

遮荫对茄子幼苗生长和光合特性的影响

吴雪霞, 查丁石

(上海市农业科学院 园艺研究所, 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海 201106)

摘要: 以茄子为材料, 研究了遮荫处理对茄子幼苗生长和光合作用的影响。结果表明, 遮荫处理增加了茄子株高, 降低了茎粗、比叶重以及 SPAD 值; 显著降低了茄子叶片的光补偿点 (LCP)、光饱和点 (LSP)、光饱和光合速率和表观量子效率 (AQY)。全光照下, 茄子的净光合速率日变化呈双峰曲线, 高峰期出现在 9:00 和 13:00, 有光合“午休”现象; 遮荫条件下, 茄子叶片净光合速率日变化均呈单峰曲线, 高峰在 11:00。遮荫处理使叶片气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (T_r)、水分利用率 (WUE) 和气孔限制值 (L_s) 均下降, 胞间 CO_2 浓度 (C_i) 升高。以上参数表明, 遮荫条件下, 茄子幼苗生长和光合作用均受到影响, 从而导致光合能力的下降, 影响其正常生长, 且遮荫程度越大, 光抑制愈严重。

关键词: 遮荫; 茄子; 生长; 光合特性

中图分类号: S641.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2010)03-0102-06

Effects of Shading on Growth and Photosynthetic Characteristics of Eggplant Seedling

WU Xue-xia, ZHA Ding-shi

(Horticultural Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology, Shanghai 201106, China)

Abstract: Effects of shading on growth and photosynthesis were conducted in eggplant seedling. The results showed that plant height was higher, but stem diameter, specific leaf weight (SLW) and SPAD value under shading condition were lower than those of control. Light saturation point (LSP), light compensation point (LCP), photosynthetic rate at light saturation point and apparent quantum yield (AQY) significantly became lower under low light stress. The curves of diurnal variation in net photosynthetic rate (P_n) have two peaks (at 9:00 and 11:00), a midday depression under full sunlight; whereas under shading treatment, the curve has only one peak at 11:00. Leaf stomatal conductance (G_s), the transpiration rate (T_r), water use efficiency (WUE) and stomatal limitation (L_s) were decreased under shading, while intercellular CO_2 concentration (C_i) were increased. The results above indicated the growth and photosynthesis of eggplant were inhibited, which affected the development of the photosynthetic organs and the photosynthetic capacity was declined and normal growth was inhibited, and the inhibition was decreased with increasing of shade degrees.

Key words: Shading; Eggplant; Growth; Photosynthetic characteristics

随着我国蔬菜生产水平的不断提高, 设施栽培已成为当代蔬菜生产的重要组成部分。保护地内遮荫环境对植株生长的不利影响成为亟待解决的问题, 而研究遮荫环境下蔬菜的光合生理对改善设施栽培措施和选育适应遮荫环境的种质都具有一定的意义。茄子是设施栽培的主要蔬菜品种之一, 目前对

茄子的研究主要集中在低温^[1-3]、耐盐^[4,5]等逆境方面, 遮荫对茄子生长发育与光合作用特性影响的生理机理研究较少报道。

光照强度是影响植物光合作用的主导生态因子, 过高或过低均会导致光合能力降低^[6-8]。杨晓盆等^[9]报道在温室栽培中, 25% 的适度遮荫有利于

收稿日期: 2009-12-25

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目 (2008BAD97B06)

作者简介: 吴雪霞 (1978-), 女, 山东菏泽人, 在读博士, 主要从事茄子栽培生理和生物技术研究。

通讯作者: 查丁石 (1966-), 男, 江苏张家港人, 研究员, 主要从事茄子育种研究。

提高茶梅的光合能力,且枝叶生长健壮,叶色深绿,株型完整。曹珂等^[10]报道遮荫下,桃树通过降低光补偿点、夜间呼吸速率、增大气孔导度、蒸腾速率、增加叶绿素b相对含量等生理机制适应遮荫环境。潘远智和江明艳^[11]研究认为遮荫使一品红叶绿素含量增加,叶色浓绿,但降低光合速率,减少叶片中可溶性糖和可溶性蛋白质含量,抑制侧枝的生长。本试验研究了不同遮荫处理对茄子幼苗生长发育与光合特性的影响,探索光强对茄子光合生理的影响机制,以期为温室栽培茄子的光环境生态调控提供理论依据与参考。

1 材料和方法

1.1 材料

供试茄子(*Solanum melongena* L.) 沪茄 08-9,由上海市农业科学院园艺研究所提供。

1.2 方法

1.2.1 试材培育 试验在上海市农业科学院园艺研究所 GSW7430 连栋塑料温室内进行。种子经 0.12 g/L GA 浸种催芽后播于直径 10 cm、高 10 cm 的塑料营养钵中,以蛭石作基质,每钵播 1 粒种子,共 100 粒种子。真叶展开后每 2 d 浇 1 次 1/8 浓度日本园试营养液,每株浇 50 mL,3 片真叶后每株浇 80 mL。

1.2.2 试验处理 当幼苗具有 4~5 片真叶时,选取整齐一致的植株进行遮荫处理。各处理分别为:日光条件下,对照,以 S0 表示;1 层遮阳网,以 S1 表示;2 层遮阳网,以 S2 表示。每处理重复 3 次,每重复 6 株。

1.2.3 测定项目与方法 处理第 10 天于晴天条件下,选取植株展开心叶下第 3~4 叶,利用 LI-6400 光合仪(美国 LI-COR 公司生产),于 7:00-17:00 测定叶片的净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度

(Gs) 和胞间 CO₂ 浓度(Ci)。水分利用效率(WUE = Pn/Tr, μmol/mol),气孔限制值(Ls = 1 - Ci/Ca)。每时间点重复测定 5 次,取其平均值。

光合作用光响应曲线测定:在 CO₂ 浓度(400 ± 10) μmol/mol,温度(25 ± 1) °C,相对湿度 40% ~ 50%,叶室光合有效辐射(PAR) 设置梯度为 1 500, 1 200, 1 000, 800, 600, 400, 300, 200, 150, 100, 80, 50 μmol/(m²·s) 条件下,测定净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs) 和胞间 CO₂ 浓度(Ci) 等参数。响应进程分别用 $y = a + b\ln x$ 和 $y = ax^2 + bx + c$ 方程(x 为光合有效辐射, y 为净光合速率) 拟合,求出光补偿点(LCP) 与光饱和点(LSP)。PAR 在 0 ~ 300 μmol/(m²·s) 范围内通过线性回归求 Pn-PAR 曲线初始斜率,即为表观量子效率(AQY)。

相对叶绿素含量用 SPAD-502 型手提式叶绿素含量仪进行测定(日本美能达有限公司生产)。比叶重含量采用铜模(2 cm×2 cm) 在叶主脉两侧打孔,每处理取同一高度的叶片 10 片打孔,置于 ISO9001 电热恒温箱铝盒中,120°C 条件下杀青烘干至恒重,电子天平称重。植株株高、茎粗采用常规方法进行。

1.3 统计分析

数据采用 Microsoft Excel 软件进行绘图,用 SPSS 统计软件对平均数用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 遮荫对茄子幼苗生长的影响

由表 1 可以看出,遮荫条件下,各项指标都在变化,但变化的程度有所不同。随着遮荫程度的增加,株高呈现增加的趋势,叶长和叶宽先增加后降低,但差异均不显著。

表 1 遮荫对茄子幼苗生长和 SPAD 值的影响

Tab.1 Effects of shades on growth and SPAD value of eggplant seedlings

生物学指标 Biological index	处理 Treatment		
	S0	S1	S2
株高/cm Plant height	28.90 ± 2.39a	30.57 ± 4.14a	30.93 ± 0.51a
茎粗/cm Stem diameter	0.637 ± 0.040a	0.606 ± 0.004ab	0.555 ± 0.045b
叶长/cm Leaf length	16.63 ± 1.21a	17.47 ± 2.34a	16.77 ± 1.61a
叶宽/cm Leaf width	11.10 ± 0.62a	12.43 ± 1.80a	11.23 ± 1.22a
比叶重/(mg/cm ²) Specific leaf weight	0.048 ± 0.003a	0.033 ± 0.001b	0.025 ± 0.003c
SPAD 值 SPAD value	52.37 ± 1.26a	50.20 ± 0.85a	44.73 ± 2.45b

注:同一指标不同字母表示差异达 5% 显著水平。下同。

Note: Different letters within the same index and same time indicate significant difference at 5% level. The same below.

遮荫使茎粗、比叶重和 SPAD 值降低,与 S0 相比, S1 处理下的茎粗、SPAD 值变化不显著,比叶重显著降低; S2 处理下的茎粗、比叶重和 SPAD 值均

显著下降(表 1)。

2.2 遮荫对茄子幼苗光合-光响应曲线的影响

图 1-A 表明,茄子幼苗经遮荫处理后对光强的

响应与全光照(S0) 基本一致 ,光合速率随光强上升而升高 ,超过一定范围后 ,均有降低的趋势 ,在不同光强下其光合速率均低于对照。分别应用二次方程、对数模型对光响应数据进行拟合 ,回归方程见表 2(回归方程 1 和 2) ,趋势线如图 1-A 所示 ,随着遮荫程度的提高 ,所有遮荫处理整个曲线依次比对照低 ,在不同光强下其光合速率均依次低于全光照的。

由表 2 可以看出 ,遮荫对光饱和点、光饱和光合速率和光补偿点均有显著影响 ,随着遮荫程度的提高 ,光饱和点、光饱和光合速率和光补偿点均依次降

低(根据回归方程 1 计算出光饱和点、光饱和光合速率 ,回归方程 2 计算出光补偿点) 。与 S0 相比 ,S1 处理下的光饱和点、光饱和光合速率和光补偿点分别下降了 10. 64% ,19. 13% 和 12. 64% ; S2 处理下的光饱和点、光饱和光合速率和光补偿点分别下降了 20. 54% ,35. 85% 和 12. 84% 。

为进一步研究茄子的光能利用效率 ,对在低光强下的光合速率进行回归分析 ,结果表明(表 3) ,表观量子效率随遮荫程度的增加显著下降 ,S1 ,S2 处理下的分别比 S0 降低了 4. 77% ,10. 74% 。

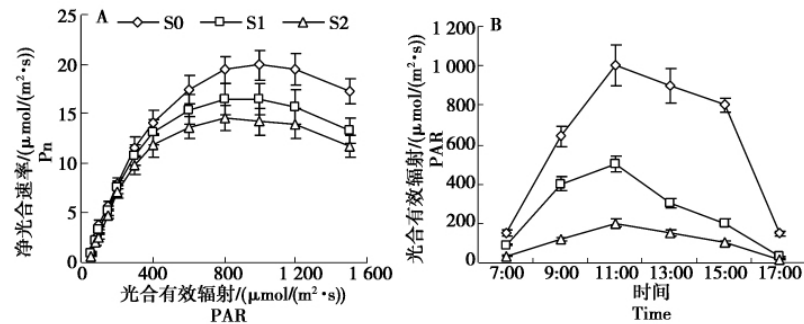


图 1 遮荫对茄子幼苗叶片 Pn-PAR 响应曲线和光合有效辐射日变化的影响
Fig. 1 Effects of shades on Pn-PAR curve of eggplant seedlings and diurnal changes of PAR

表 2 茄子光合-光响应曲线回归方程

Tab.2 Regression equation of net photosynthetic rate and light response of eggplant			
光合参数 Photosynthetic parameter	处理 Treatment		
	S0	S1	S2
光饱和点 /(μmol/(m ² •s)) LSP	1 010a	902. 5b	802. 5c
光饱和光合速率 /(mol/(m ² •s))	20. 48a	16. 56b	3. 14c
Photosynthetic rate at LSP			
回归方程 1 Regression equation 1	$y = -2 \times 10^{-5} x^2 + 0.040 4x + 0.076 1$	$y = -2 \times 10^{-5} x^2 + 0.036 1x + 0.270 1$	$y = -2 \times 10^{-5} x^2 + 0.032 1x + 0.256$
R ²	0. 989	0. 972	0. 962
光补偿点 /(μmol/(m ² •s)) LCP	47. 88a	41. 83b	41. 73b
回归方程 2 Regression equation 2	$y = 6. 132 21\ln(x) - 23. 724$	$y = 4. 929 8\ln(x) - 18. 406$	$y = 4. 358 5\ln(x) - 16. 263$
R ²	0. 947	0. 902	0. 898

表 3 茄子幼苗表观量子效率及回归方程
Tab. 3 The apparent quantum efficiency and its regression equation of eggplant seedling

处理 Treatments	表观量子效率 AQY	回归方程 Regression equation	R ²
S0	0. 041 9a	$y = 0. 041 9x - 0. 690 8$	0. 995
S1	0. 039 9b	$y = 0. 039 9x - 0. 825 4$	0. 993
S2	0. 037 4c	$y = 0. 037 4x - 0. 990 1$	0. 989

2. 3 遮荫对光合有效辐射日变化的影响
试验期间光合有效辐射日变化如图 1-B 所示。在不同的遮光条件下 ,光合有效辐射日变化呈现显著的单峰变化趋势 ,即从 7: 00 开始逐渐增强 ,在 11: 00 达到最大 ,此后开始降低。全光照条件下(S0) 最大光强可达到 1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,S1 和 S2 处理

下最大光合有效辐射分别为 500 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。
2. 4 遮荫对茄子幼苗净光合速率、蒸腾速率、气孔导度及胞间 CO₂ 浓度日变化的影响

不同遮荫处理茄子叶片净光合速率测定结果表明(图 2-A) ,全光照条件下(S0) ,Pn 日变化呈双峰曲线 ,两个高峰期分别出现在 9: 00 和 15: 00 ,峰值分别为 16. 68 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 17. 55 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 11: 00 左右出现光合“午休”现象。S1、S2 处理条件下 ,Pn 日变化曲线相似 ,呈单峰曲线 ,高峰均出现在 11: 00 ,峰值分别为 10. 80 5. 00 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,比全光照条件下的最高峰值低 38. 46% ,71. 51% ,且在一天中所有时间点的净光合速率均明显低于全光照 ,

同时一天中每个时间点 S2 处理条件下的 P_n 均显著低于 S1。

由图 2-B 可以看出,不同遮荫条件下,气孔导度 (G_s) 的日变化趋势与 P_n 基本一致,全光照条件下 (S0), G_s 日变化呈双峰曲线,两个高峰期分别出现在 9:00 和 15:00,峰值分别为 $0.201 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $0.260 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,11:00 处于低谷, G_s 值为 $0.179 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。S1、S2 处理条件下的 G_s 均呈单峰曲线,13:00 出现高峰,且一天中每个时间点的气孔导度均显著低于 S0 处理下的;除 17:00 时 S2 处理下的 G_s 与 S1 没有显著差异外,其余各点均显著下降。

由图 2-C 可知,随着遮光程度加剧,蒸腾速率

(Tr) 逐渐下降,不同遮荫条件下, Tr 日变化趋势基本相同,均呈单峰曲线,高峰均出现在 13:00,S0、S1 和 S2 处理下的峰值分别为 8.56 、 5.81 和 $3.56 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。S0、S1 和 S2 处理间差异均显著。

图 2-D 表明,不同处理下的胞间 CO_2 浓度 (C_i) 日变化曲线相似,7:00–11:00 下降,11:00–17:00 逐渐增加。与 S0 相比,7:00 时,S1、S2 处理均显著升高;9:00、15:00 时,S1 处理 C_i 升高但没有显著差异,S2 处理显著升高;11:00 时,S1、S2 处理均显著升高,S1 处理显著低于 S2;13:00 时,S1、S2 处理均显著升高,S1、S2 处理间没有显著变化;17:00 时,S1、S2 处理升高但差异均不显著。

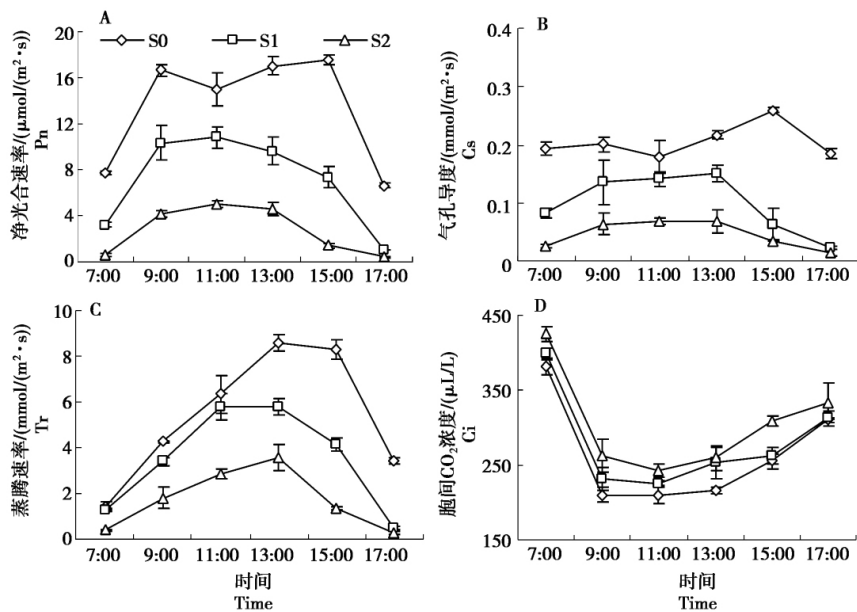


图 2 遮荫对茄子幼苗光合特征日变化的影响

Fig. 2 Effects of shades on diurnal variation of photosynthetic changes of eggplant seedlings

2.5 遮荫对茄子幼苗气孔限制值、水分利用效率日变化的影响

由图 3-A 可以看出,随着遮光程度的提高,气孔限制值 (L_s) 逐渐下降。3 种处理条件下茄子叶片 L_s

的日变化基本一致,均呈单峰曲线。7:00–9:00 急剧上升,9:00–11:00 缓慢上升,11:00 分别达到峰值,S0、S1 和 S2 处理下的峰值分别为 0.564 、 0.527 和 0.494 ,此后逐渐下降。与 S0 相比,除 15:00 和

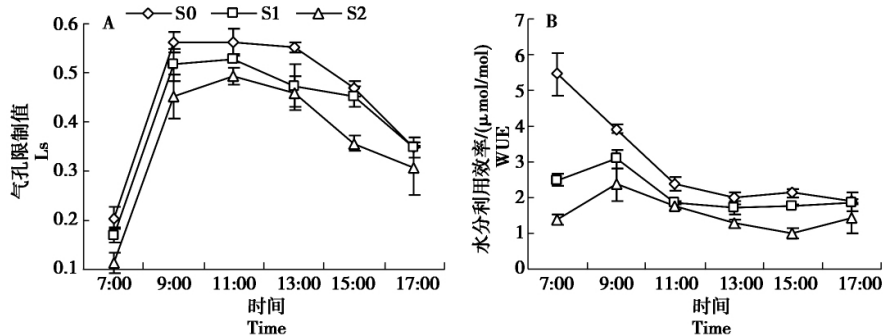


图 3 遮荫对茄子幼苗气孔限制值和水分利用效率日变化的影响

Fig. 3 Effects of shades on diurnal variation of stomatal imitation (L_s) and water use efficiency (WUE) of eggplant seedlings

17:00 外, S_1 处理下的 L_s 均显著下降; 除 17:00 外, S_2 处理下的 L_s 均显著下降。 S_1 于 7:00 和 9:00 处理下的 L_s 均显著高于 S_2 处理下的, 其余时间差异不显著。

图 3-B 表明, 不同遮荫处理水分利用效率的日变化呈现不同的模式。 全光照条件(S_0) 下, 7:00 – 13:00, WUE 急剧下降, 13:00 – 15:00 缓慢上升, 之后下降; S_1 处理下, 7:00 – 9:00 上升, 9:00 – 13:00 下降, 13:00 – 17:00 逐渐上升; S_2 处理下, 7:00 – 9:00 上升, 9:00 – 15:00 下降, 15:00 – 17:00 逐渐上升。 在 7:00 – 17:00 每个点上, S_1 、 S_2 处理均显著低于 S_0 , S_2 处理下的均显著低于 S_1 。

3 讨论

遮阳对植物营养生长的影响主要表现为对叶面积指数、比叶重、株高、茎粗和分枝数等的影响^[12]。 王绍辉等^[13]报道遮阳条件下植物的株高增长, 茎粗变细, 分枝数明显减少, 郁继华报道^[14]遮阳使茄子植株变高, 茎粗变细, 比叶重减小。 本试验中, 遮荫对茄子生长发育的影响主要表现为株高增长, 茎粗变细, 比叶重降低。 是植物对弱光环境做出的典型的形态学反应, 这有利于增加叶片同化组织对输导组织和结构组织的相对比例。

叶绿素是光合作用的光敏催化剂, 与光合作用密切相关, 叶绿素分子能吸收光能, 并能快速、高效传递光能, 通过中心色素分子进行光化学反应, 完成光能的转换。 所以, 叶绿素含量的多少可基本反映出植物的光合能力。 Li 等^[15]发现遮荫使玉米叶片的叶绿素含量降低, George^[16]研究指出, 花生在遮荫 25%、50% 和 75% 的条件下, 叶绿素含量均随遮荫程度的增加而增加, 遮荫 75% 时达到最大值。 本研究结果表明, 苗期一层遮阳网下(S_1) 茄子幼苗叶片的叶绿素总量降低, 但不显著, 而二层遮阳网下(S_2) 茄子幼苗叶片的叶绿素总量显著降低, 这可能由于遮荫程度较大时, 光照太弱, 不利于叶绿素的合成。

光合作用的 LCP、LSP、Amax 和 AQY 是反映光能利用能力和效率的重要指标^[17]。 艾希珍等^[18]在苗期对生姜进行不同程度的遮阳, 结果表明, 适当遮阳(60%) 生姜叶片的 P_n 和 AQY 高于对照; 而遮阳 80% 生姜叶片的 P_n 及 AQY 则明显低于对照; 指出生姜苗期遮阳 60% 较适宜; 还发现生姜光合作用的 LCP、LSP 及 CCP、CSP 均随遮阳程度的增大而降低。 本研究结果表明, 遮荫处理后茄子幼苗的 LCP、LSP、光饱和光合速率和 AQY 下降, 说明遮荫处理不仅影响了茄子幼苗叶片的光能利用能力, 也影响

了其光能利用效率。 遮荫处理后, LCP 降低, 说明对弱光有较强的利用能力; 但由于光饱和点也降低, 对强光的利用能力则较弱, 使叶片对光能利用的范围变小, 同时光能利用效率也降低。 AQY 的降低可能是由于影响了叶绿素含量, 进而影响了叶片固定 CO_2 的能力^[19]。

植物光合作用是植物生产过程中物质积累与生理代谢的基本过程, 也是分析环境因素影响植物生长和代谢的重要手段。 一般条件下, 植物光合作用日变化均有规律可循, 变化曲线呈双峰型或单峰型^[20]。 本试验研究表明, 全光照下茄子幼苗净光合速率日变化呈双峰曲线, 高峰期出现在 9:00 和 15:00, 有明显的光合“午休”现象; 而两种遮荫处理下均呈单峰曲线, 高峰在 11:00。 刘卫琴等^[21]报道遮荫后草莓 P_n 日变化由“双峰”型变为“单峰”型, 和本研究结果一致。 从光合特征 P_n 、 Tr 、 G_s 和 WUE 上看, 遮荫处理在一天中所有时间点上均比全光照均降低, 说明遮荫使光合机构可能受到破坏, 进而影响了光合作用的进行。

逆境胁迫导致植物光合速率降低的原因包括气孔和非气孔因素, 判定依据主要是根据 C_i 和 L_s 的变化方向, 即 C_i 降低和 L_s 升高, 气孔因素是主要因素; C_i 升高和 L_s 降低则非气孔因素是主要原因^[20]。 本试验表明, 全光照条件下(S_0) 7:00 – 11:00, C_i 降低, L_s 升高, 气孔限制为主要因素, 则光合“午休”由气孔因素造成的, 和舒英杰等^[22]研究结果一致; 11:00 – 15:00, C_i 升高, L_s 降低, 非气孔限制为主要因素; 15:00 – 17:00, C_i 降低, L_s 升高, 气孔限制为主要因素。 遮荫条件下, 7:00 – 17:00, C_i 升高, L_s 降低, 非气孔限制为主要因素, 因此, 笔者认为全光照条件下, 茄子幼苗光合速率的下降是气孔限制和非气孔限制共同作用的结果, 两者在不同胁迫阶段发挥的作用不同。 遮荫处理下, 主要是非气孔限制作用的结果。

综上所述, 遮荫条件下, 茄子幼苗生长和光合作用均受到影响, 且遮荫程度越大, 光抑制愈严重。 全光照条件下, 茄子幼苗光合速率的下降是气孔限制和非气孔限制共同控制的结果, 遮荫处理下, 主要是非气孔限制控制, P_n 日变化由“双峰”型变为“单峰”型, 光合“午休”由气孔因素造成的。

参考文献:

- [1] 张国斌, 郁继华. 低温弱光对辣椒幼苗光合特性与光合作用启动时间的影响 [J]. 西北植物学报, 2006, 26 (9): 1770 – 1775.
- [2] 任旭琴, 陈伯清. 低温下辣椒幼苗光合特性的初步研

- 究 [J]. 江苏农业科学, 2006, 6: 243 - 244.
- [3] 姚明华. 茄子耐冷性生理生化的研究 [J]. 园艺学报, 2001, 28(6): 527 - 531.
- [4] 白丽萍, 周宝利, 李 宁, 等. 嫁接茄子对 NaCl 胁迫的反应 [J]. 植物生理学通讯, 2004, 41(1): 31 - 33.
- [5] 刘正鲁, 朱月林, 胡春梅, 等. 氯化钠胁迫对嫁接茄子生长、抗氧化酶活性和活性氧代谢的影响 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 537 - 541.
- [6] Barth C G. Responses of PS II to highlights stress in tropical shade and sun leaves [J]. Plant Cell Environ, 2001, 24: 163 - 176.
- [7] Shi S B, Han F. Middy depression of photosynthesis of *Gentiana straminea* and *Saussurea superba* in alpine Kobresia humilic meadow [J]. Acta Phytophysiol via Sinica, 2001, 27: 123 - 128.
- [8] Cartechini A, Palliotti A. Effects of shading on vine morphology and productivity and leaf gas exchange characteristics in grapevines in the field [J]. Amer J Enol Viticult, 1995, 46: 227 - 234.
- [9] 杨晓益, 杨伟红, 郭晋平, 等. 遮荫对温室盆栽茶梅光合特性及生长发育的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 640 - 643.
- [10] 曹 珂, 王永熙, 王力荣, 等. 遮荫对桃幼树光合特性的影响 [J]. 西北林学院学报, 2004, 19(4): 28 - 31.
- [11] 潘远智, 江明艳. 遮荫对盆栽一品红光合特性及生长的影响 [J]. 园艺学报, 2006, 33(1): 95 - 100.
- [12] 郁继华. 甜椒和茄子光合特性研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2004.
- [13] 王绍辉, 郝翠玲, 张振贤. 植物遮荫效应的研究与进展 [J]. 山东农业大学学报, 1998(29): 130 - 134.
- [14] 郁继华, 舒英杰, 吕军芬, 等. 低温弱光对茄子幼苗光合特性的影响 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(5): 831 - 836.
- [15] Li C H, Luan L M, Wang Q, et al. Effects of seedling shading and light intensity transfer on photosynthetic efficiency of differernt maize(*Zea may* L.) hybrids [J]. Acta Agornomica Sinica, 2005, 31: 381 - 385.
- [16] George S, Bla S. The effect of shade on development and chlorophyll content in leaves of peanut [J]. Abroad Agronomy Oil Plants, 1992: 50 - 51.
- [17] Coilatz G D. Influence of certain environment factors on photorespiration in *Simmondsia chinesis* [J]. Planta, 1997, 134: 127 - 132.
- [18] 艾希珍, 张振贤, 王绍辉, 等. 苗期遮荫对生姜生理生化特性的影响 [J]. 西北农业学报, 1998, 7(2): 109 - 113.
- [19] Eheringer James, Bjorkman Olle. Quantum yield for CO₂ uptake in C₃ and C₄ plants [J]. Plant Physiol, 1977, 59: 86 - 93.
- [20] Farquhar S P, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Ann Rev Plant Physiol, 1982, 33: 317 - 345.
- [21] 刘卫琴, 汪良驹, 刘 晖, 等. 遮阴对丰香草莓光合作用及叶绿素荧光特性的影响 [J]. 果树学报, 2006, 23(2): 209 - 213.
- [22] 舒英杰, 周玉丽, 郁继华. 茄子日变化及光合“午休”的生理生态子分析 [J]. 中国农学通报, 2006, 22(9): 225 - 228.