

文章编号: 1000-5692(2005)01-0020-04

夜间低温对 2 种光强下榕树叶绿素荧光的影响

胡文海^{1,2}, 黄黎锋², 肖宜安¹, 吴 杨¹

(1. 井冈山师范学院 生命科学系, 江西 吉安 343009; 2. 浙江大学 园艺系, 浙江 杭州 310029)

摘要: 为探明夜间低温对榕树 *Ficus microcarpa* 光合机构的伤害及日间不同光强在伤害中所起的作用, 利用叶绿素荧光技术研究了夜间低温胁迫后生长于全光照(强光)与遮荫(弱光)条件下榕树叶片叶绿素荧光的日变化。结果表明: 夜间低温能导致榕树叶片发生光抑制, 但并没有破坏光合机构。夜间低温后, 遮荫条件下, 榕树叶片可通过增强光化学能力和热耗散途径来耗散过剩光能, 保护光合机构免受伤害; 而强光下, 榕树叶片则不能很好地通过光化学与热耗散途径来消耗过剩光能, 从而导致光合机构发生破坏性伤害。图 3 表 1 参 14

关键词: 植物生理学; 榕树; 夜间低温; 光照强度; 叶绿素荧光; 光抑制

中图分类号: S718.43; Q945.11 **文献标识码:** A

温度是限制植物地理分布的主要环境因素之一^[1,2]。起源于热带和亚热带的植物对低温敏感, 当遇到稍低于其最适生长温度时就会遭受冷害。低温对植物的伤害是多方面的, 其中光合作用受低温影响最明显^[2,3], 低温能导致植物光合酶活性^[4]、光合电子传递速率^[5]等下降, 甚至能导致光合机构被破坏及光抑制的发生^[3,5,6]。自然条件下夜间低温对植物的影响, 尤其是夜间低温对不同光环境下生长的冷敏感植物的影响研究较少^[7,8], 对夜间低温胁迫后日间光照对冷敏感植物的伤害作用不明。以榕树 *Ficus microcarpa* 作为材料, 研究生长于遮荫与全光照下的榕树经 0℃以下夜间低温胁迫后其叶绿素荧光的日变化, 以期探明夜间低温胁迫对冷敏感植物光合机构的伤害以及日间光照的作用。

1 材料与方 法

1.1 材 料

井冈山师范院校园内人工栽培的灌木型榕树, 树高约 1 m, 树冠直径约 1.5 m。分别选取生长于开阔地全光照处 (full sunlight) 与树林中遮荫处 (shade) 的榕树进行实验。

1.2 方 法

试验于 2003 年 12 月 20 日 (-1~11℃, 晴天无云) 进行, 这是该年度第 1 次大幅度降温至 0℃以下 (12 月 19 日江西天气预报)。在 2 处各选取长势一致的榕树 1 株, 各取树冠外层 5 片叶相良好, 受光一致的成熟叶片, 于 7:00 开始测定叶片叶绿素荧光, 每隔 2.5 h 测定 1 次直至 17:00。

用便携式脉冲调制荧光仪 FMS-2 (英国 Hansatch 公司生产) 测定植物连体叶片叶绿素荧光参数。首先测定光适应下叶片叶绿素荧光参数 F_s , F_m , F_o , 然后将叶片暗适应 30 min, 测定暗适应下叶片叶绿素荧光参数 F_o , F_m , 并计算光系统 II 最大光化学效率 (F_v/F_m), 光系统 II 光合电子传递量子效率 (Φ_{PSII}), 光化学猝灭系数 (q_P), 非光化学猝灭系数 (q_N) 等荧光参数。同时由与荧光仪相联的

收稿日期: 2004-05-18; 修回日期: 2004-09-20

作者简介: 胡文海, 讲师, 博士研究生, 从事园艺植物生理生态学等研究。E-mail: huwenhai@etang.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

叶片温度探头与光探头测定照射到叶片表面的光强度和叶面温度。结果取平均值±标准误差。

2 结果与分析

2.1 不同光照条件下叶片入射光强

生长在全光照下的榕树受光性好, 叶片从早晨太阳升起后整天均能照射到阳光; 而生长在遮荫下的榕树(东面遮荫较少), 叶片只在太阳升起后较短时间内(约 10:00 前)可接受到部分光照(表 1)。

2.2 夜间低温对榕树光合作用光抑制的影响

光系统 II (PS II) 最大光化学效率的降低是光合作用光抑制的显著特征, 常用来作为判断是否发生光抑制的标准^[9]。 F_v/F_m 的上升表明 PS II 反应中心受到破坏或发生可逆失活^[10]。由图 1 可知, 夜间低温导致榕树叶片的 F_v/F_m (0.29) 明显低于正常值(约 0.83)^[11], 至白昼全光照下, 榕树叶片的 F_v/F_m 随着光强的升高而迅速降低, 同时伴随着 F_o 的上升, 并且不随着午后光强的下降而恢复。遮荫下, 榕树在 9:30 前稍有弱光照射时叶片 F_v/F_m (0.27) 并未明显下降, 后随着光强的减弱逐渐恢复, 到 17:00 已达到 0.50, 远大于黎明时的水平, 同时 F_o 无明显变化。表明夜间低温导致榕树叶片光抑制的发生, 随后的遮荫有利于减轻光抑制, 而夜间低温后照以强光则加剧了光抑制程度。

表 1 不同光照条件下榕树叶片入射光强的日变化

Table 1 The diurnal changes of light energy on leaf of *Ficus microcarpa* in the different experimental sites

观测时间	入射光强/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	
	全光照	遮荫
7:00	45.8	17.2
9:30	496.4	240.6
12:00	1059.6	54.0
14:30	871.6	16.0
17:00	24.8	12.2

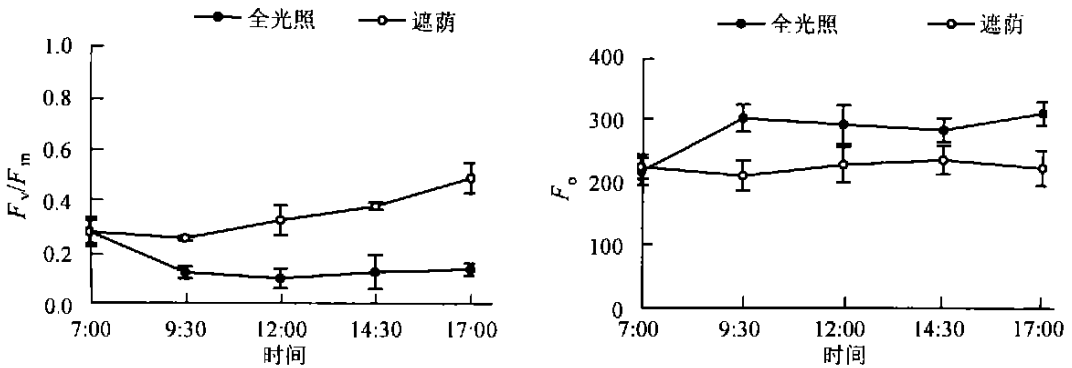


图 1 全光照和遮荫下生长的榕树叶片光系统 II F_v/F_m 和 F_o 的日变化

Figure 1 Diurnal changes in F_v/F_m and F_o in leaves of *Ficus microcarpa* growing under full sunlight and shade environment

2.3 夜间低温对光系统 II 光合电子传递的影响

光系统 II 非环式电子传递量子效率 (Φ_{PSII}) 反映了吸收的光量子供给 PS II 反应中心的效率及开放反应中心的比例^[12]。不同光环境下榕树叶片的 Φ_{PSII} 的日变化(图 2)与 F_v/F_m 的日变化相似, 黎明时 Φ_{PSII} 均很低(约 0.18), 在日出后的变化中, 全光照下的榕树 Φ_{PSII} 迅速下降, 并维持在极低的水平(约 0.07), 而遮荫下的榕树随光强的增加 Φ_{PSII} 略有下降(0.10), 但午后随着光强的减弱则又迅速恢复, 傍晚时达到一天中的最大值(0.41)。 Φ_{PSII} 的这种变化说明了夜间低温抑制了 PS II 光合电子传递活性, 随后的强光进一步导致 PS II 光合电子传递量子效率的下降, 并在光强减弱后也难以恢复; 而随后的弱光能使 PS II 光合电子传递活性得到较大程度的恢复。

2.4 夜间低温对榕树叶片叶绿素荧光猝灭的影响

叶绿素荧光猝灭包括光化学猝灭系数 (q_p) 和非光化学猝灭系数 (q_n)。 q_p 是开放的 PS II 反应中心数目的量度, 反映了 PS II 所捕获的光能转化为化学能的效率; q_n 则反映了 PS II 天线色素吸收的光能以热的形式耗散的部分, 这 2 个参数反映了叶片对激发能利用的情况^[9, 13]。由图 3 可知, 夜间低

温后的光照导致榕树叶片的 q_P 的迅速下降, 这可能是由于夜间低温抑制了 PS II 光合电子传递活性的原故 (图 2), 而且在 9:30 前温度仍较低, 低温仍起着抑制作用, 此时光照的增强进一步抑制了 PS II 光合电子传递活性, 从而造成 PS II 反应中心开放数目下降, 导致 q_P 的迅速下降。此后, 全光照下榕树叶片的 q_P 一直保持在较低水平, 午后随着光强的下降才略有恢复, 但不能恢复到黎明时的水平; 而遮荫下的榕树, 由于照射到叶片表面的光强较弱, 光合机构吸收的过剩光能较少, 所以对 PS II 反应中心并没有造成不可逆的破坏, 后随着温度的上升又进一步解除了低温对 PS II 光化学效率和电子传递活性的抑制作用, 使得 q_P 有大幅度恢复并超过了黎明时的值。

植物叶片在发生光抑制时可通过热耗散等非光化学途径将过多的激发能耗散掉。榕树经过夜间低温后, q_N 随着光强的增加而下降, 并且光照越强下降幅度越大, 此时全光照下榕树叶片几乎测不出 q_N (仅为 0.026), 即使午后光强减弱也不能恢复, 由此说明榕树叶片在受 0°C 以下夜间低温胁迫后又遭受强光胁迫, 其依赖于叶黄素循环的热耗散在防止光抑制中并没有起作用; 而遮荫下榕树叶片在 9:30 前有部分阳光照射到叶片上, 此时其 q_N 也有所下降 (0.122), 随后表现为先上升后又略降低, 说明弱光下依赖于叶黄素循环的热耗散才能在防止光合作用光抑制中起到一定的作用, 而光强减弱后其 q_N 先上升后下降的这种变化可能是由于遮荫恢复一定时间后, 相对遮荫初期叶片的光化学反应能力恢复程度大 (表现为 q_N 的增强), 大部分激发能通过光化学反应耗散掉, 导致其通过热耗散途径减弱, 从而引起 q_N 的降低。

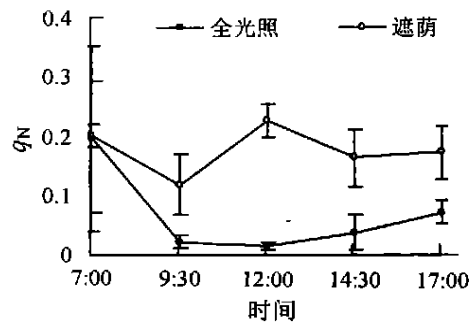
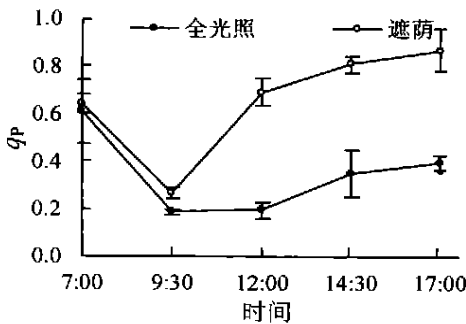


图 3 全光照和遮荫下生长的榕树叶片光系统 q_P 和 q_N 的日变化

Figure 3 Diurnal changes in q_P and q_N in leaves of *Ficus microcarpa* growing under full sunlight and shade environment

3 讨论

受夜间低温胁迫后, 榕树 F_v/F_m , Φ_{PSII} 与 q_P 值均较低, 说明夜间低温对榕树叶片光合机构产生了一定的影响, 导致光合电子传递活性和 PS II 将光能转化为电能的能力下降, 但遮荫条件下榕树叶片的 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 可恢复至较高水平, 说明夜间低温对光合机构并没造成破坏, 只是抑制了其活性。然而夜间低温胁迫后若是遇到强光照, 榕树叶片的 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 迅速下降并不能恢复, 说明强光加剧了对光合机构的破坏, 造成了不可逆的伤害。

在逆境下植物光能利用能力下降, 从而导致过剩光能的积累, 如果不能及时地将过剩光能耗散掉则会对光合机构产生伤害^[13]。弱光下榕树叶片的 q_P 和 q_N 能得到恢复, 说明其光化学反应与热耗散能力均有所增加, 叶片能通过这 2 种途径将大部分光能耗散掉, 而且照射到叶片上的光能本来就

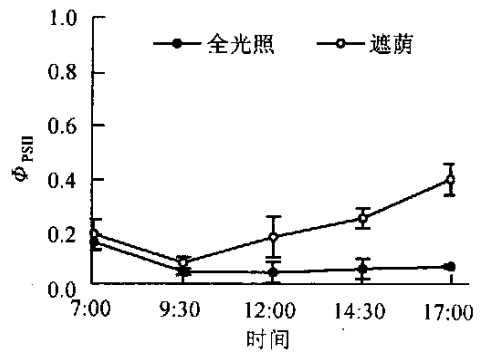


图 2 全光照和遮荫下生长的榕树叶片 Φ_{PSII} 的日变化

Figure 2 Changes in Φ_{PSII} in leaves of *Ficus microcarpa* growing under full sunlight and shade environment

少, 因此叶片所吸收的光能中过剩光能并不多, 所以对光合机构没有造成较大的影响。但强光则导致 q_P 和 q_N 的迅速降低, 其光合机构光化学反应能力下降的同时, 叶片通过叶黄素循环的热耗散能力也下降, 从而使叶片所吸收的光能大部分成为不可耗散的过剩光能, 过剩光能的积累可能会引起叶绿体内产生大量的活性氧, 对光合机构以及植物体造成严重伤害^[14]。

参考文献:

- [1] Berry J, Björkman O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants [J]. *Annu Rev Plant Physiol*, 1980, **31**: 491—543.
- [2] 何洁, 刘鸿先, 王以柔, 等. 低温与植物的光合作用[J]. *植物生理学通讯*, 1986, **22** (2): 1—6.
- [3] 刘鹏, 孟庆伟, 赵世杰. 冷敏感植物的低温光抑制及其生长保护机制[J]. *植物生理学通讯*, 2001, **37** (1): 76—82.
- [4] Brüggemann W, Linger P. Long-term chilling of young tomato plants under low light and subsequent recovery (II). Chlorophyll fluorescence, carbon metabolism and activity of *Rubisco* [J]. *Planta*, 1992, **186**: 179—187.
- [5] 李美茹, 刘鸿先, 王以柔. 低温与光对黄瓜幼苗子叶光合电子传递活性的影响[J]. *植物生理学报*, 1993, **19** (1): 23—30.
- [6] 段伟, 李新国, 孟庆伟, 等. 低温下的植物光抑制机理[J]. *西北植物学报*, 2003, **23** (6): 1 017—1 023.
- [7] 冯玉龙, 曹坤芳, 冯志立, 等. 夜间低温对不同光强下生长的 2 种热带树苗光合作用的影响[J]. *植物生理与分子生理学报*, 2002, **28** (6): 433—440.
- [8] 张教林, 曹坤芳. 夜间低温对 2 种热带雨林树种幼苗叶绿素荧光的影响[J]. *武汉植物学研究*, 2003, **21** (4): 356—360.
- [9] Krause G H, Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics [J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1991, **43**: 633—662.
- [10] Demming A B, Winter K, Kruger A, et al. Zeaxanthin synthesis, energy dissipation, and photoprotection of PSII at chilling temperature [J]. *Plant Physiol*, 1989, **90**: 894—898.
- [11] Johnson G N, Young A J, Scholes J D, et al. The dissipation of excess excitation energy in British plant species [J]. *Plant Cell Environ*, 1993, **16**: 673—679.
- [12] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide [J]. *J Exp Bot*, 2000, **51**: 659—668.
- [13] Demming-Adams B, Adams W W, Barker D H, et al. Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to the mal dissipation of excess excitation [J]. *Physiol Plant*, 1996, **98**: 253—264.
- [14] Asada K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons [J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1999, **50**: 601—639.

Effects of low temperature stress at night on chlorophyll fluorescence characteristics in leaves of *Ficus microcarpa* growing under two levels of irradiance

HU Wen-hai^{1,2}, HUANG Li-feng², XIAO Yi-an¹, WU Yang¹

(1. Department of Life Sciences, Jinggangshan Normal College, Ji'an 343009, Jiangxi, China; 2. Department of Horticulture, Zhejiang University, Hangzhou 310029, Zhejiang, China)

Abstract: The effects of low temperature at night on chlorophyll fluorescence characteristics in leaves of *Ficus microcarpa* growing in full sunlight (high light) and in shade (low light) site were examined. The results showed that low temperature induced photoinhibition in leaves of *Ficus microcarpa*, but did not damage photosynthetic apparatus. And the plant under low light after low temperature at night can protect the photosynthetic apparatus by higher photochemical and non-photochemical pathway. The plant under high light after low temperature at night can not dissipate excess energy by photochemical and non-photochemical pathway, so high light after low temperature at night damage photosynthetic apparatus deeply. [Ch, 3 fig. 1 tab. 14 ref.]

Key words: tree physiology; *Ficus microcarpa*; low temperature at night; irradiance; chlorophyll fluorescence characteristics; photoinhibition