



邱桂俐,徐艳梅,高超,等.外源 Ca^{2+} 缓解玉米幼苗盐胁迫伤害的研究[J].黑龙江农业科学,2022(2):14-17.

外源 Ca^{2+} 缓解玉米幼苗盐胁迫伤害的研究

邱桂俐¹,徐艳梅²,高超¹,王建丽¹,潘多锋¹,康庆华³,姜卫东³,边亚娟⁴

(1.黑龙江省农业科学院 草业研究所,黑龙江 哈尔滨 150086;2.贵州师范学院,贵州 贵阳 550000;3.黑龙江省农业科学院 经济作物研究所,黑龙江 哈尔滨 150086;4.黑龙江生物科技职业学院,黑龙江 哈尔滨 150025)

摘要:为改善大庆盐碱地土壤对农作物生长的抑制,促进耐盐玉米品种的选育,以龙育4号玉米为材料,对玉米幼苗进行NaCl盐胁迫处理,同时添加1,3和5 mmol·L⁻¹的 Ca^{2+} 缓解盐胁迫,测定玉米幼苗的丙二醛(MDA)、叶绿素含量、过氧化物酶(POD)、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和脯氨酸含量。结果表明:植物受到盐胁迫后与对照相比MDA含量显著增加,叶绿素含量显著降低,POD活性显著增强,渗透调节物质脯氨酸含量和可溶性蛋白增加不显著,但可溶性糖含量显著增加($P<0.05$)。加入3 mmol·L⁻¹ Ca^{2+} 后,与盐胁迫处理相比,MDA、脯氨酸、可溶性蛋白含量及POD活性均降到最低,且与盐胁迫处理差异显著($P<0.05$)。综上所述,外源 Ca^{2+} 对玉米幼苗盐胁迫伤害具有一定的缓解作用,3 mmol·L⁻¹ Ca^{2+} 处理对玉米幼苗盐胁迫缓解效果最佳。

关键词:外源钙;缓解效应;玉米;盐胁迫

目前,我国盐渍化土壤占耕地土壤总面积的1/10^[1],土壤盐渍化是造成环境问题日益严重的因素之一,盐渍化土壤既制约农作物生长,又影响作物产量^[2]。大庆是中国土地盐碱化较严重的区域之一,人类的一些活动导致盐碱地面积逐年增加,大庆盐碱地面积约3 000 km²,盐碱化的耕地面积为208 km²^[3]。据统计,当耕作土层中可溶性盐含量超过4.0%就属于重盐土,这样的土壤环境不适合农作物的生长。大庆土壤中含盐量达到0.5~0.8 mg·L⁻¹,属于轻中度盐碱土,不利于农作物的生长。为了提高植物的抗盐性,可以采用培育耐盐品种、化学药剂处理、农业栽培和生物修复等措施来提高植物在盐渍化土壤中生长的适应性。我国早在20世纪50年代就开始对盐渍土资源进行考察、勘测、垦殖、改良和利用,推进了科学家研究盐渍土的进程。土壤盐渍化已成为全球性问题,澳大利亚利用废水灌溉农业的应用方式极其普遍,长期的废水灌溉虽然带来了丰富的营养盐,但是也加速地下水污染,使土壤盐渍化劣变

更严重^[4]。玉米为禾本科玉米属,是世界上最主要的粮食作物之一^[5],但是盐碱地土壤对玉米幼苗的生长有很大的抑制作用,因此本试验以龙育4号玉米幼苗为材料,使其受一定浓度的盐胁迫并加入不同浓度的钙离子,通过对玉米幼苗生理指标的测定,找出缓解效果最好的 Ca^{2+} 浓度,以改善大庆盐碱地土壤对农作物生长抑制的影响,也为今后进行耐盐品种的选育提供依据^[6-7]。

1 材料与方法

1.1 材料

试验玉米品种龙育4号由黑龙江省农业科学院草业研究所提供。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 选取健康饱满的玉米种子,用8%次氯酸钠消毒10~15 min,然后用蒸馏水冲洗5~8遍,每次3 min,浸泡24 h。将玉米种子均匀平铺在有适当水分已消毒的托盘中,覆盖双层消毒纱布,28℃条件下进行暗培养48~72 h。

将已经出芽3~4 cm的玉米种子转入一个含有脱脂棉的培养皿中,浇灌霍格兰(Hoagland)营养液,置于光照培养箱中进行培养,昼夜之间的温度分别设定为25和20℃,每天光照15 h,每2 d换1次营养液,待幼苗长至3叶1心时期进行以下5个处理试验。处理1:(CK)Hoagland;处理2:100 mmol·L⁻¹NaCl+Hoagland;处理3:

收稿日期:2021-10-25

基金项目:黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX08);黑龙江省科研院所科研业务费(CZYP2020C007)。

第一作者:邱桂俐(1973—),女,硕士,高级农艺师,从事牧草栽培和草地改良。E-mail:diguili59@163.com。

通信作者:边亚娟(1975—),女,博士,副教授,从事微生物研究。E-mail:573637975@qq.com。

100 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl + Hoagland + 1 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Ca^{2+} ; 处理 4: 100 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl + Hoagland + 3 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Ca^{2+} ; 处理 5: 100 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl + Hoagland + 5 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Ca^{2+} 。

1.2.2 测定项目及方法 试验 7 d 后测定玉米幼苗叶片丙二醛(MDA)、叶绿素含量、过氧化物酶(POD)、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和脯氨酸含量 6 个指标, 每个处理 3 次重复。丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA)显色法、叶绿素含量测定采用乙醇浸提法、过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法、脯氨酸含量测定采用茚三酮显色法、可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法、可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝 G-250 法^[8]。

1.2.3 数据分析 试验数据用 Excel 2010 计算与作图, 各个指标数据的平均值采用 Duncan 多重比较, 并用 SPSS 18.0 软件进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 外源 Ca^{2+} 对 NaCl 胁迫下玉米幼苗叶片 MDA 含量的影响

由图 1 可知, 玉米幼苗受盐胁迫后, 处理 2 叶片 MDA 含量比处理 1(对照)增加 88.72%。说明当加入 NaCl 后, 膜脂过氧化速度很快, 生成大量 MDA。而在加入 NaCl 的同时, 施用 Ca^{2+} 后, 叶片中 MDA 的含量随着 Ca^{2+} 浓度的增加呈现先下降后上升的趋势。处理 4 Ca^{2+} 浓度为 3 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 叶片中 MDA 的含量比盐胁迫处理 2 下降 49.40%, 并且与对照中 MDA 含量最接近。由此说明玉米幼苗的 MDA 含量随着 Ca^{2+} 的增加而下降, 处理 4 Ca^{2+} 浓度为 3 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, MDA 含量下降到最低值, 缓解玉米幼苗受盐胁迫伤害的效果最佳, 与盐胁迫和其他浓度 Ca^{2+} 处理间差异显著($P < 0.05$)。

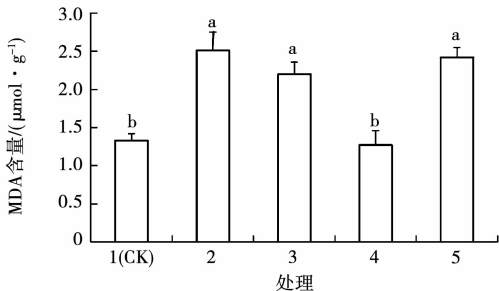


图 1 不同浓度 Ca^{2+} 对 NaCl 胁迫下玉米幼苗叶片 MDA 含量的影响

注: 图中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 外源 Ca^{2+} 对 NaCl 胁迫下玉米幼苗叶片叶绿素含量的影响

由图 2 可知, 玉米幼苗在 NaCl 胁迫下叶绿素含量降低, 处理 2 比对照降低 21.58%, 这表明盐胁迫使玉米幼苗中的叶绿素 a 和叶绿素 b 含量下降。但加入 Ca^{2+} 后叶绿素含量呈先增加后降低再略增加的趋势, 处理 3 Ca^{2+} 浓度为 1 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时玉米幼苗叶片中叶绿素含量比胁迫处理 2 增加 26.46% 且叶绿素含量与对照最接近。说明玉米幼苗受 NaCl 胁迫后加入 Ca^{2+} 能增加叶绿素含量, 当 Ca^{2+} 浓度为 1 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时缓解效果最理想, 与处理 2 盐胁迫和其他浓度 Ca^{2+} 处理间差异显著($P < 0.05$)。

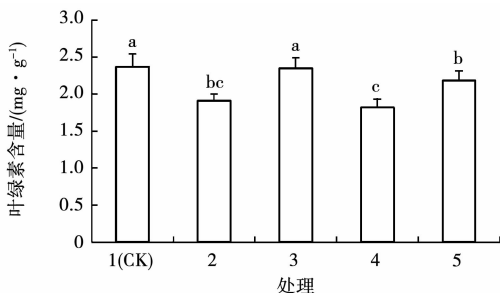


图 2 不同浓度 Ca^{2+} 对 NaCl 胁迫下玉米幼苗叶片叶绿素含量的影响

2.3 外源 Ca^{2+} 对 NaCl 胁迫下玉米幼苗叶片 POD 活性的影响

由图 3 可知, 在盐胁迫下玉米幼苗的 POD 活性显著增强, 处理 2 是对照的 1.97 倍。POD 作为植物体内的保护酶能够避免或减轻自由基对生物大分子的降解破坏, 以及对生物膜的损害^[9]。加入 Ca^{2+} 后, POD 活性呈先降低后增加的趋势, 处理 3 Ca^{2+} 浓度为 1 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 玉米幼苗的 POD 活性与对照最接近。表明 1 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Ca^{2+} 浓度能缓解盐胁迫对玉米幼苗伤害, 且与处理 2 盐胁迫差异显著($P < 0.05$)。

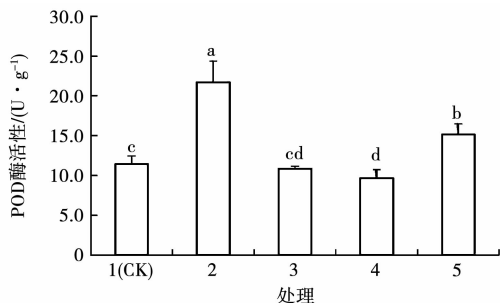


图 3 不同浓度 Ca^{2+} 对 NaCl 胁迫下玉米幼苗叶片 POD 活性的影响

2.4 外源 Ca^{2+} 对 NaCl 胁迫下玉米幼苗叶片渗透调节物质含量的影响

2.4.1 脯氨酸含量 由图 4 可知,玉米幼苗受盐胁迫时,渗透调节物质脯氨酸含量增加,处理 2 比对照增加 26.26%。脯氨酸的积累缓解了胁迫压力,当加入 Ca^{2+} 时,叶片中的脯氨酸含量呈先增加后降低再增加的趋势,处理 4 Ca^{2+} 浓度为 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,脯氨酸含量比盐胁迫时降低 29.40%,且接近对照水平。表明盐胁迫玉米幼苗的脯氨酸含量在 Ca^{2+} 浓度为 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时含量最低,是玉米幼苗受盐胁迫后的最适缓解浓度,且与处理 2 盐胁迫和其他浓度 Ca^{2+} 处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

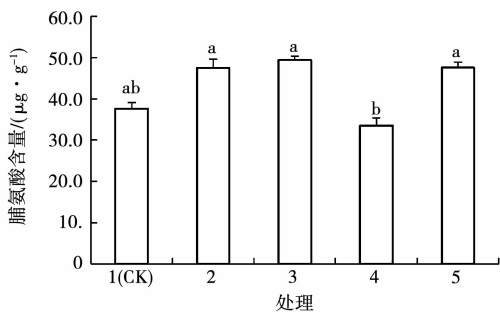


图 4 不同外源 Ca^{2+} 对 NaCl 胁迫下玉米幼苗叶片脯氨酸含量的影响

2.4.2 可溶性糖含量 由图 5 可知,处理 2 受盐胁迫的玉米幼苗可溶性糖含量比对照增加 39.50%,当加入 Ca^{2+} 后,可溶性糖含量呈现先增加后降低再增加的趋势,处理 4 Ca^{2+} 浓度为 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,叶片中的可溶性糖含量比盐胁迫处理 2 降低 22.18%,且与对照叶片中含有的可溶性糖含量最接近。由此表明当 Ca^{2+} 浓度为 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,可以缓解受盐胁迫导致的可溶性糖含量增高的问题,且与处理 2、处理 3 和处理 5 之间差异显著 ($P < 0.05$)。

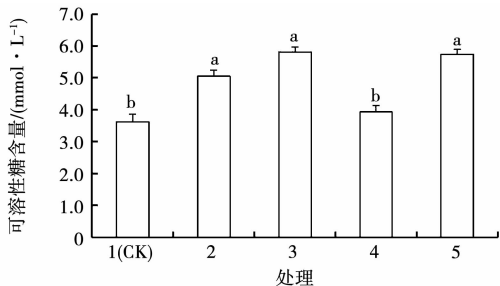


图 5 不同浓度 Ca^{2+} 对 NaCl 胁迫下玉米幼苗叶片可溶性糖含量的影响

2.4.3 可溶性蛋白质含量 由图 6 可知,玉米幼苗在 NaCl 胁迫后可溶性蛋白质含量增加,处理 2

比对照增加 5.41%。当加入 Ca^{2+} 后可溶性蛋白质含量呈先增加后降低再增加的趋势。由此说明 Ca^{2+} 能改善叶片中渗透调节物质含量,但各处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。

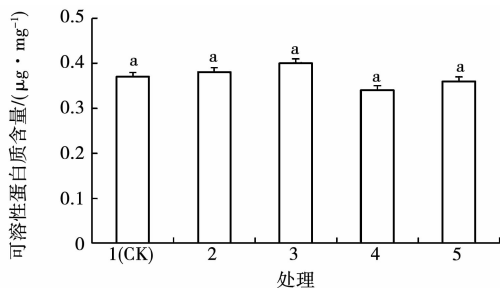


图 6 不同浓度 Ca^{2+} 对 NaCl 胁迫下玉米幼苗叶片可溶性蛋白质含量的影响

3 讨论

当植物受到盐胁迫时细胞膜系统受到伤害,细胞膜质发生过氧化,过氧化分解的最终产物为丙二醛(MDA)。植物在逆境条件下,丙二醛含量增加,当加入外源 Ca^{2+} 后丙二醛(MDA)的含量呈现先下降后上升的趋势,因此在一定程度上植物体内丙二醛含量的高低可以反映出植物对于逆境条件反应的强弱^[1],MDA 含量的变化可以作为植物抗盐性评价体系的重要参考指标。本研究结果表明,盐胁迫处理显著增加了叶片中 MDA 的含量 ($P < 0.05$),说明盐胁迫处理导致植物膜脂过氧化作用的增强,而 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}^{2+}$ 处理后,能有效缓解这种伤害。

POD 是植物体内活性氧清除酶系统的三大保护酶之一,当植物受到盐胁迫时,为了防止细胞内活性氧和自由基的毒害作用,POD 活性会增强,当加入外源 Ca^{2+} 后 POD 的活性呈现先降低后升高的趋势。POD 能够有效阻止氧的积累,防止膜脂发生过氧化作用,延缓植物的衰老,维持植物正常的生长发育^[11]。

脯氨酸、可溶性糖及可溶性蛋白质都是植物体内的渗透调节物质,在植物遭遇逆境胁迫时,可通过调节细胞内的水分变化来应对逆境环境的伤害。本研究结果表明,当植物受到盐胁迫伤害时,叶片中的脯氨酸、可溶性糖及可溶性蛋白质含量均增高,说明盐胁迫对植物造成伤害的同时,也启动了细胞的渗透调节系统,而适当浓度的 Ca^{2+} 加入后,脯氨酸、可溶性糖及可溶性蛋白质含量和盐

胁迫处理相比均有降低的趋势,且在 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Ca^{2+} 条件下,脯氨酸和可溶性糖的含量降到最低($P < 0.05$)。而可溶性蛋白在盐胁迫及加入缓解剂后含量均无显著变化。

4 结论

玉米幼苗在 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理下,叶片膜脂过氧化产物 MDA 含量显著增加,叶绿素含量显著降低,POD 活性显著增强,脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白质含量均增加,但脯氨酸和可溶性蛋白质含量在盐胁迫处理和对照处理间差异不显著($P > 0.05$)。

玉米幼苗在 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理并加入 3 个浓度梯度的 Ca^{2+} 缓解后,当 Ca^{2+} 浓度为 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,与盐胁迫处理组相比 MDA 含量、POD 活性、脯氨酸和可溶性糖含量均显著下降($P < 0.05$)。综上得出 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Ca^{2+} 处理对盐胁迫的玉米幼苗缓解效果最佳。

参考文献:

- [1] 戴高兴,彭克勤,皮灿辉. 钙对植物耐盐性的影响[J]. 中国农学通报,2003,19(3):97-101.
- [2] 王霞,杨智超,钱海霞,等. 添加外源物质硅对 NaCl 胁迫下玉米幼苗的缓解作用[J]. 安徽农业科学,2013(17):

7404-7405.

- [3] 李献宇,朱博. 大庆市盐碱化土地治理对策初探[J]. 牡丹江师范学院学报(自然科学版),2006(3):33-35.
- [4] 李建国,濮励杰,朱明,等. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J]. 地理学报,2012,67(9):1233-1245.
- [5] 胡宝忱,艾军,郭守东,等. 盐胁迫对玉米幼苗生长的影响[J]. 杂粮作物,2008,28(3):166-168.
- [6] 闫慧萍,彭云玲,赵小强,等. 外源 24-表油菜素内酯对逆境胁迫下玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 核农学报,2016,30(5):988-996.
- [7] 卢梦琪,周俊琴,刘懿瑶,等. 外源钙离子对 NaCl 胁迫下油茶花粉萌发的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2021,41(6):91-98.
- [8] 马超,孔蓓蓓,张均,等. 不同引发剂处理对水分胁迫下小麦发芽及幼苗生理特性的影响[J]. 核农学报,2017,31(2):357-363.
- [9] 王洪义,王玉凤,杨克军,等. 外源 NO 对 NaCl 胁迫下玉米幼苗脂质过氧化和抗氧化酶活性的影响[J]. 玉米科学,2014,22(4):84-87.
- [10] 魏晓艳,梁丹妮,庞丁铭,等. 14 个多年生黑麦草品种幼苗期对盐胁迫的生理响应[J]. 安徽农业科学,2017,45(1):8-12.
- [11] 谭皓,雷菲. 盐胁迫对苏丹草幼苗生长和渗透调节物质含量的影响[J]. 南方农业,2019,13(28):28-30,34.

Study on Alleviating Salt Stress Injury of Maize Seedlings by Exogenous Ca^{2+}

DI Gui-li¹, XU Yan-mei², GAO Chao¹, WANG Jian-li¹, PAN Duo-feng¹, KANG Qing-hua³, JIANG Wei-dong³, BIAN Ya-juan⁴

(1. Pratacultural Science Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Guizhou Normal University, Guiyang 163712, China; 3. Institute of Industrial Crops, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 4. Heilongjiang Vocational College of Biology Science and Technology, Harbin 150025, China)

Abstract: In order to improve the inhibition of saline alkali soil on crop growth in Daqing and promote the breeding of salt tolerant maize varieties, with maize Longyu 4 as the material, maize seedlings were treated with NaCl stress and alleviated by adding ($1, 3$ and $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) concentrations of Ca^{2+} , and the contents of malondialdehyde(MDA), chlorophyll, peroxidase (POD), soluble sugar, soluble protein and proline were measured. The results showed that the plant under salt stress compared with the control indicated the MDA content increased, chlorophyll content decreased, POD activity increased and soluble sugar content increased, significant differences ($P < 0.05$). Proline and the content of soluble protein increased, but the differences were not significant. After adding $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Ca^{2+} , the contents of MDA, proline, soluble protein and POD activity decreased to the lowest level compared with salt stress group, and the differences were significant ($P < 0.05$). In conclusion, exogenous Ca^{2+} has a certain alleviating effect on maize seedlings under salt stress, and $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Ca^{2+} treatment has the best alleviating effect on maize seedlings under salt stress.

Keywords: exogenous calcium; alleviatory effects; maize; salt stress