

# 营养液 EC 值对无土栽培番茄果实发育及蔗糖代谢的影响

鲁少尉<sup>1</sup>, 齐飞<sup>1</sup>, 李天来<sup>2</sup>, 姜晶<sup>2</sup>

(1. 农业部规划设计研究院 设施农业研究所, 北京 100125; 2. 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 110866)

**摘要:**以番茄栽培品种‘辽园多丽’为试材,在果实发育期通过添加不同浓度的 NaCl 来提高营养液的 EC 值,研究高 EC 值管理对水培番茄果实产量、品质及蔗糖代谢的影响。结果表明:3 个高 EC 值处理都提高了成熟果实中可溶性糖、有机酸和维生素 C 含量,而且随着 EC 值的增加这种提高越明显。进一步的分析发现,随着营养液 EC 值的提高,番茄果实各部位己糖(果糖+葡萄糖)含量增加,蔗糖转化酶(酸性转化酶+中性转化酶)活性增强,而且己糖含量的增加和转化酶活性的增强主要发生在花后 40~60 d。以上结果表明:果实发育期高 EC 值管理下番茄果实可溶性糖含量的提高是由于蔗糖转化酶活性的增强引起的;在该试验中 EC 值 1.25→2.5→3.8→5.2 的处理果实的品质提高最多,干物重损失最少。

**关键词:**EC 值;NaCl;蔗糖代谢;番茄;果实品质

**中图分类号:**S 641.204<sup>+</sup>.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)19-0008-04

番茄果实糖含量是其品质的重要指标之一,提高番茄果实糖含量已成为生产中的重要课题。目前国内外研究表明,亏缺灌溉可以提高草莓和番茄果实中可溶性糖含量、有机酸含量及糖酸比<sup>[1-4]</sup>;果实发育早期 NaCl 胁迫可以增加普通番茄果实中可溶性糖的积累<sup>[5]</sup>;对于无土栽培番茄可以通过提高营养液浓度和添加无机盐类等方法提高营养液的 EC 值,使果实的干物率和糖度提高<sup>[6]</sup>。但有关高 EC 值管理提高番茄果实糖积累的原因尚不够清楚,尤其是高 EC 值下番茄光合运转糖—蔗糖在果实中的代谢变化尚鲜见详细报道。该试验在前人研究基础上,通过在果实发育期添加不同浓度的 NaCl 来提高营养液的 EC 值,研究高 EC 值管理对番茄果实各部位中糖分含量、蔗糖代谢、相关酶活性及果实品质的影响。为进一步调控番茄品质提供理论基础,也可为农业生产上用海水进行无土栽培奠定实践基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill)品种为‘辽

园多丽’。穴盘育苗,番茄幼苗子叶完全展开后浇灌 1/2 剂量的 Hoagland 配方营养液,六叶一心时定植于长、宽、高为 2 m×1.4 m×0.2 m 的营养液栽培槽中,正常栽培管理。

### 1.2 试验方法

试验于 2008 年 2~6 月在沈阳农业大学工厂化高效农业工程技术研究中心科研基地的日光温室内进行。试验共设 3 个处理,即以 Hoagland 配方营养液为对照,在 Hoagland 营养液中分别加入不同浓度的 NaCl 为处理,各处理的 EC 值见表 1。在番茄第 1 花序开花后 20 d 开始处理,各处理均在果实成熟后结束。营养液 pH 调节为 6.5±0.1,用气泵进行不间断通气,且每 7 d 更换 1 次营养液。在番茄果实绿熟期和完熟期取第 1 穗果的中果肉、心室隔壁和胶质胎座,在液氮中速冻,保存在-86℃的冰箱中,用于糖分含量及蔗糖代谢相关酶活性的测定。

### 1.3 项目测定

1.3.1 果实直径及干鲜重的测定 取成熟果实用百分之一天平测重量,并用游标卡尺测量果实直径,80℃烘干后测干物重。每个处理测量 10 个果实。

1.3.2 番茄果实品质的测定 各处理均在番茄果实完全成熟时取样,用蒽酮法测定可溶性糖含量,用分光光度计法测定维生素 C 含量,用碱滴定法测定有机酸含量。3 次重复。

1.3.3 糖分组成与含量的测定 将样品置于 80%乙醇

**第一作者简介:**鲁少尉(1983-),男,辽宁沈阳人,博士,现主要从事设施蔬菜逆境生理的研究工作。

**责任作者:**李天来(1955-),男,博士,教授,研究方向为设施蔬菜栽培生理。E-mail:tianlaili@126.com。

**基金项目:**国家公益性行业(农业)科研专项资助项目(200903009);国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD07B04)。

**收稿日期:**2012-06-12

溶液中 80℃ 水浴提取,用高效液相色谱(HPLC)测定蔗糖、果糖和葡萄糖含量。测定方法及色谱条件为:Waters 600E 高效液相色谱,氨基柱,柱温为 30℃,2410 示差检测器,流动相比比例为 75%乙腈:25%超纯水,流速为 1.0 mL/min,Waters Millennium 软件控制及数据处理。取测糖后的干燥残渣,用高氯酸水解法测定淀粉含量。3 次重复。

表 1

各处理营养液 EC 值

Table 1

Conductivity of nutrient solution in all treatments

处理(添加 NaCl) Treatments (Adding NaCl)		EC 值 EC value/mS · cm <sup>-1</sup>			
编号 No.	EC 值 EC value	六叶一心 Six leave stage	花后 0~20 d 0~20 days after flowering	花后 20~45 d 20~45 days after flowering	花后 45~60 d 45~60 days after flowering
CK	1.25→2.5	1.25±0.1	2.5±0.1	2.5±0.1	2.5±0.1
T1	1.25→3.8	1.25±0.1	2.5±0.1	3.2±0.1	3.8±0.1
T2	1.25→5.2	1.25±0.1	2.5±0.1	3.8±0.1	5.2±0.1
T3	1.25→6.5	1.25±0.1	2.5±0.1	4.5±0.1	6.5±0.1

2 结果与分析

2.1 提高营养液 EC 值对番茄果实品质的影响

由表 2 可知,高 EC 值处理提高了果实中可溶性糖含量、有机酸含量、抗坏血酸(维生素 C)含量及糖酸比。其中可溶性糖含量、有机酸含量、抗坏血酸(维生素 C)含量均随着 NaCl 浓度的增加而增加;而糖酸比是 T2 处理最高,达到 6.441,其风味品质最佳。说明一定浓度的盐分处

1.3.4 蔗糖代谢相关酶活性的测定 酸性转化酶(AI)和中性转化酶(NI)的活性采用齐红岩等<sup>[7]</sup>的方法测定,以 1 g 酶粉水解底物 1 h 产生 1 μmol 葡萄糖为 1 个酶活力单位;蔗糖合成酶(SS)和蔗糖磷酸合成酶(SPS)的活性参照於新建<sup>[8]</sup>的方法测定,以 1 g 酶粉水解底物 1 h 产生 1 μmol 蔗糖为 1 个酶活力单位。

理既能提高番茄果实的风味品质,也会提高其营养品质。

2.2 提高营养液 EC 值对番茄成熟果实直径及干鲜重的影响

由表 3 可知,高 EC 值处理降低了番茄果实的直径及干鲜重,而且番茄果实横径、纵径和鲜重均随着电导率的增加而减少,但果实干重却是 T2 处理最大,仅比对照降低 7.05%。

表 2

提高营养液 EC 值对番茄品质的影响

Table 2

Effect on tomato quality by improving the conductivity of nutrient solution

处理 Treatments	可溶性糖含量 Content of soluble protein/ %	有机酸含量 Organic acid content/ %	糖酸比 Sugar acid ratio	维生素 C 含量 Content of VC/mg · kg <sup>-1</sup>
CK	2.974±0.122	0.765±0.105	3.886	209.17±13.73
T1	3.384±0.181	0.811±0.100	4.175	245.27±14.76
T2	5.725±0.957	0.889±0.057	6.441	290.60±7.69
T3	6.092±1.087	1.100±0.036	5.535	322.02±17.54

表 3

提高营养液 EC 值对番茄成熟果实直径及干鲜重的影响

Table 3

Effect on tomato fruit diameter and weight by improving the conductivity of nutrient solution

处理 Treatments	果实横径 Fruits' transect diameter/cm	果实纵径 Fruits' longitudinal diameter/cm	单果鲜重 Fresh weight per fruit/g	单果干重 Dry weight per fruit/g
CK	7.768	6.33	240.607	18.99
T1	7.357	6.27	178.185	14.31
T2	7.227	5.95	171.611	17.65
T3	6.685	5.81	147.056	11.93

2.3 提高营养液 EC 值对番茄果实各部位糖分含量的影响

2.3.1 对番茄果实各部位己糖含量的影响 由图 1 可知,花后 20 d 开始盐处理并不能明显提高花后 45 d 番茄果实各部位己糖(果糖+葡萄糖)的含量。但花后 60 d 的成熟果实中己糖的积累则随着 EC 值的提高有显著增加,以 T3 处理果糖积累最多,中果肉、心室隔壁及胶质胎座中果糖含量的增加均达到显著水平;其它浓度处理果糖含量低于 T3 处理,但仍明显高于对照。从不同部位看,中果肉及心室隔壁的己糖含量显著高于胶质胎座。

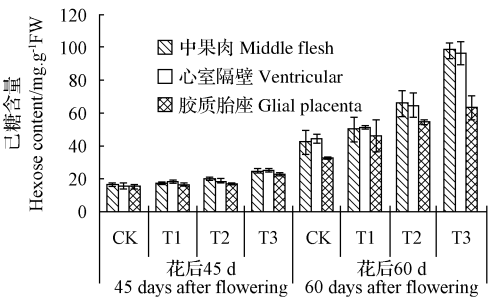


图 1 提高营养液 EC 值对番茄果实各部位己糖含量的影响

Fig.1 Effects on content of hexose in tomato fruit by improving the conductivity of nutrient solution

2.3.2 对番茄果实各部位蔗糖含量的影响 由图2可知,花后20 d开始盐处理明显降低了番茄果实各部位的蔗糖含量,其中花后45 d降低幅度较大,且随着营养液EC值的提高而降低;花后60 d的成熟果实中蔗糖含量受盐处理的影响较小。

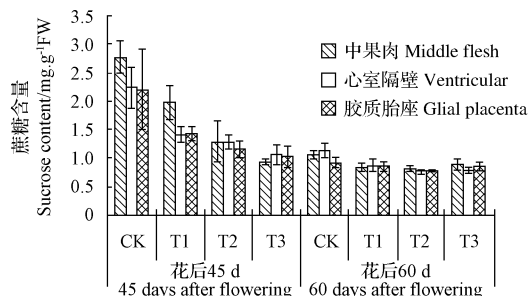


图2 提高营养液EC值对番茄果实各部位蔗糖含量的影响

Fig. 2 Effects on content of sucrose in tomato fruit by improving the conductivity of nutrient solution

2.3.3 对番茄果实各部位淀粉含量的影响 由图3可知,番茄果实各部位淀粉的含量在花后45 d含量较高,且在胶质胎座中的含量要高于中果肉和心室隔壁中,之后开始显著降低,在成熟果实中含量很低。随着盐处理浓度增加,花后45 d时番茄果实各部位中的淀粉含量有所降低,但花后60 d时番茄各部位淀粉含量与对照无显著差异。

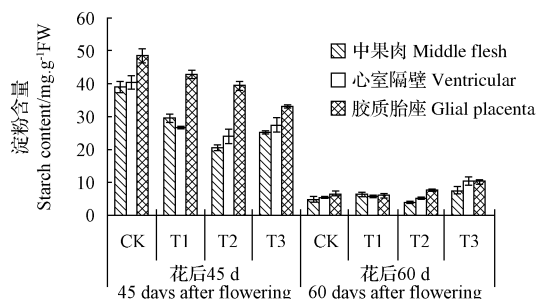


图3 提高营养液EC值对番茄果实各部位淀粉含量的影响

Fig. 3 Effects on content of starch in tomato fruit by improving the conductivity of nutrient solution

2.4 提高营养液EC值对番茄果实各部位蔗糖代谢相关酶活性的影响

2.4.1 对番茄果实各部位转化酶活性的影响 由图4可知,花后45 d各处理番茄果实各部位转化酶(酸性转化酶+中性转化酶)活性与对照相比无显著差异;但花后60 d各处理的番茄成熟果实内各部位酸性转化酶活性与对照相比均明显提高,而且随着EC值的提高有显著增加的趋势,其中T2和T3处理增加尤为明显。T2处理的成熟果实心室隔壁和胶质胎座中的酸性转化酶活性的增加达到显著水平,T3处理的成熟果实各部位中的酸性转化酶活性的增加达到极显著水平。

2.4.2 对番茄果实各部位蔗糖合成酶活性的影响 由

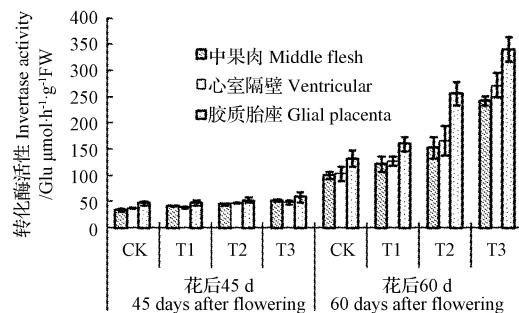


图4 提高营养液EC值对番茄果实各部位转化酶活性的影响

Fig. 4 Effects on invertase activity in tomato fruit by improving the conductivity of nutrient solution

图5可知,在整个果实生长发育期间,对照和3个浓度NaCl盐处理果实中的蔗糖生物合成酶(蔗糖合成酶+蔗糖磷酸合成酶)活性随着果实的发育有降低的趋势;花后45 d各处理番茄果实各部位中蔗糖生物合成酶活性与对照相比无显著区别,但在成熟果实各部位中的活性与对照相比略有增加。

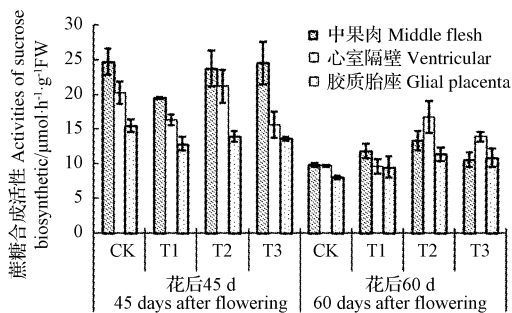


图5 提高营养液EC值对番茄果实各部位蔗糖生物合成酶活性的影响

Fig. 5 Effects on activities of sucrose biosynthetic in tomato fruit by improving the conductivity of nutrient solution

### 3 结论与讨论

无土栽培条件下添加一定浓度NaCl可以提高番茄果实内可溶性糖含量,但会降低产量<sup>[9-11]</sup>。该研究中,高浓度的NaCl处理在大幅度提高番茄果实可溶性糖含量的同时,也显著降低了其产量;但其中EC值为1.25→2.5→3.8→5.2的处理在提高了番茄果实可溶性糖含量的同时,番茄果实干物重降低最少,品质最好,而且脐腐病的发病率也无显著增加。

关于盐胁迫提高番茄果实可溶性糖含量的生理机制研究,Balibrea等<sup>[12-13]</sup>曾报道在果实发育早期NaCl处理可增加普通番茄果实中蔗糖的积累,而降低己糖的积累,而对后期果实中糖分的积累未做进一步的报道。该研究发现,提高营养液电导率对番茄果实发育后期己糖含量的影响比较大,在成熟时,3个盐浓度处理番茄果实中的己糖含量显著高于对照,而蔗糖含量无显著差别;提高营养液电导率对番茄果实中的淀粉含量影响不大,只在花后45 d的果实中略有增加。

盐胁迫和水分胁迫在一定意义上都属于渗透胁迫,但盐胁迫下番茄果实蔗糖代谢变化与水分胁迫下的结果不同。据 Miron 等<sup>[14]</sup>报道,水分胁迫可使番茄叶片中蔗糖磷酸合成酶活性下降,蔗糖合成酶活性升高;酸性转化酶和中性转化酶在中等水分胁迫条件下活性升高;齐红岩等<sup>[15]</sup>报道水分胁迫下番茄果实发育后期转化酶活性下降,合成酶活性升高。但该研究发现,盐胁迫可以提高蔗糖转化酶的活性从而增加番茄果实内不同部位己糖含量从而降低蔗糖含量。蔗糖代谢相关酶的活性变化与果实糖积累关系密切,有研究报道己糖含量与转化酶活性呈正相关,与 SS 活性呈负相关;而蔗糖的积累正好相反<sup>[15-16]</sup>。该研究中盐胁迫导致的番茄果实可溶性糖积累主要是因为己糖积累,己糖积累主要是因为转化酶活性提高,盐胁迫后番茄光合运转糖-蔗糖在果实内的快速分解,提高了蔗糖向果实内的运输,从而增加了果实的可溶性糖含量。

#### 参考文献

- [1] Zushi K, Matsuzoe N. Effect of soil water deficit on vitamin C sugar, organic acid, amino acid and carotene contents of large-fruit tomato[J]. Journal Japan Society Horticultural Science, 1998, 67(6): 927-933.
- [2] Yasuyoshi H, Toshiko T, Satoru K, et al. The effects of water stress on the growth, sugar and nitrogen content of cherry tomato fruit[J]. Journal Japan Society Horticultural Science, 1998, 67(5): 759-766.
- [3] 刘明池, 小岛孝之, 陈杭, 等. 亏缺灌溉对草莓果实特性、植株生长和产量形成的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(3): 307-311.
- [4] 刘明池, 陈殿奎. 亏缺灌溉对樱桃番茄产量和品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2002(6): 4-6.
- [5] Balibrea M E, Cuartero J, Bolarín M C, et al. Sucrolytic activities during fruit development of *Lycopersicon* genotypes differing in tolerance to salinity[J]. Physiol Plant, 2003, 118: 38-46.
- [6] 石海仙, 伊东正. NaCl 添加和营养液浓度对番茄产量和品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2001(4): 9-11.
- [7] 齐红岩, 李天来, 刘海涛, 等. 番茄不同部位中糖含量和相关酶活性的研究[J]. 园艺学报, 2005, 32(2): 239-243.
- [8] 於新建. 蔗糖合成酶与蔗糖磷酸合成酶活性的测定[M]//上海市植物生理学会. 植物生理学实验手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 148-149.
- [9] 姜晶, 李天来. 无土栽培条件下添加不同浓度 NaCl 与番茄果实生长发育的关系[J]. 北方园艺, 2007(7): 49-51.
- [10] 李伟, 姜晶, 李天来. 不同浓度 NaCl 处理对番茄果实生长、产量和品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3): 502-504.
- [11] Adams P. Effect of increasing the salinity of nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomato growth in rock-wool[J]. J Hort Sci, 1991, 66(2): 201-207.
- [12] Balibrea M E, Parra M, Bolarín M C, et al. Cytoplasmic sucrolytic activity controls tomato fruit growth under salinity[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1999, 26: 561-568.
- [13] Balibrea M E, Dell'Amico J, Bolarín M C, et al. Carbon partitioning and sucrose metabolism in tomato plants growing under salinity[J]. Physiologia Plantarum, 2000, 110: 503-511.
- [14] Miron D, Schaffer A A. Sucrose phosphate synthase, sucrose synthase and invertase activities in developing fruit of *Lycopersicon esculentum* Mill. and sucrose accumulation in *Lycopersicon hirsutum* Humb. Bonp[J]. Plant Physiol, 1991, 95: 623-627.
- [15] 齐红岩, 李天来, 邹琳娜. 番茄果实不同发育阶段糖分组成和含量变化的研究初报[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(5): 346-348.
- [16] Balibrea M E, Rus-Alvárez A M, Bolarín M C, et al. Fast changes in soluble carbohydrates and proline contents in tomato seedlings in response to ionic and non-ionic osmotic stresses[J]. J Plant Physiol, 1997, 151: 221-226.

## Effects of Tomato Fruit Development and Sucrose Metabolism by Improving the Conductivity of Nutrient Solution in Soilless Culture

LU Shao-wei<sup>1</sup>, QI Fei<sup>1</sup>, LI Tian-lai<sup>2</sup>, JIANG Jing<sup>2</sup>

(1. Institute of Facility Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100125; 2. College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Key Laboratory of Protected Horticulture of Liaoning Province, Shenyang, Liaoning 110866)

**Abstract:** Taking tomato cultivar 'Liaoyuan Duoli' as material, the EC value of the nutrient solution was improved by adding different concentrations of NaCl in the fruit development period, and the effect of high EC on the fruit yield, quality and sucrose metabolism of tomato in water culture were studied. The results showed that 3 high EC treatments increased soluble sugar, organic acids and vitamin C content in mature fruit, and higher EC more obvious. With the improvement of EC value in nutrient solution, hexose (fructose + glucose) content in every part of tomato increased, invertase (acid invertase + neutral converting enzyme) activity enhanced, hexose content and invertase activity increased mainly in 40~60 days after flowering. The above suggested that the increase of soluble sugar content of tomato in fruit development period under high EC management was due to enhancement of sucrose conversion enzyme activity; the fruit quality improved the most, and dry matter weight lost the minimum under EC value treatment from 1.25, 2.5, 3.8 to 5.2 in this experiment.

**Key words:** conductivity; NaCl; sucrose metabolism; tomato; fruit quality