

NaCl、单 Na⁺、Cl⁻胁迫对不同番茄 幼苗光合特性的影响

杨凤军^{1,2}, 李天来¹, 宿越¹, 鲁少尉¹

(1. 沈阳农业大学 园艺学院, 辽宁省设施园艺重点实验室, 辽宁 沈阳 110161; 2. 黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: 为探讨番茄耐性品种的生理机制, 以醋栗番茄、辽园多丽、红宝石和辽园红玛瑙 4 种不同基因型番茄为试材, 比较研究了 50、100、150 mmol/L 的 NaCl 及等渗 150 mmol/L 单 Cl⁻、单 Na⁺ 溶液胁迫, 对番茄苗期相对生长量、盐害指数、叶绿素含量、光合作用的影响。结果表明: 随着盐浓度增加, 4 种番茄幼苗的地上部相对干鲜质量、相对株高、相对叶片数、光合色素含量、叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率逐渐降低, 盐害指数逐渐升高; 通过各项指标鉴定醋栗番茄、辽园红玛瑙耐盐性大于辽园多丽、红宝石; 等渗的 NaCl 及其单离子 Na⁺、Cl⁻ 胁迫, Cl⁻ 离子伤害最小, Na⁺ 离子对番茄的毒害比 Cl⁻ 离子敏感; 4 种番茄在 50 mmol/L NaCl 胁迫下光合速率降低的主要原因是气孔因素限制, 其他高盐浓度胁迫则为非气孔因素限制。

关键词: NaCl; 单离子 Na⁺、Cl⁻; 番茄; 光合特性

中图分类号: S641.201 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2009)04-0163-06

Effects of NaCl and Na⁺, Cl⁻ Stress on Photosynthetic Characteristics of Different Genotypes of Tomato Seedlings

YANG Feng-jun^{1,2}, LI Tian-lai¹, SU Yue¹, LU Shao-wei¹

(1. College of Horticulture, Key Laboratory of Protected Horticulture of Liaoning Province, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 2. College of Agronomy, Heilongjiang August First Land Reclamation University, Daqing 163319, China)

Abstract: The effects of NaCl (0, 50, 100, 150 mmol/L) and Iso-Osmotic Na⁺ and Cl⁻ (150 mmol/L) stress on the relative growth, the salt injury index, the content of chlorophyll and photosynthesis of four genotypes of tomato seedlings (*L. pimpinellifolium*, Liaoyuanduoli, Hongbaoshi, Liaoyuanhongmanao) were investigated. The results showed that the relative dry and fresh mass of shoot, relative plant height, relative leaf number, content of chlorophyll, net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate of 4 tomato seedlings decreased gradually, the salt injury index increased gradually with increasing of salt concentrations. The tomato varieties of *L. pimpinellifolium* and Liaoyuanhongmanao held higher resistance to salt stress than the tomato varieties of Liaoyuanduoli and Hongbaoshi by comparing the correlative datum. Na⁺ ion hurt on different genotype tomatoes was more impotent than Cl⁻ ion under Iso-Osmotic NaCl, Na⁺ and Cl⁻ stress tomato seedling stage. The reduction of net photosynthetic rate under lower concentration NaCl (50 mmol/L) was the result of stomatal limitation, and non-stomatal limitation was the main reason for the decrease of photosynthetic rate under higher salinity in 4 genotype tomatoes.

Key words: NaCl; Single ion of Na⁺ and Cl⁻; Tomato; Photosynthetic characteristics

近年来, 设施园艺在我国快速发展, 种植面积逐年增加。由于设施环境的特殊性, 随着种植年限的

增加, 设施土壤次生盐渍化不断加重, 导致设施蔬菜的产量和品质逐年下降。土壤盐渍化已经是设施蔬

收稿日期: 2009-02-26

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BA D07B04); 辽宁省“十一五”重大项目(2006215001)

作者简介: 杨凤军(1972-), 男, 黑龙江大庆人, 副教授, 博士, 主要从事园艺作物逆境生理研究。

通讯作者: 李天来(1955-), 男, 辽宁绥中人, 教授, 主要从事设施蔬菜栽培与生理研究。

菜发展的主要限制因子之一。番茄作为设施栽培的重要果菜类蔬菜,研究其如何克服设施土壤盐渍化障碍已受到人们广泛关注^{1,2}。目前已有许多克服设施土壤次生盐渍化障碍技术与措施的研究报道,其中在品种选育和栽培上提高植物的耐盐性已成为重要措施之一。

盐胁迫对植物的危害主要是离子毒害、渗透胁迫和营养不平衡³。在 NaCl 胁迫下,不同作物对 Na⁺ 和 Cl⁻ 的敏感程度不同。如 NaCl 对柑橘等果树的胁迫作用主要是由 Cl⁻ 引起的⁴;对水稻等作物的胁迫作用主要是由 Na⁺ 引起的⁵。罗庆云等⁶ 研究报道,NaCl 对栽培大豆和野生大豆的影响还有差异,栽培大豆对 Cl⁻ 离子敏感,野生大豆对 Na⁺ 离子敏感。番茄是主要栽培的果菜,为克服设施盐渍化障碍,对其耐盐性的研究报道较多^{7,8},但对于番茄在 NaCl 胁迫下的 Na⁺、Cl⁻ 离子不同的毒害作用少有研究报道。本研究以耐盐性不同的 2 个大果型的栽培品种、一个小果型的樱桃番茄和一个野生番茄为试材,研究 NaCl、Na⁺ 和 Cl⁻ 胁迫下,不同基因型番茄苗期生长和光合特性的敏感差异,为番茄耐盐性品种改良及耐盐性栽培提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料与试验处理

试验于 2007 年秋季在沈阳农业大学工厂化中心日光温室内进行。供试番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 有 4 个品种:包括 2 个大果番茄辽园多丽、红宝石,一个小果番茄辽园红玛瑙和一个野生种醋栗番茄,代表具有不同基因型。采用穴盘基质育苗,在秧苗四叶一心时定植于水培槽中,移栽前用清水洗净根部的育苗基质。水培槽大小为 150 cm×75 cm×12 cm,每个水培槽加营养液 70 L,定植 4 个品种番茄各 10 株,株行距都是 15 cm。营养液为 1/2 Hoagland 营养液,定植后恢复生长 5 d,番茄幼苗发出新的不定根 1 cm 左右开始进行试验处理。每个水培槽 24 h 进行充气泵充气。

试验设 1 个对照 5 个处理,每个处理 3 次重复,水培槽随机排列。为保证各处理在等渗、等 Na⁺、Cl⁻ 离子盐胁迫下,用 PEG-6000 将 Na⁺ 盐、Cl⁻ 盐和 NaCl 溶液调至等渗(溶液渗透势用美国产 PSYPRO 露点水势仪测定)。盐处理最高浓度为 150 mmol/L,盐浓度分 3 d 由 50 mmol/L 递增到处理浓度。处理溶液的设计参照 Kingsbury 和 Epstein⁹。处理为:① CK 溶液:1/2 Hoagland;② 50NaCl 溶液:1/2 Hoagland+50 mmol/L NaCl;③ 100NaCl 溶液:1/2 Hoagland+

100 mmol/L NaCl;④ 150NaCl 溶液:1/2 Hoagland+150 mmol/L NaCl;⑤ 150 Na⁺ 盐溶液:1/2 Hoagland+7 NaH₂PO₄+107 NaNO₃+18 Na₂SO₄;⑥ 150Cl⁻ 盐溶液:1/2 Hoagland+27 MgCl₂+38.4 KCl+25.6 CaCl₂+6.4 NH₄Cl。分别在处理的第 10 天测定光合指标,第 11 天取样调查各项指标。

1.2 测定指标与方法

处理后第 10 天于晴天条件下,选取植株展开心叶下第 3~4 叶,采用 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合作用测定系统测定净光合速率(Pn)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)、气孔导度(Gs)和蒸腾速率(Tr)。测定时光量子通量密度为 600 μmol/(m²·s),温度 25℃,CO₂ 浓度为 300 μmol/mol;叶绿素含量采用张宪政等¹⁰ 的乙醇-丙酮(1:1)混合法测定。

盐胁迫处理后第 11 天取全株鲜样,测量株高、地上部和根部鲜质量,统计叶片数。将叶、茎、根放入烘箱以 105℃杀青 15 min,70℃烘干至恒质量,分别测定地上部和根部干质量。各项指标的相对值=(处理/对照)×100;盐害指数分级、测定参照刘翔等¹¹ 的方法。

1.3 数据处理

数据采用 DPS 软件进行方差分析,用 Duncan's 新复极差法进行平均数间的多重比较。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对不同基因型番茄幼苗生长的影响

试验中发现不同基因型番茄生长势存在差异,所以表 1 以不同番茄相对生长量分析不同番茄对盐胁迫的敏感程度。从表 1 可以看出,随着 NaCl 浓度的增加,4 个基因型番茄的地上部相对鲜质量、相对干质量、相对根干质量、相对株高、相对叶片数都显著降低;盐害指数显著增加。表明 NaCl 胁迫处理对番茄的生长发育有明显的抑制作用,且随着盐的浓度增加,抑制伤害增强。

在等渗的 150 mmol/L NaCl、单 Na⁺、单 Cl⁻ 胁迫下,NaCl 和单 Na⁺ 胁迫对各项相对生长量指标、盐害指数之间没有显著差异,二者的相对生长量显著低于 Cl⁻ 胁迫,盐害指数显著高于 Cl⁻ 胁迫,可见 NaCl 对番茄的胁迫伤害,Na⁺ 离子起主要作用。

4 种基因型番茄的耐盐性差异显著性分析表明,在 50 mmol/L 的 NaCl 胁迫下,4 种番茄之间的各项相对生长量、盐害指数指标没有显著差异;100 mmol/L 的 NaCl 胁迫下,4 种番茄之间的各项相对生长量、盐害指数指标存在显著差异,野生醋栗番茄和小果型的辽园红玛瑙高于大果型的辽园多丽和红宝

石;在 150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下,4 种基因型番茄相对生长量的各项指标差异不显著,盐害指数的差异达到显著水平,醋栗番茄和辽园红玛瑙低于辽园

多丽、红宝石。可见 100 mmol/L 的 NaCl 胁迫是鉴定评价番茄耐盐性差异的较好水平,野生醋栗番茄、园红玛瑙耐盐性高于辽园多丽、红宝石。

表 1 盐胁迫对 4 种不同基因型番茄幼苗生长的影响

Tab. 1 Effects of salt stress on the growth of four genotype tomato seedlings

品种 Cultivar	NaCl、Na ⁺ 、Cl ⁻ (mmol/L)	地上部相对鲜质量/% Relative shoot fresh mass	地上部相对干质量/% Relative shoot dry mass	相对根干质量/% Relative root dry mass	相对株高/% Relative plant height	相对叶片数/% Relative leaf number	盐害指数/% Salt injury index
醋栗番茄 <i>L. pimpinellifolium</i>	50	69.07 a	67.10 a	77.14 a	91.71 a	85.05 bc	13.33 f
	100	46.17 c	45.02 df	56.88 d	81.99 b	77.35 d	36.65 e
	150	33.39 dh	35.33 h	37.66 i	73.38 d	68.14 ef	59.65 b
	150Na ⁺	36.21 d	37.16 h	35.08 i	81.60 bc	73.41 de	54.32 c
	150Cl ⁻	60.94 b	64.95 b	75.32 a	88.72 a	86.87 ab	16.25 f
辽园多丽 Liaoyuanduoli	50	67.16 a	69.54 a	70.25 b	91.13 a	91.80 a	17.12 f
	100	37.66 d	41.70 f	36.25 ij	80.17 c	85.68 b	45.56 d
	150	26.45 hi	30.26 ij	30.00 h	65.91 e	69.16 e	72.14 a
	150Na ⁺	28.17 h	35.28 h	33.75 jh	73.45 d	75.40 d	65.03 ab
	150Cl ⁻	58.19 b	65.96 ab	64.26 bc	85.61 ab	87.76 a	18.16 f
红宝石 Hongbaoshi	50	66.54 a	67.68 a	68.67 b	88.69 a	87.19 a	15.34 f
	100	36.89 g	38.76 fh	49.40 h	76.03 c	84.97 b	47.34 d
	150	24.53 i	26.75 j	33.73 j	58.60 f	76.21 d	67.62 a
	150Na ⁺	21.78 i	25.54 j	31.30 j	56.90 f	67.45 f	65.66 a
	150Cl ⁻	50.33 c	55.04 c	63.98 c	75.60 cd	87.32 a	16.58 f
辽园红玛瑙 Liaoyuanhongmanao	50	70.47 a	71.76 a	78.41 a	90.37 a	89.40 a	14.35 f
	100	48.00 c	49.94 cd	55.91 d	77.65 c	85.79 b	38.46 de
	150	31.51 h	34.93 hi	35.23 j	67.52 e	78.67 cd	62.44 b
	150Na ⁺	36.47 d	37.58 h	39.77 i	71.92 de	78.16 d	60.19 bc
	150Cl ⁻	62.35 ab	61.60 b	63.64 c	87.71 a	88.08 a	16.37 f

注: 同列的同一品种的不同字母表示经 Duncan 氏新复极差检验差异显著性达到 5% 水平。

Note: Different letters in the column within the same cultivar indicate significant difference by Duncan's multiple range test at 5% level.

2.2 盐胁迫对不同基因型番茄幼苗叶片光合色素含量的影响

叶绿素(Chl)是植物进行光合作用的主要色素,其含量在一定程度上能反映植物同化物质的能力。在盐胁迫下四种番茄幼苗叶片内的总 Chl 含量(以鲜质量计)测定结果表明(图 1),在 50 mmol/L 的 NaCl 胁迫下,醋栗番茄、辽园多丽、红宝石和辽园红玛瑙 4 种番茄叶绿素总量较对照增加 9.07%, 10.08%, 6.35% 和 12.96%, 差异没有达到显著水平;在 100 mmol/L 的 NaCl 胁迫下,醋栗番茄和辽园红玛瑙叶绿素含量与对照没有显著差异,而耐盐性较弱的辽园多丽和红宝石较对照显著降低了 39.23% 和 35.96%;在 150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下,4 种番茄的叶绿素总量较对照进一步显著下降达 47.73%, 44.27%, 46.48% 和 26.46%;在等渗的 150 mmol/L 单 Na⁺ 离子胁迫下,4 种番茄叶绿素总量和 NaCl 胁迫无显著差异,而等渗的 150 mmol/L 单 Cl⁻ 离子胁迫下,4 种番茄的叶绿素总量显著高于 NaCl 和单 Na⁺ 的处理。图 2, 图 3 表明,叶绿素 a、b 在盐胁迫情况的变化趋势与叶绿素总量的变化基本一致。

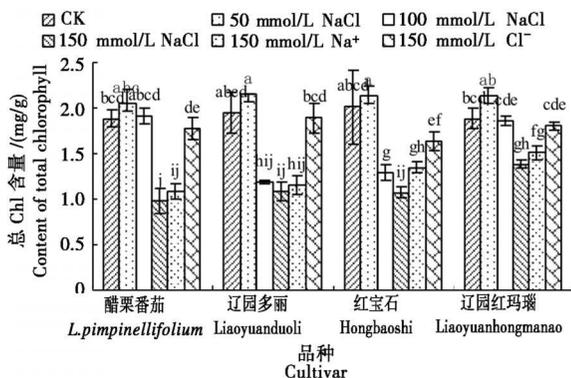


图 1 盐胁迫对番茄幼苗叶片叶绿素总量的影响

Fig 1 Effect of salt stress on content of total chlorophyll of tomato seedlings

综上所述,在 50 mmol/L 的 NaCl 胁迫下,对番茄叶绿素总量、Chla 和 Chlb 含量的影响不大,且有一定的增加。有研究报道认为低浓度的盐胁迫可以促进部分植物的叶绿素合成。本研究认为,处于苗期的番茄叶片没有完全达到功能叶片大小,正处于迅速生长期,对照的生长速度快于低盐胁迫的番茄苗,可以观察到对照番茄苗的叶面积明显大于低盐胁迫番茄苗,叶片的颜色较浅为黄绿色,相对含水量也高,所以这些可能是 50 mmol/L 的 NaCl 胁迫下单位重量中叶绿素含量增高的主要原因。

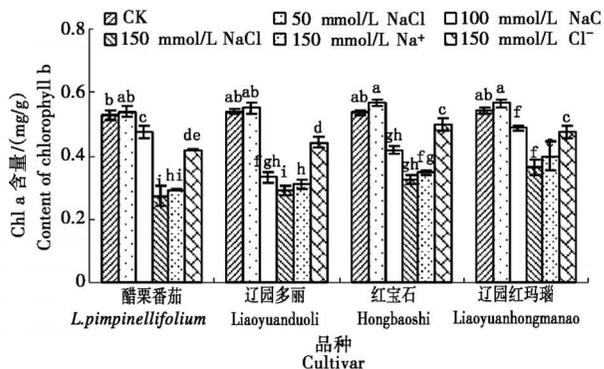


图2 盐胁迫对番茄幼苗叶片叶绿素 a 含量的影响

Fig.2 Effect of salt stress on content of chlorophyll a of tomato seedlings

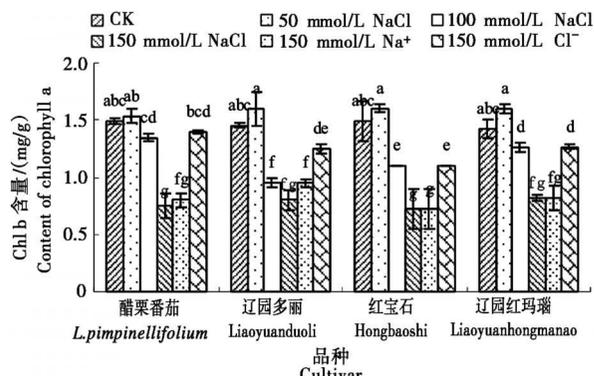


图3 盐胁迫对番茄幼苗叶片叶绿素 b 含量的影响

Fig.3 Effect of salt stress on content of chlorophyll b of tomato seedlings

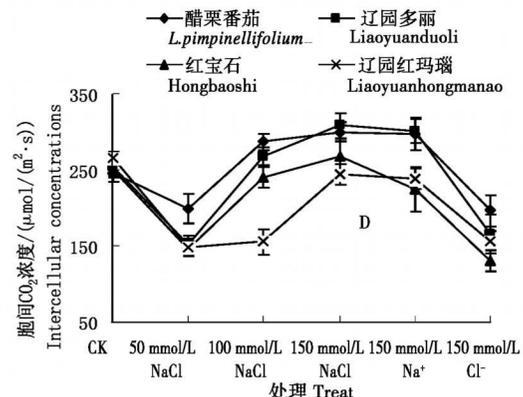
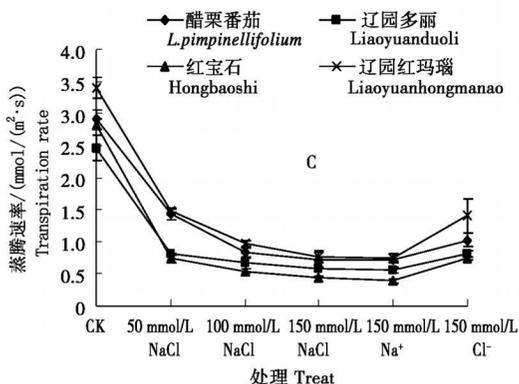
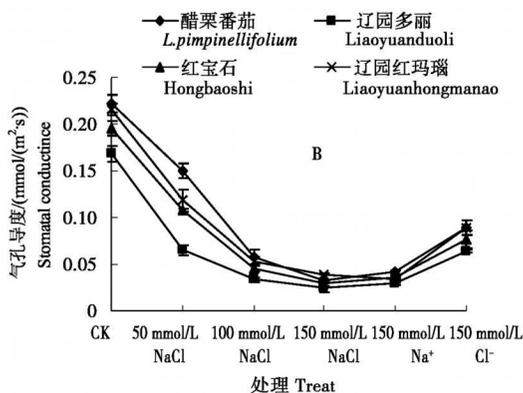
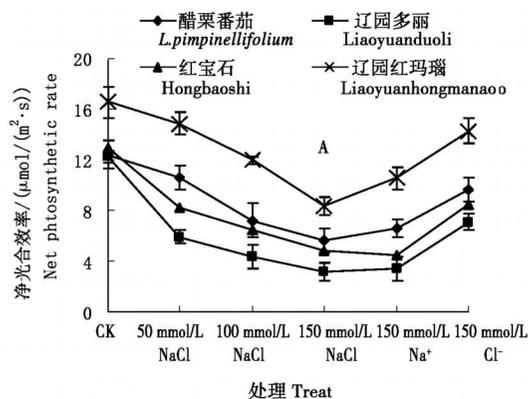


图4 盐胁迫对四种基因型番茄幼苗光合作用的影响

Fig.4 Effects of salt stress on the photosynthesis of four genotype tomato seedlings

在 100 mmol/L 和 150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 随着盐浓度增加对四种番茄的叶绿素含量影响增大, 盐胁迫伤害抑制了叶绿素合成、加速叶绿素的分解。在 100 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 耐盐性较强的醋栗番茄和辽园红玛瑙叶绿素含量显著高于耐盐性弱的辽园多丽、红宝石, 说明耐盐品种对光合色素的保护性强。等渗的 150 NaCl、单 Na⁺ 和单 Cl⁻ 胁迫下, 单 Cl⁻ 离子胁迫对光和色素的伤害最小, 可见 NaCl 胁迫对番茄的伤害主要是 Na⁺ 离子伤害。

2.3 盐胁迫对不同基因型番茄幼苗光合速率的影响

从图 4-A 可以看出, 随着 NaCl 浓度的增大, 4 种番茄净光合速率均呈下降趋势, 在 50 mmol/L NaCl 胁迫下, 辽园多丽和红宝石的净光合速率显著下降, 与对照达到显著差异, 但辽园红玛瑙、醋栗番茄的净光合速率与对照差异不显著, 说明在 50 mmol/L NaCl 胁迫下影响了两个耐盐性较弱的基因型番茄光合速率, 但对耐盐性较强的两个基因型危害较小。在 100 和 150 mmol/L NaCl 胁迫下, 4 种番茄光合速率显著下降, 但辽园红玛瑙光合速率显著高于其他 3 种番茄。150 mmol/L 单 Na⁺ 胁迫与等渗 NaCl 胁迫相比, 4 种番茄的净光合效率没有显著差异; 150 mmol/L 单 Cl⁻ 胁迫与等渗 NaCl 胁迫相比, 4 种番茄的净光合效率显著增加。

气孔作为植物叶片最重要的内外交换通道,是气体和水气扩散进入叶内或蒸腾的必经之路。图 4-B、4-C 表明,随着盐胁迫浓度增加,4 种番茄叶片气孔导度、蒸腾速率都显著下降,两项指标变化趋势基本一致。在 50 mmol/L NaCl 胁迫下,辽园红玛瑙的气孔导度显著高于其他 3 种番茄;蒸腾速率方面,耐盐强的醋栗番茄、辽园红玛瑙高于其他两种番茄。可见盐胁迫伤害加大了气孔阻力,造成叶片内外气体交换受阻,降低了气孔导度,同时蒸腾速率也明显下降,耐盐性强的品种对这种伤害的抗性较强。

从图 4-D 可以看出,在 50 mmol/L NaCl 胁迫下,4 种番茄胞间 CO₂ 浓度都显著下降,醋栗番茄、辽园多丽、红宝石和红玛瑙分别较对照下降 19.23%, 39.84%, 41.32% 和 44.47%。在 100, 150 mmol/L NaCl 及 150 mmol/L Na⁺ 胁迫下,4 种番茄的胞间 CO₂ 浓度较开始增高,与对照之间没有显著差异,且耐盐性较强的辽园红玛瑙在 100 mmol/L NaCl 胁迫下,其胞间 CO₂ 浓度依然保持较低。在 150 mmol/L 单 Cl⁻ 离子胁迫下,4 种番茄的胞间 CO₂ 浓度也显著低于对照。可见在低盐胁迫下,对番茄的叶肉细胞伤害较小,这时的光合限制主要是气孔限制为主,而高盐胁迫对叶肉细胞伤害较重,这时的光合限制是以非气孔因素为主。

3 结论与讨论

盐胁迫对植物伤害主要包括渗透胁迫、离子毒害和矿质营养亏缺的综合反应^[3,4],这些伤害机理至今尚未完全阐明。在盐胁迫下,由于植株碳同化量减少、渗透调节能耗和维持生长能耗增加等原因,一般会使植株生长量减少^[12]。本试验采用相对生长量和盐害指数指标对 4 种不同基因型番茄进行耐盐性评价,结果表明:辽园红玛瑙、醋栗番茄耐盐性强于辽园多丽、红宝石。在 100 mmol/L NaCl 胁迫下,各项指标差异显著,是进行番茄耐盐性鉴定的理想浓度。为分析在 NaCl 胁迫下,Na⁺ 离子和 Cl⁻ 离子哪个对番茄离子伤害起主要作用,采用等渗的 150 mmol/L NaCl、单 Na⁺、单 Cl⁻ 胁迫处理。结果表明,Cl⁻ 离子溶液对四种番茄的生长抑制伤害明显低于 NaCl 和单 Na⁺ 溶液,NaCl 和单 Na⁺ 之间没有显著差异。可见在番茄幼苗期的离子伤害主要 Na⁺ 离子起作用,这方面与笔者在种子萌发期的研究结果一致。许多学者研究表明,不同作物对 Na⁺ 和 Cl⁻ 的敏感程度不同。如烟草、茶树、柑橘等对的 Cl⁻ 的胁迫作用敏感^[4,13]。对水稻^[5]、小麦^[8] 等作物对 Na⁺ 的胁迫敏感。Pantalone^[14] 研究认为大豆对 NaCl

胁迫下的 Cl⁻ 离子更为敏感,罗庆云等^[13] 研究认为栽培大豆在 NaCl 胁迫对 Cl⁻ 离子伤害敏感,而野生大豆对 Na⁺ 离子伤害敏感。

植物在受到盐胁迫时各种生理代谢都会受到影响,直接或间接地影响到叶绿素的含量。一些研究表明,盐胁迫下植物叶片中叶绿素含量下降,主要原因是盐胁迫提高了叶绿素酶的活性,促进了叶绿素降解,从而引起叶绿素含量减少^[19]。Stogono 等^[17] 对几种植物的研究表明,盐胁迫可以显著增加叶绿素含量,认为是由于盐胁迫下叶片中叶绿素与叶绿体蛋白间的结合变得松弛,使得叶绿素易于提取。本试验中 50 mmol/L NaCl 胁迫下,4 种番茄的光合色素含量比对照略有升高,100 mmol/L 浓度以上的盐胁迫低于对照。试验中观察到,番茄幼苗叶片处于快速生长期,叶面积大,叶片黄绿色,从而降低了单位质量中的光合色素含量,所以测定结果比 50 mmol/L NaCl 胁迫下色素含量低,同时低盐胁迫下,叶片生长缓慢,导致叶绿体收缩,叶绿素含量增高的浓缩效应。其他高浓度处理叶绿素含量降低,主要是胁迫伤害增强,加速了光合色素降解所致,这与吴雪霞等^[18] 对番茄的研究结果一致。耐盐性强的醋栗番茄和辽园红玛瑙光合色素降低程度较小,说明其抗胁迫伤害能力强。4 种番茄等渗的 Cl⁻ 胁迫光合色素含量高于 NaCl 和单 Na⁺ 胁迫,这与生物量指标的趋势一致。

在光合作用方面,本研究表明,随着盐胁迫浓度的增加,4 种基因型番茄叶片光合速率逐渐下降,其变化规律与 Chl 的变化规律基本一致。但是在 50 mmol/L NaCl 时,4 种番茄的叶片色素含量并没有降低,而光合速率降低,其主要原因是 Gs 下降,光合原料 CO₂ 供应不足引起的。盐胁迫下光合作用受抑制是多种因素共同作用的结果,除上述光和色素含量的变化外,还包括渗透胁迫引起的气孔限制因素和非气孔限制因素^[19]。一般说来,如果盐胁迫使气孔导度减小而叶肉细胞仍在活跃地进行光合时,胞间 CO₂ 浓度有明显下降。这种情况是典型的气孔限制所致。反之,如果叶肉细胞本身光合能力显著降低,即使在气孔导度较低的情况下,胞间 CO₂ 浓度也有可能升高,或者不变,则属于非气孔限制^[20]。盐胁迫时非盐生植物光合作用下降是由于气孔因素还是非气孔因素限制的研究,存在不一致的报道。对菜豆、菠菜、小麦的研究表明,气孔因素是引起 Pn 下降的主要原因;而对甜椒、大麦、玉米的研究表明非气孔因素导致 Pn 下降。对同种植物的研究也存在不一致的结论^[21]。任艳芳等^[22] 对莴苣的研究认为,

盐胁迫对光合抑制是气孔因素还是非气孔因素不仅和作物种类相关,还和盐胁迫的时间长短、胁迫的浓度相关。本试验结果表明,在 50 mmol/L NaCl 下,气孔导度下降,伴随着胞间 CO₂ 浓度下降,这时的光合速率下降是气孔因素造成的;而其他高盐胁迫时,胞间 CO₂ 浓度没有下降,可见这时的光合速率下降是非气孔因素造成的,高盐胁迫对叶肉细胞中叶绿体等细胞器造成结构、功能伤害。耐盐品种辽园红玛瑙、醋栗番茄对这种伤害的抗性相对较强。至于耐盐基因型番茄是通过何种方式保护其光合机构有待于进一步研究。

参考文献:

[1] 李海云,王秀峰,禹 贤. 设施土壤盐分积累及防治措施的研究进展[J]. 山东农业大学学报, 2001, 32(4): 535—538.

[2] 童有为,陈淡飞. 温室土壤次生盐渍化的形成和治理途径研究[J]. 园艺学报, 1991, 18(2): 159—162.

[3] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. *Plant Cell Environ*, 2002, 25: 239—250.

[4] Srivastava A K. Relationship between chloride accumulation in leaf and cation-exchange capacity of root of Citrus species [J]. *Indian J Agr Sci*, 1998, 68(1): 39—41.

[5] 郑少玲,严小龙. 盐胁迫下不同水稻基因型根内 Na⁺ 和 Cl⁻ 的分布情况比较[J]. 华南农业大学学报, 1996, 17(4): 24—28.

[6] Luo Q Y, Yu B J, Liu Y L. Differential sensitivity to chloride and sodium ions in seedlings of soybean cultivars and wild soybean under NaCl stress[J]. *Plant Physiology*, 2005, 162: 1003—1012.

[7] 张 匀,栾雨石. 番茄耐盐育种研究进展[J]. 西北农业学报, 2006, 15(3): 128—133.

[8] 苏 实,练薇薇,杨文杰等. 盐胁迫对番茄种子萌发和

幼苗生长的效应[J]. 华北农学报, 2006, 21(5): 24—27.

[9] Kingsbury R W, Epstein E. Salt sensitivity in wheat [J]. *Plant Physiol*, 1986, 80: 651—654.

[10] 张宪政,陈凤玉,王荣富. 植物生理学实验技术[M]. 辽宁: 辽宁科学技术出版社, 1994: 66—69.

[11] 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.

[12] Elsamad H M A. Salt tolerance of soybean cultivars[J]. *Biological Plantum*, 1997, 39(2): 263—269.

[13] 毛知耘,李家康,何光安,等. 中国含氯化肥[M]. 北京: 中国农业出版, 2001: 1—83.

[14] Pantalone V R. Chloride tolerance in soybean and perennial Glycine accessions[J]. *Euphytica*, 1997, 97: 235—239.

[15] 罗庆云,於丙军,刘友良. NaCl 胁迫下 Cl⁻ 和 Na⁺ 对大豆幼苗胁迫作用的比较[J]. 中国农业科学, 2003, 36(11): 1390—1394.

[16] YEO A. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology[J]. *Journal of Experimental Botany*, 1998, 49: 915—929.

[17] Strogono V B P. Structure and function of plant cell in saline habitats [M]. New York: Halsted Press 1973: 78—83.

[18] 吴雪霞,朱为民,朱同林,等. NaCl 胁迫对不同品种番茄幼苗生长和叶绿素荧光特性的影响[J]. 西南农业学报, 2007, 20(3): 379—382.

[19] Berry J A, Downton W J S. Environmental regulation of photosynthesis[C] // Govind J. *Photosynthesis (Vol II)*. New York: Academic Press, 1982: 263—345.

[20] 房玉林,惠竹梅,高邦牢,等. 盐胁迫下葡萄光合特性的研究[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 881—884.

[21] 王素平,李 娟,郭世荣,等. NaCl 胁迫对黄瓜幼苗植株生长和光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 2(3): 455—461.

[22] 任艳芳,何俊瑜. NaCl 胁迫对莴苣幼苗生长和光合性能的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(4): 149—153.