

# 水杨酸对番茄种子萌发及幼苗生长铬胁迫的缓解效应

陈德碧, 朱建勇

(重庆文理学院 生命科学与技术学院, 重庆 永川 402168)

**摘要:**以“903”番茄种子为试材, 探讨了水杨酸对0.01 mmol/L  $\text{Cr}^{6+}$  胁迫下番茄种子萌发和幼苗生长的缓解效应。结果表明: 在0.01 mmol/L  $\text{Cr}^{6+}$  胁迫下, 0.02~0.1 g/L SA 均能显著提高番茄种子的发芽率、发芽势、发芽指数并促进幼苗生长, 提高叶绿素和可溶性糖的含量, 可明显缓解铬对番茄种子萌发生长的毒害, 并以0.1 g/L 水杨酸效果最好。

**关键词:**水杨酸; 番茄; 铬胁迫; 缓解效应

**中图分类号:**S 641.204<sup>+</sup>.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2010)02-0013-04

重金属污染是当今世界倍受关注的公害之一, 随着科学技术的迅猛发展和工业化进程的加快, 以各种途径进入土壤的铬已成为环境的污染源。已有的研究发现, 铬能抑制部分种子萌发, 减少细胞分裂数目, 诱发多种染色体畸变<sup>[1]</sup>, 并使细胞保护系统功能受损, 过氧化作用加剧, 严重时将导致植物死亡<sup>[2]</sup>。作物中累积的铬又能通过食物链富集于人体, 对人体健康造成危害。如何解决铬污染问题、缓解铬的毒害越来越受到人们的关注。

水杨酸 (Salicylic acid, SA) 是广泛存在于植物界的一种小分子酚类物质, 化学名称为邻羟基苯甲酸, 通过多种途径调节植物一系列生长发育过程, 被认为是一种新型植物激素<sup>[3-4]</sup>。越来越多的研究表明, SA 不仅是植物抗病反应的信号分子, 而且是诱导植物对非生物逆境反应的抗性信号分子<sup>[5-9]</sup>。SA 能诱导植物产生抗寒性<sup>[7-8]</sup>、抗盐性<sup>[9-10]</sup>、抗旱性<sup>[11]</sup>、抗重金属性<sup>[12-13]</sup>。目前, SA 在抗盐性、抗冷性方面的研究报道较多, 在缓解重金属对植物的毒害报道却较少。该试验以蔬菜番茄为材

料研究了不同浓度 SA 对铬胁迫下番茄种子萌发及幼苗生长的影响, 旨在探索适宜的 SA 浓度来缓解铬胁迫对番茄种子萌发和生长的抑制作用, 为解决农业生产中逆境因子的伤害提供一定的理论依据, 同时对于将 SA 运用于蔬菜种植业, 促进绿色食品业的发展也具有重要的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试番茄种子为番茄 903 号, 购自重庆市永川种子公司。 $\text{Cr}^{6+}$  溶液为重铬酸钾 ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 配制而成。水杨酸为分析纯。

### 1.2 试验方法

选取饱满整齐一致的番茄种子, 用 10% 次氯酸钠消毒 15 min, 自来水冲洗 3 次, 再用去离子水冲洗 3 次, 吸干种子表面水分, 将种子放入垫有 3 层滤纸的培养皿中, 每皿放 50 粒番茄种子, 在 6 个培养皿中分别加入浓度为 0、0.02、0.05、0.10、0.15、0.20 g/L 的 SA 和 0.01 mmol/L  $\text{Cr}^{6+}$  溶液, 用去离子水处理作为对照 (CK), 共 7 个处理, 每个处理重复 3 次。置于  $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  光照培养箱中进行发芽。每天用相应的处理液冲洗培养皿中的滤纸, 以保证处理浓度不变。第 4 天统计发芽势, 第 7 天统计发芽率<sup>[14]</sup>。发芽结束后, 测定幼苗的根长、芽长、苗鲜重以及叶绿素和可溶性糖的含量。

**第一作者简介:** 陈德碧 (1968—), 女, 重庆长寿人, 硕士, 实验师, 现主要从事植物生理生态研究工作。E-mail: 499420464@qq.com。

**基金项目:** 重庆文理学院重点资助项目 (Y2009SK67)。

**收稿日期:** 2009-09-20

root ability between different type shoots of *Zizphus spinosus*. The rooting rate of first-regeneration top shoot was more than that of other shoots. Its average rooting rate was 71.8%, and the rooting rate of the middle part shoots was 45.3%. The average rooting rate of second-regeneration shoots was the lowest, only 42.6%.

**Key words:** plant growth regulators; *Zizphus spinosus*; cutting propagation

1.3 测试指标

发芽率=发芽种子数/种子总数×100%；发芽势=第4天发芽种子数/种子总数×100%；发芽指数=Σ(Gt/Dt)(Gt指在t时间内的发芽数，Dt为相应的发芽天数)；叶绿素含量的测定采用分光光度法<sup>[15]</sup>；可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法<sup>[16]</sup>。

1.4 数据分析

测试的数据用 DPS 7.05 进行单因素方差分析和多重比较，文中数据以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 水杨酸对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄种子萌发特性的影响  
用不同浓度 SA 处理 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄种子，将其发芽率、发芽势、发芽指数的结果进行单因素方差分析，由表 1、2、3 可知，不同浓度 SA 处理对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄种子萌发特性的影响均呈现显著性差异(P<0.05)，采用最小显著性差异法(LSD 法)进行多重比较，由表 4 可知，Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄种子的各项萌发数值均低于 CK，差异显著，表明 0.01 mmol/L Cr<sup>6+</sup> 处理明显抑制了番茄种子的萌发，番茄种子的发芽率、发芽势、发芽指数分别下降了 16.1967%、15.2381%、2.1。在 0.01 mmol/L Cr<sup>6+</sup> 胁迫条件下，加入不同浓度外源 SA 后，番茄种子萌发受 Cr<sup>6+</sup> 胁迫程度减轻，萌发指标均有不同程度的提高。各处理相比，0.1 g/L SA 处理对缓解 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄种子萌发效果最好，发芽率、发芽势、发芽指数分别提高了 15.2433%、17.1429%、1.9334，差异均达到显著水平。不同浓度 SA 处理对 0.01 mmol/L Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄种子萌发缓解效应的大小(g/L)为 0.1>0.05>

0.15>0.02>0.2。

表 1 SA 对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄种子发芽率影响的方差分析

变异来源	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean squares	F 值	p 值
处理间 Between processing	650.2909	6	108.3818	9.6050	0.0003
处理内 Within processing	157.9675	14	11.2834		
总变异 Total variance	808.2584	20			

表 2 SA 对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄种子发芽势影响的方差分析

变异来源	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean squares	F 值	p 值
处理间 Between processing	731.5840	6	121.9307	8.4770	0.0005
处理内 Within processing	201.3605	14	14.3829		
总变异 Total variance	932.9445	20			

表 3 SA 对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄种子发芽指数影响的方差分析

变异来源	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean squares	F 值	p 值
处理间 Between processing	13.7632	6	2.2939	18.2080	0.0001
处理内 Within processing	1.7637	14	0.1260		
总变异 Total variance	15.5270	20			

表 4 SA 对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄种子萌发的影响

Table 4 Effect of salicylic acid on tomato seed germination under chromium stress

处理 Treatment	发芽率 Germination rate/%	发芽势 Germination potential/%	发芽指数 Germination index
去离子水(CK)	81.9067±1.6512a	79.0476±4.3644a	10.2633±0.4015a
0 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	65.71±0.0000d	63.8095±1.6496c	8.1633±0.2021c
0.02 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	73.3333±4.3644c	71.4286±5.7143b	9.1333±0.4053b
0.05 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	80±2.8600ab	79.0476±4.3644a	9.83±0.2381a
0.1 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	80.9533±4.3633ab	80.9524±3.2991a	10.0967±0.2411a
0.15 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	75.24±3.30241c	71.4286±2.8571b	9.0567±0.5352b
0.2 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	70.4767±4.3687cd	68.5714±2.8571bc	8.12±0.3381c

注：同一列不同的字母表示显著差异(P<0.05)，下同。

Notes: Significant differences (P<0.05) among treatments in the same column are indicated by different letters the following table same.

表 5 SA 对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗根长影响的方差分析

Table 5 Variance analysis on effect of salicylic acid on the length of tomato root under chromium stress

变异来源	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean squares	F 值	p 值
处理间 Between processing	756.0503	6	126.0084	31.0330	0.0001
处理内 Within processing	824.2667	203	4.0604		
总变异 Total variance	1580.3170	209			

2.2 水杨酸对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗生长的影响

水杨酸缓解处理 Cr<sup>6+</sup> 胁迫，将番茄幼苗根长、芽长和植株鲜重的测定结果分别进行单因素方差分析

(表 5、6、7)，不同浓度 SA 处理对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗生长的差异均达到显著性水平(P<0.05)，进行 LSD 法多重比较，结果表明(表 8)，Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗生长明显受到抑制，根长、芽长、植株鲜重分别与对照相比下降了 4.36 cm、0.71 cm、0.0905 g。当向 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄种子中加入不同浓度的 SA 后，浓度在 0.02~0.1 g/L 内能明显缓解 Cr<sup>6+</sup> 对番茄幼根和幼芽生长的抑制作用，提高番茄幼苗的鲜重，当 SA 浓度为 0.1 g/L 时，对番茄幼根的缓解作用最好，幼苗鲜重达最大。继续增大 SA 浓度时，番茄幼苗的生长受到抑制，幼苗根长、芽长和苗鲜重下降。

表 6 SA 对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗芽长影响的方差分析

Table 6 Variance analysis on effect of salicylic acid on the length of tomato bud under chromium stress

变异来源	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean squares	F 值	p 值
处理间 Between processing	28.9732	6	4.8289	19.4100	0.0001
处理内 Within processing	50.5030	203	0.2488		
总变异 Total variance	79.4762	209			

表 8 SA 对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗生长的影响

Table 8 Effect of salicylic acid on tomato seedling growth under chromium stress

处理 Treatment	根长 Root length/cm	芽长 Bud length/cm	苗鲜重 Seedling fresh weight/g
去离子水 (CK)	10.38±1.60 a	3.74±0.64 a	0.2972±0.0140 a
0 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	6.02±1.62 d	3.03±0.53 cd	0.2067±0.0131 cd
0.02 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	7.18±2.50 c	3.41±0.49 b	0.2231±0.0273 c
0.05 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	8.54±2.26 b	3.42±0.38 b	0.2477±0.0378 b
0.1 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	9.39±2.291 ab	3.21±0.51 bc	0.2527±0.0442 b
0.15 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	5.63±1.68 ed	2.80±0.52 de	0.1948±0.0506 d
0.2 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	4.95±1.95 e	2.57±0.36 e	0.1549±0.0430 e

2.3 水杨酸对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗叶绿素含量的影响

叶绿素是植物进行光合作用的主要色素, 含量的高低能反应植物光合作用水平的强弱。将用不同 SA 浓度处理的番茄幼苗叶绿素含量进行单因素方差分析, 由表 9 可知, 各处理间的差异均达显著水平 ( $P<0.05$ )。进行 LSD 法多重比较, 结果见表 10, Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗的叶绿素含量与对照相比下降了 0.3903 mg/g, 叶绿素合成受到抑制。加入不同浓度水杨酸后, 各处理显著提高了 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗叶绿素含量, 促进了叶绿素的合成, 其中 0.05、0.1 g/L SA 处理效果较好, 叶绿素含量分别与 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下相比提高了 0.295、0.2903 mg/g。

表 9 SA 对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗叶绿素含量影响的方差分析

Table 9 Variance analysis on effect of salicylic acid on the content of chlorophyll in tomato seedling under chromium stress

变异来源	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean squares	F 值	p 值
处理间 Between processing	0.3288	6	0.0548	58.5730	0.0001
处理内 Within processing	0.0131	14	0.0009		
总变异 Total variance	0.3419	20			

表 10 SA 对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗叶绿素含量的影响

Table 10 Effect of salicylic acid on the content of chlorophyll in tomato seedling under chromium stress

处理 Treatment	叶绿素含量 Chlorophyll content/(mg·g <sup>-1</sup> FW)
去离子水(CK)	1.617±0.008a
0 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	1.2267±0.0065d
0.02 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	1.4903±0.0051b
0.05 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	1.5217±0.0161b
0.1 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	1.517±0.0161b
0.15 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	1.34970±0.0049c
0.2 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	1.3297±0.0111c

2.4 水杨酸对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼芽可溶性糖含量影响

可溶性糖是植物体内重要的渗透调节物质, 对于

表 7 SA 对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗鲜重影响的方差分析

Table 7 Variance analysis on effect of salicylic acid on the fresh weight of tomato seedling under chromium stress

变异来源	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean squares	F 值	p 值
处理间 Between processing	0.3798	6	0.0633	49.7730	0.0001
处理内 Within processing	0.2582	203	0.0013		
总变异 Total variance	0.6379	209			

逆境的适应, 减少伤害方面起着很重要的作用<sup>[17]</sup>。由表 11 可知, 不同浓度 SA 处理对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼芽可溶性糖含量差异显著。由表 12 可得, Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼芽可溶性糖含量明显高于对照(CK), 经不同浓度水杨酸处理后, 番茄幼芽可溶性糖含量受到不同程度的影响。当 SA 浓度在 0.05~0.15 g/L 范围时, Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼芽可溶性糖含量随 SA 浓度增大而升高, SA 浓度为 0.15 g/L 时可溶性糖含量达最大值, 继续增大 SA 的浓度, 番茄幼芽可溶性糖含量下降。说明适宜的 SA 浓度可提高番茄幼芽可溶性糖含量, 提高幼苗渗透调节能力, 从而缓解 Cr<sup>6+</sup> 胁迫对番茄幼苗造成的伤害。

表 11 SA 对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗可溶性糖含量影响的方差分析

Table 11 Variance analysis on effect of salicylic acid on the content of soluble sugar in tomato seedling under chromium stress

变异来源	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean squares	F 值	p 值
处理间 Between processing	118.0611	6	19.6769	11.1310	0.0001
处理内 Within processing	24.7483	14	1.7677		
总变异 Total variance	142.8095	20			

表 12 SA 对 Cr<sup>6+</sup> 胁迫下番茄幼苗可溶性糖含量的影响

Table 12 Effect of salicylic acid on the content of soluble sugar in tomato seedling under chromium stress

处理 Treatment	可溶性糖含量 Soluble sugar content/(mg·g <sup>-1</sup> FW)
去离子水 (CK)	10.0095±0.2182e
0 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	12.819±1.0457bcd
0.02 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	12.0333±1.2087cde
0.05 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	13.0333±0.2974bc
0.1 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	17.5809±1.3857a
0.15 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	14.6524±0.0412b
0.2 g/L SA+0.01 mmol/L Cr <sup>6+</sup>	10.6048±2.786de

### 3 讨论

SA 是一种已被公认的新型植物生长调节物质,能够激活一系列植物抗性防卫反应。该研究发现,在 0.01 mmol/L  $\text{Cr}^{6+}$  胁迫下,当加入 SA 浓度为 0.02~0.1 g/L 时, $\text{Cr}^{6+}$  胁迫对番茄种子的萌发和生长的抑制作用得到了一定程度的缓解,且随 SA 浓度的升高,缓解效应增强,番茄种子的发芽率、发芽势、发芽指数均逐渐上升,幼苗的叶绿素和可溶性糖的含量提高,促进了幼苗的生长,植株鲜重增加,缓解了铬胁迫对番茄种子萌发及生长所造成的伤害,并以 0.1 g/L 水杨酸处理效果最好。当 SA 浓度高于 0.1 g/L 时对幼苗的生长有抑制作用,这可能与高浓度 SA 是氧化剂,可以诱导氧化胁迫,从而导致细胞中活性氧积累,引起膜脂过氧化有一定的关系。由于 SA 的高效、低成本、无毒、无残留等优点,使得其在生产应用中显出广阔的前景。目前,有关 SA 诱导植物重金属抗性的机理的研究尚属起步阶段,不同植物及同一植物的不同时期对 SA 的敏感性不同,还有待进一步研究。

#### 参考文献

- [1] 张义贤. 三价铬和六价铬对大麦毒害效应的比较[J]. 环境科学, 1997, 17(6): 565—568.
- [2] 周易勇. 高浓度的铬对凤尾莲的伤害及膜脂过氧化作用的影响[J]. 环境科学, 1992, 14(3): 214—220.
- [3] 林忠平, 胡雷. 植物抗逆性与水杨酸介导的信号传导途径的关系[J].

植物学报, 1997, 39(2): 185—188.

- [4] Raskin I. Role of salicylic acid in plants[J]. Anna Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1992, 43: 439—463.
- [5] 王利军, 战吉成, 黄卫东. 水杨酸与植物抗逆性[J]. 植物生理学通讯, 2002, 38(6): 619—622.
- [6] 康国章, 孙谷畴, 王正询. 水杨酸在植物抗环境胁迫中的作用[J]. 广西植物, 2004, 24(2): 178—183.
- [7] 杨晓玲, 杨晴, 刘艳芳, 等. 水杨酸对黄瓜种子萌发及幼苗抗低温的影响[J]. 种子, 2007, 26(1): 78—79.
- [8] 韩涛, 李丽萍, 冯双庆. 外源水杨酸处理对采后番茄和黄瓜果实抗冷性的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(5): 571—575.
- [9] 余小平, 贺军民, 张键, 等. 水杨酸对盐胁迫下黄瓜幼苗生长抑制的缓解效应[J]. 西北植物学报, 2002, 22(2): 401—405.
- [10] 任艳芳, 何俊瑜. 外源 SA 对盐胁迫下莴苣种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2008(11): 11—13.
- [11] 姜中珠, 陈祥伟. 水杨酸对三种灌木幼苗抗旱性的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 166—169.
- [12] 李汝佳, 李雪梅. 水杨酸、脱落酸和过氧化氢对镉胁迫小麦幼苗光合及抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2096—2099.
- [13] 张芬琴, 李晓利, 马斌山, 等. 水杨酸对镉胁迫下玉米幼苗生理特性的影响[J]. 湖北农业科学, 2006, 45(5): 567—569.
- [14] 杨江山, 种培芳, 费赞. 水杨酸对甜瓜种子萌发及其生理特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 41(1): 38—41.
- [15] 萧浪涛, 王三根. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 中国农社业出版, 2005.
- [16] 李合生. 植物生理生化实验原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [17] 刘祖祺, 张石城. 植物抗逆性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 52—53.

## Mitigative Effect of Salicylic Acid on Tomato Seed Germination and Seedling Growth under Chromium Stress

CHEN De-bi, ZHU Jian-yong

(College of Life Sciences and Technology, Chongqing University of Arts and Sciences, Yongchuan, Chongqing 402168)

**Abstract:** In order to explore the mitigative effect of salicylic acid on seed germination and seedling growth under 0.01 mmol/L chromium stress, we took tomato seed of “903” as the experiment material. The results showed that 0.02~0.1 g/L SA could increase the germination rate, germination potential, germination indexes, as well as promote seedling growth, increase chlorophyll and soluble sugar content of seedling, could mitigate the poisonous action of the chromium. The optimum treatment concentration of SA was 0.1 g/L when the tomato seed was stressed under 0.01 mmol/L chromium.

**Key words:** SA; tomato; chromium stress; mitigative effect