

# 夜间低温对两种咖啡光合作用的影响<sup>\*</sup>

郭玉华<sup>1,2</sup> 蔡志全<sup>1\*</sup> 曹坤芳<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院西双版纳热带植物园, 勐腊 666303; <sup>2</sup> 西北农林科技大学生命科学院, 杨凌 712100)

**摘要** 为了探讨夜间低温对滇南地区主要栽培的小粒种咖啡 (*Coffea arabica*) 和大粒种咖啡 (*Coffea liberica*) 光合作用的影响, 于西双版纳雾凉季对盆栽幼苗进行了连续 3 d 的 4 ℃ 夜间低温处理, 并于原地恢复 3 d, 测定了叶片的一些生理生态指标。结果表明, 经 4 ℃ 夜间低温处理 3 d 后, 虽然两种咖啡非辐射耗散能力增强, 胡萝卜素/叶绿素 (Car/Chl) 升高, 但净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs) 和黎明原初光化学效率 (Fv/Fm) 降低, 初始荧光 (Fo) 升高, 以及过氧化氢 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 和丙二醛 (MDA) 的积累, 表明夜间低温对两种咖啡光合机构均产生了明显的破坏, 导致净光合速率下降的气孔因素和非气孔因素同时存在。虽然正常条件下两种咖啡净光合速率没有显著差异, 但与大粒种咖啡相比, 低温处理后, 小粒种咖啡的 Pn、Fv/Fm 下降的比例小, MDA 积累的量少, 且在 3 d 的恢复后基本可以恢复到原初值, 表明小粒种咖啡相对比较耐寒, 这与其较强的非辐射耗散能力, 较大的 Car/Chl 及较强的恢复能力有关。

**关键词** 夜间低温, 光合速率, 丙二醛, 小粒种咖啡, 大粒种咖啡

**中图分类号** Q945 **文献标识码** A **文章编号** 1000 - 4890(2005)05 - 0478 - 05

**Effects of nocturnal low temperature on photosynthesis of seedlings of two coffee species.** GUO Yuhua<sup>1,2</sup>, CAI Zhiquan<sup>1</sup>, CAO Kunfang<sup>1</sup> (<sup>1</sup> Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China; <sup>2</sup> College of Life Science, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(5): 478 ~ 482.

To explore the effects of nocturnal low temperature on photosynthesis of *Coffea liberica* and *Coffea arabica*, the two dominant coffee species in Southern Yunnan, the potted seedlings were exposed to nocturnal low temperature (4 ℃) for 3 days and then recovered for another 3 days under ambient environment during the cool and foggy season of Xishuangbanna in 2003. The photosynthesis parameters and the content of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and MDA were measured in mature leaves of the two species. The results showed that after three day's nocturnal low temperature exposure, although thermal dissipation capacity (NPQ) and Car/Chl ratio increased, the net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Gs) and initial photochemical efficiency of photosystem II (Fv/Fm) at dawn decreased greatly in leaves of the two species, accompanied with the accumulation of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and MDA, which suggested that their photosynthetic apparatuses were destroyed, and both stomatal and non-stomatal limitation contributed to the decrease of net photosynthetic rate. There were no significant differences of photosynthetic ability between the two coffee species in normal conditions. But compared to *C. liberica*, *C. arabica* had less decrease of Pn and Fv/Fm, less accumulation of MDA after nocturnal low temperature exposure, and recovered more quickly than *C. liberica*. That means that *C. arabica* is more chilling-tolerant than *C. liberica*. The mechanism is related with its higher Car/Chl ratio, heat dissipation capacity and higher ability to recover.

**Key words** nocturnal low temperature, photosynthetic characteristics, MDA, *Coffea arabica*, *Coffea liberica*.

## 1 引言

咖啡是热带亚热带地区的主要经济作物之一, 我国引种咖啡已有 100 多年的历史, 滇南地区咖啡的种植面积和咖啡豆产量在国内占主导地位, 小粒种咖啡 (*Coffea arabica*) 和大粒种咖啡 (*Coffea liberica*) 是当地的主要栽培种<sup>[2]</sup>。咖啡原产热带地区, 冬季夜间低温常常是咖啡生产的主要限制因素<sup>[8]</sup>。西双版纳雾凉季一般会出现 7 ~ 11 ℃ 的夜

间低温, 在北方寒流势力强的年份, 寒流余势顺着南北走向的河谷侵入, 加上剧烈的辐射降温, 夜间极端气温可达 2 ℃ (1999 年气象资料)。夜间低温使咖啡发生严重伤害, 甚至大面积死亡, 给当地农业生产造成重大损失。为了探讨西双版纳夜间低温对咖啡的影响, 本研究以大粒种咖啡和小粒种咖啡为材料, 通过进行 4 ℃ 夜间低温处理, 从光合特性方面来探

\* 中国科学院和云南省合作资助项目 (W K2000-7)。

\*\* 通讯作者

收稿日期: 2003 - 06 - 26 改回日期: 2003 - 07 - 08

讨两种咖啡对夜间低温的反应,比较它们抗寒性的差异及原因,为当地咖啡生产和种植提供科学依据。

## 2 研究地区与方法

### 2.1 自然概况

实验在中国科学院西双版纳热带植物园内进行。该园位于 21°41'N, 101°25'E, 海拔 580 m, 属北热带西南季风气候, 一年中有明显的雨季(5~10月)和干季(11月~翌年4月)之分。年均降水量 1 500~1 600 mm, 其中雨季占 83%~87%, 年平均湿度 85%, 年平均气温 21.7℃。实验于 2003 年 1 月份进行, 试验期间为晴天, 上午有雾, 光强较弱, 白天最高温为 30℃, 夜间最低温为 10℃。

### 2.2 试验设计

以小粒种咖啡和大粒种咖啡作材料。2001 年 10 月从两种人工种植咖啡林下移 10 cm 左右的幼苗栽于花盆(内径 30 cm、深 23 cm、容积约 15 L)中, 每盆 1 株, 在自然光下放置。除雨天外, 每天傍晚浇足量的水, 每月施复合肥 1 次, 及时防治病虫害。2003 年 1 月选取大小一致、长势良好的小苗 8~10 盆, 从中随机选取 3~4 盆于每天 18:30 将其移到 4℃冷库中处理, 次日 6:30 时取出放回原地, 连续处理 3 d。之后, 不再进行低温处理, 于原地恢复 3 d。测定材料选取植株完全展开的成熟叶片(顶部第二、三片叶, 每株 1 片)。

### 2.3 测定方法

每天上午 9:00~12:00 时用 LF6400 便携式光合作用系统(LFCOR, Lincoln, Nebraska, USA)测定叶片净光合速率( $P_n$ ), 气孔导度( $G_s$ )和胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ ), 使用开放气路, 空气流速为  $0.5 L \cdot min^{-1}$ , 相对湿度 60%,  $CO_2$  浓度  $360 \mu mol \cdot mol^{-1}$ , 测定光强为  $600 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  (LED 光源)。测定前叶片在饱和光强( $600 \sim 1\,000 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )下诱导 30 min, 叶片与光源间有 10 cm 厚的流动水层, 以减少叶片升温。暗适应 15 min 后, 参照蔡志全等<sup>[4]</sup>的方法, 用 FMS2 型便携式脉冲调制荧光仪(英国, Hansatech 公司), 测定初始荧光( $F_0$ )和光系统 II(PSII)最大光化学效率( $F_v/F_m$ ), 自然条件下测定非光化学猝灭系数  $NPQ = F_m/F_m' - 1$ , 于一天中黎明(6:30)和中午(13:30)测定 2 次。叶绿素和类胡萝卜素含量参照 Arnon<sup>[6]</sup>的方法测定; 丙二醛(MDA)的含量参照王以柔等<sup>[4]</sup>的方法测定; 过氧化氢( $H_2O_2$ )含量参照林植芳等<sup>[3]</sup>的方法测定。所

有测定于 1 月 15~21 日 10:30 取样测定。

## 3 结果与分析

### 3.1 夜间低温对气体交换参数的影响

正常生长条件下, 两种咖啡净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )和胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )光合特性没有显著差异( $P < 0.01$ ) (图 1)。在夜间低温处理第 1 天, 两种咖啡的  $P_n$  和  $G_s$  均有较大幅度的下降, 小粒种咖啡和大粒种咖啡的  $P_n$  分别下降了 43.6% 和 53.4%;  $G_s$  分别下降了 81.2% 和 41.6%。随着处理时间延长,  $P_n$  和  $G_s$  继续缓慢下降, 在处理的第 3 天均达最低值, 这时, 大粒种咖啡  $P_n$  和  $G_s$  分别下降了 81.2% 和 84.6%; 小粒种咖啡  $P_n$  和  $G_s$  分别下降了 68.1% 和 63.9%。在恢复期间, 两种咖啡的  $P_n$  在第 1 天恢复较慢, 3 d 后, 大粒种咖啡的  $P_n$  和

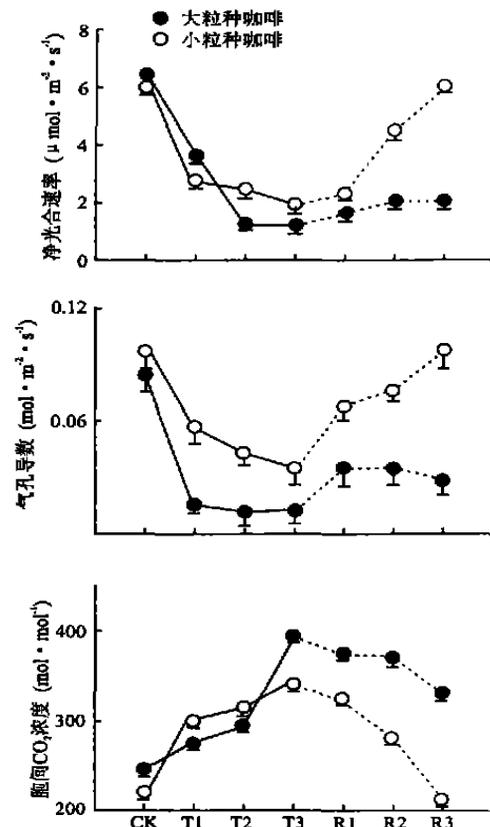


图 1 夜间低温处理对两种咖啡气体交换参数的影响

Fig. 1 Effects of nocturnal low temperature on gas exchange parameters of two coffee species

注:CK 为对照; T1, T2, T3 为夜间低温处理的第一天, 第二天, 第三天; R1, R2, R3 为夜间低温处理结束后恢复第一天, 第二天, 第三天。(下同)。

$G_s$  仅恢复了 34.8% 和 34.2%, 远未达到处理前的值

( $P > 0.05$ ), 而小粒种咖啡  $P_n$  和  $G_s$  均恢复较快, 3 d 后基本上恢复到处理前的值 ( $P < 0.01$ )。经夜间低温处理 3 d 后, 两种咖啡的胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ ) 大幅度上升, 恢复 3 d 后, 大粒种咖啡的  $C_i$  仍然较高, 而小粒种咖啡  $C_i$  基本恢复到处理前水平。

### 3.2 夜间低温对叶绿素荧光参数的影响

正常生长条件下, 两种咖啡叶片黎明和中午的原初光化学效率 ( $F_v/F_m$ ) 没有显著差异 ( $P < 0.01$ )。夜间低温处理后,  $F_v/F_m$  随处理时间的延长而降低, 大粒种咖啡下降尤为明显 (图 2a, b), 黎明  $F_v/F_m$  和中午  $F_v/F_m$  值在处理的第 3 天下降了 31.4% 和 31.1%, 而且在恢复 3 d 后, 黎明  $F_v/F_m$  仍未恢复到处理前水平。小粒种咖啡的黎明和中午  $F_v/F_m$  在处理的第 3 天下降了 13.1% 和 5.2%, 而恢复 3 d 后基本上能恢复到处理前的水平。在低温处理期间, 两种咖啡黎明和中午的初始荧光 ( $F_o$ ) 都显著高于对照, 并随处理时间的延长而升高 (图 2c,

d), 3 d 后, 大粒种咖啡黎明  $F_o$  上升了 55.3%, 小粒种咖啡上升了 28.4%。而小粒种咖啡中午的  $F_o$  变化相对较小。恢复 3 d 后, 大粒黎明的  $F_o$  仅恢复了 30.1%, 小粒种黎明的  $F_o$  基本可恢复到对照水平。

两种咖啡的非辐射耗散系数 ( $NPQ$ ) 随夜间低温处理时间的延长而上升 (图 2e, f)。小粒种咖啡黎明  $NPQ$  值上升的幅度较大, 3 d 夜间低温处理后, 上升了 2.4 倍, 大粒种咖啡处理期间黎明  $NPQ$  上升了 1.7 倍。在处理和恢复期间, 小粒种咖啡的中午  $NPQ$  保持相当高的值, 比大粒种咖啡要大得多。

### 3.3 夜间低温对色素、MDA 和 $H_2O_2$ 含量的影响

与小粒种咖啡相比, 大粒种咖啡的叶绿素含量 ( $Chl$ ) 较高, 但类胡萝卜素与叶绿素之比 ( $Car/Chl$ ) 却低。3 d 的夜间低温处理使两种咖啡的  $Chl$  降低,  $Car/Chl$  升高。小粒种咖啡的  $Car/Chl$  升高了 32.3%, 大粒种咖啡升高了 23.1% (图 3a, b)。经

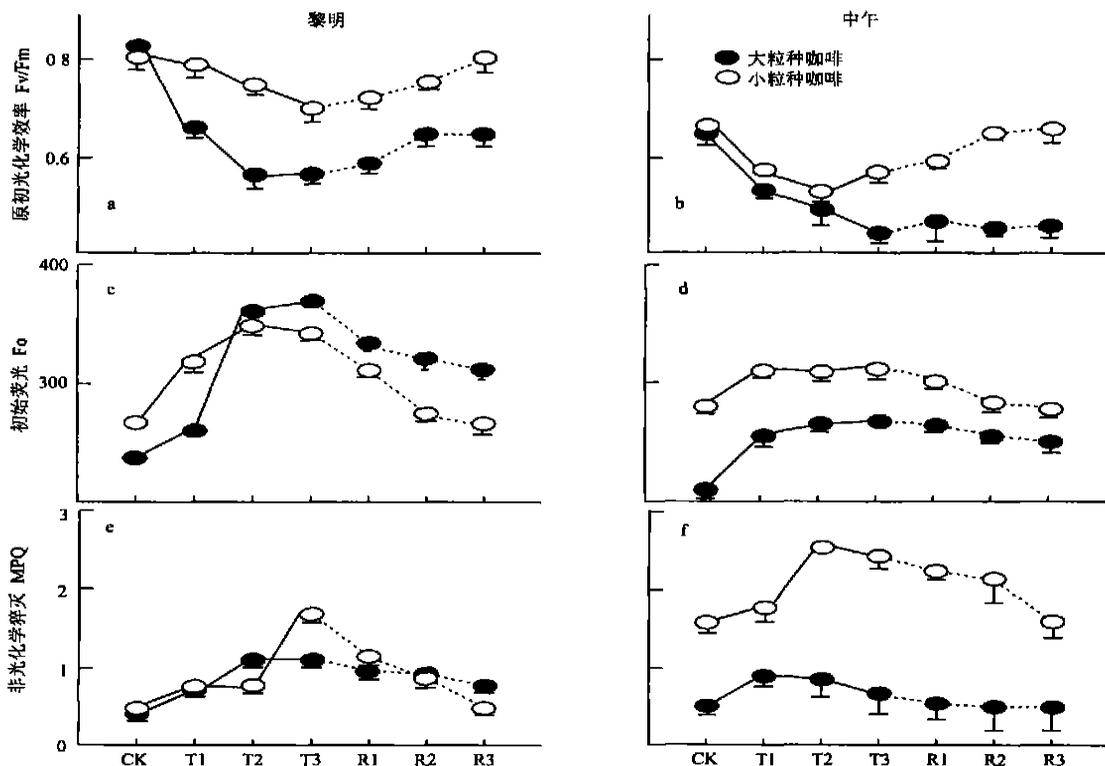


图 2 夜间低温处理对两种咖啡叶绿素荧光参数的影响

Fig. 2 Effects of nocturnal low temperature exposure on chlorophyll fluorescence parameters of two coffee species

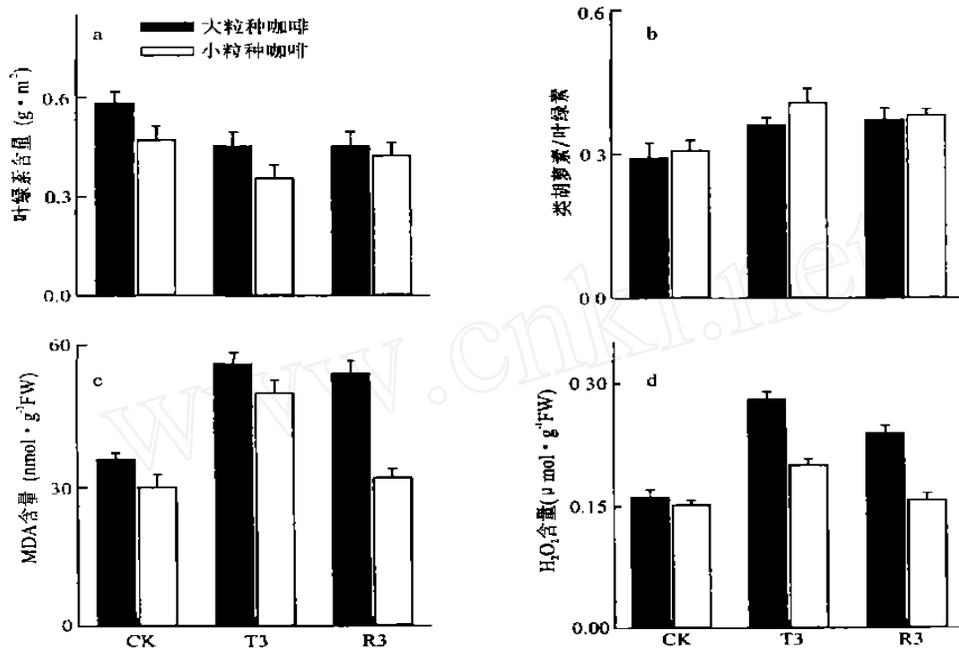


图3 夜间低温处理对两种咖啡色素、MDA和 $H_2O_2$ 含量的影响

Fig.3 Effects of nocturnal low temperature treatments on pigments, malondialdehyde (MDA) and  $H_2O_2$  contents of two coffee species

注:CK为对照;T3为夜间低温处理的第3天;R3为恢复的第3天。

夜间低温处理3d后,两种咖啡的MDA和 $H_2O_2$ 值都显著升高(图3c,d)。恢复3d后,大粒种咖啡仍含有相对高的MDA和 $H_2O_2$ 含量,而小粒种咖啡的MDA和 $H_2O_2$ 下降较多。这说明夜间低温处理对两种咖啡的叶片细胞均造成伤害,大粒种受害程度比小粒种较重,这种伤害程度在恢复3d内也未得到缓解。

#### 4 讨论

正常条件下,两种咖啡的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )和原初光化学效率( $F_v/F_m$ )没有显著差异(图1、2a,b对照值),表明它们的光合能力没有显著差异。4 夜间低温处理后,两种咖啡的 $P_n$ 和 $G_s$ 发生了较大的程度的降低,大粒种咖啡的 $P_n$ 甚至接近于零(图1),这与Martin等<sup>[12]</sup>,Flexas等<sup>[10]</sup>和Allen等<sup>[5]</sup>对蕃茄、葡萄和芒果的研究结果相同。处理及恢复3d期间, $G_s$ 与 $P_n$ 的变化趋势相同,说明净光合速率的下降与气孔导度的下降有关,而 $C_i$ 的变化与 $P_n$ 的变化方向相反。黎明 $F_v/F_m$ 发生了很大程度的下降(图2a),说明夜间低温处理后,导致两种咖啡净光合速率下降的非气孔因

素也同时存在。

植物叶片对光能的吸收受温度的影响较小<sup>[7]</sup>,而经4 夜间低温处理后,两种咖啡的光合能力大大减弱(图1),此时,叶片吸入不能用于光合作用的过剩光能会使光合机构的光化学效率下降,两种咖啡在经夜间低温处理后黎明和中午 $F_v/F_m$ 大幅度的下降即说明了这一点(图2a,b),同时也表明了低温加剧了光抑制程度。夜间低温处理后,两种咖啡初始荧光( $F_0$ )升高(图2c,d),表明其PS 反应中心可能发生了可逆失活或破坏<sup>[9]</sup>,结合黎明的 $F_v/F_m$ 显著降低(图2a)和MDA的大大升高(图3c)来看,夜间低温均使两种咖啡的PSII反应中心发生了光破坏。其中,大粒种咖啡的 $F_v/F_m$ 下降比例大,在3d的恢复期间仍未达到原初值, $F_0$ 上升的比例高,3d同样没有恢复,这比热带雨林树种藤黄(*Gacinia hanburyi*)幼苗对低温敏感得多<sup>[4]</sup>。小粒种咖啡黎明和中午的 $P_n$ 和 $F_v/F_m$ 在3d的恢复期间基本恢复到处理前的值,恢复期间MDA也大幅度下降,表明小粒种咖啡相对比大粒种咖啡对夜间低温伤害的恢复能力强。夜间低温处理期间,两种咖啡黎明和中午 $NPQ$ 升高,热耗散能力增加,这与Nir等<sup>[13]</sup>和Allen等<sup>[5]</sup>对芒果的研究结果一致。小粒种咖啡

$NPQ$  升高的值较大,在恢复期间仍保持较高的值,表明其通过热耗散的光保护能力较强。但通过热耗散增加的光保护措施仍不足以保护夜间低温对两种咖啡的伤害,其3 d处理后显著升高的  $H_2O_2$  含量和膜脂过氧化产物(MDA)就说明了这一点(图3c,d)。

从色素的测定结果来看,夜间低温处理后,两种咖啡的 Chl 含量均下降,Car/Chl 增大(图3a,b)。这种变化一方面是光能吸收的能力降低的表现,另一方面也是光保护能力增强的一种策略<sup>[11]</sup>。虽然大粒种咖啡的 Chl 含量比小粒种咖啡高,但 Car/Chl 却相对较低。小粒种咖啡的 Car/Chl 在夜间低温处理期间和恢复阶段保持了相当高的值,这也是小粒种咖啡较为耐寒的原因之一。

综上所述,夜间低温处理后,虽然两种咖啡非辐射耗散能力增强,Car/Chl 升高,但  $P_n$  和  $G_s$  大幅度地降低,Fv/Fm 下降,Fo 升高,以及  $H_2O_2$  和 MDA 的积累,都充分表明:4 夜间低温对两种咖啡光合机构产生了明显的破坏。与大粒种咖啡相比,低温处理时小粒种咖啡的  $P_n$ , Fv/Fm 下降的比例小,且恢复较快,MDA 积累的量少,表明小粒种咖啡相对比大粒种咖啡耐寒,这可能与其较强的非辐射耗散能力,较大的 Car/Chl 及低温处理后较强的恢复能力有关。

#### 参考文献

- [1] 王以柔,刘鸿先,李平,等. 1986. 在光和黑暗条件下低温对水稻幼苗光合器官膜脂氧化作用的影响[J]. 植物生理学报, 12(3):244~251.
- [2] 龙乙明,王剑文. 1997. 云南小粒种咖啡[M]. 昆明:云南科技

出版社.

- [3] 林植芳,李双顺,林桂珠,等. 1988. 衰老叶和叶绿体中  $H_2O_2$  的积累与膜脂过氧化的关系[J]. 植物生理学报, 14(1):16~22.
- [4] 蔡志全,曹坤芳,冯玉龙,等. 2003. 夜间低温胁迫对两种生长光强下藤黄幼苗叶片荧光特征和活性氧气代谢的影响[J]. 应用生态学报, 14(3):326~331.
- [5] Allen DJ, Ratner K, Giller YE, et al. 2000. An overnight chill induces a delayed inhibition of photosynthesis at midday in mango (*Mangifera indica* L.) [J]. *J. Exp. Bot.*, 51:1893~1902.
- [6] Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast: polyphenol oxidase in *Beta vulgaris* [J]. *Plant Physiol.*, 24:1~15.
- [7] Baker NR. 1994. Chilling stress and photosynthesis[A]. In: Foyer CH, eds. Causes of photooxidative stress and amelioration of defense systems in plants[C]. Boca Raton: CRC Press. 127~154.
- [8] Barros RS, Maestri M, Rena AB. 1995. Coffee crop ecology [J]. *Tropic. Ecol.*, 36:1~19
- [9] Demmig-Adams B, Adams WW III. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress [J]. *Annu. Rev. Plant. Physiol.*, 43:599~626
- [10] Flexas J, Bager M, Chow WS, et al. 1999. Analysis of relative increase in photosynthetic  $O_2$  uptake when photosynthesis in grapevine leaves is inhibited following low night temperature and/or water stress [J]. *Plant Physiol.*, 121:675~684
- [11] Kyparissis A, Drilias P, Manetas Y. 2000. Seasonal fluctuations in photoprotective (xanthophylls cycle) and photoselective (chlorophylls) capacity in eight Mediterranean plant species belonging to two different growth forms [J]. *Aust. J. Plant Physiol.*, 27:265~172
- [12] Martin B, Ort DR, Boyer JS. 1981. Impairment of photosynthesis by chilling-temperatures in tomato (*Lycopersicon esculentum* cultivar Rutgers) [J]. *Plant Physiol.*, 68:329~334
- [13] Nir G, Ratner K, Eugene E, et al. 1997. Photoinhibition of photosynthesis in mango leaves: effect of chilly nights [J]. *Acta Hort.*, 45:288~235

作者简介 郭玉华,女,1979年生,硕士研究生。主要从事植物生理生态学的研究。发表论文3篇。  
责任编辑 李凤芹