

黄瓜幼苗光合作用对亚适温弱光胁迫的适应性

梁文娟, 王美玲, 艾希珍^{*}, 孙晓琦, 王洪涛

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 泰安 271018)

摘要: 为探讨黄瓜光合作用对温光逆境的适应机理, 研究了弱光、亚适温、亚适温弱光胁迫处理对津优3号黄瓜幼苗光合作用的影响。结果表明, 弱光、亚适温、亚适温弱光胁迫均使黄瓜幼苗的光合速率(P_n)和RuBP羧化酶活性明显降低, P_n 的主要限制因素是非气孔因素, 但亚适温和亚适温弱光下 P_n 的降低与气孔限制有一定相关性。弱光和亚适温胁迫同时出现时, 温度起主要作用。10 d内弱光及亚适温弱光胁迫可使黄瓜幼苗叶片的光补偿点降低。弱光和亚适温弱光处理的光下实际光化学效率(Φ_{PSII})和初始荧光(F_o)降低, 暗下光化学效率(F_v/F_m)变化不大; 亚适温处理的 Φ_{PSII} 和 F_v/F_m 均降低, F_o 没有明显变化。说明弱光和亚适温弱光处理没有产生明显的光抑制; 亚适温胁迫诱导了黄瓜叶片PSII的光抑制, 但对PSII反应中心的损伤不明显。

关键词: 黄瓜; 弱光; 亚适温; 适应性; 光合作用

中图分类号: S625

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-8-0240-05

梁文娟, 王美玲, 艾希珍, 等. 黄瓜幼苗光合作用对亚适温弱光胁迫的适应性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 240—244.

Liang Wenjuan, Wang Meiling, Ai Xizhen, et al. Photosynthesis adaptation of cucumber seedlings to suboptimal temperature and low light intensity stress[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 240—244.(in Chinese with English abstract)

0 引言

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)属于冷敏感植物, 然而北方日光温室黄瓜以越冬栽培为主, 生育期内经常遭受亚适温或低温弱光胁迫, 使黄瓜生长发育不良, 产量和品质显著下降。因此, 亚适温或低温弱光对黄瓜的生理效应成为近年来黄瓜抗逆生理研究的重要内容。目前有关黄瓜对低温弱光的生理反应已有许多报道, 但这些报道多集中在短时间光下低温对黄瓜的光抑制、膜脂过氧化等的影响^[1-4], 而对较长时间处于亚适温弱光或低温弱光环境中黄瓜光合作用的研究甚少^[5,6]。事实上, 在冬春季日光温室中, 黄瓜遭遇的亚适温弱光逆境比低温更加频繁和长久。近年来, 我们针对较长时间亚适温弱光和较短时间低温弱光对黄瓜的影响进行了一些研究^[7,8], 先后报告了两种逆境对黄瓜生长、需光特性、气孔开张度和叶绿体超微结构等的影响, 发现较长时间亚适温弱光和较短时间低温弱光对黄瓜光合作用的影响机理不同。但在亚适温弱光胁迫下究竟是光起主导作用还是温度起主导作用, 目前结论还不一致。Liebig等^[9]认为, 光照对温室黄瓜产量形成的作用比温度更重要; 而陈青君等^[5]的研

究表明, 在偏低温条件下, 光照起主导作用, 在临界低温条件下, 低温起主导作用。本试验人工模拟(常温)弱光、亚适温(常光)及亚适温弱光条件, 研究温光胁迫对黄瓜气体交换参数、光补偿点、量子效率、荧光参数及羧化酶(RuBPCase)活性等的影响, 旨在探明温光因子对黄瓜光合机构的作用机制及其相互关系, 为设施黄瓜温光管理和高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

试验于2006年在山东农业大学园艺试验站进行。供试黄瓜品种为“津优3号”。9月10日播种, 日光温室内用8 cm×8 cm营养钵土培育苗。育苗环境为: PFD 260~950 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 日均值约510 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 昼/夜温度22~30℃/14~19℃, 均值约为26.5℃/16℃。10月14日选生长一致的幼苗(三叶一心)置人工气候室内进行预处理, 处理条件为: 昼/夜温度25℃/18℃, PFD 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。光周期11 h/13 h。7 d后将幼苗分成4组进行处理, 分别为: 弱光(LL): PFD 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 昼/夜温度25℃/18℃、亚适温(ST): 温度18℃/12℃, PFD 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、亚适温弱光(ST+LL): 温度18℃/12℃, PFD 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和对照(CK): 温度25℃/18℃, PFD 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。分别于处理1, 3, 5, 7, 10和14 d时测定。每处理重复5次, 取平均值。用DPS数据处理系统进行方差分析。

1.2 测定方法

1.2.1 气体交换参数及光响应曲线

用英国PP-Systems公司生产的Ciras-2型光合仪测定

收到日期: 2007-07-17 修订日期: 2007-09-30

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划(2008BADA6B05, 2006BAD07B04-9); 国家自然科学基金(30571271)资助项目

作者简介: 梁文娟(1982—), 女, 山西大同人, 研究方向为蔬菜栽培生理。泰安 山东农业大学园艺科学与工程学院, 271018。

Email: liangwenjuan100@eyou.com

^{*}通讯作者: 艾希珍(1964—), 女, 山东平度人, 教授, 博士生导师, 研究方向为蔬菜栽培生理与分子生物学。泰安 山东农业大学园艺科学与工程学院, 271018。Email: axz@sdau.edu.cn

PFD $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, CO_2 浓度 $350\sim 360 \mu\text{L/L}$, 叶温 $25\pm 1^\circ\text{C}$ 下黄瓜幼苗最佳功能叶 (上数第 2~3 叶) 的光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i)。在 PFD $20\sim 1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内测定 CO_2 浓度为 $350\sim 360 \mu\text{L/L}$ 下的光合-光响应曲线 (P_n -PFD), PFD 由强到弱。回归法求光补偿点 (LCP), 该曲线初始直线部分的斜率为表观量子效率 (AQY)^[10]。PFD、 CO_2 浓度和叶温分别由仪器的可调光源、内置式 CO_2 供气系统调控和温度监控装置控制。

1.2.2 叶绿素荧光参数

将叶片预暗 30 min, 用英国 Hansatech 公司生产的 FMS-2 型调制式叶绿素荧光仪测定暗适应下最大荧光 (F_m)、可变荧光 (F_v)、初始荧光 (F_o) 以及作用光为 $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 下稳态荧光 (F_s)、初始荧光 (F_o')、最大荧光 (F_m')、可变荧光 (F_v') 等荧光参数。各参数的意义及光化学效率计算参照 Demming-Adams 等^[11]及 FMS-2 型叶绿素荧光仪使用手册, 公式如下: 暗适应下最大光化学效率 (F_v/F_m) = $(F_m - F_o)/F_m$; 光适应下实际光化学效率 ($\Phi PSII$) = $(F_m' - F_s)/F_m'$; 光化学猝灭系数 (qP) = $(F_m' - F_s)/(F_m' - F_o')$; 非光化学猝灭系数 (NPQ) = $F_m/F_m' - 1$; 电子传递速率 (ETR) = $[(F_m' - F_s)/F_m'] \times PAR \times 0.5 \times 0.84$

1.2.3 核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶 (RuBPCase) 活性

参照睦晓蕾方法^[12]测定, 以 1 min 内吸光度下降的绝对值表示酶活力。

2 结果与分析

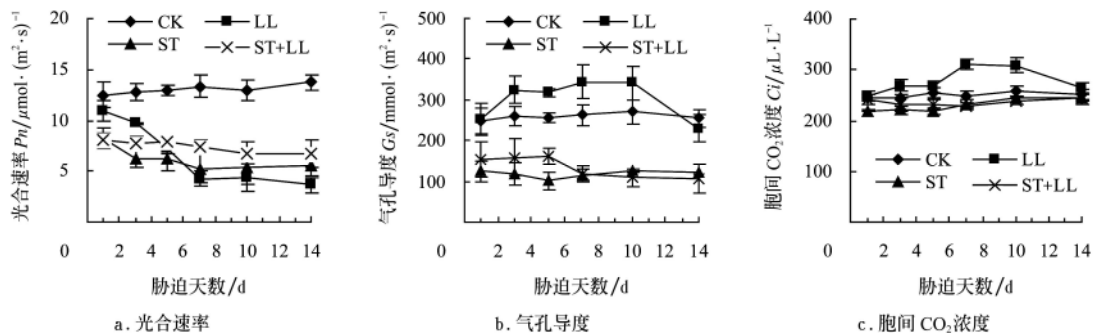
2.1 亚适温弱光胁迫对黄瓜幼苗气体交换参数的影响

2.1.1 对光合速率的影响

相同温光条件下 (25°C , $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 测定, 胁迫 1 d 时, 弱光、亚适温和亚适温弱光处理的 P_n 分别比 CK 降低了 12%、34% 和 36% (图 1a)。胁迫时间延续至 3 d 时, 弱光和亚适温处理的 P_n 持续下降, 而亚适温弱光处理趋于平稳。胁迫时间继续延长, 弱光处理的 P_n 仍以较快的速度下降, 7 d 后降低幅度才逐步减小; 而亚适温和亚适温弱光处理基本稳定或略有回升。胁迫时间达到 14 d 时, 弱光、亚适温和亚适温弱光处理的 P_n 分别比 CK 降低了 71%、56% 和 46%。可见弱光或亚适温单因子胁迫时间超过 3 d 时, 黄瓜 P_n 的受抑程度大于亚适温弱光胁迫。

2.1.2 对气孔导度和胞间 CO_2 浓度的影响

弱光处理的 G_s (图 1b) 和 C_i (图 1c) 在多数时间内高于 CK, 且呈上升趋势, 10 d 后迅速下降; 亚适温和亚适温弱光处理的 G_s 均显著降低, C_i 也有所下降, 但与 CK 差异不显著。可见, 常温下弱光促进黄瓜叶片气孔开放, 限制 P_n 的主要因素是非气孔因素; 但胁迫时间过长, 可能导致气孔关闭, 与幼苗长势渐弱有关。亚适温和亚适温弱光胁迫引起 P_n 降低的主要原因也是非气孔限制, 但与气孔限制有一定相关性。



注: CK: 对照; LL: 弱光; ST: 亚适温; LL+ST: 亚适温弱光。下同

图 1 不同处理黄瓜幼苗光合速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度

Fig.1 Photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s) and intercellular CO_2 concentration (C_i) of cucumber seedlings in different treatments

2.2 亚适温弱光胁迫对黄瓜幼苗光合作用光补偿点和表观量子效率的影响

从图 2a 看出, 对照幼苗叶片 LCP 为 $35\sim 40 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 各胁迫处理的 LCP 低于 CK, 开始时弱光处理的降低幅度最大, 亚适温弱光的其次, 亚适温处理的与 CK 差异较小; 7 d 后弱光处理的 LCP 快速回升, 亚适温处理的也有上升趋势, 而亚适温弱光处理的趋于平稳。最终亚适温弱光处理的 LCP 比 CK 降低了 53%, 弱光和亚适温的分别降低了 19% 和 21%。随着胁迫时间的延长, 各处理黄瓜叶片的 AQY 变化趋势与 P_n 相似, 即开始时较明显降低, 7~10 d 后逐渐平稳或略有回升 (图

2b)。胁迫 14 d 时, 弱光、亚适温和亚适温弱光处理的 AQY 分别降低了 29%、37% 和 37%。

2.3 亚适温弱光胁迫对黄瓜幼苗 RuBPCase 活性的影响

RuBPCase 是光合碳循环中的关键酶, 其活性降低是引起弱光下光合暗反应能力下降的主要原因。所以, 具有稳定的 RuBPCase 活性可能是植物适应弱光环境的主要途径之一^[13]。图 3 是温光胁迫 7 d 时黄瓜幼苗叶片 RuBPCase 活性变化。可以看出, 弱光、亚适温、亚适温弱光胁迫的 RuBPCase 活性分别比 CK 下降了 59%、48% 和 22%, 与 P_n 的变化规律基本一致。表明低温弱光胁迫引起 P_n 降低与 RuBPCase 活性下降密切相关。

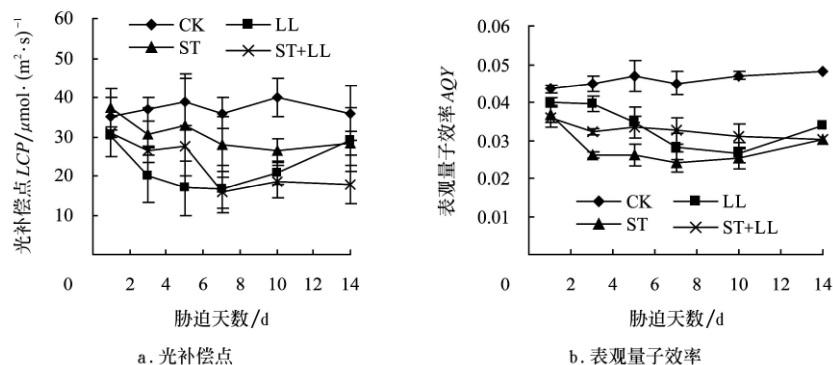


图2 不同处理黄瓜幼苗光补偿点和表观量子效率

Fig.2 Light compensation point(LCP) and apparent quantum yield(AQY) of cucumber seedlings in different treatments

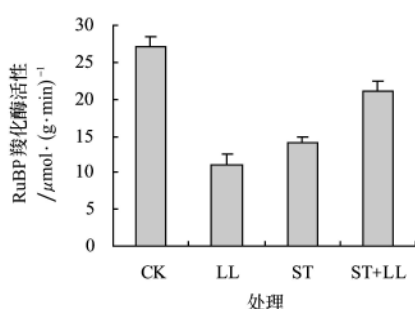


图3 不同处理黄瓜幼苗 RuBP 羧化酶活性

Fig.3 Ribulose 1,5- biphosphate carboxylase(RuBPCase) activity of cucumber seedlings in different treatments

2.4 亚适温弱光胁迫对黄瓜幼苗叶绿素荧光参数的影响

2.4.1 对 $\Phi PS II$ 的影响

在 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 作用光下测定,各处理黄瓜叶片的 $\Phi PS II$ 均有不同程度的降低(图 4a),随着胁迫时间的延长多呈下降趋势,唯亚适温胁迫 10 d 后回升。最终弱光、亚适温和亚适温弱光处理的 $\Phi PS II$ 分别比 CK 降低了 51%、9%和 13%。

2.4.2 对 F_v/F_m 和 F_o 的影响

短时间弱光、亚适温或亚适温弱光胁迫,黄瓜幼苗

的 F_v/F_m (图 4b) 和 F_o (图 4c) 变化不大。胁迫时间超过 7 d 时,亚适温处理的 F_v/F_m 有所降低, F_o 略有升高,其它处理仍无明显变化。胁迫时间延长至 10 d 时,弱光和亚适温处理的 F_v/F_m 均较明显低于 CK,而亚适温弱光胁迫仍无显著变化,各胁迫处理的 F_o 较明显下降。

2.4.3 对光化学猝灭、非光化学猝灭和电子传递速率的影响

qP 为光化学猝灭系数,它反映 $PS II$ 反应中心的开放程度; NQP 是包括热耗散及几个其它能量耗散过程在内的非光化学猝灭过程^[14]。 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 作用光下,各胁迫处理的 qP 在多数时间内低于 CK (图 5a),降低幅度以弱光处理的最大,亚适温弱光处理的最小。但 7 d 后亚适温处理的快速回升,弱光和亚适温弱光处理的持续下降。从图 5b 看出,亚适温和亚适温弱光处理的 NPQ 显著高于 CK,但有随着胁迫时间延长而下降的趋势;而弱光处理的 NPQ 明显低于 CK。各胁迫处理的 ETR 显著降低(图 5c),降低幅度以弱光处理的最大,亚适温弱光处理的最小。随着胁迫时间的延长,弱光处理的 ETR 逐渐降低,而亚适温和亚适温弱光处理的 7 d 后逐步回升。14 d 时弱光处理的 ETR 最低,比 CK 降低了 54%,亚适温和亚适温弱光处理分别降低了 26%和 23%。

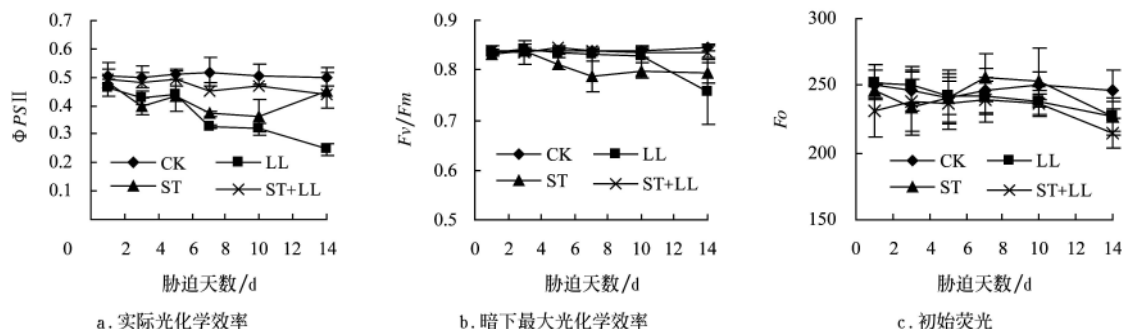


图4 不同处理黄瓜幼苗实际光化学效率、暗下最大光化学效率和初始荧光

Fig.4 Actual photochemical efficiency of $PS II$ ($\Phi PS II$), maximal photochemical efficiency of $PS II$ (F_v/F_m) and initial fluorescence in darkness(F_o) of cucumber seedlings in different treatments

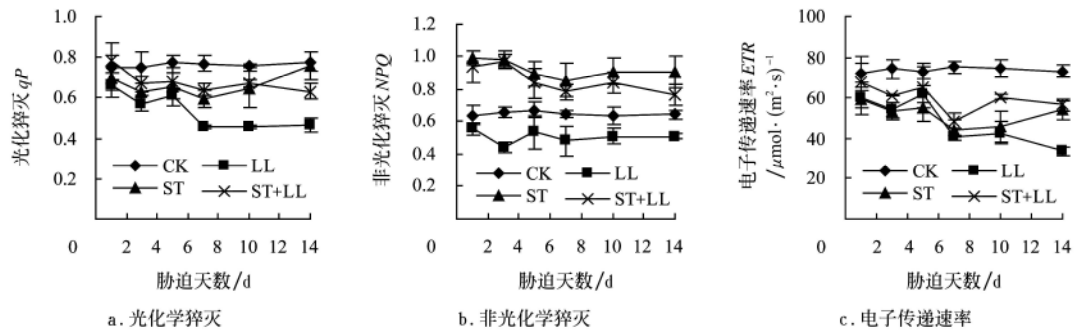


图5 不同处理黄瓜幼苗光化学猝灭、非光化学猝灭和电子传递速率

Fig.5 Photochemical quenching(qP), non-photochemical quenching(NPQ) and electron transport rate(ETR) of cucumber seedlings in different treatments

3 结论与讨论

本试验结果表明, 弱光、亚适温和亚适温弱光胁迫均使黄瓜幼苗叶片的光合功能明显减弱, 胁迫初期 P_n 快速下降, 胁迫时间延长至 3~7 d 时, P_n 降低幅度显著减小, 并逐步趋于平稳。说明黄瓜光合机构有主动适应低温弱光逆境的机制。亚适温弱光胁迫的 P_n 、 G_s 和 C_i 变化趋势与亚适温的相似, 因此认为亚适温和弱光逆境同时出现时, 温度起主要作用。

弱光或亚适温单因子胁迫时, 其 P_n 、 AQY 、 $\Phi PS II$ 、 qP 、 ETR 、 $RuBPCase$ 活性等的降低幅度明显大于亚适温弱光胁迫。因为在正常温度条件下, 长时间弱光胁迫使黄瓜幼苗吸收的能量与呼吸消耗的能量比例减小, 光合产物积累量减少, 光合功能逐渐减弱, 因此 P_n 越来越低; 正常光照条件下, 亚适温胁迫使 $\Phi PS II$ 显著降低, 推测卡尔文循环受到抑制, 导致光能过剩, 从而引起黄瓜叶片 $PS II$ 的光抑制, 光合功能大幅度降低。弱光与亚适温处理相比, 弱光处理的 P_n 在前期较高, 但 7 d 后明显降低, 其 $\Phi PS II$ 、 qP 、 ETR 等均低于亚适温处理的, 说明较长时间的弱光胁迫对黄瓜幼苗光合功能影响较亚适温胁迫大。但在一定时间内, 弱光既是胁迫因子, 又是诱导因子, 弱光下黄瓜叶片会通过自身调节, 提高光能利用效率, 以降低光合功能降低程度。因此弱光处理的 AQY 较高, LCP 较低。

引起光合速率降低的植物自身因素主要是气孔的部分关闭和叶肉细胞光合活性下降两类^[15, 16]。Farquhar 等^[17]认为, 当 G_s 与 C_i 同时下降时, P_n 下降主要是由气孔限制引起的, 如果 P_n 降低伴随着 C_i 升高, 光合作用的主要限制因素则是非气孔因素。本试验结果表明, 弱光处理的 G_s 和 C_i 在多数时间内高于 CK, 但胁迫时间超过 10 d 时, G_s 快速降低, 表明短时间弱光单因子胁迫可促进黄瓜叶片气孔开放, 此时 P_n 降低的主要原因是非气孔限制; 若胁迫时间过长, 弱光也会引起气孔部分关闭, 气孔限制将逐渐成为导致 P_n 降低的重要因子之一。亚适温和亚适温弱光处理的 G_s 虽然显著低于 CK, 但其 C_i 的降低幅度很小。表明亚适温和亚适温弱光胁迫下, P_n 的降低既与气孔限制有关, 也与非气孔限制有关。

随着胁迫时间的延长, 虽然弱光和亚适温弱光处理

的光下实际光化学效率 ($\Phi PS II$) 降低, 但其 F_o 和 F_v/F_m 均没有明显变化。这意味着弱光和亚适温弱光处理没有产生明显的光抑制, $\Phi PS II$ 降低只是 $PS II$ 反应中心功能的下调, 而没有对 $PS II$ 反应中心造成损伤; 虽然亚适温处理的 $\Phi PS II$ 显著降低, 但其 F_o 没有明显升高, F_v/F_m 的降低幅度也不大。表明亚适温单因子胁迫下, 黄瓜叶片 $PS II$ 发生了光抑制, 但 14 d 以内的胁迫对 $PS II$ 反应中心的损伤不明显, F_v/F_m 下降可能是由非光化学猝灭的增加引起的。亚适温和亚适温弱光处理的 qP 降低, NPQ 升高, 表明亚适温和亚适温弱光胁迫抑制了 $PS II$ 反应中心的开放, 用于光化学反应的光能比例减少, 减少部分主要通过热耗散途径消耗掉; 而弱光处理的 qP 和 NPQ 均低于 CK, 原因有待进一步探讨。

[参 考 文 献]

- [1] Lasley S E, Garber M P, Hodges C F. Effects of light and chilling temperatures on photosynthesis in excised cucumber cotyledons[J]. J Amer Soc Hort Sci, 1979, 104: 477-480
- [2] 马德华, 庞金安, 李淑菊, 等. 短期强低温处理对黄瓜幼苗光合作用的影响[J]. 河北农业大学学报, 1998, 21(2): 39-42
- [3] 陈启林, 山 仑, 程智慧. 低温下光照对黄瓜叶片光合特性的影响[J]. 中国农业科学, 2001, 34 (6): 632-636
- [4] 曾纪晴, 刘鸿先, 王以柔, 等. 黄瓜幼苗子叶低温下的光抑制及其恢复[J]. 植物生理学报, 1997, 23 (1): 15-20
- [5] 陈青君, 张福墀, 王永健, 等. 黄瓜对低温弱光反应的生理特征研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36 (1): 77-81
- [6] 周艳红, 黄黎锋, 喻景权. 持续低温弱光对黄瓜叶片气体交换、叶绿素荧光猝灭和吸收光能分配的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30 (2): 153-160
- [7] 艾希珍, 马兴庄, 于立明, 等. 弱光下长期亚适温和短期低温对黄瓜生长及光合作用的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15 (11): 2091-2094
- [8] 艾希珍, 王秀峰, 郭延奎, 等. 亚适温弱光和低温对黄瓜气孔特性及叶绿体超微结构的影响[J]. 中国农业科学, 2006, 40 (10): 2063-2068.
- [9] Liberg H P, Krug H. Response of cucumber to climate[J]. Acta Horticulturae, 1990, 287: 47-50.
- [10] 许大全, 徐宝基, 沈允钢. C_3 植物光合效率的日变化[J]. 植物生理学报, 1990, 16: 1-5.
- [11] Demming-Adams B, Adams WWIII. Xanthophyll cycle and

- light stress in nature: uniform response to excess direct sunlight among higher plant species[J]. *Planta*, 1996, 198: 460—470
- [12] 睦晓蕾, 张宝玺, 张振贤, 等. 不同品种辣椒幼苗光合特性及弱光耐受性的差异[J]. *园艺学报*, 2005, 32 (2): 222—227
- [13] Seemann J R. Light adaptation/acclimation of photosynthesis and the regulation of Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activity in sun and shade plants[J]. *Plant Physiol*, 1989, 91: 379—386.
- [14] Krause G H, Weise E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The Basics[J]. *Annu. Rev. Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1991, 42: 313—349.
- [15] 张振贤, 周绪元, 陈利平. 主要蔬菜作物光合与蒸腾特性研究[J]. *园艺学报*, 1997, 24 (2): 155—160.
- [16] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. *植物生理学通讯*, 1997, 33 (4): 241—244
- [17] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 1982, 33: 317—345.

Photosynthesis adaptation of cucumber seedlings to suboptimal temperature and low light intensity stress

Liang Wenjuan, Wang Meiling, Ai Xizhen^{*}, Sun Xiaoqi, Wang Hongtao,
(College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University;
State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: In order to determine the mechanism of photosynthesis adaptation to adverse temperature and light intensity for cucumber seedlings, the effects of low light, suboptimal temperature, suboptimal temperature and low light stress on photosynthesis of cucumber seedlings were investigated with Jinyou 3 as material. The results showed that low light, suboptimal temperature, suboptimal temperature and low light stress all led to decrease in net photosynthetic rate(P_n) and RuBP carboxylase activity remarkably. Decrease in P_n under the stress condition was mainly attributed to non-stomatal limitation, besides the treatments under suboptimal temperature, suboptimal temperature and low light intensity, which had something to do with stomatal limitation. Temperature plays a primary role when suboptimal temperature and low light intensity appear simultaneously. The light compensation point decreased during ten-day low light or suboptimal temperature and low light stress. Low light or suboptimal temperature and low light stress caused decrease in actual photochemical efficiency of PS II (Φ_{PSII}) and initial fluorescence(F_o), little changes in maximal photochemical efficiency of PS II in darkness(F_v/F_m). Suboptimal temperature led to decrease in Φ_{PSII} and F_v/F_m , but no significant changes in F_o . This result suggested that no photo-inhibition occurred under low light or suboptimal temperature and low light intensity stress, suboptimal temperature was likely to induce PS II photo-inhibition, but no significant injury to PS II reaction center occurred.

Key words: cucumber; low light intensity; suboptimal temperature; adaptation; photosynthesis