

盐胁迫对番茄幼苗叶片光合特性及叶绿素和β-胡萝卜素含量的影响

张 芬¹, 张 波², 田丽萍^{1,2}, 薛 琳³, 陈 黎¹, 曾沂辉³

(1. 石河子大学 生命科学学院, 新疆 石河子 832000; 2. 石河子大学 药学院, 新疆 石河子 832000;
3. 石河子蔬菜研究所, 新疆 石河子 832000)

摘 要:以新疆当地栽培种“石红 305”和“黑番茄”为试材, 采用基质栽培方法, 设置 50、100、150、200 mmol/L 不同盐胁迫浓度, 以 0 mmol/L 为对照, 测定了番茄幼苗叶片的光合特性以及叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和 β-胡萝卜素的含量变化, 以探讨盐胁迫对不同番茄品种光合特性及光合色素含量的影响。结果表明: 随盐胁迫程度的增加, 2 个番茄品种叶片的净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)均表现为先升高后降低的趋势, 且光合速率的降低主要由气孔限制因素造成; 而水分利用效率(WUE)却基本成增高趋势, 这与 Pn 和 Tr 的下降幅度有关; 叶绿素 a 含量随盐胁迫浓度的增加而逐渐降低, 而叶绿素 b、总叶绿素以及 β-胡萝卜素含量的变化趋势与净光合速率等的变化趋势相同; 这说明一定程度的盐胁迫在影响植物的光合作用、叶绿素合成等初级代谢的同时, 也会对其次级代谢色素产生影响, 且 β-胡萝卜素的含量变化与叶绿素以及净光合速率的变化趋势相符合。

关键词:盐胁迫; 番茄幼苗; 光合特性; 叶绿素; β-胡萝卜素

中图分类号:S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)11-0015-06

土壤盐渍化始终是干旱区农业可持续发展面临的战略性问题, 新疆地处我国西北内陆, 是盐碱地分布面积较大的地区, 调查发现新疆现有盐碱耕地 162.02 万 hm², 占总耕地的 31%^[1]。新疆北疆设施蔬菜栽培具有面积广、常年耕种等特点, 同时也面临着土壤次生盐渍化日益加重的现状。光合作用能够为植物的生长发育提供物质和能量, 是植物生理代谢的基础^[2]。盐胁迫会严重影响植物的光合作用, 造成光合速率下降等^[3-4], 这与蛋白质合成受破坏, 叶绿素分解, 叶绿体解体以及缺失引起的气孔关闭等一系列活动有关^[5]。叶绿素含量的高低会直接影响到植物的光合效率, 而 β-胡萝卜素作为光合作用中的天线色素和光保护色素^[5], 也同样发挥着重要作用。β-胡萝卜素是类胡萝卜素中抗氧化能力较强的色素之一, 由番茄红素环化生成^[6], 它不仅是维生素 A 源, 而且在防癌、抗癌方面亦具有显著的作用, 具有很高

的研究价值^[7]。

盐胁迫不仅会影响植物的光合作用、叶绿素合成等初级代谢, 也会影响到其次级色素的代谢水平, Bhimanagouda 等^[8]对盐胁迫下石榴假种皮的花青素进行过研究; 牛艳等^[9]探讨了土壤盐含量对枸杞中 β-胡萝卜素代谢的影响, 结果均说明了这一现象。该试验采用基质栽培的方法, 以设施栽培环境不同的 2 个番茄品种为试材, 研究了不同浓度盐胁迫处理对番茄幼苗叶片光合特性、叶绿素含量以及 β-胡萝卜素含量的影响, 以期为进一步探讨盐胁迫对植物的生理生长及次级色素代谢的影响提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为加工番茄“石红 305”(露地栽培, 编号 S)和樱桃番茄“黑番茄”(温室大棚栽培, 编号 H), 均由石河子蔬菜研究所提供。

1.2 试验方法

试验于 2013 年 5~8 月在石河子蔬菜研究所日光温室进行。试验采用基质栽培法, 基质配比为草炭: 蛭石=1:1, 所用盆栽装置规格为 14 cm×14 cm, 每盆装基质 0.25 kg, 盆底部附有托盘防止溶液流入外界土中。育苗至三叶一心时进行移栽, 每盆 1 株, 设置 5 个处理,

第一作者简介:张芬(1988-), 女, 硕士研究生, 研究方向为植物营养生理生态。E-mail: zhangfen2008_cool@163.com.

责任作者:田丽萍(1961-), 女, 硕士, 教授, 研究方向为植物营养生理生态和生药学。E-mail: lipingt@163.com.

基金项目:国家“十二五”农村领域科技计划资助项目 [2011BAD35B07(02)]。

收稿日期:2014-03-13

每处理 5 次重复;移栽后第 1 次加水至最大持水量约 500 mL,2 d 后开始用 1/2 剂量的华南农业大学番茄专用营养液^[10]进行浇灌(所配营养液浓度低是为保证幼苗正常生长,多次浇灌不会造成养分过量),根据所配基质的最大持水量标准,每次浇灌量为 300 mL,此后每 2 d 浇灌 1 次,预培养 1 周后进行盐胁迫处理。向基质中添加含不同 NaCl 浓度的营养液,设 NaCl 浓度分别为:50、100、150、200 mmol/L(处理代号为 T1、T2、T3、T4),以不含 NaCl 为对照(CK)。第 1 次添加处理液 300 mL,2 d 后,参考土壤盐化标准^[11],先各添加 150 mL 处理液,发现在高浓度 NaCl 处理下相应植株开始出现叶片萎蔫症状,再以剩余 150 mL 用 1/2 剂量的纯营养液进行补充,共计加入处理液的体积为(450±10)mL,计算此时基质 NaCl 百分含量并测定基质电导率值(表 1);后期管理采用称重法补充纯水,并将托盘中渗出的溶液重新浇入盆栽中,直至不再有溶液渗出为止,以尽量减少营养和盐分的流失。观察植株生长状况,待植株适应盐分生长 10 d 后(萎蔫植株直立生长且有新叶片产生),取从上至下第 3 片完全展开的叶片进行相关试验指标的测定。

1.3 项目测定

1.3.1 光合指标的测定 使用便携式光合测定仪(Li-6400, Li-COR, USA)于下午 13:00~15:00 进行测定,设开放气路、红蓝光光源,光量子通率(PFD)为 1 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,空气 CO_2 浓度为(385±7) $\mu\text{mol}/\text{mol}$,叶室温度为(29±1)°C,相对湿度为 35%。净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、细胞间隙 CO_2 浓度(Ci)由光合测定系统直接读出。气孔限制值(Ls)的计算公式: $Ls=1-Ci/Ca$,式中 Ca 为空气中 CO_2 浓度;瞬时水分利用效率(WUE): $WUE=Pn/Tr$ 。每处理测定 3 株,每株选定 2 枚叶片,取平均数。

1.3.2 叶绿素含量的测定 取新鲜番茄叶片 0.1 g,加少量石英砂和碳酸钙粉末和 80%丙酮(体积比)2 mL 进行充分研磨提取至组织变白,静置后进行过滤,用 80%丙酮充分洗涤定容至 10 mL 棕色容量瓶中,混匀,使用紫外/可见分光光度计(UV-2401,日本岛津)在波长 663、646 nm 处测定吸光度值,根据公式计算相关叶绿素含量^[12],每处理重复 3 次。

1.3.3 β -胡萝卜素含量测定 采用反相高效液相色谱(HPLC)法进行测定,样品提取方法参考刘国顺等^[13]方法进行。采用岛津 LC-15C 系列高效液相色谱仪,色谱柱为 SunFire C₁₈(4.6 mm×150 mm,5 μm)(美国 Waters 公司);洗脱程序参考王新超等^[14]方法进行改进。流动相为丙酮(A),甲醇(B)进行梯度洗脱:0~5 min 将 B 相由 35%降至 25%;5~10 min 将 B 相由 25%降至 10%,10.01 min 停止,间隔 2 min。流速:1 mL/min;进样量:20 μL ;检测波长:450 nm;柱温为室温。每处理 2 次重复。

表 1 基质电导率及 NaCl 含量

Table 1 The EC and NaCl content of culture substrate

处理 Treatment	处理液所含 NaCl 浓度 NaCl concentration in treatment liquid /mmol · L ⁻¹	总添加量 Total addition /mL	NaCl 含量 NaCl content /%	电导率 EC /mS · cm ⁻¹	胁迫程度 Stress grade
CK	0		N/A	0.32±0.02	N/A
T1	50		0.525±0.012	0.71±0.05	轻
T2	100	450±10	1.05±0.023	1.17±0.11	中等
T3	150		1.57±0.035	1.32±0.07	中等
T4	200		2.10±0.046	1.45±0.04	重

注:表中数值为平均值±标准差,NaCl 含量为质量百分比(m/m)。

Note: Value is mean±standard deviation, the content of NaCl is percentage of mass (m/m).

表 2 土壤盐化程度分级标准^[14]

Table 2 The standard of soil saline grade

项目 Item	分级 Grade	轻度盐化 Light saline	重度盐化 Heavy saline	盐土 Saline soil
含盐量 Salt content/%	0.3~1	1~2	2~3	>3
生长情况 Growth situation	管理好,可正常生长 Grow well with proper management	受到抑制 Inhibited	严重抑制或不能生长 Heavy inhibited or can't grow	不能生长 Can't grow

1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 16.0 和 Origin 8.6 软件进行分析和作图,各水平处理之间用 Duncan 测验作显著性分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对番茄幼苗叶片光合特性的影响

2.1.1 盐胁迫对叶片净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)和水分利用效率(WUE)的影响 由图 1 可以看出,随着盐浓度的增加,2 个番茄品种的 Pn、Tr 和 Gs 均呈现为先增加后降低的趋势。在 T1 处理条件下“石红 305”和“黑番茄”的净光合速率分别较对照升高了 39.16%和 24.76%。随后开始逐渐降低,至 T4 处理条件下分别较对照降低了 27.57%和 48.22%。同样在 T4 处理下“石红 305”的 Tr 和 Gs 分别较对照下降了 40.67%和 42.26%，“黑番茄”的下降率为 60.52%和 62.86%，其中“黑番茄”的下降幅度明显较“石红 305”明显。但水分利用效率(WUE)的变化却不同，“石红 305”在 T2 处理下与对照相比下降了 12.96%，为最低点，随后开始上升，至 T4 处理下又较对照上升了 22.39%；而“黑番茄”的 WUE 基本呈上升趋势，在 T4 处理下较对照提高了 34.94%。说明在高盐含量处理下，叶片蒸腾速率的下降幅度较光合速率明显，导致叶片瞬时水分利用效率有所上升。

2.1.2 盐胁迫对叶片细胞间隙 CO_2 浓度(Ci)和气孔限制值(Ls)的影响 由图 2 可知,与对照相比,“石红 305”的 Ci 在 T1 和 T2 分别较对照上升了 11.48%和 12.21%，而 T3 处理又较对照下降了 4.29%，T4 下降了 17.28%。“黑番茄”Ci 在 T1 处较对照上升了 4.75%，之

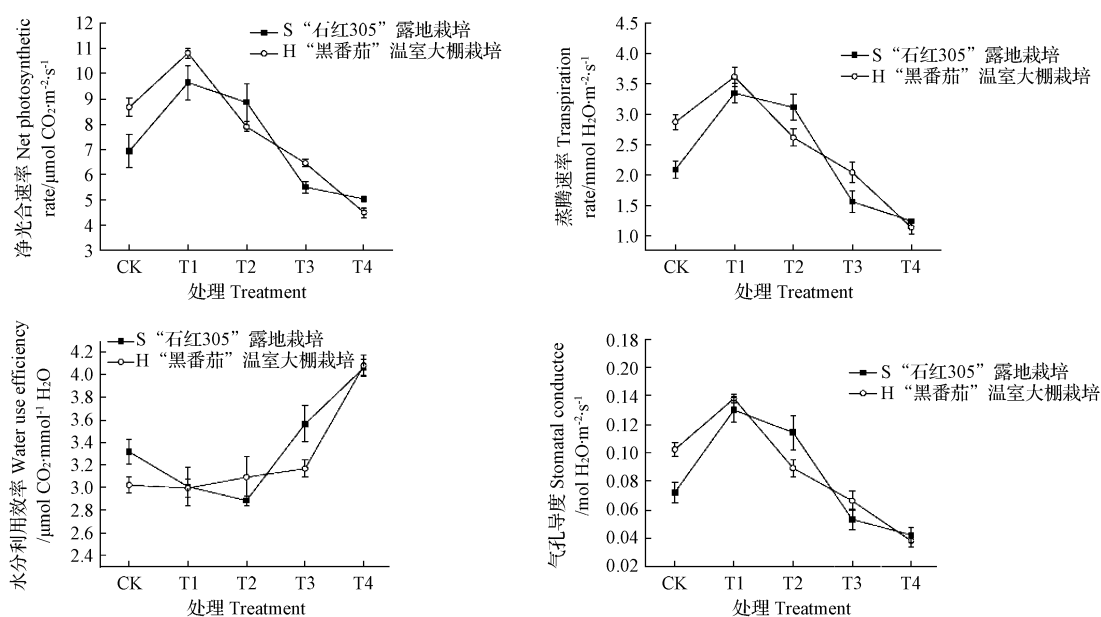


图1 盐胁迫对番茄幼苗叶片净光合速率、蒸腾速率、水分利用效率和气孔导度的影响

Fig. 1 Effects of salt stress on Pn, Tr, WUE and Gs of tomato seedling leaves

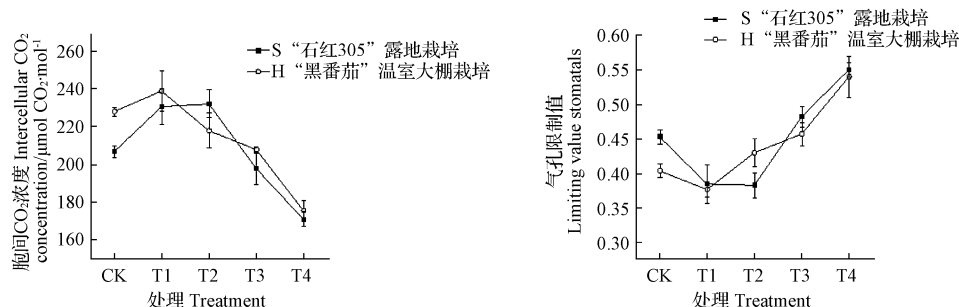
图2 盐胁迫对番茄幼苗叶片胞间 CO₂ 浓度和气孔限制值的影响

Fig. 2 Effects of salt stress on Ci and Ls of tomato seedling leaves

后开始逐渐下降,至 T4 处理条件下,已较对照下降了 22.95%。Ls 的变化趋势为先降低后升高,至 T4 处理“石红 305”和“黑番茄”的 Ls 分别较对照上升了 21.45% 和 33.70%。说明试验所用 2 个番茄品种光合速率的下降主要是由于气孔限制因素所造成的,且“黑番茄”的气孔受限制程度高于“石红 305”。

2.2 盐胁迫对番茄幼苗叶片叶绿素含量的影响

表 3 表明,2 个番茄品种在盐胁迫下叶片叶绿素含量变化趋势一致。叶绿素 a 随盐胁迫浓度的加大呈逐渐下降趋势,而且在低盐条件下 (T1、T2) 变化大多差异不显著, T3、T4、CK 各处理之间达到差异极显著水平 ($P < 0.01$); T4 处理条件下“石红 305”和“黑番茄”的叶片叶绿素 a 含量分别较对照下降了 20.97% 和 30.70%。叶绿素 b 的含量在 T1 处理下显著升高,“石红 305”和“黑番茄”的含量分别较对照增高了 7.94% 和 7.91%;之后随盐胁迫的增加而逐渐降低,至 T4 分别较对照下降了 26.60% 和 41.11%。总叶绿素含量的变化规律与叶

绿素 b 基本相同,但低盐胁迫下与对照相比差异不显著; T3 和 T4 处理条件下与其它处理间具有显著差异,“石红 305”和“黑番茄”在 T3 处理下分别较对照下降了 4.97% 和 19.89%, T4 较对照下降了 23.15% 和 34.50%。就高盐胁迫下 2 个品种的下降幅度而言,“石红 305”幼苗叶片叶绿素含量受盐胁迫的影响相对较小。

2.3 盐胁迫对番茄幼苗叶片 β -胡萝卜素含量的影响

按试验色谱条件测定,得 β -胡萝卜素标准品及样品色谱图 (图 3)。基质盐胁迫对叶片 β -胡萝卜素的影响见表 4 所示,随处理盐胁迫程度的增加其整体变化趋势与 Pn 及总叶绿素含量的变化类似,即先升高,在 T1 处理下达到最高值后开始逐渐下降。T1 条件下,“石红 305”和“黑番茄”叶片 β -胡萝卜素含量与对照相比分别增加了 10.61% 和 11.95%; T2 和 T3 处理下,“石红 305”分别较对照下降了 6.43% 和 13.64%、“黑番茄”分别较对照下降了 11.31% 和 28.03%; T4 条件下为最低值,“石红 305”和“黑番茄”分别较对照下降了 35.84% 和 38.21%。

表 3 盐胁迫对番茄幼苗叶片叶绿素含量的影响

Table 3 Effect of salt stress on chlorophyll content in tomato seedling leaves

处理 Treatment	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$		叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$		总叶绿素含量 Total chlorophyll content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	
	“石红 305” ‘Shihong 305’	“黑番茄” ‘Black tomato’	“石红 305” ‘Shihong 305’	“黑番茄” ‘Black tomato’	“石红 305” ‘Shihong 305’	“黑番茄” ‘Black tomato’
CK	1.917±0.06 ^{aA}	1.899±0.04 ^{aA}	1.184±0.011 ^{bcB}	1.289±0.017 ^{bB}	3.101±0.02 ^{aAB}	3.188±0.013 ^{aA}
T1	1.878±0.05 ^{aB}	1.872±0.023 ^{aA}	1.278±0.012 ^{aA}	1.391±0.02 ^{aA}	3.156±0.02 ^{aA}	3.263±0.043 ^{aA}
T2	1.861±0.06 ^{aB}	1.765±0.016 ^{bB}	1.240±0.09 ^{abAB}	1.165±0.067 ^{cC}	3.100±0.03 ^{aAB}	2.930±0.083 ^{bB}
T3	1.794±0.011 ^{bB}	1.495±0.069 ^{cC}	1.153±0.09 ^{cC}	1.059±0.037 ^{dD}	2.947±0.021 ^{bB}	2.554±0.105 ^{cC}
T4	1.515±0.025 ^{cC}	1.316±0.022 ^{dD}	0.869±0.05 ^{dD}	0.772±0.009 ^{eE}	2.383±0.03 ^{cC}	2.088±0.031 ^{dD}

注:表中数值为平均值±标准差。同列不同大、小写字母分别代表在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平下的统计差异显著性。下同。
Note: Value is mean±standard deviation. Different capital and lowercase letters in each column indicate the significant difference under the level of 0.01 and 0.05. The same as below.

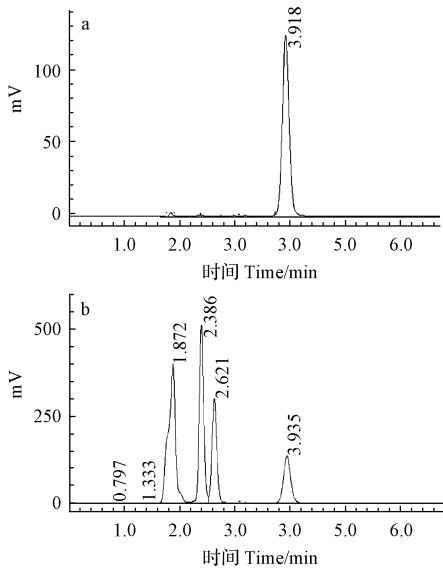


图 3 β -胡萝卜素标准品及样品色谱图

注:a 标准品色谱图;b 样品色谱图。

Fig. 3 HPLC and sample chromatogram of β -Carotene

Note:a, HPLC chromatogram of β -Carotene; b, HPLC chromatogram of sample.

表 4 盐胁迫对番茄幼苗叶片 β -胡萝卜素含量的影响

Table 4 Effect of salt stress on β -carotene content in tomato seedling leaves

处理 Treatment	β -胡萝卜素含量 β -carotene content/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	
	“石红 305” ‘Shihong 305’	“黑番茄” ‘Black tomato’
CK	206.486±6.48 ^{bB}	183.689±2.47 ^{bB}
T1	228.383±3.37 ^{aA}	205.639±5.85 ^{aA}
T2	193.202±3.51 ^{bcC}	162.912±2.25 ^{cC}
T3	178.324±2.66 ^{dC}	132.202±3.29 ^{dD}
T4	132.472±3.64 ^{eD}	113.497±7.97 ^{eE}

整体来看,“石红 305”叶片 β -胡萝卜素含量在盐胁迫下的下降幅度相对较小,而且 2 个品种 CK 组 β -胡萝卜素含量也存在较大差异,说明 β -胡萝卜素对盐胁迫的响应在受外界条件影响的同时,可能也与品种特性及耐盐性等有关。

3 讨论与结论

Sudhir 等^[15]研究表明盐胁迫会造成植物的光合参数、水势、相对含水量等发生变化。对于盐胁迫下植物光合作用下降的原因,一般认为盐胁迫引起的渗透胁迫造成植物叶片水势及气孔导度降低,从而限制 CO_2 到达光合机构,使光合作用受到抑制^[2]。叶片光合速率的降低由气孔因素和非气孔因素所致,若 Ci 降低和 Ls 升高,则气孔因素是主要的;相反则非气孔因素占主导作用^[16]。该研究结果表明,盐胁迫 10 d 后,自 T2 处理开始,随胁迫程度的增大,“石红 305”和“黑番茄”的 Pn 、 Tr 、 Gs 以及 Ci 都呈下降趋势,同时 Ls 增大,气孔成为主要限制因素,而限制了 CO_2 向叶绿体的输送^[17]。王素平等^[18]的研究结果表明,气孔限制导致光合速率的下降并不是绝对的,并因胁迫程度甚至品种特性、胁迫时间等原因而发生变化。试验中对 WUE 的测定显示在高盐含量处理下,2 个品种的 WUE 反而升高,说明蒸腾速率比光合速率减小的要多^[19],但若随处理盐浓度或处理时间继续改变,则趋势也会发生相应改变^[20]。该试验中番茄品种在各处理条件下随时间的变化规律还需要进一步探索。

盐胁迫会使叶片内光合色素发生降解,叶绿体精细结构解体,使光合作用受阻^[21]。张纪涛等^[22]对番茄幼苗的研究结果表明,幼苗叶片叶绿素总量和叶绿素 a 的含量随盐胁迫浓度增加先增大后减小,叶绿素 b 不受盐处理的影响。鲁少尉等^[4]的研究表明,盐胁迫降低了番茄叶片的叶绿素 a、b 和总叶绿素含量,这种降低与 NaCl 浓度成正相关。该试验结果显示,随着盐分含量的增加,轻度盐胁迫下叶绿素 b 和总叶绿素含量与对照相比都有一定程度的升高,然后随处理盐含量的升高,开始逐渐下降;而叶绿素 a 却呈整体下降的趋势,且“黑番茄”的下降幅度大于“石红 305”。

前期学者关于盐分对次级色素影响的研究多集中在总类胡萝卜素含量及叶黄素上^[23],而 β -胡萝卜素作为光合作用中的天线色素和光保护色素^[5],关于盐胁迫与高等植物 β -胡萝卜素代谢关系的研究相对较少,康燕玉

等^[24]对杜氏藻的研究表明,低盐浓度有利于藻的生长但不利于色素的积累,在较高盐浓度范围内藻体细胞生长受到抑制但 β -胡萝卜素产量升高,而在高盐度时,不仅细胞生长下降,藻细胞内 β -胡萝卜素含量也下降。这对植物体内 β -胡萝卜素的代谢具有一定的借鉴性。牛艳等^[9]在对土壤盐分和宁夏枸杞中 β -胡萝卜素含量关系的研究中发现,枸杞中 β -胡萝卜素与土壤总盐分含量呈负相关,与土壤中的 Na^+ 和 Cl^- 含量呈极显著负相关。该研究结果表明,在低盐处理下 β -胡萝卜素含量呈上升趋势,而随着处理盐含量的升高, β -胡萝卜素含量开始逐渐下降。这说明一定程度的盐胁迫可以刺激植物次级代谢产物的积累,但若超出一定阈值,胁迫不仅会抑制植物的生长、降低产量,同时也会影响其相关次级代谢产物的含量。

综上所述,一定范围的低盐胁迫处理会提高番茄叶片的光合参数以及光合色素含量,促进光合作用;但随着基质盐含量的升高,各指标参数值均有所下降,且从下降幅度来看,“黑番茄”大于“石红 305”,说明露地栽培的“石红 305”在适应高盐胁迫上表现出一定的优势。盐胁迫对 β -胡萝卜素含量的影响也表明,盐胁迫对番茄叶片次级色素代谢的影响,与光合作用、叶绿素含量等初级代谢的变化密切相关。此外,盐胁迫对植物的影响与植物抗盐性以及盐的种类、浓度、胁迫时间等有关,关于盐胁迫对 2 个番茄品种不同生长时期的影响还需要进一步研究。

参考文献

- [1] 加孜拉·阿山,王修贵,姚宛艳,等.新疆土壤盐碱化治理技术初步研究[J].节水灌溉,2011(11):50-52.
- [2] 朱新广,张其德. NaCl 对光合作用影响的研究进展[J].植物学通报,1999,16(4):332-338.
- [3] 孙璐,周宇飞,李丰先,等.盐胁迫对高粱幼苗光合作用和荧光特性的影响[J].中国农业科学,2012,45(16):3265-3272.
- [4] 鲁少尉,齐飞,李天来,等. NaCl 胁迫对番茄叶片光合特性及蔗糖代谢的影响[J].北方园艺,2012(9):14-18.
- [5] 武维华,张蜀秋.袁明,等.植物生理学[M].北京:科学出版社,2003:122-124.
- [6] Telef N,Stammitti-Bert L,Mortain-Bertrand A,et al. Sucrose deficiency delays lycopene Accumulation in tomato fruit pericarpdiscs[J]. Plant Mol Biol,2006,62:453-469.
- [7] 何强强,惠伯棣,官平,等.类胡萝卜素代谢物的生物学活性研究进展[J].食品科学,2011,32(15):289-295.
- [8] Bhimanagouda S P,Jayaprakasha G K. Tropical and subtropical fruits: flavors,color,and health benefits[M]. American Chemical Society,2013:43-61.
- [9] 牛艳,许兴,魏玉清,等.不同产地土壤因子与宁夏枸杞中 β -胡萝卜素关系的研究[J].农业科学研究,2005,26(2):21-39.
- [10] 中国无土栽培技术论坛.常用无土栽培营养液配方[EB/OL].http://www.soilles.com.2012-11-07.
- [11] 刘蕾.新疆土壤盐胁迫的组成和分布特征[J].干旱环境监测,2009,23(4):227-229.
- [12] 张蜀秋,李云.植物生理学试验技术教程[M].北京:科学出版社,2011:70-72.
- [13] 刘国顺,韦凤杰,王芳,等.反相高效液相色谱法测定烤烟叶片发育过程中的类胡萝卜素类物质[J].色谱,2006,24(2):161-163.
- [14] 王新超,陈亮,赵雨萍,等.反相高效液相色谱法测定茶叶中 β -胡萝卜素含量[J].中国农学通报,2006,22(9):91-93.
- [15] Sudhir P R,Murthy S D S. Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis[J]. Photosynthetica,2004,42(4):481-486.
- [16] Farquhar G D,Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology,1982,33:317-345.
- [17] 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.
- [18] 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,2006,26(3):455-461.
- [19] 曹生奎,冯起,司建华,等.植物叶片水分利用效率研究综述[J].生态学报,2009,29(7):3382-3892.
- [20] 王素平,郭世荣,李璟,等.盐胁迫对黄瓜幼苗根系生长和水分利用的影响[J].应用生态学报,2006,17(10):1883-1888.
- [21] 李汉美,何勇. NaCl 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.
- [22] 张纪涛,徐猛,韩坤,等.盐胁迫对番茄幼苗的营养及生理效应[J].西北农业学报,2011,20(2):128-133.
- [23] 束胜,郭世荣,孙锦,等.盐胁迫下植物光合作用的研究进展[J].中国蔬菜,2012(18):53-61.
- [24] 康燕玉,谢文玲,高亚辉,等.不同浓度 NaCl 和光照强度对杜氏藻体内 β -胡萝卜素含量的影响[J].植物生理学通讯,2006,42(2):315-318.

Effect of Salt Stress on Photosynthetic Characteristic and the Content of Chlorophyll and β -carotene in Tomato Seedling Leaves

ZHANG Fen¹, ZHANG Bo², TIAN Li-ping^{1,2}, XUE Lin³, CHEN Li¹, ZENG Yi-hui³

(1. College of Life Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000; 2. College of Pharmacy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000; 3. Vegetable Research Institute of Shihezi, Shihezi, Xinjiang 832000)

Abstract: Taking two different local tomato cultivars, ‘Shihong 305’ and ‘Black tomato’ as materials, under different salt stress level with substrate culture, the effect of 50, 100, 150, 200 mmol/L different salt stress on photosynthetic characteristic and the content of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and β -carotene in tomato seedling leaves were studied, in order to explore the salt stress on the influence of photosynthetic characteristic and content of

纽荷尔脐橙在黔北地区的果实发育动态分析

金方伦, 张发维, 周光萍, 敖学熙, 黎明, 韩成敏

(贵州省蚕业辣椒研究所, 贵州 遵义 563007)

摘要:以 10~12 年生纽荷尔脐橙为研究对象, 研究调查了果实生长发育动态, 以期为纽荷尔柑桔脐橙的栽培技术及管理措施提供理论依据。结果表明: 果实生长从 5 月中旬花谢幼果期开始, 11 月中下旬以后停止生长, 生长期达 175~182 d, 果实纵横径生长量出现 4~5 次高峰, 其中果实纵径出现 4 次, 果实横径出现 5 次, 都存在开始较快, 然后最快, 以后又较快, 后接近成熟时生长缓慢, 直至最后停止生长, 形成一条逐渐上升的生长曲线; 果实纵横径的净生长量均出现 6 次高峰, 其生长曲线呈多 S 型生长曲线; 纽荷尔脐橙果实成熟期在 11 月下旬至 12 月上旬, 此时果实风味最好; 果实成熟时, 纵径为 (62.61 ± 5.33) mm, 横径为 (55.83 ± 5.11) mm, 果形指数为 1.12, 果实椭圆形, 果表底色为绿色, 果皮颜色为橙红色。建议在上年加强水肥管理和当年施好催芽肥的前提下, 以 6 月下旬为最佳施肥时期, 并在果梢生长旺期加强根外追肥 2~3 次, 以缓解梢果养分竞争矛盾, 又可提高果品质量。

关键词:纽荷尔脐橙; 果实; 生长发育; 动态

中图分类号:S 666 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)11-0020-04

柑橘是世界上第一大果树品种, 在全球果树种植面积和产量中均居首位。主要分布在南、北纬 40° 之间。全世界的柑橘种植面积约为 740 万 hm^2 , 产量超 1 亿 t, 其中橙汁占世界果汁总量的 60% 左右。全球有 135 个国家和地区生产柑橘, 其中自然条件适宜的热带、亚热带地区的 93 个国家, 现有 40 多个国家主产柑橘。中国是柑橘的主要原产国之一, 有文字记载的栽培历史逾 4 000 年^[1]。近年来柑橘产业迅猛发展, 已成为中国柑橘主产区农业经济的一大支柱产业, 至 2009 年我国柑橘种植面积达到 216.0 万 hm^2 , 果品总量达到了 2 521.1 万 t^[2], 柑橘产业的发展为促进农民增收和改善生态环境做出了积极贡献。

贵州高原位于长江以南, 属亚热带季风湿润气候, 雨量充沛、无霜期长、立体气候明显, 地形复杂, 致使小气候区域众多。全省山地、丘陵面积大, 土壤呈微酸性占多数, 其优越的地理位置、纷繁复杂的地形地貌、丰富的水资源与冬无严寒、夏无酷暑的宜人气候, 使贵州这片土地成为特种生存繁衍的乐园^[2]。柑橘是贵州省主要栽培水果种类之一, 在贵州省各地区均有栽植, 至 2011 年, 贵州省柑橘产量达 20.81 万 t^[2], 在贵州省水果产业中占有一定的地位。在 20 世纪 90 年代后期, 随着农业产业结构的优化调整, 贵州省柑橘果业的生产得到了迅猛发展。近年来, 随着柑橘种植面的不断广大, 其产量也随之上升, 但栽培管理水平并未因种植面积的迅速扩大而相应提高, 致使柑橘单位面积产量不稳、质量不高。分析其主要的原因之一是肥培管理不当, 尤其是不了解柑橘果实的生长规律和需肥规律造成不合理施肥等问题严重阻碍了贵州省柑橘生产的发展。虽然对

第一作者简介:金方伦(1964-), 男, 本科, 高级农艺师, 现主要从事果树引种选育及栽培技术等研究工作。E-mail:jfl2016@163.com.
收稿日期:2014-03-14

photosynthetic pigment. The results showed that, the general trends of Pn, Tr, Gs and Ci in the two cultivars' leaves were all first increased then decreased together with the rise of salt content in different treatment, and the main cause of Pn decrease was stomatal limitation. But the WUE was higher in heavy salt stress treatment, this most related to the descent of Pn and Tr. The content of chlorophyll a was decreased along with the change of salt content, but the change of chlorophyll b, total chlorophyll and β -carotene were same to Pn. This illustrated that salt stress could affect the photosynthesis and chlorophyll synthesis in plant leaves and also had influence on the content of secondary pigments, further more, the change of β -carotene content was correlated to chlorophyll content and Pn in tomato seedling leaves.

Key words: salt stress; tomato seedling; photosynthetic characteristic; chlorophyll; β -carotene