

夜间低温对番茄幼苗光合作用的影响

王丽娟^{1,2} 李天来¹ 李国强¹ 齐红岩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 天津农学院园艺系, 天津 300384)

摘要: 以 15℃ 夜温为对照, 研究了 12℃、9℃、6℃ 夜间低温对番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 光合作用和叶绿素荧光参数的影响。结果表明: 夜间低温抑制了植株总干物质的积累; 总叶绿素含量、净光合速率下降; 光合作用相关因素中气孔导度 (Gs)、胞间 CO₂ 浓度 (Ci)、蒸腾速率 (Tr) 下降, 气孔限制值 (Ls) 增大。12℃、9℃ 低温处理 10 d 净光合速率及相关因素可恢复到正常水平; 6℃ 低温处理 10 d 对番茄净光合速率的影响则不可恢复, 而对光合作用相关因素的影响是可恢复的, 说明在恢复期间 6℃ 低温处理净光合速率的降低与 Gs、Ci、Tr、Ls 无关。所有夜间低温处理对 Fv/Fm、 Φ_{PS} 、ETR 影响较小, 低温胁迫解除后很快得到恢复, 说明试验所设定的夜间低温及其处理时间未对 PS 系统造成伤害。

关键词: 番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.); 夜间低温; 光合作用; 叶绿素荧光参数

中图分类号: S 641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2006) 04-0757-05

Effects of Low Night Temperature on Photosynthesis of Tomato Seedlings

Wang Lijuan^{1,2}, Li Tianlai¹, Li Guoqiang¹, and Qi Hongyan¹

(¹ College of Horticulture, Key Laboratory of Protected Horticulture of Liaoning Province, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China; ² Department of Horticulture, Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384, China)

Abstract: Effects of different low night temperature (12℃, 9℃, 6℃, and 15℃ as control) on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics were investigated in tomato seedlings. Results showed that the dry matter accumulation of plants was restrained under low night temperature. Total chlorophyll content and net photosynthetic rate decreased. The stomatal conductance (Gs), intercellular CO₂ concentration (Ci), transpiration rate (Tr) decreased but the stomatal limitation (Ls) increased in comparison with the control. The photosynthetic rate and related factors could be resumed to normal standard after 10 days treatment of 12℃ and 9℃. Photosynthetic related factors could be recovered, but the net photosynthetic rate could not resumed at 6℃. This indicated that the low photosynthetic rate was not related to Gs, Ci, Tr and Ls during the recovery period after 6℃ treatment. Fv/Fm, Φ_{PS} , ETR were not significantly affected under low night temperature, because all of them could be recovered soon after released from low night temperature stress. The results indicated that PS of tomato seedlings was not damaged under the low night temperature and the period of treatment within the designed experiments.

Key words: Tomato; *Lycopersicon esculentum*; Low night temperature; Photosynthesis; Chlorophyll fluorescence

番茄设施栽培中常出现低温引起的生育障碍, 从而影响番茄的产量与品质。有关低温对番茄产生胁迫作用的研究多集中在生长发育及产量和品质方面, 而关于低温对番茄光合特性影响的研究^[1,2]多是探讨了极端弱光条件下低温对番茄的光抑制作用, 对番茄适宜光照条件下夜间低温对光合作用影响的系统研究尚少见报道, 尤其是夜间低温处理后的恢复特性方面研究更少。作者通过研究了不同的夜间低温处理及恢复过程中番茄的净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度以及叶绿素荧光参数等的变化, 以期进一步探明夜间低温对番茄光合物质生产的限制因素, 为环境调控提供理论依据。

收稿日期: 2005-11-14; 修回日期: 2006-04-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30170640); 辽宁省自然科学基金资助项目 (20022080)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: ltl@syau.edu.cn)

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2004年春季在沈阳农业大学蔬菜试验基地进行。供试番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 品种为‘辽园多丽’。穴盘基质育苗, 2片真叶时分苗至 15 cm ×15 cm育苗钵中, 移入日光温室内的温度处理室中。温度处理室内保持昼温 (25 ±1) , 夜温 (15 ±1) 。当幼苗长至 4叶 1心时 (播种后 40 d) 开始采用日本 SANYO 公司生产的多用途光照培养箱, 进行每天 11 h夜温分别为 12 、 9 、 6 低温处理 10 d, 以夜温 15 为对照; 昼温为 (25 ±1) , 11 h; 处理前及处理后有 1 h 的温度过渡缓冲时间。处理期间光周期均为 12 h, 自然光照 (300 ~ 600 μmol · m⁻² · s⁻¹)。处理完毕后均移至日光温室内的温度处理室中进行 10 d昼温 (25 ±1) 、夜温 15 条件下的恢复。每处理 20株, 采用单株取样, 3次重复, 测定叶为完全展开的第 4片功能叶。

温度处理室采用空调机制冷, 暖风机加热, 通过自动控温系统—GIC- 型温室环境智能化控制器 (沈阳农业大学工厂化中心制造) 进行温度调控; 控制器控制排风扇适时调节处理区内的湿度 (白天 50% ~ 75%, 夜间 60% ~ 95%) 以减少处理间差异。

1.2 测定内容与方法

植株干样质量的测定: 分别于处理 5 d、10 d和恢复 5 d、10 d的 6时取样进行测定。低温抑制百分率 (%) = (1 - 低温处理植株干样质量 / 对照植株干样质量) × 100。取幼苗第 4功能叶, 用乙醇: 丙酮: 水体积比为 4.5 : 4.5 : 1的混合液浸提后, 用 Lambda25紫外 / 可见分光光度计测定叶绿素含量。

采用 LI-6400便携式光合测定仪 (美国) 测定光量子通量密度为 600 μmol · m⁻² · s⁻¹下各处理叶片的净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs)、胞间 CO₂ 浓度 (Ci)、蒸腾速率 (Tr)、气孔限制值 (Ls = 1 - Ci/Ca, Ca为大气中 CO₂ 浓度)。叶片的光化学效率 (Fv/Fm)、光合电子传递量子效率 ϕ_{PS} 、电子传递速率 (ETR), 测定前先对叶片暗适应 30 min, 测定 Fv/Fm后打开内源光对植株进行光活化, 稳定后测定 ϕ_{PS} 及 ETR, 测定时光照为 300 μmol · m⁻² · s⁻¹。

2 结果与分析

2.1 夜间低温对番茄生长的影响及其恢复特性

从表 1可以看出, 夜间低温处理抑制了番茄植株总干物质积累, 温度越低抑制越重。12 、 9 夜低温处理与对照相比干物质减少, 但差异不显著。6 夜低温处理 5 d后, 其干物质显著低于 15 处理 (对照) 和 12 夜低温处理, 但与 9 夜低温处理差异不显著; 处理 10 d后显著低于对照和 12 与 9 夜低温处理。恢复 5 d后, 6 和 9 夜低温处理的植株干物质显著低于对照, 说明 6 和 9 夜低温处理对番茄植株干样质量的影响在处理结束后仍有一定的后作用; 恢复 10 d后, 12 和 9 夜低温处理与对照无显著差异, 而 6 夜低温处理仍显著低于对照。

表 1 夜间低温处理对番茄幼苗干样质量的影响

Table 1 Effects of low night temperature on dry mass of tomato seedlings

处理 Treatment ()	处理 5 d Treatment for 5 d		处理 10 d Treatment for 10 d		恢复 5 d Recovery for 5 d		恢复 10 d Recovery for 10 d	
	干样质量 Dry mass (g · plant ⁻¹)	抑制百分率 Inhibition by chilling (%)	干样质量 Dry mass (g · plant ⁻¹)	抑制百分率 Inhibition by chilling (%)	干样质量 Dry mass (g · plant ⁻¹)	抑制百分率 Inhibition by chilling (%)	干样质量 Dry mass (g · plant ⁻¹)	抑制百分率 Inhibition by chilling (%)
15	1.1230a		1.7519a		3.2240a		4.3456a	
12	1.0734a	4.4167	1.6518a	5.7157	3.2212a	0.0868	4.3414a	0.0978
9	1.0545ab	6.0997	1.5983a	8.7705	3.0198b	6.3348	4.2454a	2.3058
6	0.9828b	12.4844	1.4727b	15.9389	2.8925b	10.2823	4.1905b	3.5691

注: a, b, c, d分别表示 $P=0.05$ 水平下的差异显著性。

Note: a, b, c, d indicated the significance at the level of $P=0.05$.

2.2 夜间不同低温对番茄叶片叶绿素含量的影响及其恢复特性

从图 1 可以看出, 夜低温条件下番茄叶片总叶绿素含量呈下降趋势, 而且温度越低, 降低越明显, 12、9、6 夜低温处理 10 d 的降幅分别为 4.56%, 17.83%, 20.50%。在恢复期间, 12 夜低温处理恢复 10 d 时叶绿素含量已达到对照水平, 而 9、6 夜低温处理仍低于对照。

2.3 夜间不同低温对番茄光合作用的影响及其恢复特性

从图 2 可以看出, 夜间低温处理使番茄叶片净光合速率 (P_n) 下降, 夜温越低下降越明显。12、9、6 夜低温处理 5 d 时, P_n 降幅分别为 0.53%, 13.16%, 28.52%; 处理 10 d 时降幅分别为 21.85%, 35.10%, 34.44%; 12、9 夜低温处理恢复 5 d 即可达到对照水平, 而 6 夜低温处理到第 10 天仍未达到对照水平, 降幅仍为 14.52%。

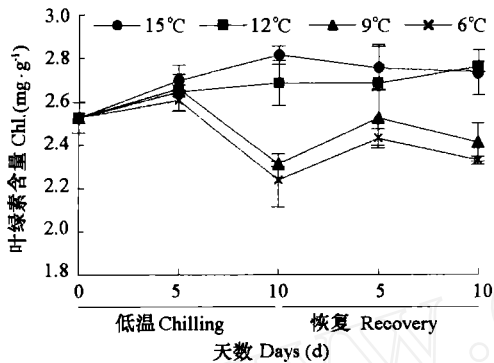


图 1 夜间低温对番茄叶片叶绿素含量的影响及其恢复特性

Fig 1 Effects of low night temperature on chlorophyll contents of tomato leaves and the recovery characters

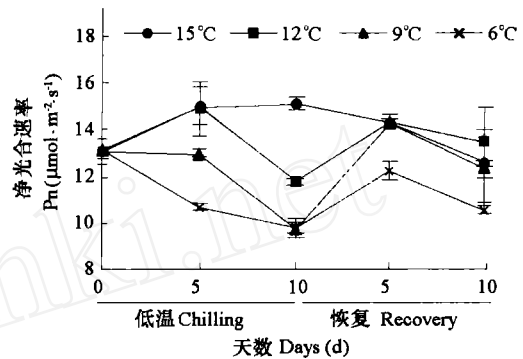


图 2 夜间低温对番茄光合速率的影响及其恢复特性

Fig 2 Effects of low night temperature on photosynthetic rate of tomato and the recovery characters

从图 3 可以看出, 气孔导度 (G_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i)、蒸腾速率 (Tr) 皆随夜温降低呈下降趋势, 处理期间与对照相比, 12、9、6 夜低温处理平均降幅, G_s 为 24.93%、43.99%、52.92%, C_i 为 4.45%、20.41%、22.58%, Tr 为 24.98%、36.48%、46.13%。夜低温处理结束后于 15 夜温下恢复 5 d, G_s 、 C_i 、 Tr 均达到对照水平, 而当恢复 10 d 时, G_s 、 C_i 、 Tr 均高于对照。但气孔限制值 (L_s) 则恰好与 G_s 、 C_i 、 Tr 相反。

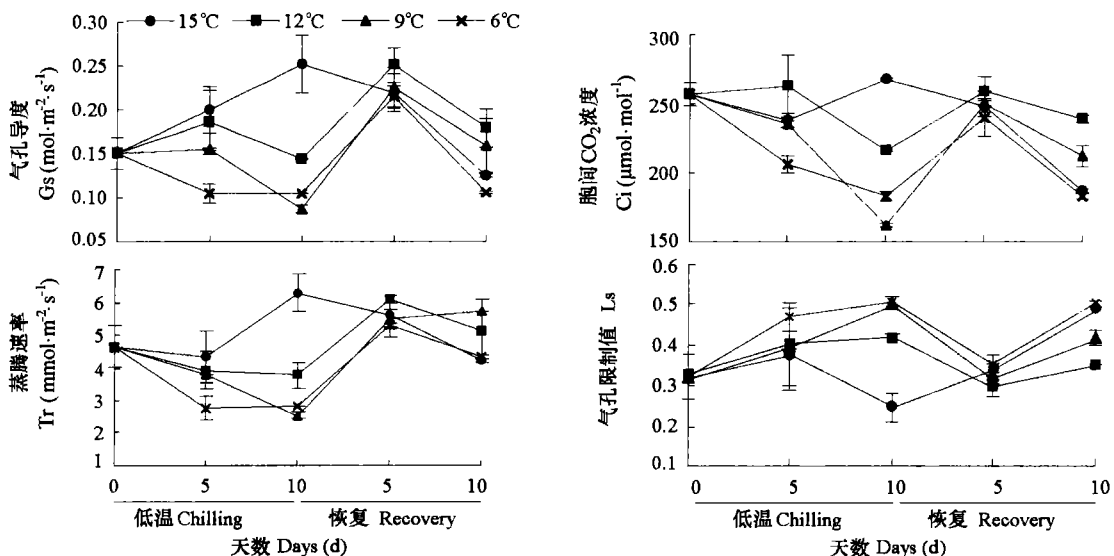


图 3 夜间低温对番茄光合作用相关因素的影响及其恢复特性

Fig 3 Effects of different low night temperature on photosynthesis related factors of tomato and the recovery characters

2.4 夜间不同低温对番茄叶绿素荧光参数的影响及其恢复特性

从图 4 可以看出, 夜间低温处理对 F_v/F_m 有明显的影响, 经过 5 d 夜低温处理, 只有 6℃ 夜低温处理 5 d 即与对照有显著差异 ($P = 0.05$); 而 9℃ 夜低温处理 10 d 与对照才有显著差异, 但与 6℃ 夜低温处理的 F_v/F_m 差异不显著; 12℃ 夜低温处理直至 10 d 仍与对照无显著差异。所有夜低温处理恢复 5 d 皆达到对照水平。

经过夜低温处理后, Φ_{PS} 、ETR 呈下降趋势, 但幅度很小, 6℃ 夜低温处理 5 d 则与对照差异显著, 其它处理直至 10 d 与对照差异皆不显著。经过 5 d 恢复所有处理都达到对照水平。

3 讨论

低温能破坏所有光合作用的组成成分, 不仅可以引起光合机构的异常, 同时也影响碳还原循环及气孔的关闭^[3]。而夜低温的影响能够持续到第 2 天的一整天, 甚至在恢复过程中, 很多植物对夜低温的反应表现出迟滞性^[4-6]。本试验结果表明夜间低温处理使番茄叶片光合作用下降, 温度越低光合作用降低越明显。伴随光合速率的下降, 气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率皆呈下降趋势, 气孔限制值呈增大趋势。说明 12℃、9℃

、6℃ 夜低温处理导致番茄幼苗叶片净光合速率下降的原因, 气孔限制可能是首要限制因素。由于本试验光合速率是在夜低温处理后恢复 1 h、光适应 1 h 后测定的, 关于夜低温处理后 1 d 中气孔的变化还有待研究。在恢复期间, 12℃ 夜低温处理在恢复到第 10 天时其光合速率值已超过对照, 其原因可能与植株的生长发育速度有关。6℃ 夜低温处理在恢复到第 5 天时, 光合作用相关因素气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率、气孔限制值已达到对照水平, 但光合速率值与对照差异显著。说明在恢复期间 6℃ 夜低温处理光合速率的降低与气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率、气孔限制值无关。有研究表明: 低温光照处理后光合作用的下降主要是由核酮糖-1, 5-二磷酸羧化加氧酶 (Rubisco) 活性下降所引起的^[7], 因此夜间低温对酶促反应的影响还需进一步研究。

F_v/F_m 常被用作标明环境胁迫程度的指标和探针, 前人报导 PS 失活或被破坏则导致初始荧光 F_0 的升高^[8], 本试验测得 F_0 在夜低温处理期间变化不规律 (数据未列出), F_v/F_m 经过 5 d 恢复即达到对照水平。说明本试验所设定的夜间低温对 PS 的影响是可逆的, 未对 PS 系统造成伤害。本试验 12℃、9℃ 夜低温处理 10 d 后, Φ_{PS} 、ETR 下降幅度很较小, 与 15℃ 处理 (对照) 差异不显著。说明 12℃、9℃ 夜低温处理 10 d 未影响到 PS 光量子利用效率及电子传递速率; 6℃ 夜低温处理 5 d 则影响了 PS 光量子利用效率及电子传递速率, 但这种影响是可逆的, 恢复 5 d 即可达到对照水平。

番茄光合物质的生产主要通过光合作用的强弱来体现, 夜间低温抑制了番茄的光合作用, 进一步抑制了总干物质的合成。12℃、9℃ 夜低温对番茄的影响是可逆的, 在连续低温处理 10 d 的情况下, 环境胁迫一经解除可以得到恢复; 而 6℃ 夜低温连续处理 5 d 就与对照有显著差异, 连续夜低温处理 10 d 则不能得到恢复, 说明 6℃ 夜低温对番茄已造成伤害。

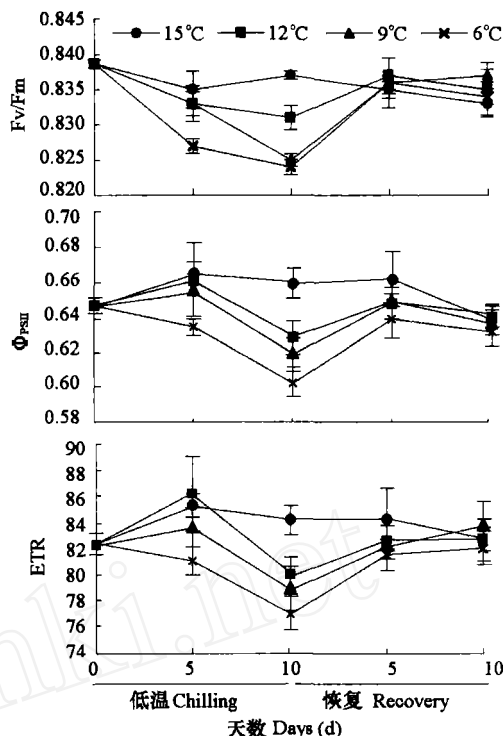


图 4 夜间不同低温对番茄叶片叶绿素光化学效率 (F_v/F_m)、光合电子传递量子效率 (Φ_{PS}) 和光合电子传递速率 (ETR) 的影响及其恢复特性

Fig. 4 Effects of different low night temperature on photochemical efficiency (F_v/F_m), Φ_{PS} and ETR in tomato leaves and the recovery characters

参考文献:

- 1 黄伟, 任华中, 张福漫. 低温弱光对番茄苗期生长和光合作用的影响. 中国蔬菜, 2002 (4): 15~17
Hang W, Reng H Z, Zhang F M. Influences of low temperature and poor light on growth and photosynthesis of tomato seedling. China Vegetables, 2002 (4): 15~17 (in Chinese)
- 2 胡文海, 喻景权. 低温弱光对番茄叶片光合作用和叶绿素荧光参数的影响. 园艺学报, 2001, 28 (1): 41~46
Hu W H, Yu J Q. Effects of Chilling under low light on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristic in tomato leaves. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28 (1): 41~46 (in Chinese)
- 3 Allen D J, Ort D R. Impact of chilling temperatures on photosynthesis in warm climate plants. Trends in Plant Science, 2001, 6: 36~42
- 4 Allen D J, Ratner K, Giller Y E, Gussakovsky E E, Shahak Y, Ort D R. An overnight chill induces a delayed inhibition of photosynthesis at midday in mango. Journal of Experimental Botany, 2000, 51: 1893~1902
- 5 Long S P, East T M, Baker N R. Chilling damage to photosynthesis in young *Zea mays* L. Effects of light and temperature variation on photosynthetic carbon dioxide assimilation. Journal of Experimental Botany, 1983, 34: 177~188
- 6 Bauer H, Wier R, Hatheway W H, Larcher W. Photosynthesis of *Coffea arabica* after chilling. Physiologia Plantarum, 1985, 64: 449~454
- 7 Hutchison R S, Groom Q, Ort D R. Differential effects of chilling-induced photooxidation on the redox regulation of photosynthetic enzymes. Biochemistry, 2000, 39: 6679~6688
- 8 Demmig B, Björkman O. Comparison of effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O_2 evolution in leaves of higher plants. Planta, 1987, 171: 171~184

新书推荐

《园艺作物基因组学研究》 屈冬玉 主编

《园艺作物基因组学研究》一书收集了中英文论文 38 篇, 涉及了旨在提高蔬菜作物营养品质、抗病性和产量的基因组学、功能基因组学和生物信息学等方面的研究, 突出体现了甘蓝显性雄性不育基因定位与基因表达、马铃薯晚疫病病毒毒力基因克隆、番茄抗白粉病基因表达、白菜类作物遗传作图与微量营养成分含量遗传分析等方面的研究进展。

本书是中国农业科学院与荷兰瓦赫宁根大学开展的“蔬菜基因组学——从作物生产到健康食品”计划 (2001~2005) 的最新成果汇总, 作为一部学术性著作, 该书反映了蔬菜作物基因组学与功能基因组学的最新研究动态, 对从事蔬菜作物遗传学、病理学、基因组学和功能基因组学等研究的人员具有很高的参考价值。定价: 143 元 (含邮费)。

《果树钙素营养与生理》

本书是针对目前我国果实品质下降和生理病害日趋严重的现实编写的。全书共分六章, 比较详细地总结了果树缺钙症、果实钙素营养水平的调节, Ca^{2+} 在树体内的运转与分配规律, 钙与花芽分化、花粉萌发和花粉管生长、结实及发育之间的关系, 钙参与果实成熟衰老和抗逆性的调控机制, 以及典型缺钙症——苹果苦痘病研究的评述等。

本书由关军锋、(德) 索尔编著, 北京: 科学出版社, 2005 年 7 月出版, 可作为大专院校和科研单位的果树学、植物生理学、植物营养学等相关专业人员的参考书。定价: 52 元 (含邮费)。

购书者请通过邮局汇款至北京中关村南大街 12 号中国农科院蔬菜花卉所《园艺学报》编辑部, 邮编 100081。