

Cu、Zn 元素复合处理对干旱胁迫下 玉米种子活力的影响

刘亚莉 刘源霞 兰进好

(青岛农业大学, 山东青岛 266109)

摘要:以 5 个玉米杂交种为试验材料,用配置好的浓度为 18% 的 PEG-6000 模拟干旱胁迫环境,同时用去离子水和 5 种不同配比、不同浓度的铜锌复合溶液处理杂交种,在 25℃ 常温培养箱进行纸床培养,研究干旱对生活力指标的影响。结果表明:干旱胁迫下,5 种不同配比、不同浓度的铜锌复合溶液均能不同程度地提高玉米的发芽势、发芽率、苗高、根长等生长指标,并增加幼苗的干物质积累量,且随铜锌复合溶液浓度的增加,除根数没有显著变化外,其他各项指标均呈现先上升后下降的趋势。综合分析表明:用配比为(1.2mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ +250mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)/L 的铜锌复合溶液引发处理玉米杂交种能使其有效地抵御干旱条件,提高玉米种子活力。

关键词:玉米;铜锌复合处理;干旱胁迫;种子活力

玉米是禾本科植物,广泛分布于干旱、半干旱地区,是我国温带干旱地区最重要的粮食作物之一。干旱是影响玉米生产的主要非生物胁迫因素,能够导致其产量降低,品质变差,严重影响其生态功能^[1-2]。因此,通过研究干旱对玉米的影响,选育抗旱杂交种,对增强玉米抗旱性,提高产量有重大意义。

Cu 与 Zn 是植物维持正常生命活动所必需的微量元素,参与植物生长发育过程中的多种代谢反应。研究表明,绝大多数植物对 Cu、Zn 具有敏感性,植物体内缺乏 Cu、Zn 将直接影响花器官发育,抑制植物生长^[3];铜、锌吸收量过多,会对植物产生毒害作用,造成植株生长缓慢或停止生长,甚至死亡^[4];但在某些情况下适当提高 Cu、Zn 含量,可以促进植物的生殖生长和营养生长^[5]。近年来,关于 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 引发处理能调节植物多种生理代谢过程来促进植物生长发育的研究取得了一定的进展。但是, Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 引发处理能否缓解干旱对玉米杂交种萌发过程的伤害,目前尚未见报道。

本试验在浓度为 18% 的 PEG-6000 模拟干旱胁迫环境条件下,研究不同配比、不同浓度的铜锌复

合溶液引发处理对玉米杂交种的发芽力指标和生理指标的影响,以期铜锌复合溶液作为抗干旱引发剂在玉米生产上的推广应用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂 本试验于 2019 年开展并完成,所采用的 5 个玉米杂交种(登海 315、德玉四号、登海 1302、登海 506、农星 207)均由登海种业提供。试验所用的 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (提供 Cu^{2+}) 从天津市瑞金特化学品有限公司购买, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (提供 Zn^{2+}) 从天津市鼎盛鑫化工有限公司购买,PEG-6000 (模拟干旱胁迫环境)从江苏省海安市石油化工处购买。

1.2 试验方法 种子处理。选择种皮洁净、籽粒完整、大小一致的 5 种玉米杂交种,用 30% 的次氯酸钠进行消毒处理 30s,再用蒸馏水清洗 2~3 次,晾干水分后备用。在 25℃ 适温下,分别用(0mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ +0mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)/L (去离子水)、(0.4mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ +50mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)/L、(0.8mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ +150mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)/L、(1.2mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ +250mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)/L、(1.6mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ +350mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)/L、(2.0mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ +450mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)/L 配比的 CuSO_4 和 ZnSO_4 复合溶液浸泡 8~10h。取出,室内自然晾干

基金项目:转基因生物新品种培育重大专项(2018ZX0800909B-003)

通信作者:兰进好

至含水量为 20%~25%。

发芽试验。将阴干处理后达标的种子,置于底部放有 3 层滤纸的培养皿内,各品种每个处理设 3 次重复,每个重复 50 粒,以去离子水处理的种子为对照,在 25℃光照培养箱内进行纸床发芽试验。发芽期间定期检查、补充浓度为 18%的 PEG-6000 溶液至滤纸饱和(用 18%的 PEG-6000 改变种子渗透势,造成种子吸水困难,模拟干旱环境)。每隔 24h 观察记载种子的发芽情况,第 4 天记录发芽势,第 7 天记录发芽率。

发芽试验结束后,测量鲜样的苗高、根长、根数。测量毕,将鲜样分解为根和苗两部分,首先在烘箱中 105℃杀青 15min,然后在 80℃恒温干燥至恒重,称量样品干重后根据发芽种子数折合成单苗干

重和单根干重。

对所得试验数据用 Excle 软件处理求取平均值,并用 SAS 软件进行二因素随机完全区组分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米杂交种发芽力指标的影响

由表 1 可知,干旱胁迫下,5 个玉米杂交种的发芽势、发芽率与对照相比均有不同程度的提高,且其发芽势和发芽率均随铜锌复合溶液配比的升高呈现先上升后下降的趋势,当铜锌复合溶液的配比为 (1.2mg CuSO₄ · 5H₂O+250mg ZnSO₄ · 7H₂O) /L 时 5 个杂交种的发芽势和发芽率均达到最大值。由表 2、表 3 数据可知,由于品种、浓度以及品种 × 浓度互作的 *P* 值均小于 0.05,所以品种、浓度以及品种 × 浓度互作均存在显著性差异。

表 1 不同配比的铜锌复合溶液对玉米杂交种发芽力的影响

(%)

指标	(CuSO ₄ · 5H ₂ O+ZnSO ₄ · 7H ₂ O) mg/L	登海 315	德玉四号	登海 1302	登海 506	农星 207
发芽势	0+0	77	40	80	73	57
	0.4+50	83	53	80	73	73
	0.8+150	87	57	83	77	77
	1.2+250	93	77	87	83	80
	1.6+350	90	77	83	80	73
	2.0+450	83	73	80	77	67
发芽率	0+0	83	60	80	87	67
	0.4+50	90	77	80	87	83
	0.8+150	90	83	83	90	93
	1.2+250	97	97	97	100	93
	1.6+350	93	93	87	93	83
	2.0+450	90	90	83	93	80

表 2 不同处理不同杂交种发芽率方差分析

源	自由度	平方和	均方	<i>F</i> 值	Pr> <i>F</i>
品种	4	5869.600000	1467.400000	2029.63	<0.0001
浓度	5	3152.900000	630.580000	872.19	<0.0001
品种 × 浓度	20	2165.600000	108.280000	149.77	<0.0001

表 3 不同处理不同杂交种发芽势方差分析

源	自由度	平方和	均方	<i>F</i> 值	Pr> <i>F</i>
品种	4	1206.400000	301.600000	300.91	<0.0001
浓度	5	3756.900000	751.380000	749.66	<0.0001
品种 × 浓度	20	1661.600000	83.080000	82.89	<0.0001

由于不同杂交种的遗传背景及自身对干旱的抵抗能力不同,因此在利用铜锌复合溶液处理杂交种后,其幼苗表现略有差异。无论用何种配比的铜锌复合溶液处理杂交种,登海 315、登海 1302、登海 506 3 个杂交种的发芽势、发芽率都能维持在 70% 以上。其中,当铜锌复合溶液的配比为(1.2mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ +250mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) /L 时登海 315 的发芽势最高,为 93%;而登海 506 的发芽率最高,为 100%。在铜锌复合溶液的配比相同时,与其他杂交种相比德玉四号的发芽势低,但发芽率相差不大。用不同配比的铜锌复合溶液处理德玉四号和农星 207 时,二者的发芽势和发芽率与对照相比提高了 20%~40%。

结果表明,与对照相比,5 种不同配比的铜锌复合溶液引发处理玉米杂交种后,其各项发芽力指标均有提高,且在一定的范围内,随着铜锌复合溶液配比的增加,发芽势、发芽率也相应提高。当铜锌复合溶液的配比为(1.2mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ +250mg $\text{ZnSO}_4 \cdot$

7 H_2O) /L 时,5 个杂交种的发芽势及发芽率均达到了最大值,继续增加铜锌复合溶液的配比并不能进一步提高各玉米杂交种的发芽势及发芽率。说明用铜锌复合溶液处理过的玉米杂交种在发芽势和发芽率上有一个最适配比,过高的铜锌复合溶液配比会对玉米种子的萌发产生不利影响。因此,在用铜锌复合溶液处理玉米种子时,选用最适合的配比对提高种子活力至关重要。

2.2 不同处理对玉米杂交种苗高、根长的影响 由表 4 可以看出,干旱胁迫下,5 个玉米杂交种的苗高、根长与对照相比均有不同程度的提高,且其苗高和根长均随铜锌复合溶液配比的升高呈现先上升后下降的趋势,当铜锌复合溶液的配比为(1.2mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ +250mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) /L 时 5 个玉米杂交种的苗高和根长均达到了最大值。由表 5、表 6 数据可知,由于品种、浓度以及品种 $\times$ 浓度互作的 P 值均小于 0.05,所以品种、浓度以及品种 $\times$ 浓度互作均存在显著性差异。

表 4 不同配比的铜锌复合溶液对玉米杂交种苗高、根长的影响

(cm)

指标	($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) mg/L	登海 315	德玉四号	登海 1302	登海 506	农星 207
苗高	0+0	0.58	0.64	0.64	0.88	0.48
	0.4+50	0.66	0.84	0.65	0.97	0.98
	0.8+150	0.73	1.61	1.90	0.99	1.15
	1.2+250	0.89	1.81	2.60	1.91	1.39
	1.6+350	0.70	1.79	0.74	1.78	1.26
	2.0+450	0.59	1.25	0.69	1.75	1.21
根长	0+0	3.77	4.77	4.05	5.69	4.41
	0.4+50	3.81	4.82	4.28	5.78	4.91
	0.8+150	3.91	5.52	4.65	5.91	5.49
	1.2+250	4.25	7.93	7.62	8.16	6.10
	1.6+350	3.99	5.71	7.12	7.75	5.84
	2.0+450	3.88	5.26	4.13	7.60	5.42

表 5 不同处理不同杂交种的苗高方差分析

源	自由度	平方和	均方	F 值	$\text{Pr}>F$
品种	4	5.37196000	1.34299000	20179.60	<0.0001
浓度	5	10.75025000	2.15005000	32306.50	<0.0001
品种 $\times$ 浓度	20	8.78840000	0.43942000	6602.68	<0.0001

表 6 不同处理不同杂交种的根长方差分析

源	自由度	平方和	均方	F 值	$\text{Pr}>F$
品种	4	76.03396000	19.00849000	51374.30	<0.0001
浓度	5	56.67812000	11.33562400	30636.80	<0.0001
品种 $\times$ 浓度	20	28.67528000	1.43376400	3875.04	<0.0001

萌发期是玉米生长过程的重要阶段之一,大田生产中,玉米萌发期的抗旱性与田间出苗率及幼苗质量密切相关,进而直接影响留苗密度及群体整齐度^[6]。此阶段对外界环境条件非常敏感,但不同玉米杂交种对外界刺激的敏感性不同。无论用何种配比的铜锌复合溶液处理杂交种,德玉四号、登海 1302、登海 506 3 个玉米杂交种比其他杂交种的苗部性状和根部性状发育好。与对照相比,3 个杂交种的苗高最大增幅均高于 1.0cm,根长的最大增幅均高于 2.0cm。其中登海 1302 的苗部性状发育最好,当铜锌复合溶液的配比为(1.2mgCuSO₄·5H₂O+250mgZnSO₄·7H₂O)/L 时,苗高达到最大值 2.60cm;而根部性状发育最好的是登海 506,当铜锌复合溶液的配比为(1.2mg CuSO₄·5H₂O+250mg ZnSO₄·7H₂O)/L 时,根长达到最大值 8.16cm。当铜锌复合溶液的配比相同时,与其他杂交种相比,登海 315 的苗部性状和根部性状的发育较差,其苗高始终不超过 1cm,根长维持在 4.0cm 左右,2 个性状的最大增幅分别为 0.31cm 和 0.48cm;而农星 207 的苗部性状和根部性状虽然发育较好,但与对照相比,2 个性状的最大增幅较低,分

别为 0.91cm 和 1.69cm。

结果表明,在干旱胁迫下用铜锌复合溶液处理玉米杂交种,可以在一定程度上缓解干旱胁迫对玉米杂交种苗部性状和根部性状的影响,铜锌复合溶液的最适配比为(1.2mgCuSO₄·5H₂O+250mgZnSO₄·7H₂O)/L。无论何种配比的铜锌复合溶液处理玉米杂交种对杂交种的根数并无影响,这说明根数受基因等遗传性状的控制效果更大,受环境控制较小。

2.3 不同处理对种子干物质积累量的影响 由表 7 数据可知,干旱胁迫下,5 个玉米杂交种的干物质积累量与对照相比均有不同程度的提高,且其干物质积累量均随铜锌复合溶液配比的升高呈现先上升后下降的趋势,当铜锌复合溶液的配比为(1.2mg CuSO₄·5H₂O+250mg ZnSO₄·7H₂O)/L 时 5 个杂交种的干物质积累量均达到了最大值,玉米杂交种萌发后其干物质在根部的积累量高于苗部。由表 8、表 9 数据可知,由于品种、浓度以及品种 × 浓度互作的 *P* 值均小于 0.05,所以品种、浓度以及品种 × 浓度互作均存在显著性差异。

表 7 不同配比的铜锌复合溶液对玉米杂交种干物质积累量的影响 (g)

指标	(CuSO ₄ ·5H ₂ O+ZnSO ₄ ·7H ₂ O) mg/L	登海 315	德玉四号	登海 1302	登海 506	农星 207
单苗干重	0+0	0.0049	0.0058	0.0050	0.0092	0.0047
	0.4+50	0.0055	0.0086	0.0063	0.0105	0.0065
	0.8+150	0.0077	0.0140	0.0065	0.0137	0.0099
	1.2+250	0.0078	0.0230	0.0198	0.0195	0.0144
	1.6+350	0.0074	0.0160	0.0175	0.0191	0.0132
	2.0+450	0.0039	0.0140	0.0061	0.0132	0.0105
单根干重	0+0	0.0120	0.0141	0.0083	0.0126	0.0120
	0.4+50	0.0136	0.0151	0.0084	0.0134	0.0121
	0.8+150	0.0139	0.0150	0.0110	0.0166	0.0141
	1.2+250	0.0296	0.0310	0.0233	0.0250	0.0206
	1.6+350	0.0180	0.0160	0.0210	0.0239	0.0194
	2.0+450	0.0130	0.0153	0.0095	0.0234	0.0159

表 8 不同处理不同杂交种的单苗干重方差分析

源	自由度	平方和	均方	<i>F</i> 值	Pr> <i>F</i>
品种	4	0.00074890	0.00018722	19695.90	<0.0001
浓度	5	0.00132860	0.00026572	27953.60	<0.0001
品种 × 浓度	20	0.00039438	0.00001972	2074.43	<0.0001

表 9 不同处理不同杂交种的单根干重方差分析

源	自由度	平方和	均方	<i>F</i> 值	Pr> <i>F</i>
品种	4	0.00032096	0.00008024	8558.42	<0.0001
浓度	5	0.00214909	0.00042982	45844.80	<0.0001
品种 × 浓度	20	0.00051063	0.00002553	2723.24	<0.0001

在铜锌复合溶液的配比相同时,德玉四号的苗部和根部干物质积累量最高,分别可达 0.0230g 和 0.0310g;登海 315 的苗部干物质积累量最少,无论用何种配比的铜锌复合溶液处理,该杂交种的苗部干物质积累量都低于 0.0100g,当铜锌复合溶液的配比为 (1.2mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 250mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) /L 时,其苗部干物质积累量最大,仅为 0.0078g;而根部干物质积累量最少的杂交种为农星 207,最高只有 0.0206g。

由表 7 数据可知,德玉四号、登海 1302 和登海 506 3 个杂交种无论用何种配比的溶液处理,其苗部干物质积累量增幅较对照组都有较大增长,最大增幅均高于 0.0100g;登海 315 和农星 207 的苗部干物质积累量的增幅较低,只有 0.0006~0.0097g。

由表 7 数据可知,登海 315、德玉四号和登海 1302 3 个杂交种无论用何种配比的溶液处理,其根部干物质积累量增幅较对照组都有较大增长,最大增幅均高于 0.0150g;登海 506 和农星 207 的根部干物质积累量的增幅较低,其中农星 207 无论用何种配比的铜锌复合溶液处理,根部干物质积累量增幅都没有超过 0.0100g,最高只有 0.0086g。

结果表明:随着铜锌复合溶液配比的增加,玉米杂交种的苗、根干物质积累呈同向增减趋势,即在一定浓度范围内,随铜锌复合溶液配比的增加,根和苗的干物质积累量呈上升趋势,且在铜锌复合溶液配比达到 (1.2mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 250mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) /L 的时候,效果最明显,继续增加铜锌复合溶液的配比,各部分干物质的积累量有所下降。表明用铜锌复合溶液处理玉米杂交种可以有效提高幼苗和根部干物质的积累量,但是超过一定量后,提升效果不显著,这与铜锌复合溶液处理后的玉米杂交种在干旱胁迫下发芽力指标和生长指标表现出来的抗性研究结果一致。

3 结论与讨论

作物对干旱的适应能力不仅与作物本身的耐受性有关,而且与植物本身的遗传和基因的调控有关。因此从植物本身出发,深入研究植物的抗旱机理,通过一定的播前处理来提高植物的抗旱耐旱能力,进一步提高作物的产量和品质,已成为国内外专家学者们所特别关注和研究的热点问题。本试验结果表明,干旱胁迫下,用不同配比的铜锌复合溶液对玉米杂交种进行引发处理,可以不同程度地提高玉米杂交种的发芽势、发芽率,促进干旱胁迫下幼苗的

生长及苗部和根部的干物质积累。这与黄河等^[7]、韩芸等^[8]的研究结果基本一致。与前人相比,本试验创新性地探究了 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 引发处理在缓解干旱对玉米杂交种萌发胁迫中的作用,为铜锌复合溶液作为抗干旱引发剂在玉米生产上的推广应用提供一定的理论依据。

西南干旱地区是仅次于东北和华北的我国第三大玉米主产区,高温少雨是导致西南地区干旱的重要原因。干旱作为影响植物基因表达、生长发育、产量品质及分布的重要因素之一,严重地限制了作物在更大范围内的种植。有研究发现,干旱胁迫下, Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 处理种子可以提高种子的膜透性,降低细胞渗透胁迫,从而促进种子萌发,提高干旱胁迫下种子的发芽势、发芽率,进而提高种子的各项生理指标^[9]。本研究发现,与对照相比,铜锌复合溶液的配比在 (1.2mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 250mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) /L 时,对玉米杂交种各项发芽力指标及生理指标的促进作用最显著,主要体现在发芽率、发芽势、苗高、根长及干物质积累量在此配比下均达到最大值。此研究确定了具有品种普适性的种子引发铜锌复合溶液区间,为探索提高干旱胁迫下的种子活力提供有益参考,同时对提高我国西南地区玉米播种质量、降低干旱胁迫对幼苗的影响以及提高玉米产量等方面具有重要参考意义。

参考文献

- [1] 高悦,朱永铸,杨志民,杜红梅. 干旱胁迫和复水对冰草相关抗性生理指标的影响. 草地学报,2012,20(2): 336-341
- [2] 闫治斌,罗致春,段卫樱,马世军,闫富海,许清录. 玉米自交系抗旱性鉴定试验报告. 中国种业,2019(7): 44-48
- [3] 马文丽,金小弟,王转花. 镉处理对燕麦种子萌发幼苗生长及抗氧化酶的影响. 农业环境科学学报,2004,23(1): 55-59
- [4] 江行玉,赵可夫. 植物重金属伤害及抗性生理. 应用与环境生物学报,2001,7(1): 91-99
- [5] 祝沛平. 铜在植物生长发育中的作用. 生物学通报,2000,35(10): 7
- [6] 徐田军,吕天放,赵久然,王荣焕,刘月娥,张连平,叶翠玉,刘秀芝. 玉米萌发幼苗期的抗旱性鉴定评价. 中国种业,2017(4): 42-46
- [7] 黄河,熊治延,刘杰. 铜对玉米种子萌发和生长的影响. 黄冈职业技术学院学报,2003,5(3): 84-86
- [8] 韩芸,杜锦,向春阳. 硫酸锌、氯化钙溶液浸种对玉米种子萌发的影响. 黑龙江八一农垦大学学报,2008,20(4): 31-34
- [9] 王晶燃,张楚涵,闰庆伟,王艳彬,陈雅君. 植物抗旱的生理渗透调节及保护酶活性研究进展. 黑龙江生态工程职业学院学报,2012,25(2): 31-33

(收稿日期: 2020-05-30)