ns	3.04 ns	0.39 ns	1.93 ns	1.01 ns	0.68 ns	1.45 ns	1.55 ns
	M		1.31 ns	5.51 *	1.20 ns	2.79 ns	3.86 *	0.02 ns	1.97 ns	1.75 ns
	D×M		1.50 ns	1.79 ns	1.60 ns	1.47 ns	0.67 ns	0.30 ns	0.63 ns	0.17 ns

注: D、M 分别代表播种密度、微量元素; D×M 表示交互效应。CK、M1 和 M2 分别代表喷施水、锌和硒。同一列的不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。*、** 分别表示在 5%、1% 水平上差异显著, ns 表示不同处理对各指标影响不显著。下同。

Note: D and M represent the planting density and microelement spray, respectively; D×M, Interaction effects. CK, M1 and M2 stand for spraying water, zinc and selenium, respectively. Different letters with in the same columns indicate significant differences at $P=0.05$. * and ** mean significant differences at $P=5\%$ and 1% , respectively, ns indicating that different treatments have no significant, the same below.

2.2.2 糯玉米叶绿素含量 如图 2 所示, 2 个品种的叶绿素含量在不同时期有显著的差异。与抽雄期相比, 不同处理下 2 个品种的叶绿素含量在成熟期均有所下降, ‘陕白糯 11’ 的降低幅度较小。密度和微量元素喷施对 2 个品种的叶绿素含量均没有显著影响。在一定密度范围内, 2 个品种的叶绿素含量不会随着种植密度的变化而变化。在同一种种植密度下, M1、M2 处理后, 2 个品种的叶绿素含量与 CK 之间并没有显著差异, 但 M1 在一定程度上会降低叶绿素的含量。由此可知, ‘陕白糯 11’ 的持绿性较 ‘陕彩糯 1954’ 强, 叶

片衰老速度较慢。D3 密度处理下, 喷施微量元素并不会显著降低 2 个品种的叶绿素含量。

2.2 种植密度和锌硒对糯玉米穗部性状的影响

由表 2 可知, ‘陕白糯 11’ 的穗部性状要优于 ‘陕彩糯 1954’。密度和微量元素对不同品种穗部性状的影响不同。低密度 (D1) 下 2 个品种的穗部性状要优于较高种植密度 (D2、D3), 但整体影响并不显著。种植密度对 ‘陕白糯 11’ 的行粒数和穗轴直径有极显著影响, 除穗轴直径和秃尖长外, ‘陕白糯 11’ 的其他穗部性状随着密度的增大略有下降。‘陕白糯 11’ 在 D1 密度下的行粒数

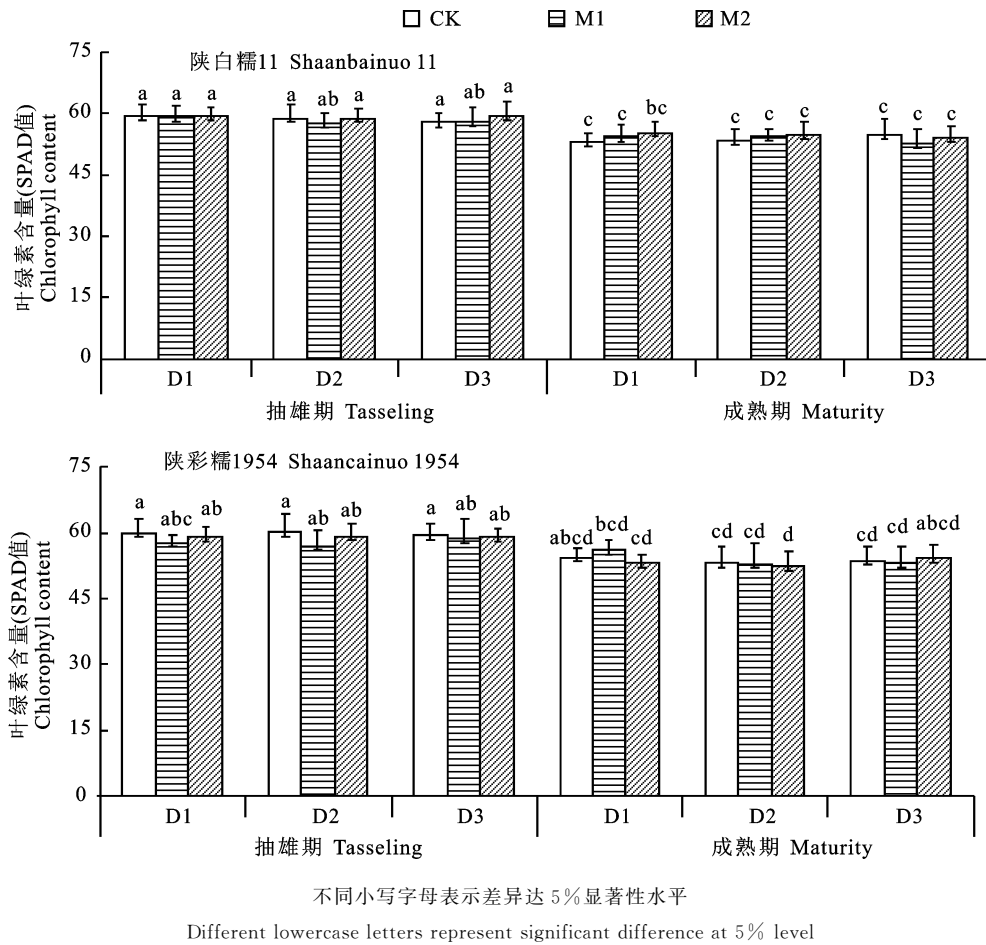


图 2 不同处理下糯玉米的叶绿素含量

Fig. 2 Chlorophyll contents of waxy corn under effects of planting densities, zinc and selenium spraying

显著高于 D2、D3 密度，穗轴直径则相反，在此密度下喷施微量元素会降低‘陕白糯 11’的穗部品质。在 D3 密度下，M1、M2 处理与 CK 相比则有利于‘陕白糯 11’穗部性状的改善。种植密度对‘陕彩糯 1954’的鲜穗净质量和行数有极显著影响，D1 密度下‘陕彩糯 1954’的鲜穗净质量显著高于 D2、D3 密度水平。D1M1 和 D3M1 处理下，鲜穗净质量与对照相比略有提升。总体说明，较高种植密度(D2、D3)不会对 2 个品种的整体穗部性状产生显著的负效应，在 D3 种植密度下，喷施微量元素对‘陕白糯 11’穗部性状的改善有一定促进作用，且 M2 处理的作用效果要优于 M1，而 M1 有利于‘陕彩糯 1954’穗部性状的改善。

2.3 种植密度和锌硒对糯玉米产量的影响

由表 3 可知，‘陕白糯 11’的产量高于‘陕彩糯 1954’。播种密度对 2 个品种鲜果穗产量和鲜籽粒产量的影响都达到极显著水平，随着密度的增大，2 个品种的鲜果穗产量和鲜籽粒产量均升高。喷施微量元素锌、硒以及密度和微量元素的

交互对各产量的影响不显著，喷施相同的微量元素对不同品种的增产效应不同，‘陕白糯 11’在 D3M2 处理下，鲜籽粒产量(9 068.61 kg · hm⁻²)和鲜果穗产量(10 749.83 kg · hm⁻²)都最高，与对照相比，分别增加了 8.14% 和 7.94%；而‘陕彩糯 1954’在 D3M1 处理下，鲜籽粒产量(7 622.46 kg · hm⁻²)和鲜果穗产量(10 565.61 kg · hm⁻²)与对照相比分别增加了 7.10% 和 7.18%。说明密度会显著影响鲜籽粒和鲜果穗产量，在一定的密度范围内，产量随着密度的增大而增大。而微量元素锌硒的增产效应并不显著，且不同品种对锌硒 2 种微量元素的敏感度不同。D3M2 处理有利于‘陕白糯 11’增产，D3M1 处理更有利于‘陕彩糯 1954’增产。

3 讨论

3.1 种植密度对糯玉米穗部性状和产量的影响

鲜食玉米的穗部性状受种植密度的影响较大，高种植密度会显著降低有效穗长、出籽率以及

表 2 不同处理下糯玉米的穗部性状

Table 2 Ear characters of waxy corn under effects of planting densities and zinc,selenium spraying

品种 Variety	密度 Density	微量元素 Microelement	鲜穗净质量/g Net mass of fresh ears	穗长/cm Ear length	穗粗/cm Ear width	秃尖长/cm Bald tip length	行数 Row number per ear	行粒数 Kernel number per row	穗轴直径/cm Cob diameter
陕白糯 11 Shaanbainuo 11	D1	CK	254.32±10.87 a	17.48±0.82 ab	4.68±0.16 a	0.17±0.41 ab	15.00±1.10 a	37.17±1.60 a	2.72±0.23 bc
		M1	249.51±37.01 a	18.05±1.43 a	4.48±0.13 ab	1.17±0.75 a	14.00±1.79 a	36.83±3.37 a	2.68±0.19 c
		M2	236.43±18.19 ab	18.25±0.82 a	4.40±0.25 ab	0.80±0.81 ab	14.00±1.26 a	36.33±1.37 ab	2.73±0.27 abc
	D2	CK	241.75±37.40 ab	17.70±0.86 ab	4.40±0.24 ab	0.00±0.00 b	14.00±0.00 a	35.67±1.86 ab	2.93±0.08 ab
		M1	241.30±29.11 ab	17.70±0.35 ab	4.32±0.21 b	0.45±0.73 ab	14.33±1.51 a	34.00±2.19 bc	2.95±0.08 a
		M2	235.81±26.20 ab	16.95±1.47 ab	4.52±0.29 ab	0.60±0.76 ab	14.33±1.51 a	32.83±2.40 c	2.93±0.12 ab
	D3	CK	209.03±20.41 b	17.10±1.53 ab	4.37±0.22 b	0.58±0.80 ab	13.67±1.51 a	33.67±1.97 bc	2.75±0.19 abc
		M1	232.69±27.68 ab	16.57±0.56 b	4.50±0.30 ab	0.67±0.61 ab	14.00±1.79 a	33.67±1.86 bc	2.92±0.10 ab
		M2	250.89±20.54 a	17.82±0.62 ab	4.58±0.13 ab	0.58±1.43 ab	13.67±1.51 a	36.17±1.33 ab	2.93±0.08 ab
方差分析 Variance analysis	D		1.61ns	2.56ns	1.15ns	1.01ns	0.77ns	8.40**	9.08**
	M		0.31ns	0.33ns	0.44ns	2.14ns	0.11ns	0.47ns	0.81ns
	D×M		2.12ns	1.94ns	2.39ns	0.66ns	0.55ns	2.74**	0.83ns
陕彩糯 1954 Shaancaينو 1954	D1	CK	210.82±9.54 a	17.23±0.23 a	4.28±0.15 ab	0.35±0.59 ab	14.67±1.03 ab	35.17±1.33 a	2.70±0.17 abc
		M1	214.82±0.00 a	17.03±0.55 a	3.62±1.68 b	0.00±0.00 b	14.33±0.82 ab	34.00±1.26 a	2.67±0.19 bc
		M2	205.38±11.56 ab	16.45±0.43 ab	4.42±0.10 a	0.00±0.00 b	15.33±1.63 a	33.83±1.47 a	2.93±0.34 a
	D2	CK	189.81±9.22 c	16.70±0.77 ab	4.27±0.20 ab	0.05±0.12 b	13.33±1.03 b	34.83±2.14 a	2.83±0.22 ab
		M1	187.92±19.64 c	16.75±0.88 ab	4.00±0.33 ab	0.37±0.43 ab	13.33±1.03 b	34.83±1.17 a	2.67±0.20 bc
		M2	189.32±12.19 c	16.68±0.48 ab	4.20±0.17 ab	0.08±0.20 b	13.33±1.03 b	34.83±2.23 a	2.57±0.08 c
	D3	CK	186.76±6.89 c	16.67±0.43 ab	4.18±0.16 ab	0.00±0.00 b	13.67±0.82 b	35.33±1.21 a	2.57±0.10 c
		M1	196.73±11.03 bc	16.92±0.82 ab	4.22±0.12 ab	0.38±0.45 ab	13.67±1.51 b	34.67±2.66 a	2.72±0.17 abc
		M2	182.46±12.27 c	16.22±0.29 b	4.17±0.16 ab	0.77±0.68 a	14.33±0.82 ab	33.50±3.27 a	2.60±0.11 bc
方差分析 Variance analysis	D		21.47**	1.25 ns	0.09 ns	2.59 ns	7.68**	0.29 ns	2.44 ns
	M		1.93 ns	3.3*	1.67 ns	0.8 ns	1.25 ns	1.28 ns	0.05 ns
	D×M		0.82 ns	0.91 ns	0.95 ns	4.29**	0.36 ns	0.41 ns	3.79**

注:数据为“平均值±标准误”。下同。

Note: Values are “means ± standard error”, the same below.

表 3 不同处理下糯玉米的鲜籽粒产量和鲜果穗产量

Table 3 Fresh kernel and ear yields of waxy maize under effects of planting densities, zinc and selenium spraying

密度 Density	微量元素 Microelement	陕白糯 11 Shaanbainuo 11		陕彩糯 1954 Shaancaينو 1954	
		鲜籽粒产量/ (kg·hm ⁻²) Fresh kernel yield	鲜果穗产量/ (kg·hm ⁻²) Fresh ear yield	鲜籽粒产量/ (kg·hm ⁻²) Fresh kernel yield	鲜果穗产量/ (kg·hm ⁻²) Fresh ear yield
D1	CK	6 110.77±96.87 cd	7 768.53±847.88 c	5 807.86±12.73 d	7 376.31±1 032.77 b
	M1(Zn)	6 020.29±184.55 d	7 699.08±785.92 c	5 732.24±14.85 d	7 522.43±878.62 b
	M2(Se)	5 573.68±503.40 d	7 352.96±726.64 c	5 802.69±21.21 d	7 616.87±602.23 b
D2	CK	6 775.25±697.30 bc	9 058.98±884.91 bc	6 045.6±100.80 cd	9 193.04±821.72 ab
	M1(Zn)	7 432.65±97.65 b	9 087.96±861.77 bc	6 109.5±339.72 cd	8 730.86±1 030.11 ab
	M2(Se)	7 189.97±65.05 b	8 949.64±809.93 bc	6 283.14±326.78 c	9 364.69±614.26 ab
D3	CK	8 385.75±85.45 a	9 958.42±878.56 ab	7 116.85±16.97 b	9 857.82±514.44 a
	M1(Zn)	8 643.06±79.20 a	10 542.54±775.93 ab	7 622.46±19.16 a	10 565.61±765.05 a
	M2(Se)	9 068.61±62.23 a	10 749.38±939.27 a	7 366.41±5.73 ab	10 511.66±1 239.89 a
方差分析 Variance analysis	D	130.37**	18.56**	159.64**	15.96**
	M	1.31 ns	0.12 ns	2.04 ns	0.26 ns
	D×M	2.8 ns	0.52 ns	2.09 ns	0.24 ns

百粒质量等商品性状^[20]。张慧等^[21]研究表明, 种植密度加大, 玉米的穗粒数、千粒质量下降, 致使玉米籽粒库容和单株籽粒产量显著降低。这与本研究“除穗轴直径和秃尖长外, ‘陕白糯 11’ 的其他穗部性状随着密度的增大有一定的下降趋势”的结论基本一致。段留生等^[22]研究表明良好源库关系的建立与协调是保证单株良好生长环境建立的基础。合理的种植密度有利于群体效应的发挥, 协调源库关系, 糯玉米单株在低密度下水肥供应充足, 田间光照和养分竞争小, 植株叶片持绿性较好, 叶绿素含量较高, 籽粒灌浆期延长且灌浆充分, 有利于增大穗长, 减小秃尖长度, 增加穗行数和行粒数, 保证果穗发育良好, 单穗鲜质量提高; 而在高种植密度下, 不合理的冠层结构影响了田间的通风透光性^[23], 导致植株对光照和养分等资源的竞争大, 消耗速率提升, 棒三叶的叶面积受到一定的限制, 叶绿素含量受限减小, 果穗秃尖长增大, 穗长增大受限, 穗行数和行粒数减少, 单穗鲜质量降低, 从而导致果穗商品品质降低。而在本研究中, 与低种植密度相比, D3 种植密度并没有对农艺性状和穗部性状产生显著的负效应。说明在 D3 种植密度下, 2 个品种仍能较好地协调源库关系, 构建出合理的群体结构, 促进群体间良性竞争关系的形成, 从而降低了高密度对穗部性状带来的不利影响。

种植密度是影响玉米产量的关键因素, 可以通过适度增加密度来提高产量^[24-25]。段留生等^[22]研究发现适宜的种植密度有利于籽粒同化物的积累, 从而可以显著提高鲜食玉米的单穗鲜质量。Tollenaar 等^[26]和赵文明等^[27]研究表明, 密植是提高玉米单产的重要措施之一; 群体产量会随着单株籽粒产量的降低而降低, 随着亩穗数的升高而升高^[21]。佟屏亚等^[28]研究认为, 玉米单株的生产效应会因为种植密度的增加而有所下降, 当单株生产效应对总产量的影响超过群体生产效应时, 则表现群体总产量下降。本研究中, 随着播种密度的增大, 两个品种的穗部性状略受影响, 但 2 个品种的鲜果穗产量和鲜籽粒产量均显著提升。这是因为在一定的种植密度范围内, 虽然低密度种植有利于单株穗粒数和粒质量的提升, 但是由于单位面积株数和穗数较少, 单株增产效应难以超过群体增产效应, 导致群体增产受限, 产量下降; 而在高种植密度下, 虽然玉米单株的生产效应有所下降, 但单位面积内植株数量多, 较高

的单位面积穗数可以弥补单株穗粒数和粒质量下降对产量的影响, 因而能够保证高产。说明 D3 种植密度下有利于两个品种增产。

3.2 锌与硒对糯玉米穗部性状和产量的影响

适量锌肥的施用可以提高玉米叶绿素含量, 加快光合速率。但过量施锌的作用效果则相反^[29-30]。不同施用方式下锌肥的效果也有所差异^[31-33]。宋志均等^[34]研究表明, 作物会因为喷施锌肥后有效穗数和穗粒数减少而微减产; 甜玉米的农艺性状和外观品质会因灌浆前期叶面喷施富硒营养素而有所改善^[35]。

黄爱花等^[36]表明在适宜的生育期叶面喷施适当浓度的硒肥可提高甜玉米的鲜穗产量。随着叶面喷施硒肥次数的增加, 鲜食玉米中硒的富集量增加^[37]。本研究中, 不同品种对锌硒微肥的响应不同, 喷施硒肥更有助于改善‘陕白糯 11’的穗部性状、提高产量, 而喷施锌肥更有助于‘陕彩糯 1954’改善穗部性状、提高产量。

3.3 密度及锌和硒对糯玉米穗部性状与产量的影响

本研究表明, 微量元素锌硒的喷施效果会因为品种和密度的不同而有所差异。在 D1、D2 低种植密度下, 叶面喷施硒微量元素后不利于‘陕白糯 11’穗部性状的改善和产量的提升; 在 D3 较高种植密度下, 叶面喷施硒后‘陕白糯 11’鲜籽粒产量和鲜果穗产量与对照相比分别增加了 8.14% 和 7.94%。可能是因为在较高种植密度下, ‘陕白糯 11’的叶面积指数较高, 微量元素硒的吸收面积更大, 提高了硒的转化利用率, 从而促进鲜穗净质量的提高, 穗长和行粒数的增加, 实现增产; 而在低种植密度下则正好相反, 硒元素附着面积小, 蒸发量大, 且叶面喷施无法满足根系对硒的需求, 导致硒肥的作用效果不明显。而‘陕彩糯 1954’在 D2、D3 种植密度下, 喷施锌肥后产量略优于对照。其中在 D3 种植密度下, 叶面喷施锌后鲜籽粒产量和鲜果穗产量与对照相比分别增加了 7.10% 和 7.18%, 说明在比较适宜的种植密度下, 合理施用锌肥可以提高玉米的产量, 这与张庆栋等^[38]和孙海龙^[39]的研究结果一致。

4 结论

综上所述, ‘陕白糯 11’的在农艺性状、穗部性状及产量上的总体表现都优于‘陕彩糯 1954’。在 D3(5.25 万株·hm⁻²)种植密度下, 叶面喷施

硒对‘陕白糯 11’穗部性状的改善和产量的提升有一定的积极作用,喷施锌有利于‘陕彩糯 1954’穗部性状的改善和产量的提升。本试验的研究结果不排除喷药时空气温湿度和风力大小等外界因素的影响,而叶面喷施微量元素锌硒对糯玉米籽粒中锌硒含量和籽粒品质的影响还需要进一步研究。

参考文献 Reference:

- [1] 曹谨玲,陈剑杰.微量元素锌的生理功能及其应用研究[J].家畜生态,2003(4):62-65.
CAO J L, CHEN J J. The biochemical function of zinc and its application research[J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2003(4):62-65.
- [2] 付春霞,张元珍,王衍安,等.缺锌胁迫对苹果叶片光合速率及叶绿素荧光特性的影响[J].中国农业科学,2013,46(18):3826-3833.
FU CH X, ZHANG Y ZH, WANG Y A, et al. Effects of zinc deficiency on photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence characteristics of apple leaves[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013,46(18):3826-3833.
- [3] 侯叔音.不同锌肥对旱作马铃薯产量形成及锌素吸收和积累的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2013.
HOU SH Y. Effects of different zinc fertilizers on potato yield formation and zinc uptake and accumulation under rainfed farming conditions[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2013.
- [4] 吴正景,郭大龙,高文.不同时期喷施亚硒酸钠对豌豆芽苗生长及硒含量的影响[J].种子,2008(8):40-42.
WU ZH J, GUO D L, GAO W. Effects of Na_2SeO_3 sprayed at different time on growth and selenium accumulation of pea seedling[J]. *Seed*, 2008(8):40-42.
- [5] 陈旭东,付杰,夏小欢,等.喷施叶面硒肥对绍兴茶叶含硒量的影响试验初报[J].中国茶叶,2010,32(4):17-19.
CHEN X D, FU J, XIA X H, et al. Effect of spraying foliar selenium fertilizer on selenium content of Shaoxing tea[J]. *China Tea*, 2010,32(4):17-19.
- [6] ROSALIND S G. Zinc deficiency and human health: etiology, health consequences, and future solutions[J]. *Plant and Soil*, 2012,361(1-2):291-299.
- [7] 张巽,王宏富.不同生育时期喷施硒肥对谷子籽粒含硒量的影响[J].安徽农学通报(下半月刊),2009,15(14):85-86,235.
ZHANG X, WANG H F. Effects of spraying selenium fertilizer at different growth stages on selenium content in millet grains[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin (Second Half of the Month)*, 2009,15(14):85-86,235.
- [8] SHALIHAT A, HASANAH A N, MUTAKIN, et al. The role of selenium in cell survival and its correlation with protective effects against cardiovascular disease: A literature review[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2021, 134: 111125.
- [9] 朱盼盼,马彦平,周忠雄,等.微量元素锌与植物营养和人体健康[J].肥料与健康,2021,48(5):16-18,23.
ZHU P P, MA Y P, ZHANG ZH X, et al. Trace element zinc, plant nutrition and human health [J]. *Fertilizer & Health*, 2021,48(5):16-18,23.
- [10] 杨海滨,邓敏,盛中雷,等.土壤中硒元素研究进展[J].南方农业,2014,8(22):36-39,44.
YANG H B, DENG M, SHENG ZH L, et al. Research progress of trace element zinc and selenium in plant nutrition and human health soil [J]. *South China Agriculture*, 2014,8(22):36-39,44.
- [11] 匡恩俊,迟凤琴,张久明,等.叶面喷硒对不同作物籽粒硒含量及产量的影响[J].中国土壤与肥料,2018,55(4):133-136.
KUANG E J, CHI F Q, ZHANG J M, et al. Effects of foliar spraying selenium on grain selenium content and yield of different crops[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2018,55(4):133-136.
- [12] 龚魁杰,刘治先,陈利容,等.鲜食糯玉米的主食化探讨[J].中国农学通报,2012,28(36):312-316.
GONG K J, LIU ZH X, CHEN L R, et al. Discussion on staple food of fresh-eating waxy corn[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012,28(36):312-316.
- [13] 薛吉全,马国胜,路海东,等.密度对不同类型玉米源库关系及产量的调控[J].西北植物学报,2001,22(6):114-120.
XUE J Q, MA G SH, LU H D, et al. Regulation of density on source-sink relationship and yield of different types of maize [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2001,22(6):114-120.
- [14] 刘伟.种植密度对高产夏玉米产量及生理特性影响的研究[D].山东泰安:山东农业大学,2011.
LIU W. Effects of Plant density on grain yield and physiological characteristics of high-yield summer maize [D]. Tai'an Shandong: Shandong Agricultural University, 2011.
- [15] 汪波,魏亚凤,李波,等.种植密度对鲜食糯玉米生长发育及产量的影响[J].江苏农业科学,2020,48(13):91-95.
WANG B, WEI Y F, LI B, et al. Influences of planting density on growth and yield of fresh waxy corn[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020,48(13):91-95.
- [16] 孙文涛,汪仁,安景文,等.平衡施肥技术对玉米产量影响的研究[J].玉米科学,2008(3):109-111.
SUN W T, WANG R, AN J W, et al. Study on effect of balanced fertilization technology on the yield of corn[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2008(3):109-111.
- [17] VERBRUGGEN N, HERMANS C. Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants[J]. *Plant and Soil*, 2013,368(1-2):87-99.
- [18] 李惠生,董树亭,高荣岐.鲜食玉米品质特性研究概述[J].玉米科学,2007(2):144-146.
LI H SH, DONG SH T, GAO R Q. Research on quality

- characteristic of fresh corn[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2007(2):144-146.
- [19] 刘蓉. 锌、铁微肥对夏玉米生长发育及光合特性的影响[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2018.
LIU R. Effect of Zn and Fe fertilizers on the growth and photosynthetic characteristics of summer maize[D]. Yanling Shaanxi: Northwest A&F University, 2018.
- [20] 曹庆军, 姜晓莉, 杨粉团, 等. 种植密度对甜玉米与鲜食糯玉米产量与品质性状的影响[J]. *玉米科学*, 2018, 26(6): 94-98.
CAO Q J, JIANG X L, YANG F T, *et al.* Effect of planting density on grain yield and quality of fresh sweet corn and waxy corn[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2018, 26(6):94-98.
- [21] 张慧, 钱欣, 高英波, 等. 种植密度对不同株型夏玉米产量和冠层特性的影响[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(4): 23-29.
ZHANG H, QIAN X, GAO Y B, *et al.* Planting densities affect the yield and canopy characteristics of different summer maize plant types[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(4):23-29.
- [22] 段留生, 韩碧文, 何钟佩. 器官间关系对叶片衰老的影响[J]. *植物学通报*, 1998, 15(1):43-49.
DUAN L SH, HAN B W, HE ZH P. The effects of correlation between leaf and other organs on leaf senescence[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1998, 15(1):43-49.
- [23] 吕丽华, 陶洪斌, 夏来坤, 等. 不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J]. *作物学报*, 2008, 34(3):447-455.
LÜ L H, TAO H B, XIA L K, *et al.* Canopy structure and photosynthesis traits of summer maize under different planting densities different planting densities [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(3):447-455.
- [24] 刘武仁, 郑金玉, 冯艳春, 等. 玉米品种不同密度下的质量效应[J]. *玉米科学*, 2005(2):99-101.
LIU W R, ZHENG J Y, FENG Y CH, *et al.* The quality effect of different densities of elite maize variety[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2005(2):99-101.
- [25] 陈梦达, 刘可心, 陈欢, 等. 种植密度对糯玉米产量及主要农艺性状和品质性状的影响[J]. *吉林农业*, 2016(2): 78-79.
CHEN M D, LIU K X, CHEN H, *et al.* Effects of planting density on yield and main agronomic and quality characters of waxy corn[J]. *Agriculture of Jilin*, 2016(2):78-79.
- [26] TOLLENAAR M, LEE E A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize [J]. *Field Crops Research*, 2002, 75(2-3):161-169.
- [27] 赵文明, 陈艳萍, 郑飞, 等. 种植密度对鲜食玉米‘苏科糯3号’鲜果穗产量及商品品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(22):36-39.
ZHAO W M, CHEN Y P, ZHENG F, *et al.* Effects of planting density on fresh ear yield and commodity quality of fresh eating waxy corn variety ‘Sukenuo No. 3’[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(22):36-39.
- [28] 佟屏亚, 程延年. 玉米密度与产量因素关系的研究[J]. *北京农业科学*, 1995, 13(1):23-25.
TONG P Y, CHENG Y N. Study on the relationship between maize density and yield factors[J]. *Beijing Agricultural Sciences*, 1995, 13(1):23-25.
- [29] 任先顺, 王建康, 谷峰, 等. 不同微量元素硼、锌浓度对玉米生长的影响[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(12):174-177.
REN X SH, WANG J K, GU F, *et al.* Effects of different concentrations of trace element boron and zinc on corn growth[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(12):174-177.
- [30] 田在军, 杨克军, 张树远, 等. 施用锌肥对玉米的形态和生理生化特性的影响[J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2008, 56(1):24-27.
TIAN Z J, YANG K J, ZHANG SH Y, *et al.* Effect of different Zn supplying levels on morphological and physiological characteristic of maize[J]. *Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University*, 2008, 56(1):24-27.
- [31] 叶廷红, 张赓, 李小坤. 水稻锌营养及锌肥高效施用研究进展[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(6):1-6.
YE T H, ZHANG G, LI X K. Research advance of zinc nutrition and efficient application of zinc fertilizer in rice[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2019(6):1-6.
- [32] 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.
GUO J X, LIAO W Q, SUN Y M, *et al.* Effects of Zn fertilizer application methods on yield and contents of N and Zn in grains of rice[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2014, 28(2):185-192.
- [33] 徐维明, 李小坤, 杨运清, 等. 施锌对鄂中地区水稻产量和籽粒锌含量的影响[J]. *中国稻米*, 2016, 22(4):84-85, 87.
XU W M, LI X K, YANG Y Q, *et al.* Effects of zinc fertilization on yield and grain Zn concentration of rice in the central of Hubei province [J]. *China Rice*, 2016, 22(4):84-85, 87.
- [34] 宋志均, 周其军, 董军红, 等. 叶面喷施微肥对小麦产量、籽粒及干物质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(13):173-174, 189.
SONG ZH J, ZHOU Q J, DONG J H, *et al.* Effects of foliar spraying microfertilizer on yield, grain and dry matter of wheat [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, 49(13):173-174, 189.
- [35] 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):310-313.
LUO L G, GUO Y F, YANG Y, *et al.* Effects of Se-nutrient sprayed on the grain yield and the Se-content of summer sweet corn in Guidong region [J]. *Crop Research*, 2013, 27(4):310-313.
- [36] 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.
HUANG A H, HUANG K J, PENG K, *et al.* Effects of foliar spraying of selenium fertilizer on selenium-enriched content, heavy metal content and yield of sweet corn grain [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2019, 50(1): 40-44.
- [37] 刘春菊, 刘夫国, 陈伟, 等. 叶面喷施硒肥对鲜食玉米籽粒富集的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(4): 713-716.
LIU CH J, LIU F G, CHEN W, *et al.* Effects of selenium foliar spraying on its accumulation in fresh corn [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28(4): 713-716.
- [38] 张庆栋, 李晓菲, 张淑艳, 等. 中微量元素锌在玉米上的施用效果试验[J]. 农业开发与装备, 2019(10): 128-129.
ZHANG Q D, LI X F, ZHANG SH Y, *et al.* Application effect of medium and trace element zinc on maize [J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2019(10): 128-129.
- [39] 孙海龙. 夏玉米中微量元素(锌肥)肥效试验研究[J]. 现代农业科技, 2016(22): 24, 27.
SUN H L. Experimental study on fertilizer effect of trace elements (zinc fertilizer) in summer maize [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016(22): 24, 27.

Effects of Planting Density, Zinc and Selenium on Ear Characters and Fresh Kernel Yield of Waxy Corn

ZHANG Ruifang¹, BOSCO Justin Shio¹, GUO Shaomin², HAI Jiangbo¹,
DONG Yongli¹, GUO Yong¹ and XI Luoyan¹

(1. College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Hospital Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract In order to explore the effects of density, zinc and selenium on ear length, diameter and bald tip length, row number of kernels per ear, number of kernels per row, ear axis diameter and fresh kernel yield in waxy corn, this experiment was conducted with ‘Shaan Bainuo No. 11’ and ‘Shaan Cainuo No. 1954’ as experimental materials, and the primary plot was composed of three planting densities including D1 (37 500 plants · hm⁻²), D2 (45 000 plants · hm⁻²) and D3 (52 500 plants · hm⁻²), and the secondary plot was composed of zinc (M1), selenium (M2) and water (CK), which were sprayed on leaves. The results showed that the sprayings of zinc and selenium could improve the ear traits and yield of waxy corn, but was not significantly. The planting densities had a significant effect on the fresh kernel yield of waxy corn. With the increase of planting densities within certain limits, the yield of waxy corn increased. D3M2 was the best combination for improving the ear traits and yield of ‘Shaan Bainuo No. 11’. Under D3 and M2, the fresh kernel yield of ‘Shaan Bainuo No. 11’ was the highest (9 068.61 kg · hm⁻²), which was 8.14% higher than that of the control; under D3 plus M1, the fresh kernel (7 622.46 kg · hm⁻²) and fresh ear (10 565.61 kg · hm⁻²) yields of ‘Shaan Cainuo No. 1954’ were the highest, which was 7.10% and 7.18% higher than that of the control, respectively.

Key words Planting density; Zinc; Selenium; Waxy corn; Ear character; Yield

Received 2022-11-15

Returned 2023-01-01

Foundation item Innovation Capability Support Plan of Shaanxi Province in 2021 (No. 2021XYSF-12).

First author ZHANG Ruifang, female, master student. Research area: efficient farming systems. E-mail: 1968660486@qq.com

Corresponding author HAI Jiangbo, male, associate professor, master supervisor. Research area: efficient farming systems. E-mail: haijiangbo@126.com

(责任编辑: 成敏 Responsible editor: CHENG Min)