

微量元素 Cu 对低温胁迫下 玉米种子活力影响的研究

刘源霞¹ 贾春兰^{2,3} 唐琳¹ 兰进好^{1,3}

(¹ 青岛农业大学, 山东青岛 266109; ² 山东登海种业股份有限公司, 莱州 261418; ³ 山东省玉米技术创新中心, 莱州 261418)

摘要:以 5 个不同基因型的玉米杂交种为试验材料, 分别用 0mg/L、0.4mg/L、0.8mg/L、1.2mg/L、1.6mg/L、2.0mg/L 6 个浓度的硫酸铜溶液进行浸种和回干处理, 于 10℃ 低温进行发芽试验, 分析不同浓度硫酸铜溶液对玉米杂交种发芽势、发芽率、干物质积累量以及苗高、根长、根数等生长指标的影响。结果表明, 随着硫酸铜溶液浓度的增加, 玉米杂交种的检测生长指标呈先上升后下降的变化规律; 浓度为 0.4mg/L 的硫酸铜溶液对玉米杂交种的发芽势、发芽率、苗高、根长及干物质积累量促进作用明显; 浓度为 0.8mg/L 的硫酸铜溶液对干物质积累量起抑制作用; 浓度为 1.2mg/L 的硫酸铜溶液对发芽势、发芽率、苗高、根长和根数均起抑制作用。

关键词:玉米; Cu^{2+} ; 回干处理; 低温胁迫; 种子活力

汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)、银(Ag)、铜(Cu)、锌(Zn)等重金属造成的环境污染一直引起人们的高度关注^[1]。Fe、Cu、Mn、Zn 等是动植物生长发育所必需的元素, 而诸如 Pb、Hg 等则不是动植物所必需的元素。重金属通过被植物吸收利用进入食物链, 对人类的健康造成危害, 也有关于铜对植物毒性的报道, 但关于铜元素对种子活力影响的研究却鲜见。在植物生长发育的过程中, 铜是一种必需的微量元素, 它能够参与植物光合作用, 是多酚氧化酶、抗坏血酸氧化酶等酶类的组成成分^[2]。有试验表明, 对大多数的植物来说, 种皮对铜等重金属离子具有低渗透性, 一直到胚根突破种皮^[3]。种子的萌发和幼苗根的生长是植物生长发育中特别重要的阶段, 同时也是植物对环境改变最敏感的阶段^[4], 因此在这个阶段可以明显地表现出铜对植物生长发育的调节作用。

玉米对温度的要求较高, 对低温抗性较弱^[5], 温度对玉米种子的萌发和植株生长发育都有着重要的影响。有研究表明, 温度对玉米出苗速度、叶片光合作用、雄穗发育情况以及籽粒的形成和灌浆等都能

造成一定影响。北方春玉米区是我国最重要的玉米产区, 早春的玉米容易因温度过低造成冷害、冻害而影响种子发芽, 造成缺苗断垄, 最终导致减产^[6-7]。高活力种子对田间逆境有较强的抗性, 能够提高田间成苗率, 节省播种费用。对种子进行播前处理在一定程度上能够提高种子活力, 增强其在低温等逆境下的成苗能力, 对作物生产具有重要实践意义^[8]。

随着玉米单粒机械化精准播种技术的日渐普及, 农业对高活力玉米种子的需求更加迫切, 如何快捷有效地提高种子活力以满足应急播种和单粒播种的要求, 成为玉米生产中亟待解决的问题。目前, 关于 Cu 元素在常温下对玉米种子的萌发具有促进作用的研究已有报道, 而低温胁迫条件下, 微量元素铜与种子活力的关系尚未见报道。本研究选用了 5 个不同基因型玉米杂交种进行试验, 旨在探讨低温胁迫条件下 Cu^{2+} 浸种处理方法能否有效提高种子活力。

1 材料与方法

1.1 试验材料 本试验用的 5 个玉米杂交种为登海 315、德玉四号、登海 1302、登海 506 和农星 207, 种子由淄博禾丰种业科技有限公司和山东登海种业股份有限公司提供; 所用的 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 购自诸城市康泰化工有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 种子处理 选取种皮完好、籽粒完整、大小一

基金项目:山东省中央引导地方科技发展资金(YDZX20203700002548); 山东省玉米育种与栽培技术企业重点实验室开放课题; 山东省农业科学院农业科技创新工程项目(CXGC2021A09)

通信作者:兰进好

致的玉米种子,用30%的NaClO消毒处理30s,用蒸馏水漂洗3次,晾干备用。每个杂交种的种子分成6等份,室温下将其分别置于浓度为0mg/L(CK,即水处理)、0.4mg/L、0.8mg/L、1.2mg/L、1.6mg/L、2.0mg/L的CuSO₄溶液中浸种8~10h,然后自然回干至含水量为20%~25%(用电脑水分测定仪LDS-1H测定)。

1.2.2 发芽试验及测定指标 各杂交种的每个处理设3次重复,每次重复50粒种子。采用纸床发芽法,将浸种处理回干后的种子整齐排列在垫有3层滤纸的培养皿内,置于10℃光照培养箱做发芽试验。每天定时观察种子需水情况,并补水至滤纸饱和。每隔24h记录种子的发芽情况,第14天计算胁迫发芽势;第20天计算胁迫发芽率,并测量苗高、根长、根数、苗干重以及根干重。

1.3 结果记载与数据处理 各结果记载与数据处理方法如下。

胁迫发芽势(%) = 在胁迫发芽试验第14天,发芽种子百分数;胁迫发芽率(%) = 在胁迫发芽试验第20天,发芽种子百分数;苗高:测量并记录每一粒发芽种子的苗高,计算平均数;根长:测量并记录每一粒发芽种子的最长根的根长,计算平均数;根数:计数每一粒发芽种子的根数,计算平均数;苗干重:将同一处理发芽种子的苗沿种子处剪下,装入纸袋,105℃杀青15min,80℃烘干至恒重,电子天平称重烘干样并记录,计算单根幼苗的平均干重;根干重:将同一处理发芽种子的根沿种子处剪下,装入纸袋,105℃杀青15min,80℃烘干至恒重,电子天平称重烘干样并记录,计算每粒种子单条根的平均干重。

2 结果与分析

2.1 低温下不同浓度硫酸铜溶液对种子发芽势和发芽率的影响 发芽势、发芽率体现种子发芽力的

强弱,是种子质量优劣的主要评价指标,种子自身因素和外界条件均对种子发芽力有较大影响^[9]。

由表1可知,在低温胁迫处理下,5个玉米杂交种的发芽势和发芽率均随硫酸铜溶液浓度的升高呈先升后降的趋势,表明硫酸铜溶液对玉米种子萌发在一定范围内起促进作用,超过这一范围则起抑制作用,并且Cu²⁺的浓度越高,其抑制作用越强。与对照相比,在低温胁迫下,硫酸铜溶液浓度为0.4mg/L时对发芽势和发芽率的促进作用最明显,低温对玉米萌发造成的抑制作用明显减弱,5个品种的发芽势和发芽率都达到最高,发芽率最高的可以达到99%;浓度升高到0.8mg/L时,促进作用变弱,各杂交种的发芽势、发芽率除德玉四号外均较对照略有提高或与之持平,说明此时Cu²⁺对玉米的萌发仍有一定的促进作用;浓度达到1.2mg/L时转为抑制作用,发芽势和发芽率与对照相比都有明显下降,说明抑制作用增强,浓度越高,抑制作用越强,浓度为2.0mg/L时抑制作用达到最强。

由表1发芽率指标可以看出,登海1302的萌发状况最好,各处理的发芽率基本在60%以上,Cu²⁺对登海315和农星207在发芽率上的促进作用表现最明显,在硫酸铜溶液浓度为0.4mg/L时,这2个品种的发芽率均不低于95.0%,农星207高达99.0%,与对照相比,这2个品种发芽率提高幅度最大,分别为35.71%和29.41%;硫酸铜溶液浓度达到2.0mg/L时,Cu²⁺对德玉四号发芽率表现出的抑制作用最明显,发芽率仅为39.0%。通过对硫酸铜溶液处理后杂交种发芽率比较,可以看出不同基因型的玉米杂交种对Cu²⁺的萌发促进作用的敏感性不同。

表1 低温下不同浓度硫酸铜溶液处理种子的发芽势和发芽率

CuSO ₄ 浓度 (mg/L)	登海 315		德玉四号		登海 1302		登海 506		农星 207	
	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽势 (%)	发芽率 (%)
0 (CK)	61.5	70.0	72.5	79.5	77.5	81.5	71.5	79.0	69.0	76.5
0.4	86.5	95.0	88.0	92.5	86.5	91.5	86.5	90.5	96.5	99.0
0.8	68.0	74.0	74.0	76.5	79.0	85.0	75.0	79.0	74.0	76.5
1.2	61.0	68.0	46.5	54.0	69.0	75.0	65.0	66.5	55.0	65.5
1.6	51.5	59.0	37.0	49.0	63.0	71.5	54.0	59.0	46.5	45.5
2.0	50.5	54.0	34.0	39.0	50.0	60.0	41.5	44.0	41.5	43.0

综上所述,虽然在低温胁迫的条件下, Cu^{2+} 对这5个玉米杂交种萌发的影响略有不同,但整体趋势都是相同的,即 Cu^{2+} 对玉米种子发芽势、发芽率的影响均表现为浓度低时具有较明显的促进作用,浓度变高超过一定范围后就会产生抑制作用,并且 Cu^{2+} 对萌发情况的促进作用最强时的浓度均为0.4mg/L。

2.2 低温下不同浓度硫酸铜溶液对玉米杂交种苗高的影响 由表2可知,低温胁迫20d后,硫酸铜溶液浓度为0.4mg/L时苗高最高,浓度达1.2mg/L后,苗高与对照持平或开始下降,且浓度越高苗越矮。因此,硫酸铜溶液浸种处理与水处理(CK)相比, Cu^{2+} 对低温处理下玉米苗高的影响总体表现为低浓度的促进作用和高浓度的抑制作用,具体表现为在硫酸铜溶液浓度为0.4mg/L时, Cu^{2+} 对玉米杂交种苗高具有促进作用,并且此浓度下的促进作用最强;在浓度为0.8mg/L时促进作用变弱;当浓度为1.2mg/L时转变为抑制作用,而当浓度达到2.0mg/L时,抑制作用最强。同一杂交种在不同浓度硫酸铜溶液处理后,0.4mg/L浓度处理下的苗高有明显的优势。

表2 低温下不同浓度硫酸铜溶液处理种子的苗高

CuSO_4 浓度 (mg/L)	登海 315 (cm)	德玉四号 (cm)	登海 1302 (cm)	登海 506 (cm)	农星 207 (cm)
0 (CK)	1.4	1.7	1.6	2.3	1.6
0.4	1.7	2.5	2.5	2.5	2.2
0.8	1.5	2.0	1.9	2.4	1.7
1.2	1.3	1.6	1.6	2.3	1.6
1.6	1.3	1.2	1.5	1.7	1.4
2.0	1.0	1.1	1.4	1.5	1.1

在同浓度硫酸铜溶液处理下,5个玉米杂交种中登海 506 苗高最高,对照与浓度为0.4mg/L、0.8mg/L、1.2mg/L硫酸铜溶液处理后的苗高均高于2.0cm,即使达到2.0mg/L高抑制浓度时,苗高也维持在1.5cm。在硫酸铜溶液浓度为0.4mg/L时,对登海 1302 的苗高促进作用表现最明显,比对照增长0.9cm,增幅达56.25%;对登海 506 的促进作用表现最弱,只比对照增长0.2cm,增幅仅8.70%。可见,不同基因型玉米杂交种对 Cu^{2+} 的幼苗促进作用的敏感程度不同。

2.3 低温下不同浓度硫酸铜溶液对种子根部性状的影响 研究表明,玉米根尖细胞的原生质体会因为微量元素铜的大量存在而遭到破坏,过量的铜会令细胞膜的强度逐渐降低,导致 Cu^{2+} 能够渗入细胞从而产生毒害作用,进而影响到各种细胞器的结构和功能^[10]。通过试验可以看出,低浓度的 Cu^{2+} 不会对玉米的根系产生毒害作用,反而会产生一定的促进作用。

由表3可知,在20d的低温胁迫处理下,玉米杂交种的根长随硫酸铜溶液浓度的升高呈先升后降的趋势,浓度在0.4mg/L以下时呈上升趋势,浓度高于0.4mg/L时呈下降趋势。在低温环境的胁迫下,各玉米杂交种的根数都比较少,与水处理(CK)相比,仅在硫酸铜溶液浓度为0.4mg/L时,玉米杂交种的根数保持不变或略有增加,其他浓度硫酸铜溶液处理后,大部分杂交种的根数都有不同程度的减少。不同处理间根数变化不明显,可能是因为根数主要受遗传因素控制,或是对低温过度敏感的原因。

表3 低温下不同浓度硫酸铜溶液处理种子的根长和根数

CuSO_4 浓度 (mg/L)	登海 315		德玉四号		登海 1302		登海 506		农星 207	
	根长 (cm)	根数 (条)	根长 (cm)	根数 (条)	根长 (cm)	根数 (条)	根长 (cm)	根数 (条)	根长 (cm)	根数 (条)
0 (CK)	2.3	3	2.9	2	2.6	2	3.8	3	2.4	2
0.4	3.2	3	3.2	2	3.2	3	5.3	3	4.3	3
0.8	2.9	2	2.9	1	2.8	2	3.7	2	2.5	2
1.2	2.2	1	2.3	1	2.5	2	2.8	2	2.0	1
1.6	2.0	1	1.6	1	2.2	2	2.5	2	2.0	1
2.0	1.5	1	1.5	1	1.8	1	2.4	1	1.7	1

相同浓度的硫酸铜溶液处理下,5个杂交种中登海506的根部长势最好,各处理根长均 ≥ 2.4 cm,根数仅在硫酸铜溶液浓度为2.0mg/L时为1条,其余处理均 ≥ 2 条。在硫酸铜溶液浓度为0.4mg/L时,登海506的根长最长。5个杂交种均在硫酸铜溶液浓度为0.4mg/L时根长达最高,随硫酸铜溶液浓度升高根长下降,不同材料略有差别。可见不同基因型玉米杂交种根的生长发育对 Cu^{2+} 的促进作用敏感程度不同。

2.4 低温下不同浓度硫酸铜溶液对萌发种子干物质积累的影响 由表4可知,低温胁迫下,用不同浓度的硫酸铜溶液处理后,苗干重和根干重随硫酸铜溶液浓度的增加呈先升后降的趋势,即都表现为低浓度时具有促进作用,高浓度时具有抑制作用,并且在浓度为0.4mg/L时达最高值。浓度为0.4mg/L的硫酸铜溶液对5个玉米杂交种苗干重和根干重的促进作用最强,其中登海506的苗干重和根干重均最大,分别达0.013g和0.015g。

表4 低温下不同浓度硫酸铜溶液处理种子的苗干重和根干重

CuSO ₄ 浓度 (mg/L)	登海 315		德玉四号		登海 1302		登海 506		农星 207	
	苗干重 (g)	根干重 (g)	苗干重 (g)	根干重 (g)	苗干重 (g)	根干重 (g)	苗干重 (g)	根干重 (g)	苗干重 (g)	根干重 (g)
0 (CK)	0.005	0.005	0.005	0.006	0.008	0.008	0.011	0.010	0.009	0.008
0.4	0.007	0.007	0.007	0.008	0.010	0.010	0.013	0.015	0.011	0.012
0.8	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.009	0.009	0.006	0.007
1.2	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.007	0.006	0.003	0.005
1.6	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004
2.0	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002

3 结论与讨论

在植物的整个生命周期当中,种子的萌发是一个十分重要的阶段,是生理代谢最为旺盛的阶段,在这个敏感时期,最容易受到外界环境胁迫的刺激。温度是作物能否正常生长发育的决定因素,在种子萌发期,低温会影响作物种子萌发初期能量与物质代谢,增加膜透性,降低种子发芽势和发芽率等,对植物生长发育影响极大。铜是植物所必需的一种微量元素,它能够参与酶的代谢调节,对生长素的合成、作物的生长发育、种子的萌发有十分重要的影响^[11]。本试验表明铜对玉米种子活力的影响表现为低浓度时起促进作用,当浓度增加到一定值后,则会产生抑制作用,并且随着浓度的逐渐增加抑制作用增强。

参考文献

- [1] Seregin I V, Ivanov V B. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2001, 48 (4): 523-544
- [2] 常红岩, 孙百晔, 刘春生. 植物铜素毒害研究进展. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2003, 31 (2): 227-250

- [3] Munzuroglu O, Geckil H. Effect of metal on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, 2002, 43: 203-213
- [4] Chen Y X, He Y F, Luo Y M, Yu Y L, Lin Q, Wong M H. Physiological mechanism of plant roots exposed to cadmium. *Chemosphere*, 2003, 50: 789-793
- [5] 陈民生, 耿忠义, 赵京岚. 温度对玉米种子萌发特性的影响. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2007, 38 (2): 196-202
- [6] 侯建华, 王茅雁, 李明哲. 玉米萌发期抗旱性鉴定的初步研究. *内蒙古农牧学院学报*, 1994, 15 (3): 19-23
- [7] 山仑, 郭礼坤. 逆境成苗生态生理研究 I. 春播谷类作物成苗期间的抗旱性及需水条件. *作物学报*, 1984, 10 (4): 251-259
- [8] 兰进好, 臧珊, 唐双, 刘喜燕, 刘亚莉, 杨今胜. 硅酸盐引发处理后玉米杂交种对低温胁迫抗性的研究. *农业科技通讯*, 2017 (2): 78-81
- [9] 陈莹, 蔡霞, 胡正. 水柴胡胚和胚乳的发育及其对种子萌发的影响. *植物研究*, 2008, 28 (1): 14-17
- [10] 黄河, 熊治廷, 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
- [11] 乔琳, 傅兆麟. Cu、Fe、Zn 和 Pb 对玉米种子萌发率及淀粉活性的影响. *种子*, 2010, 29 (6): 36-38

(收稿日期: 2021-06-18)