

# 低温弱光对不同黄瓜品种幼苗光合作用的影响

王永健 张海英 张 峰 许 勇 曹婉虹 康国斌

(北京市农林科学院蔬菜研究中心, 北京 100089)

**摘 要:** 在低温 (15 ℃) 弱光 ( $100 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) 的胁迫下, 供试黄瓜品种幼苗的光补偿点开始升高, 叶绿素 a 荧光动力学的有关参数  $F_v/F_m$ 、 $q_p$ 、PS (Y) 值和参与光合作用碳同化的关键酶 RuBP 羧化酶活性明显下降。这一结果表明 PS 的原初光能转换效率和电子传递以及碳同化均受到抑制, 从而使幼苗对弱光的利用能力下降。然而在逆境的诱导下, 黄瓜幼苗的适应性逐渐增强, 上述各项指标恢复到处理前的水平。试验结果还表明, 保护地品种对低温弱光逆境的调节适应能力高于露地品种。

**关键词:** 黄瓜; 低温弱光; 叶绿素 a; 荧光动力学; RuBP 羧化酶; FBP 酯酶

**中图分类号:** S 642.2; Q 945 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2001) 03-0230-05

黄瓜是冷敏感植物, 冬春保护地栽培中 0~7 ℃ 低温引起的冷害时有发生, 但更常见的低温逆境是日光温室中日温长时间低于 23 ℃, 夜温低于 10~12 ℃, 并常伴以弱光的条件。在这种亚适温与弱光条件下, 黄瓜生理活动失调, 常出现生长滞缓、花打顶、叶黄化、坐瓜率低、畸形瓜多等问题<sup>[1]</sup>。从生产实际出发, 要求保护地品种同时兼有低温弱光耐受性。目前国内外保护地品种和露地品种对偏低温 (日 23 ℃/夜 10~12 ℃) 的耐性和对弱光的耐性有明显差异<sup>[1]</sup>。为了有效鉴别黄瓜品种对低温和弱光的适应能力, 许多研究者从多方面进行了探讨<sup>[2~7]</sup>。王永健等<sup>[8]</sup>报道, 在 15 ℃ 的低温胁迫下, 耐低温和低温敏感型品种间光补偿点差异明显, 黄瓜低温下光补偿点的遗传表达需要一个相应的逆境处理诱导过程, 该性状的遗传符合加性-显性-上位遗传模式, 狭义遗传力为 63.4%。马德华等<sup>[9]</sup>报道, 低温下黄瓜幼苗细胞的膜脂过氧化程度加剧, MDA 含量与幼苗耐低温能力呈极显著负相关, POD 和 CAT 活性与幼苗耐寒性分别呈正相关和显著正相关。王毅等<sup>[10]</sup>研究表明: 经连续 5 d/5 ℃ (日/夜) 低温处理后, 黄瓜幼苗叶片细胞结构受到严重损伤, 失去正常功能。刘明池<sup>[11]</sup>报道, 低温、干旱锻炼和外喷 ABA 均可提高黄瓜幼苗的抗冷性。本试验拟在以往的研究基础上, 通过光补偿点、叶绿素荧光动力学和参与光合作用的关键酶活性变化规律的分析, 获得低温弱光对不同黄瓜品种光合作用影响和内在联系的多方面信息。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

收稿日期: 2000-09-01; 修回日期: 2001-03-09

基金项目: 北京市自然科学基金重点资助项目 (6972004); 国家自然科学基金资助项目 (39770518); 国家自然科学基金重点资助项目 (39830230)

供试的耐低温弱光黄瓜有: ‘欧洲 8 号’, 从欧洲保护地黄瓜品种中获得的自交系; ‘北京刺瓜’, 北京地区的传统保护地地方品种; ‘长春密刺’, 目前国内广为栽培的保护地品种。

低温弱光敏感型黄瓜为: ‘96-51’, 北京市农林科学院蔬菜研究中心选育的露地栽培自交系。

## 1.2 方法

1.2.1 育苗 种子浸种催芽后, 1998 年 9 月播于直径 8 cm 的营养钵中。苗期温室温度为白天 30~35℃, 夜间 20~25℃。

1.2.2 低温处理 幼苗长至 4~5 片真叶时, 选取生长一致的植株置于生长箱 (Nippon Medical & Chemical Instruments Co., LTD 产品, 型号为 LPH-1-CT) 中进行低温弱光处理。箱内温度为  $(15 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ , 光强为  $100 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 日光照时数为 8 h, 相对湿度为 70%。

1.2.3 测定 于处理前 (0 h) 和处理后不同时间测定光补偿点、荧光动力学和双磷酸核酮糖羧化酶 (RuBPCase)、果糖双磷酸酯酶 (FBPase) 活性。在生长箱内采用 CF301PS 型光合作用测定仪测定第二功能叶的光补偿点, 叶室温度为  $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$ , 从 5 片叶的测定计算光补偿点平均值。每个品种测定 5 株, 重复 3 次。

采用 OS5-FL 饱和脉冲调制式叶绿素荧光分析仪 (Kinetic 模式) 测定供试品种植株第三功能叶的叶绿素 a 荧光诱导动力学曲线及相关参数  $F_0$ 、 $F_m$ 、 $q_p$ 、 $Y$  等, 并计算  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$ 。每个品种测定 5 株, 重复 3 次。

RuBPCase 活性: 每处理共取 6~8 株植株的第 2 片功能叶, 剪碎, 混匀。每处理重复 3 次, 取 3 次平均值作为酶活性值。每重复取 2 g 叶片, 加入 500 mmol/L (pH 7.4)  $\text{H}_3\text{PO}_4$  缓冲液 (由  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  与  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  组成) 研磨, 10 000  $\times g$ 、4 离心 10 min, 取上清液。按文献 [12] 的方法测定。FBPase 活性: 取样方法同 RuBPCase, 但加入 pH 6.0 蒸馏水研磨, 10 000  $\times g$ 、4 离心 10 min, 取上清液, 按文献 [12] 的方法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 低温弱光胁迫下黄瓜幼苗光补偿点的变化及品种间差异

经逆境处理后, 4 个供试品种幼苗在 15℃ 下光补偿点变化的总趋势相似。在处理 14 h 内, 随处理时间的延长, 光补偿点升高; 14~32 h 呈下降趋势; 32 h 后重又上升 (图 1)。这一结果表明: 逆境胁迫初期对黄瓜幼苗的光合作用产生了不利影响, 使光补偿点升高; 随着处理时间的延

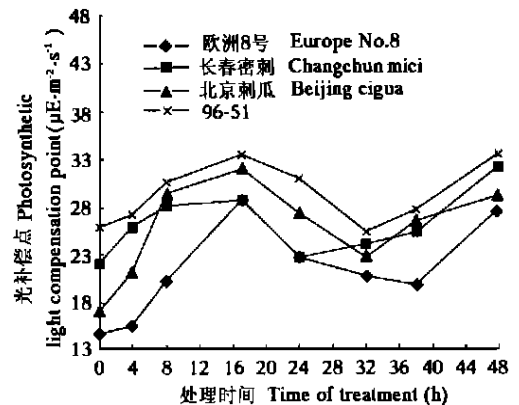


图 1 低温弱光处理对黄瓜幼苗光补偿点的影响  
温度为  $(15 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ , 光强  $100 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  
日光照 8 h, 相对湿度 70%, 下同。

Fig. 1 Effects of low temperature and low irradiation on the photosynthetic light compensation point of cucumber seedlings

Temperature is  $(15 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ , irradiation intensity is  $100 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , time of irradiance per day is 8 h and relative humidity is 70%. It is same below.

长产生逆境诱导作用,使幼苗的适应性逐步增强,对弱光的利用能力提高,因而光补偿点保持在较低水平;但处理时间过长,逆境胁迫再次对幼苗的光合作用产生抑制作用,光补偿点重又升高。

供试品种间的光补偿点存在显著性差异。欧洲 8 号在整个处理过程中的光补偿点始终低于其他品种,表明其在低温下对弱光的利用能力最强;其次为北京刺瓜和长春密刺;对低温弱光敏感的 96-51 光补偿点始终最高。

## 2.2 低温弱光胁迫下黄瓜幼苗叶绿素 a 荧光动力学参数的变化及品种间差异

从图 2 看出,在低温弱光胁迫下,随着时间的延长,除欧洲 8 号有较大波动外,其他品种的  $F_v/F_o$  没有明显变化,表明其 PS 的潜在活性受到的影响不大。欧洲 8 号开始时  $F_v/F_o$  有所下降,24 h 后稳定地恢复至正常水平。

在低温弱光胁迫下,开始时所有供试品种的  $F_v/F_m$  均有所下降,随着处理时间的延长,逐步回升并稳定到处理前的水平(图 2)。这说明短时间的低温弱光胁迫造成黄瓜幼苗的 PS 原初光能转换效率下降,但随着处理时间的延长,经过植株的自身调整,水平逐渐恢复。

供试品种间 PS 原初光能转换效率存在差异。在处理过程中,欧洲 8 号的  $F_v/F_m$  较高,而且自身调整幅度最大,表现出较强的调节能力。北京刺瓜、长春密刺居中。96-51 变化幅度最小,其  $F_v/F_m$  也低于其他品种。

在低温弱光逆境中,欧洲 8 号、北京刺瓜、长春密刺幼苗  $q_p$  和  $Y$  值的变化趋势一致。即在胁迫的开始阶段(处理 9 h 以内)  $q_p$  和  $Y$  值明显降低,此后逐渐恢复至处理前水平。经过 32 h 处理,96-51 与上述 3 个温室品种相比有差异,  $q_p$  和  $Y$  值明显要低,此后也不能恢复至处理前水平(图 2)。由于  $q_p$  是 PS 原初电子受体氧化

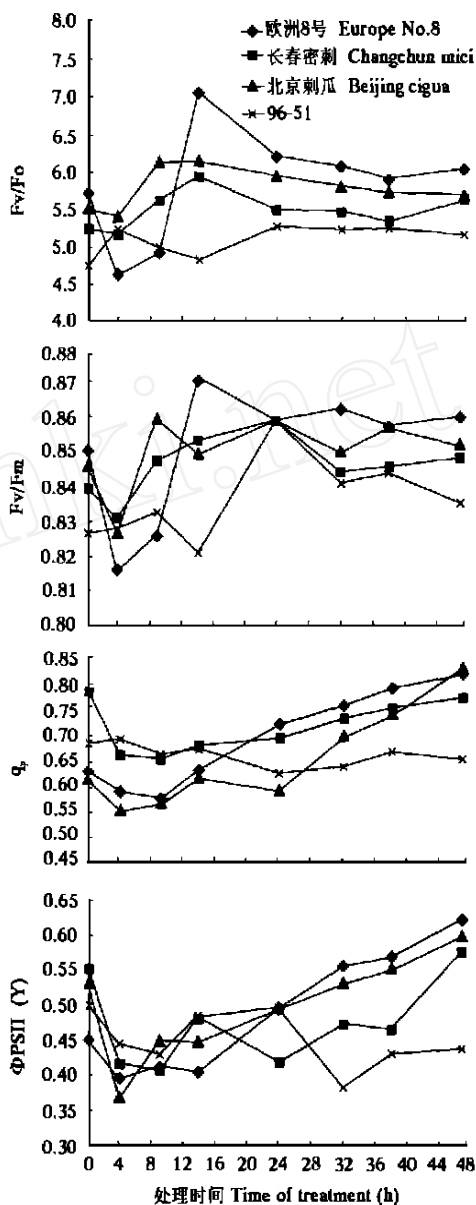


图 2 低温弱光处理对黄瓜叶绿素 a 荧光动力学参数的影响

Fig. 2 Effects of low temperature and low irradiation on parameters of chlorophyll a fluorescence of cucumber seedlings

态的一种量度, 其值下降说明  $Q_A - Q_B$  的电子传递受到抑制<sup>[13]</sup>。PS (Y) 是将捕获的光能转化为生物化学能的能力的量度, 该值的升降与碳同化反应的强度密切相关。

### 2.3 弱光胁迫下黄瓜幼苗的 RuBPCase、FBPase 活性变化及品种间差异

从图 3 看出, 在低温弱光逆境中, 随着处理时间的延长, 开始时所有供试品种的 RuBPCase 活性均呈下降趋势, 处理 14 h 左右达到最低点; 此后, 酶活性逐渐恢复到处理前的水平。但经长时间的逆境胁迫 (处理 48 h), 又使酶活性降低, 这一变化趋势与光补偿点的变化相反。

处理前, 各品种间 RuBPCase 活性存在差异。经过低温弱光处理后, 酶活性差异与处理前保持一致。即欧洲 8 号的酶活性最高, 北京刺瓜和长春密刺居中, 96-51 最低。

低温弱光对 FBPase 变化的影响不太明显, 除欧洲 8 号在处理 14 h 突然出现一个高峰外, 从总体看, 另外 3 个品种的酶活性没有明显变化, 基本与处理前持平。

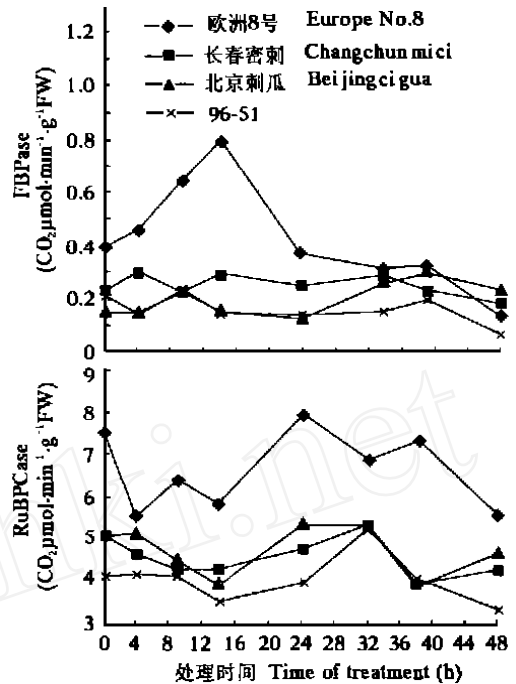


图 3 低温弱光处理对黄瓜幼苗 RuBPCase 和 FBPase 活性的影响

Fig. 3 Effects of low temperature and low irradiation on RuBPCase and FBPase activity in cucumber seedlings

## 3 讨论

3.1 从本试验结果可以看出, 黄瓜的光合作用是对低温弱光逆境敏感、反应迅速的代谢过程。在逆境的胁迫下, 从 PS 的电子传递到碳代谢的有关生理指标以及反映弱光利用能力的光补偿点很快出现规律性的变化。低温、弱光逆境作为胁迫因子, 使 PS 原初电子转换效率和荧光猝灭系数以及催化碳代谢的关键酶的活性受到抑制。但是, 本试验处理的逆境强度又是一个诱导因子, 使黄瓜幼苗通过自身调节, 提高了适应性。在植物的抗寒性研究中, 许多研究者发现在低温诱导下, 可溶性蛋白和重要酶类呈规律性变化的现象, 进一步研究证实了基因在其中的调控作用和机制。Weiser 首先提出了植物抗寒性诱导过程中基因表达变化的观点, Kurkela 等对拟南芥的研究首次揭示了植物低温锻炼中特异基因 *kin1* 及 6.5kD 多肽酶的形成<sup>[14]</sup>。

3.2 对本研究结果进行综合分析和比较后可清楚地看出, 供试品种对低温弱光的适应能力存在明显差异, 所试的 3 个保护地品种均优于露地品种 96-51。保护地品种是在冬春季气候环境中长期自然驯化和人工选择形成的一种生态类型, 具有耐低温弱光的遗传特性。寻找并深入研究与低温弱光耐受性相关的基因的表达和调控是今后的一个重要课题。

### 参考文献:

- 1 许 勇, 王永健. 黄瓜耐低温研究中几个问题的讨论. 见: 韩振海, 黄卫东, 许雪峰主编. 中国科学技术协会第

- 二届青年学术年会园艺学论文集. 北京: 北京农业大学出版社, 1995. 439 ~ 444
- 2 李晓萍, 郭俊彦. 黄瓜幼苗发育中冷锻炼过程子叶中的多肽变化. 植物学报, 1993, 35: 766 ~ 771
  - 3 王以柔, 李 平, 刘鸿先, 等. 低温对不同耐寒力的黄瓜幼苗子叶的各细胞器中  $\text{NAD}^+$  - 苹果酸脱氢酶的影响. 植物生理学报, 1985, 11: 147 ~ 154
  - 4 Gilmour S, Thomashow M F. Cold acclimation and cold-regulated gene expression in ABA mutants of *Arabidopsis thaliana*, Plant Mol., Biol., 1991, 17: 1233 ~ 1240
  - 5 Sasaki H, Li Z, Tsuji K, et al. Factors affecting the measurement of chlorophyll a fluorescence in cucumber leaves, Jap. Agri. Res. Quar., 1994, 28: 4, 242 ~ 246
  - 6 Reyes E, Jennings P H. Effects of chilling on respiration and induction of cyanide-resistant respiration in seedling roots of cucumber, J. Am. Soc. Horti. Sci., 1997, 122 (2): 190 ~ 194
  - 7 Wang Jiqing, Cui Hongwei. Variation in free proline content of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under low temperature stress. Rep. Cucur. Gen. Cooper, 1996, 19: 25 ~ 26
  - 8 王永健, 姜亦巍, 吴国盛, 等. 黄瓜光补偿点与低温弱光耐受性关系初探. 园艺学报, 1998, 25 (2): 199 ~ 200
  - 9 马德华, 卢育华, 庞金安. 低温对黄瓜幼苗膜脂过氧化的影响. 园艺学报, 1998, 25 (1): 61 ~ 64
  - 10 王 毅, 方秀娟, 徐 欣, 等. 黄瓜幼苗低温锻炼对叶片细胞叶绿体结构的影响. 园艺学报, 1995, 22 (3): 299 ~ 300
  - 11 刘明池. 提高黄瓜幼苗抗冷性研究. 华北农学报, 1994, 9 (3): 52 ~ 58
  - 12 张志良, 吴光耀主编. 植物生物化学技术和方法. 北京: 农业出版社, 1986. 1 ~ 37
  - 13 卢从明, 张其德, 匡廷云. 水分胁迫对小麦叶绿素 荧光诱导动力学的影响. 生物物理学报, 1993, 9 (3): 453 ~ 457
  - 14 周长久主编. 现代蔬菜育种学. 北京: 科学技术文献出版社, 1988. 1 ~ 3

## Effects of Low Temperature and Low Light Intensity Stress on Photosynthesis in Seedlings of Different Cucumber Varieties

Wang Yongjian, Zhang Haiying, Zhang Feng, Xu Yong, Cao Wanhong, and Kang Guobin  
(National Engineering Research Center for Vegetables, Beijing 100089)

**Abstract :** Under the stress of low temperature ( $15^\circ\text{C}$ ) and low light intensity ( $100\ \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), the photosynthetic light compensation point of cucumber seedlings went up at the beginning of treatment, some parameters of chlorophyll a fluorescence such as  $F_v/F_m$ ,  $q_p$ ,  $\text{PS II}$  (Y) decreased obviously, and the activity of RuBPCase was also reduced. This results indicated that the primary light energy conversion of  $\text{PS II}$ , electron transport and carbon assimilation of cucumber seedlings had been inhibited, thus the capacity of its utilizing low light intensity went down. However, after the induction of stress, the adaptability of cucumber seedlings increased, and the above parameter reversed the level before stress treatment. The results also showed that the adaptability of greenhouse varieties was higher than that of open field varieties.

**Key words :** Cucumber; Low temperature; Low light intensity; Chlorophyll a; Fluorescence kinetics; RuBPCase; FBPase