# 根际温度对高温下温室番茄根系显微结构的影响

韩亚平，李亚灵，宋敏丽

（山西农业大学园艺学院，山西太谷 030801）

**摘要**：针对夏季高温对温室番茄栽培的限制作用，实验力图通过降低根际温度缓解高温带来的危害。采用营养液深液流循环栽培法（deep flowing technique，DFT），以（28±1）℃的自然根温为对照，分别对根系进行（23±1）℃和（33±1）℃的处理，采用石蜡切片法对植株根系显微结构进行观察与测量。结果表明：与（28±1）℃的自然根温相比，（23±1）℃处理根系导管直径增大 12.22%，导管密度降低 20%；（33±1）℃处理根系的导管直径减小 17.44%，导管密度增高 30%；3 个处理的导管总面积差异不显著。因此，降低根温至 23℃左右，可增强根系的吸收和运输能力，利于植株生长，能有效缓解夏季高温危害，为生产提供新的越夏栽培技术。

**关键词**：蔬菜学；温室番茄；根际温度；高温；石蜡切片；根系显微结构

**中图分类号**：S641.2　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674-2850(2013)19-1820-04

# Influence of root-zone temperature on the microstructures of greenhouse tomato root under high temperature

HAN Yaping, LI Yaling, SONG Minli

(*College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi* 030801, *China*)

**Abstract**: High temperature in summer is a main limit factor for greenhouse tomato production. This experiment tried to reduce the root-zone temperature in order to relieve the harm of high temperature. Adopting deep flowing technique (DFT) method, the natural root-zone temperature of (28±1)℃ was taken as control, and the root-zone temperature of (23±1)℃ and (33±1)℃ were respectively realized as two treatments. The root microstructure was observed and measured by the method of paraffin section. Compared with the natural root-zone temperature of (28±1)℃, the diameter of root vessel was increased about 12.22%, and its density was reduced about 20% with the treatment of lower root-zone temperature of (23±1)℃. On the opposite, in the treatment of (33±1)℃ root-zone temperature, the diameter of root vessel was decreased about 17.44%, and its density was increased 30%. The total area of vessel had no significant difference among the three treatments. Therefore, lower root-zone temperature of 23℃ could enhance the uptake and transport ability of the roots, and was conducive to plant growth, effectively for relieving heat harm in summer, which provided the new technology of the over-summer cultivation for production.

**Key words**: vegetables; greenhouse tomato; root-zone temperature; high temperature; paraffin section; root microstructure

## 0 引言

番茄植株生长发育的最适温度为昼温 24～26℃，夜温 18℃左右，超过 30℃则温度过高，到 40℃停止生长。地温的最高界限为 33℃[1]。然而，在光热资源丰富的华北地区，夏季温度偏高，温室在 6 月至 8 月温度很容易上升到 35℃甚至更高[2]，这样的温度对番茄栽培是灾难性的。因此可以认为高温是温室番茄长季节栽培稳产、高产的主要限制因子[3]。

**基金项目**：高等学校博士学科点专项科研基金（20091403110002）

**作者简介**：韩亚平（1985—），女，硕士研究生，主要研究方向：蔬菜栽培生理

**通信联系人**：李亚灵，教授，主要研究方向：温室环境调控与作物生长. E-mail：yalingli1988@163.com

高根温往往伴随着高气温而产生。植物的生长发育可能对根温更为敏感。根温变化1℃就能引起植物生长的明显变化[4]。植物体是内在统一的有机整体，根部和地上部存在着密切联系，任一部分受到环境因子的影响，均会迅速涉及和传递到另一部分。根温直接影响根系的生长和根系对水肥及矿质元素的吸收和运输，从而影响番茄植株的生长。因此，这里力图通过降低根温来缓解高温所带来的危害，为生产提供新的温室番茄越夏栽培技术。

## 1 材料与方法

试验材料为番茄“新星101”。试验于2009年4月至10月在山西太谷（E112°25′，N37°25′）山西农业大学设施农业工程中心的非对称三连栋温室内进行。水培育苗，待植株现蕾后，移栽于水培槽内进行营养液循环栽培，缓苗1周后于每天10：00—17：00进行不同的根温处理：$T_1$为（23±1)℃（番茄生长比较适宜的根温，通过向营养液中放冰桶来控温）；$T_2$为（28±1)℃（根际自然温度状态，不进行处理或稍加控制）；$T_3$为（33±1)℃（设施栽培中由高气温可能产生的高根温状态，通过电热线加热来控温).

分别在处理10，20，30，40 d后，选择生长健壮植株主根的中部，切取5 mm长的小段，迅速浸于FAA（formalin-acetic acid-alcohol）固定液中，真空抽气后固定48 h以上。采用石蜡切片法对固定好的材料进行酒精梯度脱水、二甲苯梯度透明、透蜡、包埋后切片，切片厚度10 μm，再对切片进行脱蜡、番红-固绿对染法染色、二甲苯透明后用中性树胶封片[5]，干片后在Olympus显微镜下进行观察、拍照，并用台式测微尺测定3种温度下的导管直径、导管密度、导管总面积各10次，并进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 根系的导管直径

根系导管直径随着根系温度的增高而显著降低（如图1和图2a所示). 全期平均值是：$T_1$为21.6 μm，$T_2$为19.1 μm，$T_3$为16.1 μm. 试验结束时，导管直径$T_1$处理比$T_2$处理的大12.22%，$T_3$处理比$T_2$处理的小17.44%，导管直径$T_1$处理显著大于$T_2$处理，$T_3$处理极显著小于$T_2$处理。

根系的导管直径随着处理时间的增加而减小（如图1和图2a所示)。处理结束时，$T_1$，$T_2$，$T_3$处理的根系导管直径分别由处理10 d时的24.20，20.30，17.40 μm减小到处理40 d时的19.75，17.60，14.53 μm，分别减小了22.53%，15.34%，19.75%.

### 2.2 根系的导管密度

木质部导管的密度对其输导能力也有着显著的影响。单位面积上导管个数越多，其输导能力就越强。随着根系温度的增加，根系导管的密度显著增加（如图1和图2b所示)，$T_1$处理比$T_2$处理小20%，$T_3$处理比$T_2$处理大30%.

随着处理时间的延长，根系导管的密度增高（如图1和图2b所示)。处理结束时，$T_1$，$T_2$，$T_3$处理的根系导管密度分别由处理10 d时的0.05，0.08，0.10个/mm² 增加到处理40 d时的0.08，0.10，0.13个/mm²，分别增大了37.50%，20.00%，23.08%.

### 2.3 根系的导管总面积

随着处理时间的延长，根系导管的总面积增加（如图1和图2c所示)。处理结束时，$T_1$，$T_2$，$T_3$处理根系导管的总面积分别由处理10 d时的893.60，882.15，847.40 mm² 增加到处理40 d时的1 231.80，1 196.00，1 104.00 mm²，分别增加了27.24%，26.24%，23.24%. $T_1$处理比$T_2$处理大3.0%，$T_3$处理比$T_2$处理小7.7%，但3个处理间差异不显著。

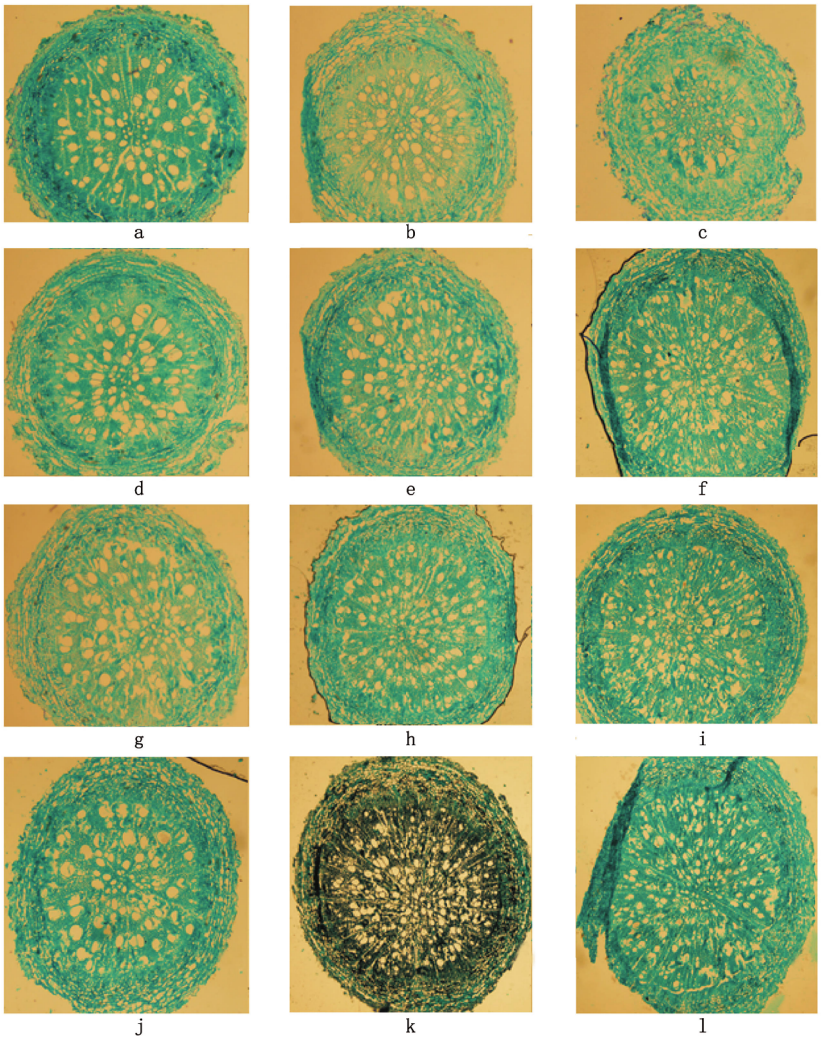



图 1　不同根温处理下根系结构的横切图（×40）

Fig. 1　Transverse sections of tomato root at different root temperature treatments (×40)

a—$T_1$ 处理 10 d；b—$T_2$ 处理 10 d；c—$T_3$ 处理 10 d；d—$T_1$ 处理 20 d；e—$T_2$ 处理 20 d；f—$T_3$ 处理 20 d；g—$T_1$ 处理 30 d；h—$T_2$ 处理 30 d；i—$T_3$ 处理 30 d；j—$T_1$ 处理 40 d；k—$T_2$ 处理 40 d；l—$T_3$ 处理 40 d

a-$T_1$ treatment for 10 d; b-$T_2$ treatment for 10 d; c-$T_3$ treatment for 10 d; d-$T_1$ treatment for 20 d; e-$T_2$ treatment for 20 d; f-$T_3$ treatment for 20 d; g-$T_1$ treatment for 30 d; h-$T_2$ treatment for 30 d; i-$T_3$ treatment for 30 d; j-$T_1$ treatment for 40 d; k-$T_2$ treatment for 40 d; l-$T_3$ treatment for 40 d

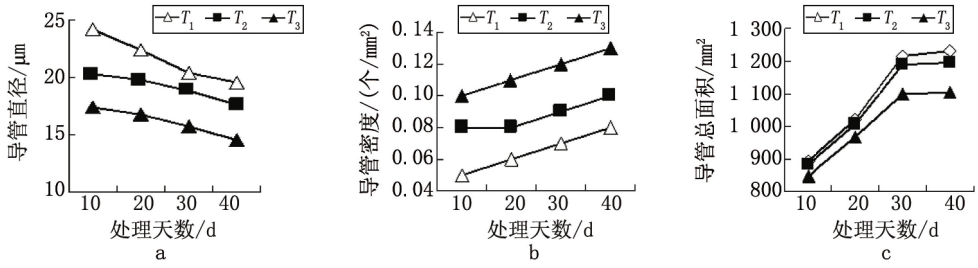



图 2　不同根温处理对番茄根系显微结构的影响

Fig. 2　Influence of different root-zone temperature treatments on tomato root microstructure

a—根温对根系导管直径的影响；b—根温对根系导管密度的影响；c—根温对根系导管总面积的影响

a-Influence of root-zone temperature on the root vessel diameter; b-Influence of root-zone temperature on the root vessel density; c-Influence of root-zone temperature on the total area of root vessel

## 3 讨论与结论

根系的解剖结构在一定程度上决定了它的吸收和输导能力[6]，从而影响地上部分的生长。对不同根温处理后番茄主根解剖结构进行观察，以及对其导管密度、导管直径和导管总面积进行测量、统计，所得结果与彭抒昂等[7]对枳根中维管组织的解剖结果一致。与夏季温室内的自然根温（28℃）相比，降低根温至（23±1)℃时，番茄根系导管分布分散，导管直径相对较大，导管数量少，说明降低根温至（23±1)℃可使其根系吸收能力增强，输送水分和无机营养的阻力减小，有利于植株的生长。当根温继续升高至（33±1)℃，则植株根系导管直径减小，导管密度增加，即植株通过增加其根系横截面单位面积上导管个数来增强其吸收和输导能力，以利于植株有效地利用水分。根温升高至（33±1)℃时的导管密度比自然根温下大 30%，说明番茄植株在高温逆境下能不断进行自我调节以适应高温逆境，保证了根系的吸收和输导功能，能较多地吸收和运输水和无机营养，以尽量满足植株的生存和生理需要。

综上所述，夏季高温下降低根温至（23±1)℃可以增强番茄植株根系的吸收和输导能力，利于植株生长，可有效缓解高温带来的危害，从而为生产提供了新的越夏栽培技术。

### [参考文献] (References)

[1] 李景富，徐鹤林. 中国番茄[M]. 北京：中国农业出版社，2007.
LI J F, XU H L. China tomato[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2007. (in Chinese)

[2] 田鹏. 太原地区温室番茄限产因素探讨——光照、温度对产量的影响[D]. 太谷：山西农业大学，2004.
TIAN P. Study on the factors limiting the yield of greenhouse tomato in Taiyuan district: effect of radiation and temperature on yield[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2004. (in Chinese)

[3] 王冬梅，康立功，许向阳，等. 热胁迫对番茄叶片主要生理生化指标的影响[C]//中国园艺学会. 中国园艺学会第七届青年学术讨论会论文集. 北京：中国农业出版社，2006：898-901.
WANG D M, KANG L G, XU X Y, et al. Effect of heat stress on the main physiological and biochemical indexes of tomato leaf[C]//Chinese Society for Horticultural Science. Seventh Youth Symposium Proceedings of Chinese Society for Hororticultural Science. Beijing: China Aqriculture Press, 2006: 898-901. (in Chinese)

[4] WALKER J M. One degree increment in soil temperature affects maize seeding behavior[J]. Pro. Soc. Soil Sci. Am., 1969, 33: 729-736.

[5] 李正理. 植物制片技术[M]. 北京：科学出版社，1987.
LI Z L. Vegetable production section technology[M]. Beijing: Science Press, 1987. (in Chinese)

[6] 强盛. 植物学[M]. 北京：高等教育出版社，2006.
QIANG S. Botany[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. (in Chinese)

[7] 彭抒昂，曾文芳. 枳橙和枳根中维管组织的解剖学研究[J]. 果树科学，2006 (1)：42-45.
PENG S A, ZENG W F. Anatomy study on vascular tissue in citrange and trifoliate-orange root[J]. Journal of Fruit Science, 2006(1): 42-45. (in Chinese)