

赵秋月, 张广臣. 番茄对碱性盐胁迫的响应机理[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(8): 139–142.

番茄对碱性盐胁迫的响应机理

赵秋月¹, 张广臣²

(1. 绵阳师范学院, 四川绵阳 621000; 2. 吉林农业大学园艺学院, 吉林长春 130118)

摘要:采用盆栽试验法, 对 2 个番茄品种粉红番茄、圣女番茄幼苗进行不同浓度的 Na_2CO_3 胁迫处理。结果表明: 随着 Na_2CO_3 胁迫浓度的增加及胁迫时间的延长, 供试番茄叶片内脯氨酸(Pro)、可溶性糖、丙二醛(MDA)含量增加, 超氧化物歧化酶(SOD)活性下降, 电导率呈先增加后降低趋势, 过氧化物酶(POD)活性呈先降低后增加趋势; 随着 Na_2CO_3 浓度的增加, 2 个番茄品种叶片内 Na^+ 含量呈增加趋势, K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量呈降低趋势。

关键词:盐胁迫; 番茄; 脯氨酸; 可溶性糖; 抗氧化酶

中图分类号: Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)08-0139-04

土壤盐渍化是影响农业生产以及生态环境的一个全球性问题, 盐胁迫对作物的生长发育会产生一系列不利影响, 最终影响作物产量^[1-2]。因此, 了解植物对盐渍环境的适应机理是缓解土壤盐渍化对农业影响的有效方法之一。目前, 关于碱性盐对蔬菜胁迫的研究较少^[3-4]。番茄耐盐性中等, 是设施栽培的主要蔬菜品种之一, 本研究以番茄作为试验材料, 研究 Na_2CO_3 胁迫下番茄的生理生化响应机理, 旨在为培育番茄耐盐品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2011 年 7—9 月在吉林农业大学蔬菜基地温室内进行, 供试品种为粉红番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)、圣女番茄, 均由吉林农业大学种子销售中心提供。采用营养钵育苗, 待番茄幼苗长至 2 叶 1 心期时, 选取长势较一致的幼苗移至 8 cm × 8 cm 的营养钵内, 每钵 1 苗。采用随机区组试验设计, 每处理 10 株, 重复 3 次。待番茄幼苗 4~5 张真叶完全展开时, 进行 Na_2CO_3 胁迫处理。 Na_2CO_3 设 5 个浓度梯度: 0、10、20、40、80 mmol/L, 每株每次缓慢浇灌 Na_2CO_3 溶液 50 mL, 每隔 7 d 浇灌 1 次, 连续浇灌 5 次。分别于胁迫处理后第 5 天、第 12 天、第 21 天、第 28 天、第 35 天取样, 测定各指标。

1.2 方法

采用茚三酮比色法^[5]测定脯氨酸(Pro)含量; 采用萘酚比色法^[6]测定可溶性糖含量; 采用硫代巴比妥酸法^[6]测定丙二醛(MDA)含量; 采用愈创木酚法^[6]测定过氧化物酶(POD)含量; 采用邻苯三酚自养化法^[7]测定超氧化物歧化酶(SOD)含量。参照李合生的方法^[8]测定电导率, 取 1 g 鲜叶, 用去离子水清洗 3 次后用滤纸吸干叶表面水分, 加蒸馏水 20 mL,

25 ℃ 浸提 2 h, 用 DDS-11A 型数显电导率仪测定电导率(C_1), 再将样品在沸水浴上浸提 10 min, 冷却, 恢复浸提液至 20 mL, 于 25 ℃ 下测定电导率(C_2), 用相对电导率表示叶片质膜透性, 相对电导率计算公式如下:

$$\text{相对电导率} = (C_1/C_2) \times 100\%。$$

采用原子吸收法测定 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量, 盐处理后第 35 天在幼苗生长点以下取第 3~5 张叶。将样品于 105 ℃ 杀青 15 min 后, 在 60~70 ℃ 烘箱中烘干至恒重, 磨碎过 40 目筛, 各称取 1 g 置于 150 mL 三角瓶中, 加 20 mL 浓硝酸消解, 置于电沙浴上消化, 直至三角瓶内液体变为无色, 取下冷却后, 定容至 50 mL 容量瓶中待测。

2 结果与分析

2.1 Na_2CO_3 胁迫对番茄幼苗叶片脯氨酸含量的影响

由图 1 可知, 随着盐浓度的增加及胁迫时间的延长, 2 个番茄品种叶片脯氨酸均呈增加趋势。7 月 10 日, 10 mmol/L 盐处理下粉红番茄叶片脯氨酸含量是对照的 1.1 倍, 80 mmol/L 盐处理下粉红番茄叶片脯氨酸含量是对照的 1.7 倍, 10 mmol/L 盐处理下圣女番茄叶片脯氨酸含量是对照的 1.0 倍, 80 mmol/L 盐处理下圣女番茄叶片脯氨酸含量是对照的 1.5 倍。0 mmol/L 盐处理下粉红番茄叶片脯氨酸含量是 7 月 10 日的 2.3 倍, 80 mmol/L 盐处理下粉红番茄叶片脯氨酸含量是 7 月 10 日的 2.5 倍; 8 月 7 日, 0 mmol/L 盐处理下圣女番茄叶片脯氨酸含量是 7 月 10 日的 2.2 倍, 80 mmol/L 盐处理下圣女番茄叶片脯氨酸含量是 7 月 10 日的 3.1 倍。此外还可看出, 相同的盐浓度处理下, 圣女番茄脯氨酸增加量比粉红番茄大。7 月 10 日、7 月 17 日、7 月 24 日、7 月 31 日、8 月 7 日对 2 个番茄品种不同盐浓度处理的叶片脯氨酸含量测定结果进行方差分析, 结果表明, 各处理间差异极显著($P < 0.01$)。

2.2 Na_2CO_3 胁迫对番茄幼苗叶片可溶性糖含量的影响

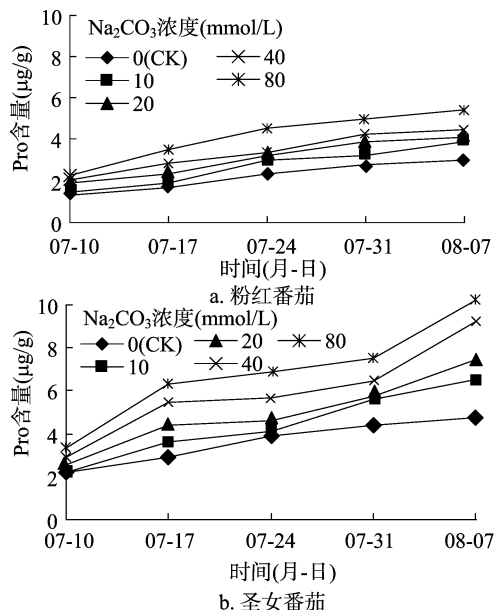
由图 2 可知, 随着盐胁迫程度的增加及胁迫时间的延长, 2 个番茄品种叶片内可溶性糖含量均明显增加。7 月 17 日, 10、20、40、80 mmol/L 盐处理下粉红番茄可溶性糖含量分别比对照增加 31%、40.5%、46.3%、77.2%; 10、20、40、80 mmol/L 盐处理下圣女番茄可溶性糖含量分别比对照增加

收稿日期: 2013-12-26

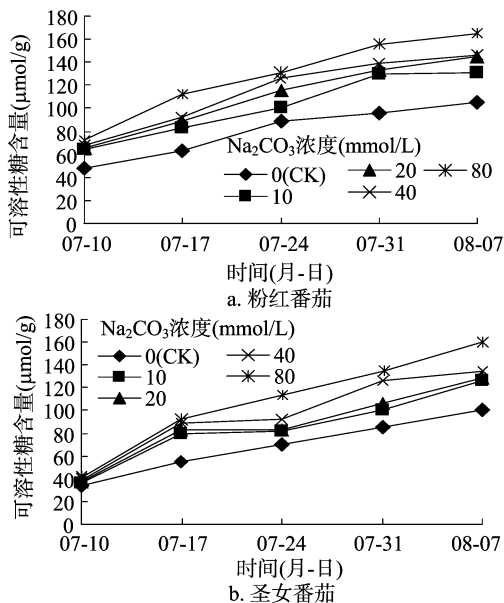
基金项目: 吉林省西部绿色食品系列开发示范区项目。

作者简介: 赵秋月(1978—), 女, 吉林扶余人, 硕士, 讲师, 从事植物逆境生理研究。E-mail: 7682368@qq.com。

通信作者: 张广臣, 教授, 从事植物栽培生理研究。E-mail: gczh2005@126.com。

图1 Na_2CO_3 胁迫对2个番茄品种叶片脯氨酸含量的影响

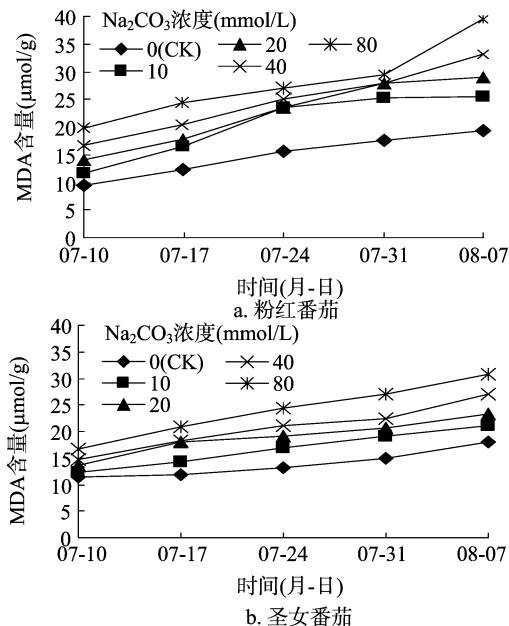
45.6%、51.6%、63.2%、69.4%，说明番茄叶片可溶性糖含量随着盐浓度的增加而增加。此外分析表明，每个番茄品种在同一时间各处理间叶片内可溶性糖含量差异均达到显著水平 ($P < 0.05$)。8月7日，0、10、20、40、80 mmol/L 盐处理下，粉红番茄叶片可溶性糖含量分别比7月10日增加了119.7%、105.5%、122.8%、113.8%、126.0%，0、10、20、40、80 mmol/L 盐处理下，圣女番茄叶片可溶性糖含量分别比7月10日增加了152.1%、176.8%、182.6%、225.9%、232.6%。还可看出，同一处理时间且同一盐浓度下，圣女番茄可溶性糖含量增加的平均速度比粉红番茄快，但圣女番茄植株本身可溶性糖含量低于粉红番茄。

图2 Na_2CO_3 胁迫对2个番茄品种叶片可溶性总糖含量的影响

2.3 盐胁迫对番茄幼苗MDA含量的影响

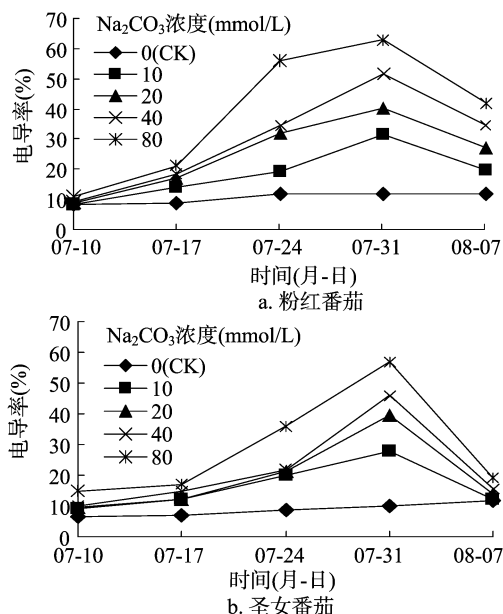
由图3可知，随着盐胁迫时间的延长及盐浓度的增加，2个番茄品种幼苗叶片MDA含量均呈上升趋势。7月10日，

10、20、40、80 mmol/L Na_2CO_3 处理下，粉红番茄叶片MDA含量分别是对照的1.2、1.5、1.8、2.1倍；圣女番茄叶片MDA含量分别是对照的1.1、1.2、1.3、1.5倍。还可看出，第1次盐胁迫后植株叶片MDA含量显著增加，且粉红番茄叶片MDA含量增加速度比圣女番茄快。

图3 Na_2CO_3 胁迫对2个番茄品种叶片MDA含量的影响

2.4 Na_2CO_3 胁迫对番茄幼苗叶片细胞膜透性的影响

由图4可知，随着盐浓度的增加及胁迫时间的延长，2个番茄品种幼苗叶片内电导率均呈先上升后下降趋势。7月10日，0、10、20、40、80 mmol/L Na_2CO_3 处理下，粉红番茄电导率依次为8.25%、8.52%、8.67%、8.99%、10.88%。分析可知，0、10、20、40 mmol/L Na_2CO_3 处理下粉红番茄电导率差异不显著，80 mmol/L Na_2CO_3 处理下粉红番茄电导率与其他处理间差异显著，说明低盐胁迫在短期内对植物伤害不明显，高

图4 Na_2CO_3 胁迫对2个番茄品种叶片电导率的影响

盐对植物伤害比较大。7 月 31 日,与对照相比 80 mmol/L Na_2CO_3 处理的 2 个番茄品种幼苗叶片电导率增加最多;圣女番茄幼苗叶片电导率增加量低于粉红番茄。

2.5 Na_2CO_3 胁迫对番茄幼苗超氧化物歧化酶含量的影响

由图 5 可以看出,随着盐浓度的增加及胁迫时间的延长,2 个番茄品种叶片 SOD 活性均逐渐降低。7 月 10 日,10、80 mmol/L Na_2CO_3 处理下,粉红番茄 SOD 活性分别比 0 mmol/L Na_2CO_3 处理降低了 16.7%、83.4%;10、80 mmol/L Na_2CO_3 处理下,圣女番茄 SOD 活性分别比 0 mmol/L Na_2CO_3 处理下降了 31.0%、66.0%,由此可以看出,盐处理浓度越高,番茄幼苗叶片 SOD 活性降低的越多。8 月 7 日,80 mmol/L Na_2CO_3 处理下,粉红番茄幼苗叶片 SOD 活性比 7 月 10 日降低了 56.6%,说明活性氧自由基对植株伤害比较严重;圣女番茄幼苗叶片 SOD 活性的降低速度小于粉红番茄。

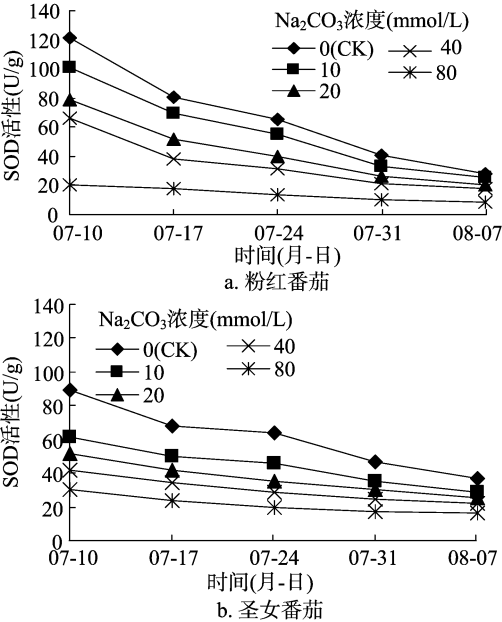


图5 Na_2CO_3 胁迫对2个番茄品种叶片超氧化物酶含量的影响

2.6 Na_2CO_3 胁迫对番茄幼苗叶片过氧化物酶含量的影响

由图 6 可知,随着 Na_2CO_3 浓度的增加及胁迫时间的延

长,2 个番茄品种叶片 POD 活性呈现先降低后升高的趋势。7 月 10 日,10、20、40、80 mmol/L Na_2CO_3 处理下,粉红番茄 POD 活性分别比 0 mmol/L Na_2CO_3 处理增加了 34.3%、47.7%、60.0%、74.7%;10、20、40、80 mmol/L Na_2CO_3 处理下,圣女番茄 POD 活性分别比对照增强了 11.5%、33.9%、43.0%、80.4%。由此可以看出,盐浓度越高,番茄叶片 POD 活性增加越多。随着盐分积累,植物体内 POD 活性迅速升高,以较高的酶活性来保护膜系统的完整性。

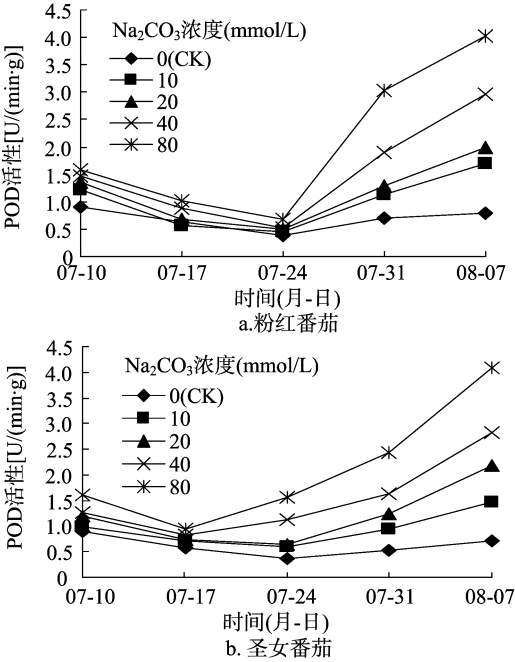


图6 Na_2CO_3 胁迫对2个番茄品种叶片过氧化物酶含量的影响

2.7 Na_2CO_3 胁迫对番茄幼苗叶片矿质元素含量的影响

矿质元素是植物生长所必需的元素。由表 1 可知,随着 Na_2CO_3 浓度的增加,2 个番茄品种叶片内 Na^+ 含量呈增加趋势, K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量呈降低趋势,推测 Na^+ 是导致植物受到盐碱毒害的主要因素之一;与对照相比,10 mmol/L Na_2CO_3 处理下,2 个番茄品种叶片内 Na^+ 含量增加幅度不大。

表 1 Na_2CO_3 胁迫对番茄叶片内矿质元素含量的影响

Na_2CO_3 浓度 (mmol/L)	粉红番茄				圣女番茄			
	Na^+ (%)	K^+ (%)	Ca^{2+} (%)	Mg^{2+} (%)	Na^+ (%)	K^+ (%)	Ca^{2+} (%)	Mg^{2+} (%)
0 (CK)	0.075	2.063	2.264	0.869	0.125	1.850	2.315	0.468
10	0.138	1.675	2.074	0.750	0.188	1.775	2.302	0.408
20	0.150	1.425	2.023	0.722	0.363	1.488	2.048	0.402
40	0.350	1.375	1.916	0.713	0.763	0.963	1.616	0.311
80	0.763	1.325	1.541	0.663	1.788	0.925	1.478	0.302

3 结论与讨论

在盐胁迫下,植物通过吸收、积累无机盐及合成有机物作为渗透剂进行渗透调节,以适应盐渍环境^[9-11],即植物在盐渍环境下通过渗透调节来保持足够的水分。渗透调节物质主要分为 2 类:一类是细胞自身合成的小分子物质,如脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白等;一类是外界进入细胞内的无机离子

如 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等^[12]。阮成江等研究表明,盐胁迫下沙棘叶片内脯氨酸含量升高,可溶性糖含量增加,渗透势降低,沙棘渗透调节能力增强^[13]。也有学者认为,脯氨酸积累量与细胞所受胁迫程度呈正相关^[14]。本试验结果表明,盐胁迫下,随着盐胁迫强度的增加以及胁迫时间的延长,2 个番茄品种叶片内脯氨酸、可溶性糖含量增加。可能是在盐胁迫下,植物通过积累较多的脯氨酸、可溶性糖等可溶性物质来提高渗透调

节能力,圣女番茄的渗透调节能力要强于粉红番茄。盐胁迫下植物细胞内 Na^+ 积累过量,活性氧产生及清除之间的动态平衡被破坏,会造成膜脂过氧化及脱脂作用,从而破坏膜结构。丙二醛是膜脂过氧化作用的产物之一,能直接反映膜受损程度^[15]。电导率大小能直接反映质膜受伤害的程度,其数值越大,质膜受到的伤害也越大^[16]。张恩平等研究表明,NaCl 胁迫下不同黄瓜品种幼苗子叶膜脂过氧化程度明显加剧,丙二醛含量显著增加,耐盐性强的黄瓜品种膜脂过氧化程度明显低于耐盐性弱的黄瓜品种^[17]。本研究表明,盐胁迫下,随着盐胁迫程度的增强及胁迫时间的延长,2 个番茄品种叶片 MDA 含量增加,说明番茄膜脂过氧化程度加重。随着 Na_2CO_3 浓度的增加及胁迫时间的延长,2 个番茄品种幼苗叶片电导率均呈先上升后下降趋势,这可能是由于在盐胁迫下,番茄植株产生了适应性,因此 2 个番茄品种幼苗叶片相对电导率有所降低。圣女番茄叶片 MDA 含量以及相对电导率增加的程度均小于粉红番茄,说明圣女番茄耐盐性要强于粉红番茄。SOD、POD 的主要功能是通过消除盐分胁迫诱导产生的细胞内活性氧,抑制膜内不饱和脂肪酸的过氧化作用,维持细胞质膜的稳定性、完整性,提高植物对盐胁迫的适应性^[18]。SOD 是植物抗氧化系统的第一道防线,它能清除细胞中多余的超氧根阴离子,其活性的高低反映植物对氧化损伤的修复能力。POD 也是植物体内的重要防御酶之一,它的主要生理功能是清除逆境下细胞内的活性氧自由基,抑制膜内不饱和脂肪酸的过氧化作用,提高植物的抗逆性^[19]。研究发现,随着盐浓度的升高,植物 MDA 含量增加,SOD、ATP 酶活性降低,证实了活性氧自由基对陆生植物的破坏机制。本研究表明,随着盐胁迫强度的增加及胁迫时间的延长,2 个番茄品种幼苗叶片 SOD 酶活性呈现降低趋势,POD 活性呈现先降低后增加的趋势,说明盐胁迫下植物修复损伤能力降低,但植物自身增强了 POD 酶活性,以缓解盐胁迫对植物的伤害。

植物主要通过小分子有机物、无机离子降低细胞的渗透势以保持细胞的正常膨压,同时为了避免影响植物从环境中吸收矿质元素及水分,植物必须降低细胞内的水势才能在高渗环境中生存^[20]。K 是控制植物细胞膨压所必需的元素; Ca^{2+} 是细胞内壁的主要成分,对稳定、保护细胞膜具有重要作用; Mg^{2+} 是叶绿素的组成元素,可以使叶片保持绿色、减缓衰老。Zekri 研究表明,NaCl 胁迫增加了酸橙实生苗叶片中 Na、Cl 元素含量,降低了 Ca、Mg、K 等元素含量,P、Fe、Mn、Zn、Cu 等元素含量无明显变化。本研究表明,随着盐胁迫强度的增加,2 个番茄品种叶片内 Na^+ 含量增加, K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量降低。相同盐浓度下,圣女番茄各矿质元素含量变化幅度比粉红番茄大,说明圣女番茄在盐胁迫下自身的渗透调节能力较强。

综上所述,随着 Na_2CO_3 胁迫浓度的增加及胁迫时间的延长,番茄植株的正常生理代谢平衡被破坏,生物膜结构被破坏,质膜透性增加,膜脂过氧化程度加剧,导致番茄植株叶片 MDA 含量激增,而 MDA 含量越高说明质膜受损害程度越大,植物抗逆性越小。为了维持细胞膜的完整性,植株体内合成大量的脯氨酸及可溶性糖。随着盐浓度的增加及胁迫时间的延长,2 个番茄品种叶片 SOD 活性均逐渐降低,说明活性氧对植物的伤害比较严重,膜脂过氧化作用明显,膜保护系统功能

下降,致使细胞正常代谢过程无法进行,细胞功能逐渐衰弱,植物对盐胁迫的耐性或适应性降低;一定盐胁迫程度下,番茄植株通过提高 POD 酶活性,提高了植株抗逆能力。

参考文献:

- [1] Liang Y C, Yang C G, Shi H H. Effects of silicon on growth and mineral composition of barley grown under toxic levels of aluminium[J]. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24: 229 - 243.
- [2] 陈惠哲, Ladaiko N, 朱德峰, 等. 盐胁迫下水稻苗期 Na^+ 和 K^+ 吸收与分配规律的初步研究[J]. 植物生态学报, 2007, 31(5): 937 - 945.
- [3] 王秀玲, 程序, 谢光辉, 等. NaCl 胁迫对甜高粱发芽期生理生化特性的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(10): 2285 - 2290.
- [4] 王聪, 朱月林, 杨立飞, 等. NaCl 胁迫对菜用大豆种子膨大、抗氧化酶活性和活性氧代谢的影响[J]. 西南农业学报, 2009, 22(2): 295 - 299.
- [5] 华东师范大学生物系植物生理教研组. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 人民教育出版社, 1981: 231 - 233.
- [6] 张志良, 翟伟菁. 植物生理学试验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 274 - 277.
- [7] 尉荣海. 植物生化试验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 83 - 84.
- [8] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 184 - 185.
- [9] 严蓓, 孙锦, 郭世荣, 等. 钙对盐胁迫下黄瓜幼苗生长及可溶性蛋白质表达的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(4): 841 - 845.
- [10] 赵可夫. 植物抗盐生理[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 157 - 159.
- [11] 袁颖辉, 束胜, 袁凌云, 等. 外源精胺对盐胁迫下黄瓜幼苗生长和光合作用的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(4): 835 - 840.
- [12] 杨敏生, 裴保华, 朱之悌. 白杨双交杂种无性系抗旱性鉴定指标分析[J]. 林业科学, 2002, 38(6): 36 - 42.
- [13] 阮成江, 谢庆良. 盐胁迫下沙棘的渗透调节效应[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(2): 45 - 47.
- [14] Mneal J A, Jiménez E T, Remesal E, et al. Proline content of sugar beet storage roots: response to water deficit and nitrogen fertilization at field conditions[J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 60(2): 257 - 267.
- [15] 刘正鲁, 朱月林, 胡春梅, 等. 氯化钠胁迫对嫁接茄子生长、抗氧化酶活性和活性氧代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 537 - 541.
- [16] 周丽, 李鲁华, 张伟, 等. 咸水灌溉对紫穗槐生长及生理特性的影响[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(7): 1280 - 1287.
- [17] 张恩平, 张淑红, 司龙亭, 等. NaCl 胁迫对黄瓜幼苗子叶膜脂过氧化的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(6): 446 - 448.
- [18] Moto T, Kairus M P, Takahashi E. Salt-induced damage to rice plants and alleviation effect of silicate[J]. Soli Sci Plant Nutr, 1986, 32(2): 195 - 304.
- [19] 孙静, 王宪泽. 盐胁迫对小麦过氧化物酶同工酶基因表达的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(1): 42 - 44, 61.
- [20] 汪贵斌, 袁安全, 曹福亮, 等. 土壤水分胁迫对银杏无机营养元素含量的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2005, 29(6): 15 - 18.