



# 硝酸钙胁迫下番茄耐盐砧木品种的筛选

贾慧慧<sup>1</sup>, 王素娜<sup>1</sup>, 古东月<sup>2</sup>, 赵振芳<sup>3</sup>, 裴云<sup>1</sup>,  
苏立芳<sup>1</sup>, 刘伟康<sup>1</sup>, 袁丁<sup>1</sup>, 王丽萍<sup>1</sup>

(1. 河北工程大学 园林与生态工程学院, 河北邯郸 056000; 2. 邯郸市馆陶县农牧局, 河北邯郸 057700; 3. 邯郸市开发区第一原种场, 河北邯郸 056000)

**摘要** 采用营养液栽培, 以番茄嫁接用砧木 5 个品种为材料, 研究不同浓度  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫处理对不同砧木品种幼苗生长及生理特性的影响。结果表明, 在不同  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理浓度下, 表现为低促高抑的作用效果。当  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度  $\leq 40 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 显著提高番茄砧木幼苗的株高、茎粗及生物量; 当浓度  $> 40 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 番茄砧木幼苗的株高、茎粗和生物量均显著下降, 叶片的相对电导率和丙二醛(MDA)质量摩尔浓度明显提高。不同品种砧木的耐盐性存在明显差异, 耐盐性依次为‘阿拉姆’ $>$ ‘果砧 1 号’ $>$ ‘澳砧 1 号’ $>$ ‘久留大佐’ $>$ ‘野大哥 1 号’。

**关键词** 番茄砧木; 盐胁迫; 筛选; 耐盐性

**中图分类号** S513

**文献标志码** A

**文章编号** 1004-1389(2019)08-1302-07

土壤次生盐渍化是影响农业生产和生态环境的重要因素之一, 主要是由于土壤得不到雨水的淋溶, 施肥不合理、水分蒸发快和不合理灌溉等问题造成的<sup>[1-2]</sup>, 土壤中盐分的大量积累严重阻碍了农业的可持续发展。研究表明设施栽培次生盐渍化的土壤中阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$  为主, 阴离子以  $\text{NO}_3^-$  为主<sup>[3-5]</sup>。土壤中硝酸盐的积累不仅可提高土壤溶液的盐浓度和渗透压, 使作物出现生理性干旱<sup>[6]</sup>; 还会影响其对营养元素的吸收, 引起作物营养失调。

番茄是中国重要的设施栽培蔬菜, 在蔬菜生产和供应中具有重要的地位。土壤次生盐渍化不仅影响设施番茄的生长发育, 对产量和品质也有重要影响。选用优良砧木进行嫁接栽培是缓解土传病害, 增强蔬菜耐盐性, 促进生长发育, 提高产量和品质的有效途径<sup>[7]</sup>。目前, 有关  $\text{NaCl}$  对番茄盐胁迫作用研究较多, 而关于  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  对番茄毒害机理研究较少<sup>[8]</sup>。因此, 本试验采用 5 个番茄砧木进行不同浓度的  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫处理, 从幼苗生长和生理特性等方面评价番茄砧木的耐

盐性, 为番茄耐盐砧木的利用和嫁接中抗盐性提高奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

供试砧木材料: ‘阿拉姆’(购自山东寿光丽林种业公司)、‘果砧 1 号’(购自国家蔬菜工程技术研究中心(京研))、‘澳砧 1 号’(购自寿光南澳绿亨农业有限公司)、‘久留大佐’(购自厦门好利得种苗有限公司)和‘野大哥 1 号’(购自鼎牌种苗有限公司)。

### 1.2 方 法

1.2.1 无菌催芽 在培养皿中铺 2 层直径为 15 cm 的滤纸, 用 5 mL 无菌水浸透。挑取不同品种的优质供试种子各 200 粒, 经次氯酸钠表面消毒后分别置于培养皿中, 恒温( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ )暗光条件下培养。待胚根生长至长度为 5~10 mm 时, 将出芽的种子播于盛有复合基质(草炭和蛭石的体积比为 2:1)的 72 孔穴盘中。

1.2.2 幼苗培养 待幼苗生长至 2 叶 1 心时, 移

收稿日期:2018-12-09 修回日期:2019-01-20

基金项目:2018 年河北省研究生创新资助项目(CXZZSS2018078); 蔬菜集约化嫁接育苗研究与示范(1522101053-6); 邯郸市设施蔬菜工程技术研究中心(1564601116); 河北省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队(HBCT2018030211); 河北省自然科学基金(C2018402145); 河北工程大学博士专项基金(17129033071)。

第一作者:贾慧慧, 女, 硕士研究生, 研究方向为设施园艺与无土栽培。E-mail:867349969@qq.com

通信作者:王丽萍, 女, 博士, 教授, 研究方向为设施园艺与无土栽培。E-mail:wlp29@163.com

入 5 cm×5 cm×10 cm 的塑料营养钵中。营养液栽培以 62 cm×42.5 cm×16.5 cm 的塑料水培槽为容器,盖板为聚苯乙烯泡沫板,每个盖板含 15 个直径 5 cm 的定植孔。

1.2.3  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫处理 当幼苗生长到 3 叶 1 心时,选长势一致和生长健壮的植株,用无菌水洗净根部后定植于装有 1/2 Hoagland's 营养液的 31.5 L 水培槽中,并用电动气泵连续通气,在室温  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  下培养 5 d。然后用系列浓度为 0 (CK)、20、40、60、80、100  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (分析纯,上海振欣试剂厂生产)分别处理 5 个品种的番茄砧木幼苗,每个处理设 3 次重复。将幼苗处理 10 d 后,测定其生理生长指标。处理期间每 3 d 更换 1 次营养液。为避免植株受到盐的刺激,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  按 15  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的浓度梯度递增,同一天使各处理达到预定浓度。

1.2.4 盐害调查及生长生理指标测定  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫处理 10 d 后进行盐害调查:分别调查株高(子叶节至生长点的距离)、茎粗(与子叶节展开方向平行的子叶节下处直径)、鲜质量(植株地上部和根系的鲜质量)和干质量(测定植株地上部和根系的鲜质量后,于  $105^\circ\text{C}$  下杀青 15 min,  $75^\circ\text{C}$  下烘干至恒量)等生长指标;并取幼苗植株生长点以下第 2 片真叶,测定其电解质渗漏率<sup>[9]</sup>和丙二醛(MDA)<sup>[10]</sup>等生理指标。

### 1.3 数据处理

采用 Excel 2007 软件计算平均值, SPSS 17.0 软件进行方差分析,新复极差法进行多重

比较。

## 2 结果与分析

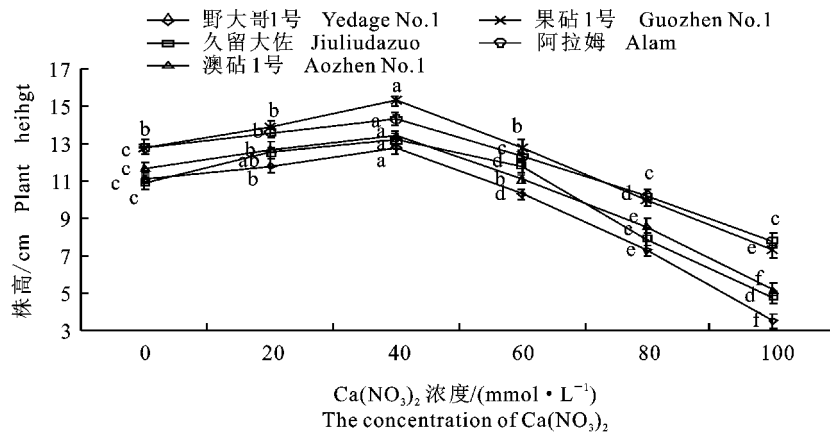
### 2.1 不同浓度 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 对番茄砧木株高和茎粗的影响

株高、茎粗是植株生长最直观的反应<sup>[11-12]</sup>。 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理 10 d 后调查 5 种番茄砧木幼苗植株株高和茎粗。从图 1 和图 2 可以看出,在试验处理浓度下,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  对番茄生长表现出低促高抑的作用效果。当  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理浓度低于 40  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,5 个番茄砧木幼苗的株高和茎粗均显著高于对照组,表明  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  在低浓度下对幼苗生长具有促进作用。当  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理浓度低于 40  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,5 种番茄砧木幼苗的株高和茎粗依次为‘果砧 1 号’ > ‘阿拉姆’ > ‘澳砧 1 号’ > ‘久留大佐’ > ‘野大哥 1 号’。

随着处理浓度的升高,5 种砧木品种幼苗的株高和茎粗均呈下降趋势,表现抑制作用。在 100  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下,‘果砧 1 号’‘阿拉姆’‘澳砧 1 号’‘久留大佐’‘野大哥 1 号’5 种砧木的株高分别较对照下降 42.97%、39.06%、55.56%、55.96%和 68.47%;茎粗较对照分别下降 38.71%、38.19%、39.02%、39.58%和 43.92%。上述结果表明,‘阿拉姆’的耐盐能力最强。

### 2.2 不同浓度 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫对番茄砧木生物量的影响

盐胁迫下植株生长受抑制的另一表现是植物干鲜质量大幅度下降<sup>[13-14]</sup>。从表 1 可见,在试验



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同 Different lowercase letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ). The same below

图 1 不同浓度盐胁迫下株高的变化

Fig. 1 Changes of salt stress of different concentrations on plant height

处理浓度下,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  对番茄生物量积累具有低促高抑的作用效果。当  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理浓度低于  $40 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 5 种番茄砧木幼苗的地上部和地下部均显著高于对照组。当  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理浓度为  $40 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 5 种番茄砧木幼苗的地上部和地下部的干质量均达到最高, 生物积累量最高, 且‘阿拉姆’ > ‘果砧 1 号’ > ‘澳砧 1 号’ > ‘久留大佐’ > ‘野大哥 1 号’。当  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理浓度高于  $40 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 5 个番茄砧木品种地上部和地下部的干质量均显著降低。在  $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理浓度下, ‘阿拉姆’、‘果砧 1 号’、‘澳砧 1 号’、‘久留大佐’和‘野大哥 1 号’的地上干质量分别较对照降低 35.20%、36.98%、36.22%、46.91%和 54.19%; 地下部干质量分别较对照降低 42.86%、44.92%、53.10%、62.07%和 68.31%。因此, 在高浓度盐胁迫下‘阿拉姆’表现最好, ‘野大哥 1 号’的耐盐性最差。表明低盐浓度可促进番茄砧木幼苗对养

分的吸收, 增加其生物积累量, 高盐浓度对番茄砧木幼苗生长起抑制作用, 且  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度越高, 幼苗受抑制越明显。

与对照相比, 在  $80 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下, 各品种幼苗生物积累量降低幅度较小, 地上部干鲜质量的下降顺序为‘久留大佐’、‘澳砧 1 号’、‘果砧 1 号’、‘阿拉姆’和‘野大哥 1 号’, 地下部干鲜质量的下降顺序为“澳砧 1 号、久留大佐、果砧 1 号、野大哥 1 号、阿拉姆”。在  $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下, 各品种幼苗生物积累量急剧下降, 其中, 阿拉姆地上部干鲜质量降低值最小, 分别比对照下降 44.64%和 31.3%; 其次是‘果砧 1 号’, 分别下降了 55.74%和 33.55%; 第 3 是‘澳砧 1 号’, 分别下降 66.18%和 43.34%; 第 4 是‘野大哥 1 号’, 分别下降 66.22%和 56.89%; 最后是‘久留大佐’, 分别下降 80.01%和 67.52%。结果表明, ‘野大哥 1 号’的耐盐性最差, ‘阿拉姆’在高浓度盐胁迫下表现最好。

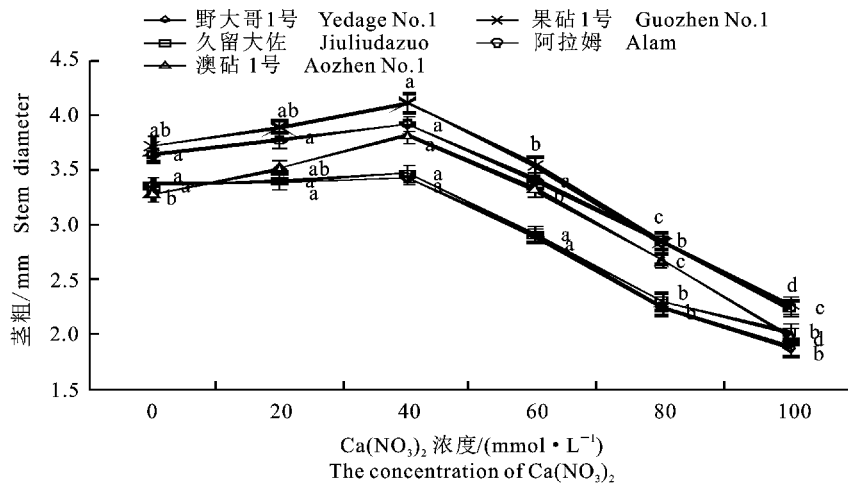


图 2 不同浓度盐胁迫下茎粗的变化

Fig. 2 Changes of salt stress of different concentrations on stem diameter

### 2.3 不同浓度 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫对番茄砧木叶片细胞膜透性的影响

细胞膜是调节植物正常生理代谢的重要部位。受盐胁迫的植物细胞膜透性增大, 导致细胞内的电解质外渗<sup>[14]</sup>。因此, 相对电导率主要反映细胞膜透性的增大程度。由表 2 结果可知, 当  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理浓度低于  $40 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 5 个品种番茄砧木幼苗叶片相对电导率均显著下降, 因此该盐浓度对幼苗膜系统无伤害。而在  $40 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理下, 5 个番茄砧木品种幼苗叶片的相对电导率与对照相比均无明显差

异, 表明低盐浓度对番茄幼苗膜系统伤害较小。随着  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度的升高, 各砧木幼苗叶片的相对电导率均大幅度增加, 但‘阿拉姆’叶片相对电导率的上升幅度相对较小, 低于其他 4 种砧木。在  $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下, ‘阿拉姆’、‘果砧 1 号’、‘澳砧 1 号’、‘久留大佐’与‘野大哥 1 号’的叶片相对电导率分别比对照提高了 36.29%、43.89%、46.76%、47.79%和 54.31%。以上结果表明: ‘阿拉姆’幼苗的细胞膜在盐胁迫条件下保持了较好的结构和功能的完整性。

## 2.4 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫对番茄幼苗叶片 MDA 质量摩尔浓度的影响

图 3 表明,当  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度低于  $40 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,5 个番茄砧木品种幼苗叶片的 MDA 质量摩尔浓度与对照相比差异不显著,番茄幼苗叶片膜脂过氧化程度较低。随着  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  浓度的升高,各砧木幼苗叶片膜脂过氧化程度逐渐加强。在  $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下,各品种砧木幼苗叶片膜脂过氧化程度均达到最强,幼苗叶片 MDA 质量摩尔浓度上升明显。‘阿拉姆’‘果砧 1 号’‘野大哥 1 号’‘澳砧 1 号’和‘久留大佐’的 MDA 质量摩尔浓度与对照相比分别提高 82.90%、93.63%、103.32%、107.84%和 111.40%。在相同盐胁迫条件下,‘阿拉姆’最为耐盐,‘果砧 1 号’‘久留大佐’和‘澳砧 1 号’次之,‘野大哥 1 号’耐盐性最差。

表 1 不同浓度盐胁迫下单株生物量的变化 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 1 Changes of salt stress of different concentrations on biomass per plant

砧木品种 Cultivar of roots tock	硝酸盐浓度/ ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) Salt concentration	地上部鲜质量 Shoot fresh mass	地下部鲜质量 Root fresh mass	地上部干质量 Shoot dry mass	地下部干质量 Root dry mass
阿拉姆 Alam	0	36.3±0.21 b	7.71±0.23 b	10.28±0.02 b	0.98±0.02 b
	20	33.0±0.22 c	7.42±0.12 c	8.56±0.01 c	0.95±0.01 c
	40	48.4±0.22 a	10.8±0.02 a	18.24±0.01 a	1.45±0.01 a
	60	28.3±0.23 d	5.71±0.11 d	6.43±0.02 d	0.47±0.02 d
	80	24.9±0.21 e	4.35±0.14 e	5.69±0.01 e	0.39±0.01 e
	100	23.6±0.25 f	3.82±0.21 f	3.93±0.02 f	0.33±0.01 e
野大哥 1 号 Yedage No. 1	0	27.4±0.67 b	5.26±0.15 b	5.27±0.03 b	0.42±0.01 b
	20	26.2±0.36 c	4.67±0.16 c	4.78±0.05 c	0.38±0.02 c
	40	31.2±0.21 a	6.23±0.13 a	5.68±0.06 a	0.59±0.01 a
	60	20.8±0.56 d	5.12±0.21 b	3.12±0.04 d	0.37±0.01 d
	80	11.8±0.28 e	2.16±0.11 c	1.78±0.03 d	0.16±0.01 e
	100	10.1±0.21 f	1.53±0.18 d	1.26±0.01 d	0.11±0.01 f
久留大佐 Jiuliudazuo	0	39.0±0.27 b	7.38±0.02 b	10.56±0.06 b	1.02±0.02 b
	20	30.1±0.22 c	6.23±0.02 c	6.04±0.06 c	0.64±0.01 c
	40	41.2±0.25 a	8.21±0.04 a	12.34±0.02 a	1.21±0.01 a
	60	19.9±0.24 d	4.31±0.03 d	3.03±0.01 d	0.32±0.02 d
	80	12.8±0.47 e	2.56±0.13 e	2.11±0.04 e	0.23±0.01 e
	100	10.4±0.28 f	1.71±0.12 f	1.45±0.02 f	0.17±0.02 f
果砧 1 号 Guozhen No. 1	0	34.1±0.26 b	6.85±0.06 b	9.74±0.01 b	0.94±0.01 b
	20	30.5±0.29 b	6.21±0.03 b	6.89±0.02 c	0.82±0.01 c
	40	52.3±0.34 a	13.3±0.04 a	12.43±0.05 a	2.03±0.02 a
	60	27.8±0.26 c	5.02±0.02 c	5.43±0.01 d	0.46±0.02 d
	80	22.6±0.28 d	3.97±0.05 d	4.31±0.02 e	0.42±0.01 d
	100	21.8±0.26 e	2.98±0.04 e	3.36±0.01 f	0.36±0.01 e
澳砧 1 号 Aozhen No. 1	0	32.4±0.28 b	6.75±0.06 b	8.96±0.02 b	0.89±0.02 b
	20	28.9±0.23 c	5.31±0.02 c	5.97±0.06 c	0.51±0.02 c
	40	39.9±0.26 a	7.35±0.01 a	11.04±0.01 a	1.05±0.01 a
	60	21.4±0.28 d	5.07±0.03 c	3.10±0.01 d	0.31±0.01 d
	80	18.3±0.66 e	3.47±0.16 d	3.03±0.05 e	0.28±0.01 e
	100	15.2±0.36 f	3.67±0.04 d	2.76±0.03 f	0.26±0.02 e

注:不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ). The same below.

表 2 不同浓度盐胁迫下番茄砧木幼苗叶片相对电导率的变化

Table 2 Changes of salt stress of different concentrations on relative conductivity of tomato's seedlings leaf

盐浓度/ (mmol · L <sup>-1</sup> ) Salt concentration	砧木品种 Cultivar of rootstock				
	阿拉姆 Alam	野大哥 1 号 Yedage No. 1	久留大佐 Jiuliudazuo	果砧 1 号 Guozhen No. 1	澳砧 1 号 Aozhen No. 1
0	53.47±2.45 d	49.85±3.20 d	48.39±4.03 d	49.36±3.09 d	51.83±3.44 d
20	52.42±4.00 d	48.99±2.44 d	47.05±3.13 d	48.77±3.31 d	51.00±2.14 d
40	54.05±3.05 d	51.13±4.10 d	49.34±2.98 d	50.45±2.48 d	52.32±3.10 d
60	76.10±4.23 c	80.69±4.84 c	79.45±4.51 c	77.98±3.52 c	79.41±3.45 c
80	81.45±4.53 b	92.45±5.23 b	85.98±4.18 b	83.49±4.06 b	86.20±3.55 b
100	90.52±4.42 a	99.25±3.56 a	96.18±4.71 a	93.25±3.17 a	94.59±4.52 a

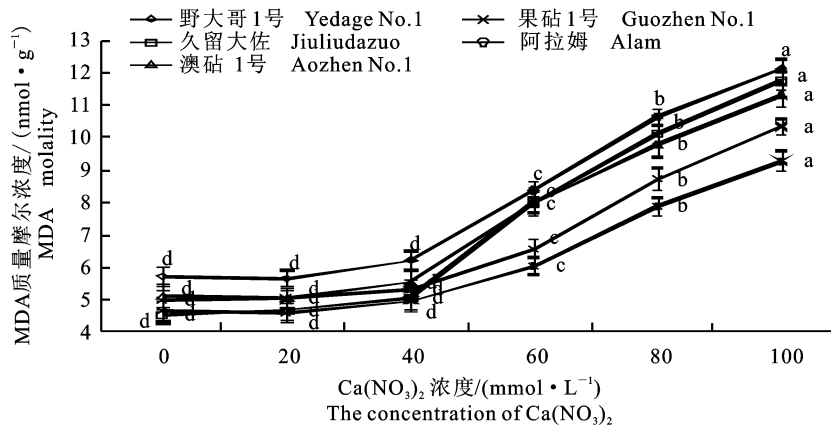


图 3 不同浓度盐胁迫下番茄幼苗叶片 MDA 质量摩尔浓度的变化

Fig. 3 Changes of salt stress of different concentrations on MDA molality of tomato's seedling leaf

### 3 结论与讨论

钙是植物生长必需的营养元素,缺钙可导致番茄脐腐病<sup>[15]</sup>。Ca<sup>2+</sup>作为植物细胞中的第 2 信号离子,在植物生长发育的过程中起到重要调节作用<sup>[16]</sup>。梁洁等<sup>[17]</sup>报道,适宜浓度的 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>能提高木麻黄的耐盐性,这与本试验结果相吻合。在 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 处理浓度低于 40 mmol · L<sup>-1</sup> 时,5 个番茄品种的株高、茎粗和生物量均显著高于对照,而相对电导率和 MDA 质量摩尔浓度增幅较小。这些结果表明,低浓度的 Ca<sup>2+</sup>不会对番茄砧木幼苗产生毒害作用,反而会减轻其叶片膜质过氧化程度,促进番茄幼苗的生长发育。在 100 mmol · L<sup>-1</sup> Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 处理番茄砧木幼苗时,5 个番茄品种受盐害明显,生物量显著下降。这与郑兴莲等<sup>[18]</sup>报道 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 的浓度达到一定程度会对茄子幼苗的生长产生抑制作用的结论相一致。

盐胁迫下植物受抑制最直观的表现是株高、茎粗和生物量的下降。高浓度盐胁迫对细胞的膜

脂和膜蛋白有重要影响<sup>[18-19]</sup>。植物叶片叶绿素质量摩尔浓度不仅反映植物的光合能力,还是耐盐性的重要体现<sup>[20-21]</sup>。盐胁迫下,植物想要生存只能通过光合和呼吸作用,首先预防原生质和叶绿体等细胞失水,进而排除多余的盐离子减轻盐害<sup>[22-23]</sup>。因此,耐盐能力强的番茄砧木,在盐胁迫条件下表现为植株生长势良好,膜透性及膜质过氧化程度较低。在相同盐胁迫下,不同砧木品种耐盐性不同,所受抑制程度也有所不同。试验中的各项指标表明,‘阿拉姆’在高盐浓度胁迫下受抑制程度较小,能保持较低的相对电导率和 MDA 质量摩尔浓度,其细胞膜在盐胁迫条件下保持了较好的结构和功能的完整性。而‘久留大佐’和‘野大哥 1 号’受抑制程度较高。综合试验各项指标认为,5 个番茄砧木品种的耐盐顺序为‘阿拉姆’ > ‘果砧 1 号’ > ‘澳砧 1 号’ > ‘久留大佐’ > ‘野大哥 1 号’。

选择耐盐的砧木是番茄嫁接的基础,但由于植物在盐胁迫下的生长过程受多种因素的影响,仅仅通过某几个指标并不能全面地评价出植物的

耐盐能力。因此,以‘阿拉姆’为砧木的嫁接苗耐盐性能及其耐盐生理机制尚需进一步研究。

#### 参考文献 Reference:

- [1] 童有为,陈淡飞. 温室土壤次生盐渍化的形成和治理途径的研究[J]. 园艺学报,1991,18(2):159-162.  
TONG Y W, CHEN D F. Study on the formation and treatment of secondary salinization of greenhouse soil[J]. *Journal of Horticulture*, 1991, 18(2): 159-162.
- [2] 张志焕. 番茄砧木耐旱性鉴定及其嫁接苗对水分胁迫的响应[D]. 山东泰安:山东农业大学,2016.  
ZHANG ZH H. Drought resistance identification of tomato rootstock and its response to water stress[D]. Tai'an Shandong: Shandong Agricultural University, 2016.
- [3] 周建斌,翟丙年,陈竹君,等. 设施栽培菜地土壤养分的空间累积及其潜在的环境[J]. 农业环境科学学报,2004,23(2):33-35.  
ZHOU J B, ZHAI B N, CHEN ZH J, et al. Spatial accumulation and potential environment of soil nutrients in cultivated vegetable fields[J]. *Journal of Agricultural Environmental Science*, 2004, 23(2): 33-35.
- [4] 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.  
XUE J CH, BI D Y, LI J J, et al. Soil factors and countermeasures for the physiological barriers of cultivated vegetables under protection[J]. *Soil Fertilizer*, 1994(1): 4-9.
- [5] 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.  
ZHANG J X, SUN D P, SI Y B. Study on obstacle factors of vegetable cultivation in facility soil[J]. *Anhui Agricultural Bulletin*, 2001, 7(4): 52-53.
- [6] 李东坡,武志杰,梁成华,等. 设施土壤生态环境特点与调控[J]. 生态学杂志,2004,23(5):192-197.  
LI D P, WU ZH J, LIANG CH H, et al. Characteristics and regulation of soil ecological environment[J]. *Journal of Ecology*, 2004, 23(5): 192-197.
- [7] 郭文忠,刘声锋,李丁仁,等. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望[J]. 土壤,2004,36(1):25-29.  
GUO W ZH, LIU SH F, LI D R, et al. Research status and prospect of secondary salinization mechanism of vegetable-soil[J]. *Soil*, 2004, 36(1): 25-29.
- [8] 夏立忠,杨林章. 大棚番茄优化施肥与土壤养分和盐害的变化特征[J]. 中国蔬菜,2003(2):4-7.  
XIA L ZH, YANG L ZH. Variation characteristics of optimum fertilization and soil nutrient and salt damage of tomato in greenhouse[J]. *Chinese Vegetables*, 2003(2): 4-7.
- [9] 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.  
CHEN SH F, ZHU Y L, LIU Y L, et al. Effects of NaCl stress on protective enzyme activity, osmotic regulating substance content and photosynthetic characteristics of tomato grafted seedlings[J]. *Journal of Horticulture*, 2005, 32(4): 609-613.
- [10] 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,2000:165-169.  
LI H SH. Principle and Technology of Physiological and Biochemical Test of Plants[M]. Beijing: Higher Publishing House Education, 2000: 165-169.
- [11] 赵世杰,刘华山,董新纯,等. 植物生理实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,1997:161-163.  
ZHAO SH J, LIU H SH, DONG X CH, et al. Plant Physiological Experiment Instruction[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 161-163.
- [12] 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.  
DAI W M, CAI R, PAN J S, et al. Effects of salt stress on growth and development of tomato seedling[J]. *Journal of Shanghai Agriculture*, 2002, 18(1): 58-62.
- [13] 刘翔,许明,李志文. 番茄苗期耐盐性鉴定指标初探[J]. 北方园艺,2007(3):4-7.  
LIU X, XU M, LI ZH W. Identification of salt tolerance in tomato seedling stage[J]. *The North Garden*, 2007(3): 4-7.
- [14] 杨劲松,陈德明,沈其荣. 作物抗盐机制研究小麦水分保持与质膜渗透性[J]. 土壤学报,2002,39(4):524-528.  
YANG J S, CHEN D M, SHEN Q R. The mechanism of crop resistance to salt was studied[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(4): 524-528.
- [15] 董彩霞,周建民,段增强,等. 番茄脐腐病发生机理研究综述[J]. 园艺学报,2001,28(增刊):644-648.  
DONG C X, ZHOU J M, DUAN Z Q, et al. Mechanism of tomato umbilical rot[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28(Supp): 644-648.
- [16] WHITE P J. Calcium channels in higher plants [J]. *Biochim Biophys Acta*, 2000, 1465: 171-189.
- [17] 梁洁,严重玲,李裕红,等. Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 对 NaCl 胁迫下木麻黄杆插苗生理特征的调控[J]. 生态学报,2004,24(5):1073-1077.  
LIANG J, YAN CH L, LI Y H, et al. The regulation of Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> on the physiological characteristics of casuarina equisetifolia seedling under NaCl stress[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 1073-1077.
- [18] 郑兴莲,申书兴,王彦华,等. 硝酸钙胁迫对茄子幼苗生长及生理生化指标的影响[J]. 河北农业大学学报,2006,29(6):17-20.  
ZHENG X L, SHEN SH X, WANG Y H, et al. Effects of calcium nitrate stress on growth and physiological and biochemical indexes of eggplant seedling[J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2006, 29(6): 17-20.
- [19] 吕庆,郑荣梁. 干旱及活性氧引起的膜脂过氧化与脱酯化[J]. 中国科学(C辑),1996,26(1):26-30.  
LÜ Q, ZHENG R L. Membrane lipid peroxidation and esterification induced by drought and reactive oxygen species

- [J]. *China Science (Cseries)*, 1996, 26(1): 26-30.
- [20] 刘德兴, 荆鑫, 焦娟, 等. 嫁接对番茄产量、品质及耐盐性影响的综合评价[J]. *园艺学报*, 2017, 44(6): 1094-1104.
- LIU D X, JING X, JIAO J, *et al.* Effect of grafting on yield, quality and salt tolerance of tomato[J]. *Journal of Horticulture*, 2017, 44(6): 1094-1104.
- [21] 李汉美, 何勇. NaCl胁迫对番茄嫁接苗光合作用和叶绿素荧光特性的影响[J]. *西北农业学报*, 2013, 22(3): 131-134.
- LI H M, HE Y. Effects of NaCl stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of tomato grafted seedlings[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2013, 22(3): 131-134.
- [22] 李天来, 李森, 李益清, 等. CaCl<sub>2</sub> 和水杨酸对昼间亚高温胁迫下番茄叶片光合作用的影响[J]. *西北农业学报*, 2009, 18(4): 284-289.
- LI T L, LI M, LI Y Q, *et al.* Effects of CaCl<sub>2</sub> and salicylic acid on photosynthesis in tomato leaves under diurnal sub-high temperature stress[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2009, 18(4): 284-289.
- [23] 魏国平. 耐盐砧木嫁接提高茄子耐硝酸钙的生理机制[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- WEI G P. Grafting of salt-tolerant rootstock improves the physiological mechanism of eggplant's tolerance to calcium nitrate[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.

## Selection of Tomato Salt-tolerance Rootstock under Stress of Valcium Nitrate

JIA Huihui<sup>1</sup>, WANG Suna<sup>1</sup>, GU Dongyue<sup>2</sup>, ZHAO Zhenfang<sup>3</sup>, PEI Yun<sup>1</sup>,  
SU Lifang<sup>1</sup>, LIU Weikang<sup>1</sup>, YUAN Ding<sup>1</sup> and WANG Liping<sup>1</sup>

(1. College of Landscape and Ecological Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei 056000, China;

2. Agricultural and Pastoral Bureau of Guantao County, Handan Hebei 057700, China;

3. The No. 1 Stock Seed Farm of Handan Development Zone, Handan Hebei 056000, China)

**Abstract** In this experiment, 5 rootstocks grafted with tomato as materials, the effects of Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> stress treatments at different concentrations on the growth and physiological characteristics of seedlings of different stock varieties were studied. The study showed that the plant height, stem diameter and biological value of tomato rootstock seedlings were stimulated when the concentration of Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> was ≤ 40 mmol · L<sup>-1</sup>, however, when the concentration was higher than 40 mmol · L<sup>-1</sup>, the plant height, stem diameter and biomass of tomato rootstock seedlings of all varieties were significantly inhibited, and the relative electrical conductivity and MDA molality of leaves increased significantly. The results suggested that the salt tolerance of different rootstocks were different, and the salt tolerance of the five tomato rootstocks was ‘alam’ > ‘Guozhen No. 1’ > ‘Aozhen No. 1’ > ‘Jiliudazuo’ > ‘Yedage No. 1’.

**Key words** Tomato rootstock; Salt stress; Screening; Salt resistance

**Received** 2018-12-09

**Returned** 2019-01-20

**Foundation item** 2018 Hebei Province Postgraduate Student Innovation Funding Project (No. CXZZSS2018078); Study and Demonstration on Intensive Grafting of Vegetables (No. 1522101053-6); Handan Protected-land Vegetable Engineering Technology Research Center (No. 1564601116); Hebei Modern Agricultural Industry Technology System for Vegetable Innovation Team (No. HBCT2018030211); Natural Science Foundation of Hebei Province (No. C2018402145); Special Fund for Ph. D Scholars of Hebei University of Engineering (No. 17129033071).

**First author** JIA Huihui, female, master student. Research area: protected-land gardening and soilless cultivation. E-mail: 867349969@qq.com

**Corresponding author** WANG Liping, female, Ph. D, professor. Research area: protected-land gardening and soilless cultivation. E-mail: wlp29@163.com

(责任编辑: 潘学燕 Responsible editor: PAN Xueyan)