

外源钙对铝胁迫下辣椒植株几个生理指标的影响

杨列亮 (枣庄市市中区农村能源办公室, 山东枣庄 277101)

摘要 [目的] 为了解辣椒的耐铝机理提供参考依据。[方法] 研究了不同浓度钙处理对同一浓度铝胁迫下辣椒植株生理特性的差异, 解析在几种不等钙浓度状态下辣椒植株生理生化特性和形态的改变。[结果] 在 200 $\mu\text{mol/L}$ 铝胁迫下, 辣椒植株生长明显受到影响; 加入不同浓度的钙, 可有效地减轻铝对辣椒幼苗的胁迫, 随钙溶液处理浓度的增加, 辣椒植株叶片的叶绿素含量变化幅度较小; 净光合速率呈先上升后下降的趋势; 细胞间隙二氧化碳浓度表现出递增式下降; 辣椒植株的根长随钙浓度增加而增长。[结论] 1 mmol/L 钙离子对辣椒植株的铝胁迫缓解达到最佳生理状态。

关键词 辣椒; 钙离子; 铝胁迫; 生理特性

中图分类号 S641.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)25-08481-02

Influence of Exogenous Calcium on Several Physiological Indices of Pepper Plant Under Aluminum Stress

YANG Lie-liang (Downtown District of Zaozhuang Rural Energy Office, Zaozhuang, Shandong 277101)

Abstract [Objective] The research aimed to provide the reference basis for the mechanism of aluminum resistance of pepper plant. [Method] Under different concentration of calcium treatment, the different physiological characteristics of the pepper plant under aluminum stress in the same concentration were studied, and physiological characteristics change was analyzed. [Result] Under 200 $\mu\text{mol/L}$ aluminum stress, hot pepper plant growth was significantly affected. In different concentrations of calcium aluminum, Ca^{2+} could effectively reduce the stress of hot pepper seedlings, with the increase of aqueous calcium concentration, hot pepper plant changed in small variations in the chlorophyll content of leaves. Net photosynthetic rate showed a trend of falling after rising first. Intercellular CO_2 concentration showed an incremental decline. Pepper plant root was significantly longer. [Conclusion] 1 mmol/L Ca^{2+} was the best for aluminum stress relief of the pepper plant.

Key words Pepper; Calcium; Stress of aluminium; Physiological characteristics

铝作为地壳中含量最丰富的金属元素, 一般情况下以稳定的铝硅酸盐形式存在于土壤中。然而, 由于最近几年的酸雨沉降增长和大量使用生理酸性化肥, 土壤中的铝含量增加, 铝毒害已逐渐成为影响作物生长和减产的重要因素^[1]。铝胁迫主要表现为阻碍作物根系生长。根系短时间接触铝毒害就可以受到毒害作用, 表现出根系受阻症状^[1-3]。我国 15 个省分布有酸性土壤, 占我国土壤总面积的 21%^[4]。因此, 铝毒害已经成为影响我国农业生产的重要因素。所以, 研究铝胁迫对酸性土壤的毒害和找到消除铝胁迫对酸性土壤毒害的方法, 已成为提高作物产量的重要途径。

现今国内外已经针对植物铝毒害展开了一定的研究。大量试验证明, 铝对植物的毒害作用主要体现在植物的根系中, 铝毒害机制可能与破坏植物根部细胞膜的结构与功能有关^[5], 在细胞膜中 Ca^{2+} 参与细胞内各种生化过程调控, 稳定细胞膜, 起到与 Al^{3+} 相反的作用^[6-10]。针对小麦、苜蓿、大豆等植物的铝毒害问题, 可以施用外源钙以缓解毒害^[11-13]。目前, 有关钙是否能够缓解辣椒铝胁迫还未见报道。笔者研究了几种浓度钙对铝胁迫下辣椒幼苗生长的影响, 以期利用外源物质减轻铝胁迫毒害提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 供试材料为辣椒种子红龙 2 号。

1.2 方法 辣椒种子经过处理后, 被栽种于土壤中。当幼苗长至 3~4 片真叶时, 选择生长一致的辣椒幼苗移栽于塑料盆中, 进行土培培养。当幼苗长至 5~6 片真叶时, 对辣椒幼苗进行处理。为了避免铝离子与钙离子发生沉淀, 把 AlCl_3 (200

$\mu\text{mol/L}$) 和不同浓度的钙溶液分开浇, 先浇不同浓度的钙溶液, 24 h 后再浇 200 $\mu\text{mol/L}$ 的 AlCl_3 溶液。钙离子浓度设 6 个处理, 分别为 0(CK)、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 mmol/L。每个处理 3 次重复, 交替处理 10 d 后取样进行检测。

2 结果与分析

2.1 CaCl_2 对铝胁迫下辣椒幼苗根长的影响 在铝胁迫下作物根尖首先受到毒害, 具体表现为伸长区细胞活性受到抑制, 即伸长受抑制^[14]。由图 1 可知, 未用 CaCl_2 处理的辣椒幼苗的根长为 3.42 cm, 不同浓度 CaCl_2 处理的辣椒幼苗的根系生长比 CK 得到明显的改善, 且随着 CaCl_2 浓度的继续增加, 根长先增加, 在 1 mmol/L 浓度后开始下降。由此可知, 铝胁迫下辣椒幼苗根长伸长受到抑制, 而加入适量的外源钙能够起到缓解根系毒害影响, 但当加入过量的外源钙时, 辣椒幼苗也会出现与根系毒害效应, 使得根系伸长受到抑制。

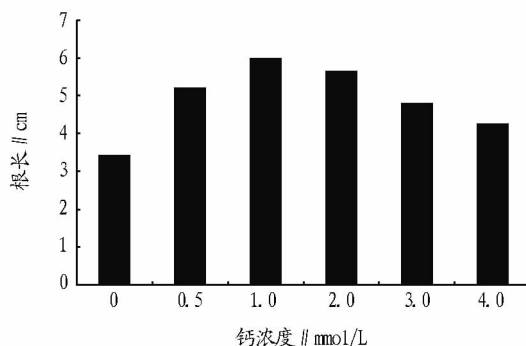


图 1 不同浓度 CaCl_2 对辣椒植株根长的影响

2.2 CaCl_2 对铝胁迫下辣椒幼苗叶片细胞间隙二氧化碳浓度的影响 当植物受到不良环境影响时, 植物会增强呼吸作用来抵抗外界的不良环境。由图 2 可知, 随着 CaCl_2 浓度的

变化,辣椒幼苗叶片的细胞间隙二氧化碳浓度呈递增式下降,当钙浓度在0.5 mmol/L时细胞间钙浓度二氧化碳浓度最低,说明钙对铝胁迫的缓解效果最好。

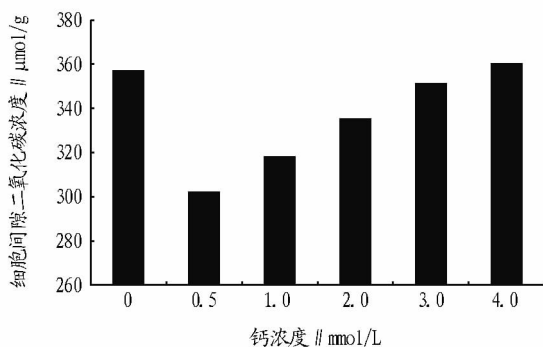


图2 不同浓度CaCl₂对辣椒幼苗叶片的细胞间隙二氧化碳浓度的影响

2.3 CaCl₂对铝胁迫下辣椒幼苗叶片中丙二醛含量的影响 在不良环境条件下,植物体内会产生过氧化物。丙二醛(MDA)是其产物之一。其含量可以代表膜损伤程度,反映植物在逆境条件下的生理变化^[15-16]。

由图3可知,铝胁迫处理后辣椒的MDA含量(以鲜质量计)明显升高,随着外源钙离子浓度的上升MDA含量逐渐降低,在1 mmol/L处最低,随后MDA含量有所增加,说明1 mmol/L Ca²⁺能够很好地缓解盐胁迫,降低MDA含量。不同浓度CaCl₂能够降低盐胁迫对辣椒幼苗的伤害,减少MDA的产生。

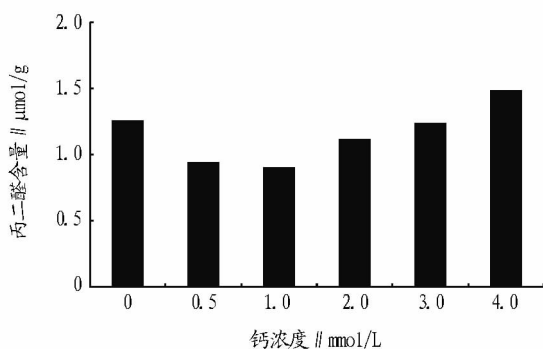


图3 不同浓度CaCl₂对辣椒幼苗叶片丙二醛含量的影响

2.4 CaCl₂对铝胁迫下辣椒幼苗叶片叶绿素含量的影响 逆境胁迫能够引起植物组织叶绿素含量的变化,进而影响植物的光合作用。由图4可知,不同CaCl₂浓度处理间辣椒幼苗叶片中的叶绿素含量差异不显著($P > 0.05$)。钙元素浓度大小对辣椒幼苗叶部的叶绿素含量无明显的影响。

2.5 CaCl₂对铝胁迫下辣椒幼苗叶片光合速率的影响 在盐胁迫下,幼苗叶片的净光合速率减小^[17]。由图5可知,外加一定浓度的钙离子后,幼苗叶片的净光合速率显著增加,净光合速率一直高于未加钙离子的处理组,到2 mmol/L时净光合速率逐渐降低,与未加外源钙离子的差异减小。可以看出,钙离子浓度为1 mmol/L时净光合速率最高,说明1 mmol/L浓度缓解效果较好。不同浓度外源钙处理与对照间辣椒幼苗叶片的净光合速率极显著($P < 0.05$),表明辣椒幼

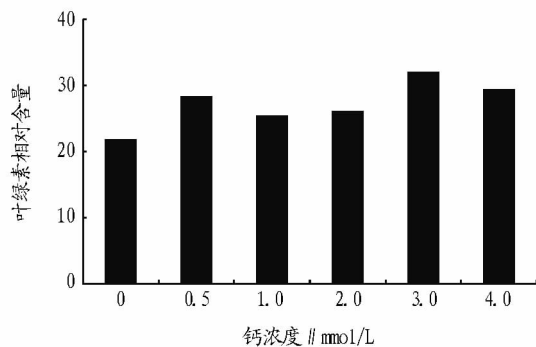


图4 CaCl₂对铝胁迫下辣椒幼苗叶片叶绿素含量的影响

苗在盐胁迫下,外加一定范围浓度的钙离子,幼苗叶片的净光合速率增加,辣椒幼苗的受伤害程度减少。

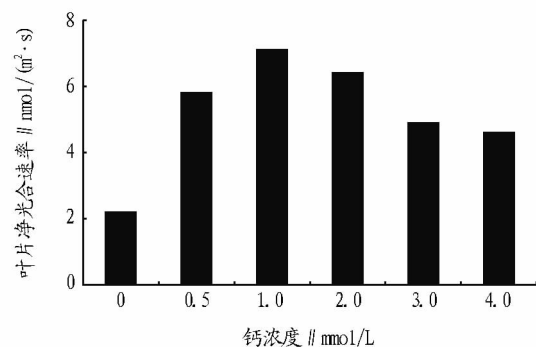


图5 不同浓度CaCl₂对辣椒叶片净光合速率的影响

3 小结与讨论

研究表明,高浓度的铝明显抑制辣椒幼苗的根伸长,叶片中的MDA含量上升。这种对铝毒害的缓解作用可能与Ca²⁺浓度有关。适宜的高浓度的CaCl₂缓解了铝对辣椒幼苗的毒害,从而增强辣椒对铝胁迫的适应性。产生这样结果的原因,可能是因为Ca²⁺和Al³⁺能够同时被辣椒幼苗的根系吸收,从而存在竞争关系。有研究表明,Al³⁺能专一性地结合在Ca²⁺通道上,外源钙促使铝吸收和积累量下降,从而降低铝胁迫的伤害^[18]。另一方面,施用外源Ca²⁺提高了辣椒幼苗体内钙含量。随着Ca²⁺浓度的增加,根长、净光合速率呈现先升后降的趋势,MDA含量与此相反,可能是因为外源Ca²⁺浓度过高时会引起细胞反馈调节,则起着相反作用,对细胞造成伤害。而叶绿素含量变化几乎无影响,可能原因与所测叶片部位不一致有关,导致叶绿素含量的测定没有规律性。

植物的抗重金属机理是一个由多基因控制的数量性状。这也决定了抗重金属机理的复杂性。该试验仅研究了钙离子调控对辣椒幼苗根的伸长变化、细胞间隙二氧化碳浓度、丙二醛含量、叶绿素含量和光合速率的影响,还不能够充分解释钙离子对辣椒耐铝胁迫程度的影响,至于其他相关因素的影响作用还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 曾巧英,王蕴波,杨泉女,等. 不同浓度铝胁迫对甜玉米幼苗生长的影响研究[J]. 佛山科学技术学院学报:自然科学版,2009,27(2):5-8.
- [2] 黄凯丰,张兰,胡丽雪,等. 不同柠檬酸处理对铝胁迫下苦荞幼苗生理特性的影响[J]. 广东农业科学,2012(11):28-33.

- [16] LIANG J S, ZHANG J H, WONG M H. How do roots control xylem sap ABA concentration in response to soil drying? [J]. *Plant and Cell Physiology*, 1997, 38(1): 10–16.
- [17] MCAINSH M R, BROWNLEE C, HETHERINGTON A M. Abscisic acid-induced elevation of guard cell cytosolic Ca^{2+} precedes stomatal closure [J]. *Nature*, 1990, 343: 186–188.
- [18] GILROY S, READ N D, TREWAVAS A J. Elevation of cytoplasmic Ca^{2+} by caged calcium or caged inositol triphosphate initiates stomatal closure [J]. *Nature*, 1990, 346: 769–771.
- [19] PEI Z M, MURATA Y, BENNING G, et al. Calcium channels activated by hydrogen peroxide mediate abscisic acid signaling in guard cells [J]. *Nature*, 2000, 406: 731–734.
- [20] 刘子会, 张红梅, 郭秀林. ABA 诱导的玉米保卫细胞胞质钙离子浓度的变化[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(10): 3357–3362.
- [21] 吕东, ATHKI 参与 ABA 诱导气孔关闭的信号转导过程 [D]. 开封: 河南大学, 2012: 1–8.
- [22] SCHROEDER J I, KWAK J M, ALLEN G J. Guard cell abscisic acid signaling and engineering drought hardiness in plants [J]. *Nature*, 2001, 410: 327–330.
- [23] HAMILTON D W A, HILLS A, KOHLER B. Ca^{2+} channels at the plasma membrane of stomatal guard are activated by hyperpolarization and abscisic acid [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2000, 97: 4967–4972.
- [24] MERLOT S, GOSTI F, GUERRIER D, et al. The ABI1 and ABI2 protein phosphatases 2C act in a negative feed-back regulatory loop of the abscisic acid signaling pathway [J]. *Plant Cell*, 2001, 25: 295–303.
- [25] LECKIA C P, MCAINSH M R, ALLEN G J, et al. Abscisic acid-induced stomatal closure mediated by cyclic ADP-ribose [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1998, 95: 15837–15842.
- [26] ZHANG X, MIAO Y C, AN G Y, et al. K^{+} channels inhibited by hydrogen peroxide mediate abscisic acid signaling in guard cells [J]. *Cell Research*, 2001, 11(3): 195–202.
- [27] BLATT M R. Reassessing roles for Ca^{2+} in guard cell signaling [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1999, 50: 989–999.
- [28] 熊俊兰, 谭瑞, 孔海燕, 等. 植物 ABA- H_2O_2 介导的气孔关闭[J]. *植物生理学报*, 2012, 48(8): 739–746.
- [29] PITZSCHKE A, HIRT H. Mitogen-activated protein kinases and reactive oxygen species signaling in plants [J]. *Plant Physiology*, 2006, 141(2): 351–356.
- [30] MURATA Y, PEI Z M, MORI I C, et al. Abscisic acid activation of plasma membrane Ca^{2+} channels in guard cells requires cytosolic NAD(P)H and is differentially disrupted upstream and downstream of reactive oxygen species production in abi-1 and abi-2-1 protein phosphatase 2C Mutants [J]. *Plant Cell*, 2001, 13(11): 2513–2523.
- [31] MIAO Y C, SONG C P, DONG F C, et al. ABA-induced hydrogen peroxide generation in guard cells of *Vicia faba* [J]. *Acta Phytophysiological Sinica*, 2000, 26(1): 53–58.
- [32] MUSTILLI A C, MERLOT S, VAVASSEUR A, et al. *Arabidopsis* OST1 protein kinase mediates the regulation of stomatal aperture by abscisic acid and acts up stream of reactive oxygen species production [J]. *Plant Cell*, 2002, 14(12): 3089–3099.
- [33] BRIGHT J, DESIKAN R, HANCOCK J T, et al. ABA-induced NO generation and stomatal closure in *Arabidopsis* are dependent on H_2O_2 synthesis [J]. *The Plant Journal*, 2006, 45(1): 113–122.
- [34] 韩燕, 余小平. NO , H_2O_2 介导根系渗透胁迫和脱落酸诱导的气孔关闭[J]. *陕西师范大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(4): 83–87.
- [35] 安国勇, 宋纯鹏, 张骁, 等. 过氧化氢对蚕豆气孔运动和质膜 K^{+} 通道的影响[J]. *植物生理学报*, 2000, 26(5): 458–463.
- [36] LAMATTINA L, GARCIA-MATTA C, GRAZIANO M, et al. Nitric oxide: the versatility of an extensive signal molecule [J]. *Annual Review of Plant Biological*, 2003, 54: 109–136.
- [37] 钱宝云, 李霞. 植物气孔运动调节的新进展[J]. *植物研究*, 2013, 33(1): 120–128.
- [38] 吕东, 张骁, 江静. NO 可能作为 H_2O_2 的下游信号介导 ABA 诱导的蚕豆气孔关闭[J]. *植物生理与分子生物学学报*, 2005, 31(1): 62–70.
- [39] NEILL S J, DESIKAN R, CLARKE A. Nitric oxide is a novel component of abscisic acid signaling in stomatal guard cells [J]. *Plant Physiology*, 2002, 128: 13–16.
- [40] NEILL S J, DESIKAN R, CLARKE A, et al. Hydrogen peroxide and nitric oxide as signalling molecules in plants [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(327): 1237–1247.
- [41] GARCIA-MATA C, GAY R, SOKOLVSKI S, et al. Nitric oxide regulate K^{+} and Cl^{-} channels in guard cells through a subset of abscisic acid-evoked signaling pathways [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2003, 100: 1116–1121.
- [42] DESIKAN R, CHEUNG M K, BRIGHT J, et al. ABA, hydrogen peroxide and nitric oxide signalling in stomatal guard cells [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55(395): 205–212.
- [43] 王淼, 李秋荣, 付士磊, 等. 一氧化氮是脱落酸诱导杨树叶片气孔关闭的信号分子[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1776–1780.
- [44] LI Y, YIN H, WANG Q, et al. Oligochitosan induced *Brassica napus* L. production of NO and H_2O_2 and their physiological function [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2009, 75(4): 612–617.
- [45] 郝格格, 孙忠富, 张灵强, 等. 脱落酸在植物逆境胁迫研究中的进展[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(18): 212–215.

(上接第 8482 页)

- [3] 顾明华, 黎晓峰. 硅对减轻水稻的铝胁迫效应及其机理研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(3): 360–366.
- [4] 何虎翼, 何龙飞, 黎晓峰, 等. 硝普钠对铝胁迫下黑麦和小麦根尖线粒体功能的影响[J]. *植物生理与分子生物学学报*, 2006, 32(2): 239–244.
- [5] 邢承华, 朱美红, 张淑娜, 等. 磷对铝胁迫下荞麦根际土壤铝形态和酶活性的影响[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(5): 1944–1948.
- [6] 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.
- [7] 王宝增, 孙国徽. 外源钙对小麦幼苗耐盐性的影响[J]. *湖北农业科学*, 2009, 48(5): 1070–1072.
- [8] 徐秋曼, 陈宏, 程景胜. 外源 Ca^{2+} 对水稻幼苗生长的影响[J]. *天津师大学报: 自然科学版*, 1994, 17(3): 49–58.
- [9] 龚伟, 王伯初. 钙离子在植物抵抗非生物胁迫中的作用[J]. *生命的化学*, 2011, 31(1): 107–111.
- [10] 王瑞云, 王玉国. 钙在植物生理代谢中的作用[J]. *世界农业*, 2001(8): 41–43.
- [11] 何龙飞, 沈振国, 刘友良. 铝胁迫对小麦根际液泡膜 ATP 酶、焦磷酸酶活性和膜脂组成的效应[J]. *植物生理学报*, 1999, 25(4): 350–356.
- [12] 罗献宝, 黎晓峰, 沈方科, 等. 苜蓿初生根的铝胁迫与钙对铝胁迫的缓解作用[J]. *广西农业生物科学*, 2006, 25(3): 243–247.
- [13] 陈文荣, 刘鹏, 徐根娣, 等. 施钙处理对大豆铝毒缓解作用的研究[J]. *浙江师范大学学报: 自然科学版*, 2008, 31(2): 201–207.
- [14] 张英慧. Ca^{2+} 对蚕豆种子萌发及根生长的影响[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(10): 5713–5714.
- [15] 张杰, 黄永杰, 周守标. 铜胁迫下镉对水稻幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J]. *环境化学*, 2010, 29(5): 932–937.
- [16] 尹博, 王秀峰, 姜春辉, 等. 外源油菜素内酯对番茄铜胁迫的缓解效应[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(1): 162–168.
- [17] 张振兴, 孙锦, 郭世荣, 等. 钙对盐胁迫下西瓜光合特性和果实品质的影响[J]. *园艺学报*, 2011, 38(10): 1929–1938.
- [18] 伍志权, 郑雪宜, 钱春梅. 钙对铝胁迫下水稻抗氧化酶活性的影响[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(35): 21732–21734.