

# 自然高温对番茄内源激素及生殖生长的影响

张 宇<sup>1</sup>, 李亚灵<sup>2</sup>

(1. 晋中职业技术学院, 山西 榆次 030600; 2. 山西农业大学 园艺学院, 山西 太谷 030801)

**摘 要:**通过对番茄植株进行自然高温处理, 研究高温胁迫下番茄的内源激素和生殖生长的变化。结果表明:随着处理温度的升高(11:00~15:00 平均温度高于 45℃时), 番茄植株叶片中叶绿素含量降低, 降低的程度与处理强度成正比, 从而导致植株的光合作用下降, 叶片厚度变薄, 根冠比下降; SOD 活性减弱, POD 活性增强, 自由基清除能力下降; 花粉活力、花粉数目及坐果率都最小; 高温条件下也会造成番茄花柱突出花药筒(三级长花柱), 致使番茄授粉不良, 结实率降低。

**关键词:**番茄; 高温胁迫; 内源激素; 生殖生长

**中图分类号:**S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)20-0027-03

番茄是我国设施栽培的主要作物之一<sup>[1]</sup>, 也是全世界种植面积和消费量居前的一种主要蔬菜<sup>[2]</sup>。番茄夏季设施栽培或晚春、早秋的保护地生产中经常会遇到高温危害, 对番茄的生长造成高温胁迫, 影响番茄的正常生长发育和产量、品质。目前人们关注最多的是低温弱光对番茄生长的影响, 而对高温特别是亚高温对番茄生长发育影响的研究较少<sup>[3]</sup>。现通过对番茄进行自然高温(与大田生长和保护地栽培的番茄生长环境基本相符)处理, 研究内源激素和生殖生长发生的变化, 以为生产上日光温室和塑料大棚的番茄管理提供理论依据和实践指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2009 年 4~6 月在山西农业大学设施农业工程研究中心(北纬 37°25', 东经 112°25')的非对称三连跨温室<sup>[4]</sup>内进行。2009 年春季于温室中穴盘基质育苗。

### 1.2 试验方法

2009 年 5 月 6 日开始对番茄进行不同温度的处理。将长势健壮整齐一致的 45 盆番茄植株分 3 个处理, 每个处理 15 盆。处理 I 和处理 II 放在温室内的控制箱中, 处理 III 放在室外作为对照。处理 I 每日于 11:00~15:00 用塑料薄膜覆盖控制箱的北面, 使控制箱完全密封, 温度自然升高。处理 II 的控制箱除北面外, 其余都用塑料薄膜覆盖。目的是使处理 I 与处理 II 产生温度差异。

### 1.3 测定项目与方法

**1.3.1 叶绿素的测定** 采用乙醇提取比色法。取新鲜番茄叶片, 擦净组织表面的污物, 去掉中脉剪碎混匀待用, 每个处理称取剪碎的新鲜样品 0.5 g 共 3 份, 分别放入研钵中, 加少量石英砂及 95%乙醇 2~3 mL, 研磨成匀浆, 再加 95%乙醇 10 mL, 继续研磨至组织变白, 静置 3~5 min。取滤纸 1 张, 置漏斗中, 用乙醇湿润, 沿玻璃棒把提取液倒入漏斗中, 过滤到 25 mL 棕色容量瓶中, 用少量 95%乙醇冲洗研钵、研棒及残渣数次, 最后连同残渣一起倒入漏斗中。用滴管吸取乙醇, 将滤纸上的叶绿体色素全部洗入容量瓶中。直至滤纸和残渣中无绿色为止。最后用乙醇定容至 50 mL, 摇匀。把叶绿体色素提取液倒入光径 1 cm 的比色杯内。以 95%乙醇为空白, 用 722 分光光度计, 在波长 665、649、470 nm 下测定吸光度。Ca = 13.95D<sub>665</sub> - 6.88D<sub>649</sub>, Cb = 24.96D<sub>649</sub> - 7.32D<sub>665</sub>; C x, c = (1 000 D<sub>470</sub> - 2.05Ca - 114.8Cb)/245。

**1.3.2 超氧化物歧化酶 SOD 活性的测定** 采用氮蓝四唑(NBT)法测定。取番茄叶片 0.3 g 于预冷的研钵中, 加 1.5 mL pH 7.8 的磷酸缓冲液, 在冰浴上研磨成浆, 于 13 000 r/min 下离心 10 min, 取上清液即为 SOD 粗提液, 反应混合液总体积 3 mL, 内含 2.7 mL 蛋氨酸, 0.1 mL 22.5 μM 氮蓝四唑, 0.1 mL EDTA-Na<sub>2</sub>, 0.1 mL 核黄素, 加入 20 μL 酶液, 摇匀, 照光 20 min, 560 nm 下比色, 测得消光值, 对照管以缓冲液代替酶液, 不照光。

**1.3.3 过氧化物酶(POD)活性的测定** 采用愈创木酚法。取番茄叶 0.3 g, 切碎, 放入研钵中, 加入 1.5 mL pH 8.5 的 Tris-HCl 缓冲液磨成匀浆, 将匀浆液全部转入离心管中, 于 4 000 r/min 离心 20 min, 上清液为酶液提取液, 定容至刻度, 低温下保存。酶活性的反应总体积为 3 mL, 包括 100 mmol/L 磷酸缓冲液(pH 6.0), 100 mmol/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 3.5 mmol/L 的愈创木酚, 加入 1 mL 酶液, 立即于 37℃水浴中保温 15 min, 然后迅速转入冰浴中, 并加入 20%三氯乙酸终止反应, 然后过

第一作者简介:张宇(1973-), 女, 硕士, 讲师, 现主要从事设施园艺研究工作。E-mail: zhangyu6438@163.com。

责任作者:李亚灵(1962-), 女, 博士, 博士生导师, 现主要从事设施园艺研究工作。

基金项目:山西省科技攻关资助项目(041018-2)。

收稿日期:2011-06-28

滤,在 470 nm 波长下测定吸光度。

1.3.4 花粉活力测定 于早晨 8:00 前,采集已开放、花药饱满的番茄花朵放在保鲜袋中备用。每个处理 3 次重复。采用 TTC 法测定花粉活力:称取 0.5 g TTC,加少许 95%乙醇使其溶解,然后用蒸馏水稀释,定溶至 100 mL。储存于棕色试剂瓶中于冰箱中避光保存,若溶液变红则不能再用。取少量花粉于载玻片上,加 1~2 滴 TTC 溶液,需将花粉完全浸于溶液中,盖上盖玻片。将制片于 35℃ 恒温箱中放置 15 min。然后置于低倍显微镜下观察。凡被染为红色的则活力强,淡红次之,无色者为没有活力的花粉或不育花粉。每片取 5 个视野观察。统计 100 粒花粉,并计算有花粉活力的百分数。

1.2.5 花柱突出情况调查 花柱突出状况按照 Levy 等(1978)方法记录,分 3 个等级:1 级花柱低于或齐于药筒;2 级花柱突出药筒 1 mm;3 级花柱突出药筒大于 1 mm。

1.3.6 坐果率调查 从第 1 花序开始认真观察并统计现蕾总数(包括落花数、落蕾数),以坐果为子房直径 $\geq 1$  mm 为依据,统计坐果数。坐果率=(坐果数/现蕾总数) $\times 100\%$

## 2 结果与分析

### 2.1 不同高温对番茄叶片叶绿素的影响

由表 1 可看出,不同高温对番茄叶绿素含量的影响不同。光合色素以叶绿素 a 为主,含量在 11.46~4.15,叶绿素 b 的含量为 4.12~2.67,叶绿素 a 的降低引起叶绿素 b 的变动。高温胁迫下番茄叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量均低于对照。高温对叶绿素 a 含量影响较大,处理 I 区处理温度最高,叶绿素 a 含量下降幅度最快,处理 27 d 比 20 d 下降了 41.9%;处理 II 次之,处理 27 d 比 30 d 下降 6%。高温对叶绿素 b 含量影响较小,从而导致叶绿素 a/b 比值降低。降低程度与叶绿素 a 一致。该试验说明高温胁迫引起叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量下降程度与胁迫程度成正比。

表 1 不同高温对番茄叶绿素含量的影响

处理	天数 /d	叶绿素 a /mg·g <sup>-1</sup>	叶绿素 b /mg·g <sup>-1</sup>	叶绿素 a+b	叶绿素 a/b
I	10	8.24	3.34	11.58	2.47
	20	7.19	3.13	10.32	2.3
	27	4.15	2.67	6.82	1.55
II	10	8.52	3.33	11.85	2.56
	20	8.08	3.25	11.33	2.49
	27	7.6	3.12	10.72	2.44
III	10	11.46	4.12	15.58	2.78
	20	11.39	4.03	15.42	2.83
	27	11.28	4.00	15.28	2.82

### 2.2 不同高温对番茄酶活性的影响

#### 2.2.1 不同高温对番茄 SOD 和 POD 活性的影响

番茄植株经过高温胁迫后,叶片的 SOD、POD 都发生了变化(图 1、2),SOD 的活性随着处理温度的升高活性下降,而 POD 活性却上升。就 SOD 活性而言,处理 I 和处理 II 分别比对照下降了 42.4%和 23.1%。而处理 I 和处理 II 的 POD 活性分别比对照提高了 11.6%和 3.6%。这说明经过高温胁迫后,植株体内过氧化物

酶的活性升高,以清除活性氧免受高温逆境伤害。

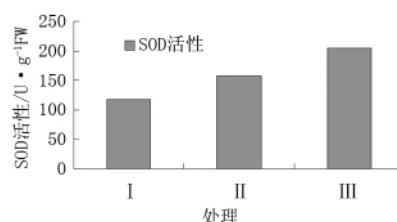


图 1 不同高温对番茄 SOD 活性的影响

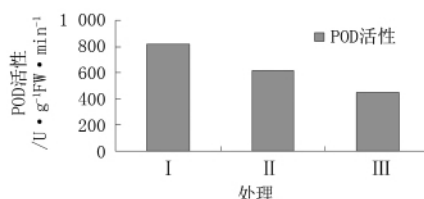


图 2 不同高温对番茄 POD 活性的影响

2.2.2 不同高温对番茄花粉活力的影响 高温可以引起花粉败育,原因之一为高温影响花粉的活力。由表 2 可看出,随着处理温度的升高,花粉活力下降,处理 I 的处理温度最高,花粉活力最低,仅为 16.12%;处理 II 的温度次之,花粉活力居中,为 21.57%;处理 III 的温度最低,花粉活力最高,为 78.40%。经过方差分析,处理 I 与处理 II 的差异不显著,处理 III 极显著高于其它 2 个处理。

表 2 高温对番茄花粉活力的影响

处理	花粉活力/%	显著差异
I	16.12	a
II	21.57	a
III	78.40	b

注:表中的数据为测定值的平均值。

2.2.3 不同高温对番茄花柱突出的影响 从图 3 可看出,不同高温对番茄花柱突出状况的影响。一级花柱是处理 III 最多为 40.02%,高出它 2 个处理 22%左右,其它 2 个处理均在 27%~28%之间,相差甚微。二级花柱突出情况为处理 II>处理 I>处理 III。由于受到高温胁迫的影响三级花柱处理 I 最多,为 19.92%,处理 II 次之,处理 III 最少。由此看出,番茄花柱突出状况于温度之间的关系,随着高温处理时间的延长,一级花柱减少,从而影响到番茄的授粉,最终导致坐果率下降,产量降低。

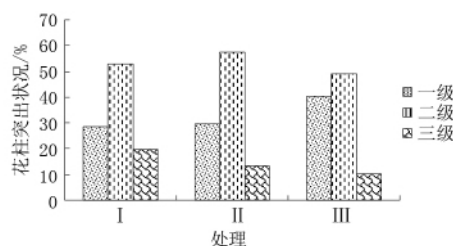


图 3 不同高温对番茄花柱突出状况的影响

2.2.4 不同高温对番茄坐果率的影响 由图 4 可知,不同高温对番茄坐果率的影响与对花柱突出的影响一致。处理 III 的一级花柱最多,表现的坐果率也最大为 70.02%。处理 I 的三级花柱比其它 2 个处理多,因此坐果率最低,仅为 32.93,处理 II 居中。

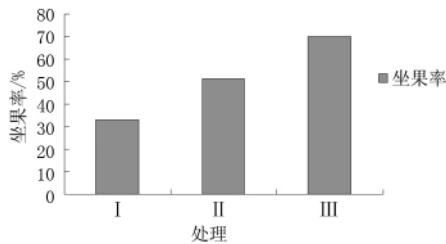


图 4 不同高温对番茄坐果率的影响

### 3 讨论与结论

叶绿素的生物合成是一系列酶促反应,因此受温度影响很大。叶绿素形成的最高温度为 40℃ 左右,温度过高,原有叶绿素会遭到破坏。在该试验中,叶绿素的含量与高温胁迫的时间和强度成正比,温度越高,叶绿素含量越少。与张洁等对番茄昼间亚高温对日光温室番茄光合作用及物质积累的影响试验结果一致<sup>[1]</sup>。

酶促防御体系包括 SOD、POD、APX、GPX 和 CAT,它们在活性氧的脱毒过程中起重要作用,对抵御多种理化因子胁迫,减少活性氧积累,维护膜结构完整方面起到积极作用。Bowler 等指出,尽管 SOD 能清除氧,抵御或减轻膜脂过氧化物对细胞内其它部位的伤害,但这种保护作用是有限的。所以高温处理后,叶片中的 SOD 活性下降,造成膜脂过氧化作用加剧,使膜系统造成进一步伤害。过氧化物酶与植物耐热性有关,王艳芳用不同空气湿度胁迫下,SOD 活性减弱,POD 活性增强。李健健对黄瓜幼苗经过高温胁迫处理后,得出同样的结论。综合以上事实,POD 是植物体内 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的清除酶,与 SOD 协同作用,维持体内活性氧代谢平衡。POD 活性提高,是植物对高温的适应性反应。

蔬菜生产要想获得优质高产,授粉受精成功与否是极为关键的因素。在众多影响授粉受精的自然因子湿

度、光照、生物、微生物中,温度的影响最不容忽视。近几年频繁出现的花期高温,所造成大量的落花落果乃至各地柑桔大面积的减产。持续的高温天气会在一定程度上影响甜玉米花粉的活力,使其不能正常授粉,最后导致缺粒现象的发生<sup>[5]</sup>。茄科、葫芦科果菜在高温季节常因花粉生活力的降低而大量落花落果,十字花科蔬菜在夏季制种时常因高温影响花粉的生活力而导致种子产量大幅度下降<sup>[6]</sup>。35℃ 处理番茄离体花粉 1.5 h 后,其花粉活力降低到 50% 以下<sup>[7]</sup>。滕井指出,正在开花期的花,一旦遇到 35℃ 左右或 35℃ 以上的高温,即使是一日之间的极短时间,也会使花粉粒的萌发或胚囊内的受精作用发生各种障碍,造成开花结实不良。该试验在对番茄进行不同自然高温处理后,处理 I 和处理 II 不同程度地出现了徒长现象,使植物体内碳水化合物的积累减少,对发育中的花芽养分供给不足,同时也抑制了花器的发育,使其花粉活力、花粉数目及坐果率都最小。

高温条件下会造成番茄花柱突出花药筒(三级长花柱),这是造成番茄授粉不良结实率降低的主要原因。在该试验中,番茄经过高温处理后,出现了花柱突出花药筒的现象,突出现象越明显,坐果率越低。

### 参考文献

- [1] 张洁,李天来,徐晶. 昼间亚高温对日光温室番茄光合作用及物质积累的影响[J]. 园艺学报,2005,32(2):228-233.
- [2] 丁云华. 番茄无公害高效栽培[M]. 北京:金盾出版社,2003.
- [3] 张洁,李天来,徐晶. 昼间亚高温对日光温室番茄生长发育、产量与品质的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(6):1051-1055.
- [4] 温祥珍,李亚灵. 非对称连跨式节能温室的结构设计与性能特点[J]. 温室园艺(农村实用工程技术),2003(2):18-19.
- [5] 云建英,赵哈林,杨甲定. 干旱和高温对植物光合作用的影响机制研究进展[J]. 西北植物学报,2006,26(3):641-648.
- [6] 吴俊华,侯雷平,李梅兰. 蔬菜高温逆境研究进展[J]. 北方园艺,2006(1):50-51.
- [7] 王艳芳. 高温下不同空气湿度对番茄幼苗生长和开花坐果的影响[J]. 太谷:山西农业大学,2007.
- [8] 毛胜利,杜永呈,王孝宣. 蔬菜耐热育种研究进展[J]. 园艺学报,2001,28(增刊):655-660.
- [9] 潘瑞炽,董愚得. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社,2008.

## Effect of High Temperature on the Tomato Growth

ZHANG Yu<sup>1</sup>, LI Ya-ling<sup>2</sup>

(1. Jinzhong Vocational Technical College, Jinzhong, Shanxi 030600; 2. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801)

**Abstract:** Through natural high-temperature treatment on tomato plants, changes of growth hormones and reproductivein tomato under conditions of high temperature stress were studied. The results showed that with the temperature increasing(up to 45℃ during 11:00 to 15:00),chlorophyll a content in leaves of tomato plants decreased significantly,and proportion to the temperature intensity. Therefore, plant photosynthesis was declined; respiration was enhanced,SOD activity decreased,POD activity increased,and free radical scavenging capacity decreased. It was also inhibited the development of flower,the pollen viability,pollen number and fruit set. High temperature condition would also cause elongating of anther tube style leading to poor pollination and reduced seed set.

**Key words:** tomato; high temperature; vegetative growth; reproductive growth