

组培条件下不同番茄品种及砧木自交系幼苗期硝酸盐耐性的比较

刘慧敏 朱月林* 陈 磊

(南京农业大学园艺学院, 南京 210095)

摘 要 采用组培的方法, 对 15 个番茄普通栽培品种的幼苗进行系列浓度 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫处理, 10 d 后调查不同品种单株幼苗的生长情况和盐害程度。结果表明, 15 个供试品种幼苗期硝酸盐耐性存在显著差异。上海 903、苏红 2003、阳光 906、大禹中蔬 4 号、三星 L402、番茄大红、中蔬 4 号、宝大 903、霞粉、毛粉 802 为硝酸盐敏感品种; 早丰番茄、江蔬 14 号、宝粉和三星 906 为中等耐硝酸盐品种; 日本大粉皇后为耐硝酸盐品种。同时对 7 个番茄砧木自交系 (TR-1、TR-2、TR-3、TR-4、TR-5、TR-7、TR-8) 进行了幼苗期高浓度 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 的耐盐分析。结果表明, 砧木自交系的平均侧根数均显著高于同浓度下供试的普通番茄栽培品种, 盐胁迫指数均显著低于普通栽培品种, 具有较强的耐盐性; 其中 TR-8 耐盐性最强。

关键词 番茄; 硝酸钙; 耐盐性

In Virto Comparision of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ Tolerance of Different Tomato Cultivars and Rootstock Selfed Lines at Seedling Stage

LIU Hui-Min ZHU Yue-Lin* CHEN Lei

(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

Abstract In vitro salt tolerance at seedling stage of tomato cultivars were evaluated under a series of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ concentrations. Seedling growth and salinity injury of different cultivars were examined after 10 days of treatment. Results showed that significant differences in salt tolerance were observed among 15 different cultivars. Cultivars of Shanghai 903, Suhong 2003, Sunshine 906, Dayu Zhongshu No. 4, Sanxing L402, Tomato Dahong, Zhongshu No. 4, Baoda 903, Xiafen, Maofen 802 were $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sensitive; Zaofeng Tomato, Jiangshu No. 14, Baofen, Sanxing 906 were medium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tolerant; Japanese Dafen Queen was $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tolerant. The analysis of salt tolerance of 7 tomato rootstock selfed lines: TR-1, TR-2, TR-3, TR-4, TR-5, TR-7, TR-8 was studied at a high $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ concentration. It was founded that under the same treatment the average numbers of lateral roots of rootstock selfed lines were significantly higher than those of tomato cultivars, while the salt stress indexes of rootstock selfed lines were significantly lower than those of tomato cultivars. The salt tolerance of rootstock selfed lines was higher than that of tomato cultivars, and salt tolerance of TR-8 was highest among the experimented tomato materials.

Key words tomato; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; salt tolerance

基金项目: 教育部高校博士点基金资助项目 (20030307020); 江苏省科技厅资助项目 (BC2003306, BE2002304); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目 ([2001]498)

第一作者简介: 刘慧敏 (1982—), 女, 硕士研究生, 主要从事蔬菜栽培生理和生物技术研究。

* 通讯作者: E-mail: yizhu@njau.edu.cn

收稿日期: 2006-10-05

番茄是我国设施栽培的主要蔬菜之一,在蔬菜生产和供应中具有重要的地位。随着近几年设施蔬菜栽培的迅猛发展,栽培管理措施的不当以及农民过分追求近期经济效益^[1],设施土壤次生盐渍化成为一个突出的问题。前人研究表明^[2,3],次生盐渍化设施土壤盐分的组成方面,阴离子主要以 NO_3^- 为主,约占阴离子总量的 67%~76%,阳离子则以 Ca^{2+} 离子为主;硝酸钙积累是设施栽培蔬菜生理障碍的主要土壤因子。目前对于盐胁迫的研究大多集中在 NaCl 胁迫上,在硝酸钙胁迫方面的报道较少。因此,本试验选择有代表性的 15 个普通番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 栽培品种进行组培条件下系列浓度的 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫处理,并对本实验室选得的 7 个番茄砧木高代自交系进行高浓度 ($75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫处理,对幼苗的生长特性和盐害程度进行分析,以期番茄耐盐种质资源的筛选和利用及设施抗盐栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试的普通番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 品种共 15 个,其名称和来源见表 1;番茄砧木高代自交系共 7 个,是从日本引进的番茄设施栽培专用砧木品种‘影武者’中经 5 代自交(并经 5 代苗期耐 NaCl 筛选)后选出的,其编号分别为 TR-1、TR-2、TR-3、TR-4、TR-5、TR-7、TR-8。

1.2 方法

1.2.1 无菌催芽

供试品种的种子经人工精选 300 粒后,用 75% 乙醇表面消毒 15 s,再用 0.1% HgCl_2 消毒 10 min,无菌水漂洗 3~5 次,接种于已灭菌的、装有 20 mL 灭菌水的 100 mL 三角瓶中,置于转速为 $100 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的振荡培养箱中,进行恒温 ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) 振荡催芽,直至胚根长度为 5~10 mm 时接种待用。

1.2.2 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫处理

1.2.2.1 系列浓度 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫处理

将 15 个普通番茄栽培品种的发芽种子在无菌条件下分别接种在添加 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (分析纯,上海振欣试剂厂生产)浓度为 0 (对照)、15、30、45、60、75、90、120 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 MS 培养基上,培养容器为直径 6 cm,高 9 cm,体积 200 mL 的圆柱形玻璃瓶,用组培专用耐高温透明薄膜封口。每个处理接种 30 粒发芽种子,每瓶 5 粒种子(均匀分布于培养基表面),在培养架上作 3 次重复的随机区

组排列。培养室温度为 $25 \pm 2^\circ\text{C}$,光照时间 $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$,光照度 2 500 lx。接种 10 d 后,调查幼苗的盐害情况,同时计算盐胁迫指数。

1.2.2.2 高浓度 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫处理

将 7 个砧木高代自交系的发芽种子分别接种在 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度为 $75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 MS 培养基上,每个品种接种 30 粒发芽种子,培养容器、培养条件、分组、排列方法及调查时间同上。

1.2.3 盐害调查和盐胁迫指数计算

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫处理后 10 d 进行盐害调查:统计植株成活率、计算平均侧根数、调查盐害级别。按幼苗茎叶的受害程度和侧根数目的多少将盐害程度由轻至重分成 0~5 级,分级标准参考王海英等^[4]的方法并稍作修改。0 级:幼苗生长正常,表现该品种应有的生长特征。1 级:幼苗生长稍微受到抑制,株高、侧根数、真叶数及叶面积等形态指标部分稍低于对照。2 级:幼苗生长受到一定抑制,株高低于对照,侧根数减少,叶面积减小,茎与对照相比明显变细。3 级:幼苗生长明显受到抑制,株高明显低于对照,侧根减少或无,无真叶或真叶明显小于对照。4 级:植株生长受到严重抑制,株高明显低于 3 级植株,无侧根,无真叶或真叶刚现露,子叶面积明显小于对照。5 级:植株死亡,或趋向死亡。根据盐害级别计算盐胁迫指数 (salt stress index, SSI)^[5,6]。

盐胁迫指数 (SSI) = $\sum (\text{代表级值} \times \text{株数}) / (\text{最高级值} \times \text{总株数}) \times 100$

1.3 统计分析

采用 SAS 软件,对数据进行方差分析,同时对其均值进行 Duncan's 多重比较;对系列浓度 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 处理下各品种的盐胁迫指数进行线性回归分析。线性回归分析将 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度作为自变量 (x)、盐胁迫指数作为应变量 (y),建立回归方程 $y = a + bx$,求出盐胁迫指数为 50 时的 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度,以此值作为半致死盐浓度。

2 结果与分析

2.1 系列浓度硝酸钙胁迫对不同番茄品种盐胁迫指数 (SSI) 的影响

通过相同浓度下不同番茄品种盐胁迫指数的单因素方差分析,得知不同浓度处理下品种对盐胁迫指数有显著影响。表 1 为同一浓度下不同番茄品种 SSI 均值的多重比较结果。

表 1 系列浓度硝酸钙处理下番茄品种幼苗期的盐胁迫指数 (SSI)
Table 1 The salt stress indexes of tomato seedlings of different cultivars under the treatment with a series of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ concentrations

品 种 Cultivar	来 源 Source	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度 ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration										
		0	15	30	45	60	75	90	120			
上海 903 Shanghai 903	上海亿涵种苗贸易有限公司 Shanghai Yihan Seeds Trading Co., Ltd	0.00a	12.67d	36.00f	52.00f	78.00c	98.00a	100.00a	100.00a			
苏红 2003 Suhong 2003	江苏省江蔬种苗科技有限公司 Jiangshu Seeds Technology Corporation	0.00a	17.33c	27.33i	54.67e	68.00e	92.67b	100.00a	100.00a			
阳光 906 Sunshine 906	西安阳光种业有限公司 Xi'an Sunshine Seed Industry Co., Ltd	0.00a	17.33c	36.00f	68.67b	80.00b	92.00b	100.00a	100.00a			
大禹中蔬 4 号 Dayu Zhongshu No. 4	中国农科院蔬菜花卉所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences	0.00a	17.33c	36.67ef	46.00h	67.33e	91.33b	100.00a	100.00a			
三星 L402 Sanxing L402	西安三星种苗有限公司 Xi'an Sanxing Seeds Co., Ltd	0.00a	4.00f	56.00b	66.67c	78.00c	85.33c	98.67b	100.00a			
番茄大红 Tomato Dahong	上海番茄研究所上海长征良种实验场 Shanghai Tomato Research Institution, Shanghai Long March Elite Seeds Experiment Station	0.00a	24.67b	42.00d	52.67f	62.00g	86.67c	95.33c	100.00a			
中蔬 4 号 Zhongshu No. 4	河北省青县青丰种苗有限公司 Hebei Qingfeng Seeds Co., Ltd	0.00a	24.67b	37.33e	46.67h	58.67h	74.67f	93.33d	100.00a			
宝大 903 Baoda 903	上海宝大种苗有限公司 Shanghai Baoda Seeds Co., Ltd	0.00a	31.33a	60.00a	73.33a	78.67c	83.33d	91.33e	100.00a			
江蔬 14 号 Jiangshu No. 14	江苏省江蔬种苗科技有限公司 Jiangshu Seeds Technology Corporation	0.00a	4.67f	12.00k	24.00k	45.33j	68.00h	88.67f	100.00a			
宝粉 Baofen	上海宝大种苗有限公司 Shanghai Baoda Seeds Co., Ltd	0.00a	4.67f	18.00j	28.00i	65.33f	74.67f	87.33g	100.00a			
霞粉 Xiafen	江苏省江蔬种苗科技有限公司 Jiangshu Seeds Technology Corporation	0.00a	10.67e	34.00g	61.33d	82.00a	85.33c	86.67g	100.00a			
毛粉 802 Maofen 802	西安阳光种业有限公司 Xi'an Sunshine Seed Industry Co., Ltd	0.00a	12.00de	47.33c	62.00d	72.67d	78.67e	85.33h	93.33d			
三星 906 Sanxing 906	西安三星种苗有限公司 Xi'an Sanxing Seeds Co., Ltd	0.00a	16.67c	32.67h	49.33g	58.00h	72.67g	80.00i	97.67b			
早丰番茄 Zaofeng Tomato	西安阳光种业有限公司 Xi'an Sunshine Seed Industry Co., Ltd	0.00a	4.00f	10.00l	25.33j	48.00i	67.33h	78.67j	95.33c			
日本大粉皇后 Japanese Dafen Queen	大连舜红蔬菜良种所 Dalian Jihong Elite Vegetable Seeds Institute	0.00a	3.33f	9.33l	21.33l	26.67k	65.33i	65.33k	93.33d			

注: 同列数值不同字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Different letters within the same column indicate significant difference at 5% level.

由表 1 可知,在未受到 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫时,15 个供试栽培品种均能正常生长。随着 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度的增加,各品种幼苗的盐胁迫指数均呈升高趋势。在同一盐浓度胁迫下,不同品种的盐胁迫指数存在显著差异。宝大 903、中蔬 4 号和番茄大红 3 个品种在 $15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下已表现出较明显的生长抑制,其 SSI 分别达到 31.33、24.67 和 24.67;日本大粉皇后、早丰番茄、三星 L402、江蔬 14 号、宝粉在该浓度下的 SSI 较低,均在 5 以下,其中日本大粉皇后的 SSI 最低,只有 3.33。当 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度为 $60 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,只有江蔬 14 号、早丰番茄、日本大粉皇后 3 个品种的 SSI 小于 50,较其它品种耐盐性强,其中日本大粉皇后的盐胁迫指数最低,为 26.67,耐盐性最强;霞粉的盐胁迫指数最高,为 82.00,在该浓度下耐盐性最弱。当 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度为 $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,15 个供试栽培品种的盐胁迫指数均大于 90,幼苗生长受到严重抑制,表明在 $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下,供试品种均为盐敏感品种。

除日本大粉皇后外,其余 14 个供试栽培品种

在 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度为 $0 \sim 90 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的范围内递增时,盐胁迫指数均快速增加。在 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度为 $90 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,有 4 个品种的盐胁迫指数达到 100,表明其幼苗趋于死亡,另有 4 个品种的盐胁迫指数达到 90 以上,生长受到严重抑制,日本大粉皇后的盐胁迫指数相对较低,为 65.33,表现出一定的耐盐性。

2.2 不同番茄栽培品种硝酸钙浓度与盐胁迫指数的线性回归分析

对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度和盐胁迫指数进行线性回归分析,建立回归方程,令盐胁迫指数为 50,求出各品种对应的盐浓度作为幼苗耐盐的临界值,即半致死盐浓度。由表 2 可知, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度与盐胁迫指数呈极显著正相关。除江蔬 14 号、宝粉、三星 906、早丰番茄和日本大粉皇后外,其余品种的半致死盐浓度均在 $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下,耐盐性较弱;其中宝大 903 的半致死盐浓度最小,为 $34.72 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,耐盐性最弱;江蔬 14 号和早丰番茄的半致死盐浓度均在 $60 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上,较耐盐;日本大粉皇后的半致死盐浓度最高,为 $81.06 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,耐盐性强。

表 2 不同番茄品种硝酸钙浓度与盐胁迫指数的线性回归分析

Table 2 Linear regression analysis between $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ concentration and salt stress index of different tomato cultivars

品 种 Cultivar	线性回归方程 $\text{SSI} = a + bx$ Equation of linear regression		相关系数 Coefficient of correlation	半致死盐浓度 (SSI = 50) Semi-lethal salt concentration
	a	b		
上海 903 Shanghai 903	-1.117 9	1.220 6	0.979 8 **	41.88
苏红 2003 Suhong 2003	-1.216 1	1.169 9	0.987 3 **	43.78
阳光 906 Sunshine 906	3.427 9	1.174 6	0.965 9 **	39.65
大禹中蔬 4 号 Dayu Zhongshu No. 4	2.738 2	0.982 6	0.991 6 **	48.10
三星 L402 Sanxing L402	4.023 9	1.144 5	0.905 0 **	40.17
番茄大红 Tomato Dahong	5.835 4	1.023 8	0.981 0 **	43.14
中蔬 4 号 Zhongshu No. 4	5.620 4	0.946 0	0.979 8 **	46.91
宝大 903 Baoda 903	17.213 6	0.944 4	0.868 0 **	34.72
江蔬 14 号 Jiangshu No. 14	-10.975 7	1.014 3	0.943 4 **	60.12
宝粉 Baofen	-8.188 6	1.053 9	0.953 9 **	55.21
霞粉 Xiafen	2.428 9	1.088 9	0.929 8 **	43.69
毛粉 802 Maofen 802	6.713 9	0.987 3	0.920 7 **	43.84
三星 906 Sanxing 906	3.763 2	0.898 4	0.986 7 **	51.47
早丰番茄 Zaofeng Tomato	-8.881 8	0.906 4	0.956 3 **	64.97
日本大粉皇后 Japanese Dafen Queen	-7.382 5	0.707 9	0.930 2 **	81.06

注: x 为盐浓度,范围为 $0 \sim 120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; ** 为极显著。

Notes: x stands for salt concentration, ranging from 0 to $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; ** means significant at 1% level.

2.3 硝酸钙浓度和品种对番茄幼苗期盐胁迫指数的影响

由双因素有交互效应的方差分析结果可知,品种和硝酸钙浓度及其交互效应对番茄幼苗期 SSI 均有显著影响,表 3 为多重比较结果。

由表 3 可知,日本大粉皇后、早丰番茄、江蔬 14 号、宝粉、三星 906 和中蔬 4 号的盐胁迫指数依次显著递增;其次是番茄大红、霞粉、苏红 2003、大禹中蔬 4 号、毛粉 802;再次是上海 903、三星 L402、阳光 906;最后是宝大 903,其盐胁迫指数显著高于上述其它品种。

表 3 硝酸钙浓度处理和品种两因素下番茄幼苗期盐胁迫指数的比较

Table 3 Comparison of salt stress indexes of tomato seedlings under two factors of cultivars and treatments

品 种 Cultivar	盐胁迫指数 Salt stress index
宝大 903 Baoda 903	64.75 ± 6.56a
阳光 906 Sunshine 906	61.75 ± 7.67b
三星 L402 Sanxing L402	61.08 ± 7.69bc
上海 903 Shanghai 903	59.58 ± 7.89c
番茄大红 Tomato Dahong	57.92 ± 6.94d
苏红 2003 Suhong 2003	57.50 ± 7.67d
霞粉 Xiafen	57.50 ± 7.42d
大禹中蔬 4 号 Dayu Zhongshu No. 4	57.33 ± 7.51d
毛粉 802 Maofen 802	56.42 ± 6.70d
中蔬 4 号 Zhongshu No. 4	54.67 ± 6.65e
三星 906 Sanxing 906	50.88 ± 6.46f
宝粉 Baofen	47.25 ± 7.65g
江蔬 14 号 Jiangshu No. 14	42.83 ± 7.63h
早丰番茄 Zaofeng Tomato	41.08 ± 7.16i
日本大粉皇后 Japanese Dafen Queen	35.58 ± 6.76j

注:同列数值不同字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Different letters within the same column indicate significant difference at 5% level.

综合表 1~3 分析,表明日本大粉皇后为耐硝酸盐品种;早丰番茄、江蔬 14 号、宝粉和三星 906 为中等耐硝酸盐品种;其余品种为硝酸盐敏感品种。

从回归方程的相关系数上看(表 2), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度与盐胁迫指数存在着极显著的线性关系,但观察不同番茄品种硝酸钙浓度与盐胁迫指数

线性回归方程的 a 值,发现各供试品种 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度与盐胁迫指数的线性关系并不都是趋向原点,在有些品种中甚至偏离原点较远,如宝大 903、江蔬 14 号、宝粉、毛粉 802 等,即这些品种的 SSI 随 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度的增长不完全是一种匀速的增长。这说明硝酸盐对番茄的抑制存在一个抑制点,当盐浓度达到这个抑制点时,植株就会表现出显著的反应,而在这个抑制点前后,硝酸盐浓度的递增对植物生长的抑制接近匀速增长,即线性增长。这一点在表 1 中也可以看到,如中蔬 4 号和宝大 903 在 $15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫时有一个明显的增长,三星 L402 和毛粉 802 在 $30 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫时有一个明显的增长,阳光 906 和霞粉在 $45 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫时有一个明显的增长,江蔬 14 号和宝粉在 $60 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫时有一个明显的增长,这些抑制点都分别出现在半致死浓度之前或者附近。从各品种抑制点在系列 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度梯度上的分布情况上,也可以看出番茄各品种在幼苗期耐盐性上存在着差异。在表 1 中还可看到,日本大粉皇后 SSI 值有两个明显的增长点,分别出现在 $75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处,这也说明了日本大粉皇后确实是一个较耐盐的品种。

2.4 高浓度硝酸钙胁迫对不同番茄砧木高代自交系幼苗期耐盐性的影响

由表 4 可见,在 $75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸钙胁迫下,7 个番茄砧木高代自交系的成活率均为 100%,平均侧根数均显著高于供试的 15 个普通番茄栽培品种,盐胁迫指数均显著低于供试普通栽培品种。这说明在同等高浓度硝酸盐胁迫下,供试的砧木自交系比普通栽培品种表现出更强的耐盐性。 $75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸钙胁迫下,TR-8 的平均侧根数显著高于其余 6 个砧木自交系,剩余的 6 个番茄砧木自交系间的平均侧根数差异不显著,但是比较不同砧木自交系间的盐胁迫指数,可以看到各自交系间的耐盐性存在着一定的差异。TR-1 和 TR-2 的盐胁迫指数分别为 60.00 和 60.67,显著高于其它 5 个自交系,在砧木自交系中耐盐性较差;TR-3、TR-4 和 TR-7 的盐胁迫指数分别为 54.00、55.67 和 52.67,为中等耐盐的砧木自交系;TR-5 和 TR-8 的盐胁迫指数均小于 50,显著低于其它自交系,耐盐性较强,其中 TR-8 的盐胁迫指数比同浓度下较耐盐的普通栽培品种日本大粉皇后的盐胁迫指数低 28.33,耐盐性最强。

表 4 75 mmol · L⁻¹ 硝酸钙胁迫下番茄砧木高代自交系与普通品种幼苗期盐胁迫指数、成活率和平均侧根数的比较
Table 4 Comparision of salt stress indexes, survival rates and average number of lateral roots at seedling stage between tomato rootstock selfed lines and common cultivars under 75 mmol · L⁻¹ Ca(NO₃)₂ stress

品种或自交系 Cultivar or selfed line	成活率 Survival rate(%)	平均侧根数 Average number of lateral roots (roots · plant ⁻¹)	盐胁迫指数 Salt stress index
TR-8	100.00 ± 0.00a	8.06 ± 0.07a	37.00 ± 0.58j
TR-5	100.00 ± 0.00a	7.00 ± 0.01b	45.33 ± 0.67i
TR-7	100.00 ± 0.00a	6.67 ± 0.33bc	52.67 ± 0.67h
TR-4	100.00 ± 0.00a	6.67 ± 0.33bc	55.67 ± 0.88h
TR-3	100.00 ± 0.00a	6.33 ± 0.33bc	54.00 ± 1.15h
TR-1	100.00 ± 0.00a	6.67 ± 0.33bc	60.00 ± 0.72g
TR-2	100.00 ± 0.00a	6.00 ± 0.58c	60.67 ± 0.67g
日本大粉皇后 Japanese Dafen Queen	100.00 ± 0.00a	4.73 ± 0.37d	65.33 ± 2.03f
早丰番茄 Zaofeng Tomato	100.00 ± 0.00a	4.87 ± 0.13d	67.33 ± 1.33f
江蔬 14 号 Jiangshu No. 14	100.00 ± 0.00a	4.30 ± 0.30de	68.00 ± 3.05f
宝粉 Baofen	100.00 ± 0.00a	4.30 ± 0.30de	74.67 ± 2.40de
三星 906 Sanxing 906	100.00 ± 0.00a	4.23 ± 0.20de	72.67 ± 0.67e
毛粉 802 Maofen 802	100.00 ± 0.00a	2.90 ± 0.12fg	78.67 ± 0.67d
中蔬 4 号 Zhongshu No. 4	93.33 ± 3.33ab	3.57 ± 0.33ef	74.67 ± 0.67de
宝大 903 Baoda 903	83.33 ± 3.33bc	2.43 ± 0.09gh	83.33 ± 0.67c
三星 L402 Sanxing L402	76.67 ± 8.82cd	1.93 ± 0.26hi	85.33 ± 1.76c
霞粉 Xiafen	73.33 ± 6.67cd	1.50 ± 0.06i	85.33 ± 1.33c
番茄大红 Tomato Dahong	66.67 ± 13.33d	1.73 ± 0.57hi	86.67 ± 2.67c
大禹中蔬 4 号 Dayu Zhongshu No. 4	43.33 ± 8.82e	0.60 ± 0.31j	91.33 ± 1.76b
阳光 906 Sunshine 906	40.00 ± 5.77e	0.27 ± 0.03j	92.00 ± 1.15b
苏红 2003 Suhong 2003	36.67 ± 6.67e	0.40 ± 0.06j	92.67 ± 1.33b
上海 903 Shanghai 903	10.00 ± 5.77f	0.00 ± 0.00j	98.00 ± 1.15a

注:不同字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Different letters indicate significant difference at 5% level.

3 讨论

盐害主要是由于高盐胁迫引起植物的渗透胁迫以及高浓度盐离子对植物细胞的离子毒害^[7],导致植物体渗透失衡、生理紊乱,从而抑制植物的生长发育。戴伟民等^[8]的研究表明,番茄幼苗在 0.3% (约 51.28 mmol · L⁻¹) 的 NaCl 胁迫时,生长明显受到抑制,在 0.7% (约 119.66 mmol · L⁻¹) 的 NaCl 胁迫下,不能存活。在本试验中,供试品种的番茄幼苗在 60 mmol · L⁻¹ Ca(NO₃)₂ 胁迫时生长明显受到抑制,120 mmol · L⁻¹ Ca(NO₃)₂ 时,普遍不能生长。在幼苗生长抑制程度相同的情况下,比较 NaCl 和 Ca(NO₃)₂ 两种盐中的阴离子,可以看

到,其浓度相差一倍,由此看来,与 NaCl 胁迫相比,番茄幼苗对 Ca(NO₃)₂ 的耐性更高。这说明在盐害机理上 Ca(NO₃)₂ 胁迫与 NaCl 胁迫是不相同的。刘志媛等^[9]的研究表明,NaCl 主要通过离子胁迫破坏质膜结构、抑制 K⁺ 的吸收从而抑制植物的生长,而 Ca(NO₃)₂ 则主要是通过渗透胁迫(水分亏缺)影响植株生长。比较上述两种盐中的阳离子,可以发现,在幼苗生长明显受到抑制时,Ca(NO₃)₂ 比 NaCl 的浓度约高 10 mmol · L⁻¹,在胁迫的最高浓度上,两者浓度相差不大。这可能是由于低浓度下,Ca²⁺ 能够增强质膜的稳定性和维持 Ca 信号系统的正常功能;维持细胞内离子平衡,诱导渗透物质的增加,提高细胞渗透调节能力,减少

渗透调节耗能^[10~12]。随着 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度的增加, Ca^{2+} 的浓度也逐渐加大。过高的 Ca^{2+} 浓度, 会抑制根的生长, 从而使 K^+ 吸收减少; 由于 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 间存在离子拮抗现象, Ca^{2+} 浓度过高还会影响 Mg^{2+} 的吸收^[13~15]。这样 Ca^{2+} 和 NO_3^- 的双重胁迫可能是 2.1 中所述“抑制点”出现的原因之一。由各品种“抑制点”出现时对应的 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度不相同, 推断不同品种对 Ca^{2+} 的最适浓度也不相同, 这与 Caines 等^[16] 的观点一致。

幼苗期是植物生长的一个重要时期, 也是植物对盐分胁迫最敏感的时期^[17,18]。因此, 幼苗期的耐盐性在一定程度上可以反映出该品种的耐盐性。在 15 个供试普通番茄栽培品种中, 日本大粉皇后为耐硝酸盐品种, 早丰番茄、江蔬 14 号、宝粉和三星 906 为中等耐硝酸盐品种, 其余品种为硝酸盐敏感品种。

研究表明, 嫁接栽培可以增强蔬菜作物的抗逆性, 是克服盐害的一条有效途径^[19,20], 本试验中, 7 个番茄砧木高代自交系的盐胁迫指数均显著低于同浓度下的普通栽培品种, 具有较强的耐盐性。因此, 通过筛选耐盐番茄砧木, 利用嫁接提高番茄栽培品种的耐盐性, 可为克服设施土壤次生盐渍化、实现设施番茄生产的可持续发展奠定基础。

参 考 文 献

1. 郭文忠, 刘声锋, 李丁仁, 等. 设施蔬菜土壤此生盐渍化发生机理的研究现状与展望[J]. 土壤, 2004, 36(1): 25-29.
2. 薛继澄, 毕德义, 李家金, 等. 保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子与对策[J]. 土壤肥料, 1994(1): 4-9.
3. 张俊侠, 孙德平, 司友斌. 设施土壤蔬菜栽培的障碍因子研究[J]. 安徽农学通报, 2001, 7(4): 52-53.
4. 王海英, 孙建设, 马宝焜, 等. 苹果砧木组培苗耐盐筛选技术研究[J]. 果树科学, 2001, 17(3): 188-191.
5. 吴雪霞, 朱月林, 朱为民, 等. 组织培养条件下不同番茄品种幼苗期的耐盐性比较[J]. 上海农业学报, 2006, 22(3): 59-62.
6. Maggio A, Dalton F N, Piccinni G. The effects of elevated carbon dioxide on static and dynamic indices for tomato salt tolerance[J]. Europ J Agronomy, 2002, 16(3): 197-206.
7. Zhu J K. Salt and drought stress signal transduction in plants[J]. Annu Rev Plant Biol, 2002, 53: 247-273.
8. 戴伟民, 蔡润, 潘俊松, 等. 盐胁迫对番茄幼苗生长发育的影响[J]. 上海农业学报, 2002, 18(1): 58-62.
9. 刘志媛, 朱祝军, 钱亚榕, 等. 等渗 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 和 NaCl 对番茄幼苗生长的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(1): 31-35.
10. 章文华, 刘友良. 钙对小麦幼苗盐分胁迫的缓解作用[J]. 植物生理学通讯, 1992, 28(3): 176-179.
11. 刘峰, 张军, 张文吉. 氧化钙对水稻的生理作用研究[J]. 植物学通报, 2001, 18(4): 490-495.
12. 由继红, 陆静梅, 杨文杰. 钙对萝卜幼苗抗寒性及某些生理指标的影响[J]. 植物研究, 2001, 21(3): 409-412.
13. Lahage P A, Epstein E. Salt tolerance by plant enhancement with calcium[J]. Science, 1969, 33: 395-396.
14. Rengel Z. The role of calcium in salt toxicity[J]. Plant Cell Environ, 1992, 15: 625-632.
15. 范双喜, 伊东正. 钙素对叶用莴苣营养吸收和生长发育的影响[J]. 园艺学报, 2002, 29(2): 149-152.
16. Caines A M, Shennan C. Interactive effects of Ca^{2+} and NaCl salinity on the growth of two tomato genotypes differing in Ca^{2+} use efficiency. Plant Physiol Biochem, 1999, 37(7/8): 569-576.
17. 安守芹, 于卓, 孔丽娟, 等. 花棒等四种豆科植物种子萌发及苗期耐盐性的研究[J]. 中国草地, 1995(6): 29-32.
18. 李磊, 赵檀方, 胡延吉. 大麦苗期耐盐性鉴定指标的研究[J]. 广西科学, 1998, 5(1): 62-65.
19. 于贤昌, 王立江. 蔬菜嫁接的研究与应用[J]. 山东农业大学学报, 1998, 29(2): 249-256.
20. 陈淑芳, 朱月林, 刘友良, 等. NaCl 胁迫对番茄嫁接苗保护酶活性、渗透调节物质含量及光合特性的影响[J]. 园艺学报, 2005, 32(4): 609-613.