

# H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 诱导的植物叶片光子辐射的变化及意义\*

习岗<sup>1</sup>, 卢洪<sup>2</sup>, 李少华<sup>1</sup>

(1 西安理工大学 理学院 应用物理系, 西安 710048)

(2 华南农业大学 理学院 应用物理系, 广州 510642)

**摘 要:** 为了研究植物叶片光子辐射与氧化胁迫的关系, 将鹅掌木叶片用不同浓度的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 进行了处理, 从而形成氧化胁迫. 实验结果表明, 随着 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理时间的延长, 浓度为 7.5%、15% 和 30% 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理均使鹅掌木叶片光子辐射中的自发发光较未受处理的对照有明显增长, 各处理组叶片的延迟发光动力学曲线均呈现双曲性弛豫. 通过建立延迟发光非线性动力学方程和数学模拟, 得到了延迟发光的特征参量初始光子数  $I_0$ 、相干时间  $\tau$  和衰减参量  $\beta$ , 发现随着 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理时间的延长, 各处理组叶片的  $I_0$  都呈现先下降, 后回升, 再下降的波动趋势; 而浓度为 7.5% 和 15% 的两个处理组的叶片  $\tau$  值和  $\beta$  值呈现波动变化, 浓度为 30% 的处理组的叶片  $\tau$  和  $\beta$  呈现单调下降的趋势. 推测 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 胁迫下叶片光子辐射中自发发光的变化反映了叶片活性氧含量的变化; 叶片延迟发光中  $I_0$  的变化反映了细胞总体代谢的变化, 延迟发光中的  $\tau$  值和  $\beta$  值的变化反映了叶片细胞对 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 胁迫的适应和损伤过程.

**关键词:** 生物光子辐射; 氧化胁迫; 评价; 植物

**中图分类号:** Q632

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4213(2009)12-3250-6

## 0 引言

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 是最稳定的一种活性氧 (Reactive Oxygen Species, ROS). 它能够通过跨膜运输的方式在细胞之间迅速扩散和代谢, 引发抗氧化级联反应, 在细胞对环境胁迫的一系列应激反应中起到信号转导作用<sup>[1-2]</sup>. 当植物受到环境胁迫时会迅速诱导 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的大量产生, 低浓度的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 会调控多种抗氧化酶的基因表达, 激活细胞的抗氧化系统, 诱导超氧化物歧化酶 (SOD) 等保护酶活性的升高, 使 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 积累<sup>[3-5]</sup>; 而过量的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 又会对细胞形成氧化胁迫 (Oxidative stress) 作用, 引起蛋白质和脂类等物质的失活, 破坏细胞的抗氧化系统, 使 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和其他活性氧含量迅速提高, 导致细胞死亡<sup>[6]</sup>. 因此, 环境胁迫下细胞中 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浓度的增长伴随着细胞对环境胁迫的适应、恶化和死亡的过程.

近年来, 生物光子学的研究进展导致了生物光子分析技术 (Biophoton Analytical Technology, BPAT) 的产生. 生物光子辐射对生物系统内部的微观变化及外界环境的影响高度敏感, 是生物代谢状态极其灵敏的物理指标<sup>[7-8]</sup>. 其中, 自发发光 (Spontaneous Biophoton Emission, BPE) 与细胞氧化代谢过程密切相关<sup>[9]</sup>, 延迟发光 (Delayed

Luminescence, DL) 可以作为生物体代谢活动的综合指标<sup>[8]</sup>.

然而, 在 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 介导的氧化胁迫中, 植物生物光子辐射的变化及其与氧化胁迫的关系至今未见研究报道. 在氧化胁迫中, 尚不清楚生物光子辐射能否灵敏地反映出细胞内活性氧及细胞代谢的变化并反映出植物细胞对氧化胁迫的适应和损伤过程. 由于外源 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液可以有效提高植物内源 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 进而影响植物氧化代谢<sup>[10-11]</sup>, 因此, 本实验应用不同浓度的外源 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理植物叶片, 形成氧化胁迫, 研究在氧化胁迫过程中植物叶片光子辐射中 BPE 和 DL 的变化, 探讨将 BPAT 应用于氧化胁迫对植物影响的诊断和评价方法.

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验所用叶片为常见园林植物鹅掌木 (Schefflera) 叶片, 采自华南农业大学校园.

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 叶片的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理

选取长势相近叶位相同的鹅掌木叶片, 用去离子水擦净表面污垢, 用滤纸吸干表面的水分后, 将叶片分别放入 0 (CK)、7.5%、15%、30% 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理液中, 在叶片上覆盖一层滤纸, 以保证叶片完全浸润在处理液中. 每隔 6 h 换 1 次处理液, 在 25 °C 光照条件下处理. 叶片处理时间为 0、1、4、7、9、15、25 h.

\* 国家自然科学基金 (50977079) 资助

Tel: 029-82310504

Email: xigangchao@gmail.com

收稿日期: 2008-12-12

修回日期: 2009-03-18

### 1.2.2 超弱发光的测定

#### 1) 自发发光的测定

将叶片取出,用滤纸吸干表面的溶液后,暗处理 5 min 后放入 BPCL 型超弱发光测量仪样品室,测定样品的自发发光. BPCL-4 超弱发光测量仪的测量原理见前文<sup>[12]</sup>. 每次测量 60 s,采集数据间隔为 0.5 s,工作电压-1 000 V,实验在室温维持在 23 ℃ 的暗室中进行. 测量前后各测 1 次本底,每个处理 3 个重复,取平均.

#### 2) 延迟发光的测定

将叶片取出,用滤纸吸干表面的溶液,在光强为 1 000~1 500 Lx 荧光灯下光照 5 min. 在荧光灯下将叶片放入 BPCL 型超弱发光测量仪样品室,仪器自动开始延迟发光的测定,每次测量 30 s,采集数据间隔为 0.5 s,工作电压-1 000 V. 测量前后各测 1 次本底. 每个处理均在同样条件下测量,并设 3 个重复,取平均值.

## 2 结果与分析

### 2.1 外源 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 对叶片自发发光的影响

图 1 为鹅掌木叶片分别经浓度为 0(CK)、7.5%、15%、30% 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理后的 BPE 变化情况. 由图 1 可见,在外源 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理 9 h 内,各处理组 BPE 强度均比未受处理的对照组 BPE 有较大的增长,其中 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理组的效果最为显著,其增长幅度达到 307.6%,而 7.5% 和 15% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理组的增长趋势较为缓慢,增长幅度分别为 49.7% 和 51.0%;在处理 9 h 后,30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理组叶片的 BPE 趋于稳定,而

7.5% 和 15% 的两个处理组则出现缓慢增长的趋势.

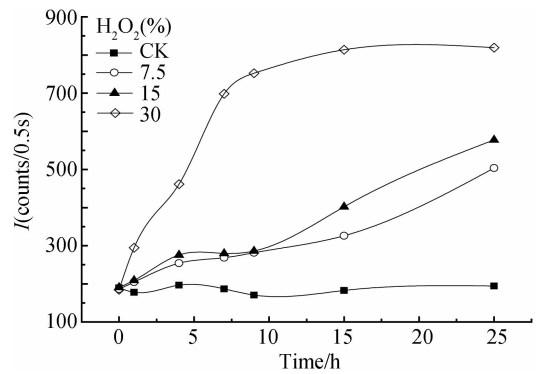


图 1 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 对叶片 BPE 的影响

Fig. 1 Effects of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on BPE in leaf

### 2.2 外源 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 对叶片延迟发光的影响

图 2 为鹅掌木叶片分别经过不同浓度的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理后的 DL 动力学曲线. 图 2(a) 为未经 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理的对照组在 24 h 内的 DL 动力学曲线,图 2(b)、(c)、(d) 为叶片分别经过 7.5%、15% 和 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理不同时间的延迟发光曲线. 在图 2(b)、(c)、(d) 中,各组曲线在处理的 25 h 内均呈现先下降然后上升、最后下降的趋势,但是不同浓度处理的 DL 升降幅度有所不同. 为了定量讨论和分析图 2 中各曲线的差异,将图 2 中各 DL 曲线按照式(1)拟合,可以得到图 2 中各 DL 曲线的三个特征参量  $I_0$ 、 $\tau$  和  $\beta$

$$I(t) = \frac{I_0}{(1+t/\tau)^\beta} \quad (1)$$

按式(1)拟合的图 2 中各曲线的相关系数都在 0.99 以上,因而式(1)所表示的函数和各拟合参量能够很好的描述图 2 中的 DL 动力学曲线.

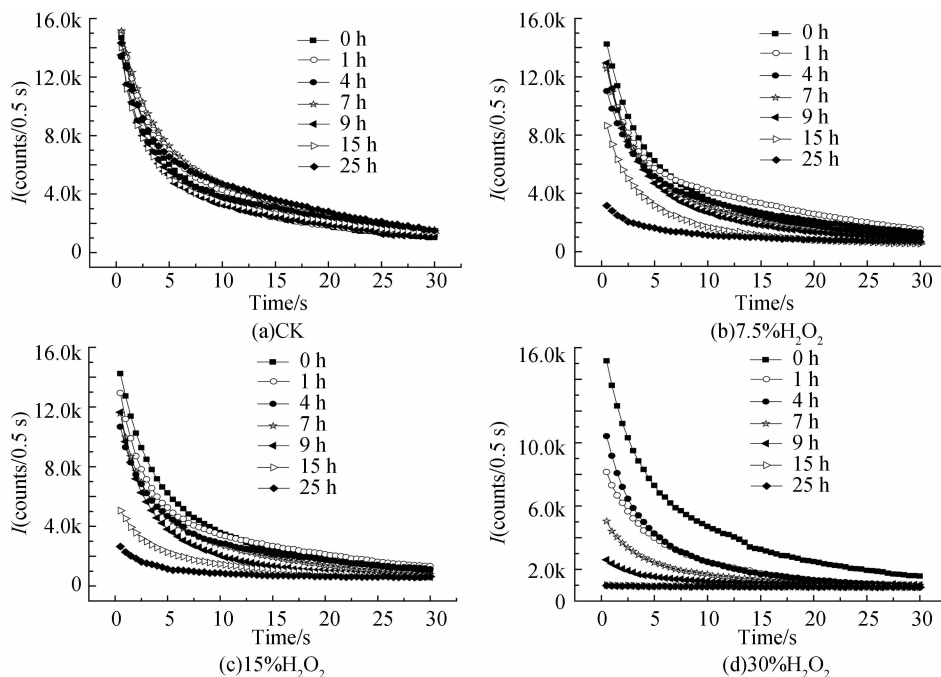


图 2 不同 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浓度处理的叶片在 25 h 内的 DL 曲线

Fig. 2 DL curves of leaf with different H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentrations treatment

### 2.2.1 DL初始发光强度 $I_0$ 的变化

图3为根据图2测定的各DL发光曲线用式(1)拟合后得到的DL初始发光  $I_0$  的时域变化曲线,其中,横坐标为处理时间.由图3可见,在用  $H_2O_2$  连续处理的24 h内,未受  $H_2O_2$  处理的对照组的初始发光  $I_0$  变化不大,而浓度为7.5%、15%和30%  $H_2O_2$  处理组的  $I_0$  都呈现出先下降,后回升,再下降的波动趋势.从变化的时域关系来看,随着处理时间的进行,30%  $H_2O_2$  处理组DL初始发光  $I_0$  开始回升的时间约1 h左右,7.5%和15%的两个处理组的回升时间约为4 h左右,30%  $H_2O_2$  处理组在4 h左右开始不可逆下降,而7.5%、15%  $H_2O_2$  两个处理组在9 h左右开始不可逆下降;从变化的幅度来看,处理组  $H_2O_2$  的浓度愈大,  $I_0$  起伏变化的幅度也愈大,并且随着处理时间的延长,  $H_2O_2$  浓度愈大的处理组,  $I_0$  下降的幅度也愈大.

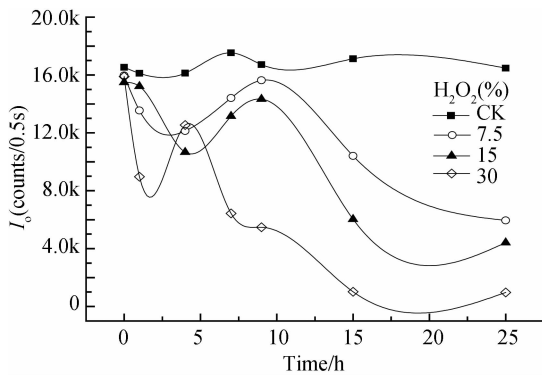


图3 DL初始发光强度  $I_0$  的变化

Fig. 3 Changes of Initial light intensity  $I_0$  of DL in leaf

### 2.2.2 DL特征参量 $\tau$ 值的变化

鹅掌木叶片分别经过浓度为0、7.5%、15%和30%  $H_2O_2$  处理25 h内拟合的DL特征参量  $\tau$  的变化趋势如图4.由图4可见,相对于未受处理的对照组,随着时间的进行,  $H_2O_2$  浓度为7.5%和15%的两个处理组的  $\tau$  值均呈现出先下降后上升,最后下降的波动变化;而对  $H_2O_2$  浓度为30%的处理组,随着处理时间的进行,  $\tau$  值呈现出单调下降的

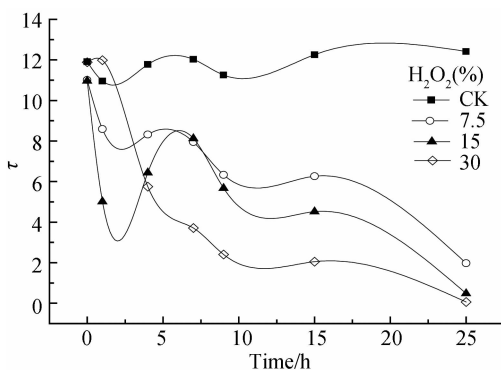


图4 叶片DL特征参量  $\tau$ (s)值的变化

Fig. 4 Changes of characteristic parameter  $\tau$  of DL in leaf

趋势.从波动的幅度来看,在  $H_2O_2$  浓度为7.5%和15%的两个处理组中,后者的波动幅度要大.在处理24 h时,  $H_2O_2$  浓度愈大的处理组,其  $\tau$  值下降的幅度也愈大.

### 2.2.3 DL特征参量 $\beta$ 值的变化

图5给出了分别经过不同浓度  $H_2O_2$  处理25 h时拟合的鹅掌木叶片DL发光曲线中特征参量  $\beta$  的变化.由图5可见,叶片DL参量  $\beta$  值和  $\tau$  值的变化大致相同.随着处理时间的进行,  $H_2O_2$  浓度为7.5%和15%的两个处理组的  $\tau$  值呈现出波动的变化趋势,在处理2.5 h左右两个处理组的  $\tau$  值均下降到低点,此后逐渐回升.此后,在8 h左右  $H_2O_2$  浓度为15%的处理组的  $\beta$  值出现峰值,而  $H_2O_2$  浓度为7.5%的处理组  $\beta$  值的峰值大约出现在15 h左右.对于  $H_2O_2$  浓度为30%的处理组,随着处理时间的进行,  $\beta$  值在处理1 h左右以后呈现出迅速下降的趋势,在处理15 h时  $\beta$  值已下降至最低水平.

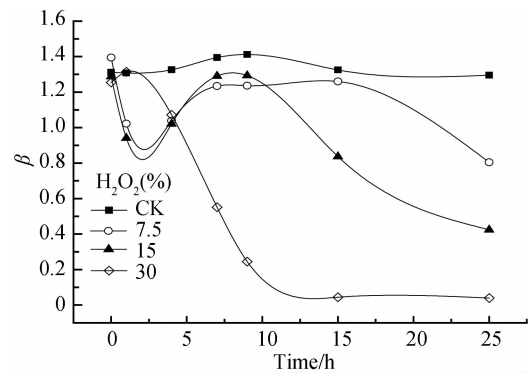


图5 叶片DL特征参量  $\beta$  值的变化

Fig. 5 Changes of characteristic parameter  $\beta$  of DL in leaf

## 3 讨论

关于生物光子辐射中BPE的成因,许多证据表明,BPE的强弱主要与生物系统内氧化还原代谢活动中产生的活性氧代谢有关<sup>[9]</sup>,体内活性氧含量愈高,BPE的强度愈强<sup>[13-14]</sup>.因此,叶片BPE的强度和  $H_2O_2$  含量的变化存在着必然的联系.本实验发现(见图1),和未受处理的对照相比较,不同浓度的外源  $H_2O_2$  处理使叶片BPE强度都有明显升高,外源  $H_2O_2$  浓度越高,叶片BPE增强效果越显著.其中,随着处理时间的延长,较低浓度(7.5%、15%)的  $H_2O_2$  处理组的BPE呈现较为缓慢的增长趋势,在处理9 h后呈现较快的增长趋势;而高浓度(30%)  $H_2O_2$  处理组的叶片BPE在处理的9 h内即呈现出快速增长趋势,在处理9 h后,BPE的光强趋于稳定.由此可以推断,较低浓度的  $H_2O_2$  胁迫,诱导了SOD等抗氧化酶活性提高,使内源  $H_2O_2$  含量缓慢增高,BPE的强度随之缓慢增强;随着胁迫时间延

长,细胞内 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 积累过多,反过来抑制了抗氧化酶的活性,使细胞活性氧含量迅速增加,从而 BPE 的强度也随之较快增长;高浓度 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理则直接造成细胞抗氧化系统的破坏,使活性氧迅速增加,从而 BPE 的强度呈现快速增长.看来,BPE 强度的变化反映了 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 胁迫下植物叶片活性氧含量的变化情况.

本实验发现,鹅掌木叶片的 DL 呈现非指数性衰变,据此可以认为 DL 来自于叶片组织内激发态上所有粒子间的合作效应,它们按高阶非线性耦合的方式关联起来,形成了一个高度相干性的整体.将图 2 中的 DL 发光曲线按非线性动力学方程(1)拟合,得到了很好的拟合方程和相应的动力学参量.

方程(1)中的各个参量都有确切的物理意义,其中,  $I_0$  为初始光子数.  $I_0$  的大小表征生物系统总体的代谢活动强度,初始强度越大,其代谢活动愈旺盛<sup>[15]</sup>.在图 3 中,各处理组的初始光子数  $I_0$  均随处理时间的延长呈现出波动变化,表明在胁迫开始时细胞总体代谢首先降低,随后, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 激活了细胞内的抗氧化系统,细胞代谢逐渐回升;随着胁迫强度的加剧或胁迫时间的延长,细胞内过量产生的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 又会引起蛋白质和脂类等物质的失活,造成细胞损伤,细胞总体代谢水平不可逆下降.此外,图 3 还显示,高浓度(30%)H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理组  $I_0$  的波动周期短,幅度大;较低浓度(7.5%、15%)H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理组  $I_0$  的波动周期长,幅度小.看来, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 胁迫下  $I_0$  的时域变化曲线反映了胁迫过程中细胞总体代谢的变化情况.

方程(1)中的  $\tau$  称相干时间,其减小意味着系统内部的“关联性”减弱,系统的有序性降低,因而可以作为生命态有序性的量度<sup>[15]</sup>.本实验发现,在外源 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理的 25 h 时间内, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浓度为 7.5%、15% 的处理组的  $\tau$  值出现了波动的变化;而对 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浓度为 30% 的处理组,随着处理时间的进行,  $\tau$  值呈现出单调的下降趋势.这个结果表明,在轻度胁迫时,在 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 等活性氧分子的攻击下叶片首先表现出有序性降低,随后,在 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 介导的信号转导作用下,调控多种抗氧化酶的基因表达,细胞抗氧化酶活性提高,清除自由基能力加强,细胞结构和功能得到修复,各组分间相互作用加强,生命有序性恢复,从而  $\tau$  值也相应增大;但随着胁迫时间的延长,过度的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 等活性氧攻击细胞膜,造成细胞结构和功能的不可逆损伤,细胞有序性降低,  $\tau$  值下降;而在重度胁迫下,细胞对环境胁迫的自适应能力已无法做到自体恢复,细胞结构与功能随着胁迫时间的延长受到破坏,细胞有序性迅速下降,  $\tau$  值即表现出不可

逆下降的趋势.由此可见,  $\tau$  值的时域变化曲线生动地反映了在 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 胁迫下叶片细胞对胁迫的适应和细胞生命活动有序性的变化过程.

式(1)中的  $\beta$  称为衰减系数,它强烈控制着弛豫的速率,其值可以表征生物体内各组分之间相互作用的大小<sup>[15]</sup>.  $\beta$  值愈大, DL 衰减速率愈慢,生物系统内各组分相互作用愈大,相互联系越紧密.图 5 显示,在较低浓度的外源 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (7.5% 和 15%) 处理下,随着胁迫时间的进行,叶片  $\beta$  值的变化与  $\tau$  值的变化相似,也呈现出波动变化.而高浓度(30%) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理组的  $\beta$  值呈现出迅速下降的趋势.根据  $\beta$  值的意义和图 5 的结果可以推断,由于 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的破坏,叶片组织各部分之间的相互作用减弱、平衡失调,但分别在处理 1~15 h(7.5% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、1~9 h(15% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 和 0~1 h(30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 时间段内细胞内各组分的结构与功能会得到一定程度的修复;在此后的时间内,随着胁迫时间的延长,各处理组的  $\beta$  值较对照下降,且下降的幅度与处理浓度成正相关.看来,  $\beta$  也可以描述 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 胁迫下植物叶片细胞对 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 胁迫的适应和损伤过程.

植物对环境胁迫的反应是一个十分复杂的过程,有关生物学的研究已经取得了很多进展.但是,长期以来一直缺乏能够定量评价和诊断植物抗逆性的方法和指标.本研究通过对外源 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 胁迫下鹅掌木叶片 DL 发光曲线的定量分析,获取了发光曲线中初始发光强度  $I_0$ 、相干时间  $\tau$  和衰减系数  $\beta$ ,发现这些参量可以灵敏、全面的反映植物对氧化胁迫的适应和损伤过程,因而可用于植物对氧化胁迫反应的定量评价与诊断.

由于当植物细胞受到病原体、损伤、热、强光、紫外线和臭氧等各种生物与非生物的胁迫时,都是通过诱导 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的过量产生,进而调控一系列对胁迫的应答<sup>[2,16]</sup>.因此,本研究的结果可能具有普遍的意义,可推广应用于植物对各种环境胁迫反应的定量评价与诊断.

## 4 结论

随着 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理时间的延长,浓度为 7.5%、15% 和 30% 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理均使鹅掌木叶片光子辐射中的自发发光较未受处理的对照有明显增长,各处理组叶片的延迟发光动力学曲线均呈现双曲性弛豫.叶片延迟发光动力学特征可以通过延迟发光初始光子数  $I_0$ 、相干时间  $\tau$  和衰减参量  $\beta$  来表达.随着 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理时间的延长,各处理组叶片的  $I_0$  都呈现先下降,后回升,再下降的波动趋势;而浓度为 7.5% 和 15% 的两个处理组的叶片  $\tau$  值和  $\beta$  值呈现波动变

化,浓度为 30% 的处理组的叶片  $\tau$  和  $\beta$  呈现单调下降的趋势. 推测  $H_2O_2$  胁迫下叶片光子辐射中自发发光的变化反映了叶片活性氧含量的变化; 叶片延迟发光中  $I_0$  的变化反映了细胞总体代谢的变化,  $\tau$  值和  $\beta$  值的变化反映了叶片细胞对  $H_2O_2$  胁迫的适应和损伤过程.

#### 参考文献

- [1] NEILL S, DESIKAN R, HANCOCK J. Hydrogen peroxide signaling[J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2002, **5**: 388-395.
- [2] LI Shi-Weng, XUE Lin-Gui, FENG Hu-Yuan, et al. Hydrogen Peroxide Signaling and Its Biological Importance in Plants[J]. *Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 2007, **23**(10) : 804-810.  
李师翁, 薛林贵, 冯虎元, 等. 植物中的  $H_2O_2$  信号及其功能[J]. *中国生物化学与分子生物学报*, 2007, **23**(10) : 804-810.
- [3] PRASAD T K, ANDERSON M D, STEWART C R. Localization and characterization of peroxidases in the mitochondria of chilling-acclimated maize seedlings[J]. *Plant Physiology*, 1995, **108**(4) : 1597 - 1605.
- [4] DESIKAN R, MACKERNESS S, HANCOCK J T, et al. Regulation of the Arabidopsis transcriptome by oxidative stress[J]. *Plant Physiol*, 2001, **127**(1) : 159-172.
- [5] FOYER C H, NOCTOR G. Redox Homeostasis and Antioxidant Signaling: A Metabolic Interface between Stress Perception and Physiological Responses[J]. *The Plant Cell*, 2005, **17**: 1866-1875.
- [6] MONDAL R. Role of hydrogen peroxide in senescence of excised leaves of rice and maize[J]. *Biolchem Physiol Pflanz*, 1988, **176**: 700 - 709.
- [7] SLAWINSKI J, EZZAHIR A, GODLEWESKI M. Stress-induced photon emission from perturbed organism [J]. *Experientia*, 1992, **48**: 1041-1058.
- [8] YU Y, POPP F A, SIBYLLE S. Further analysis of delayed luminescence of plants [J]. *Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 2005, **78**: 235-244.
- [9] HIDE G E, BJORN L O. Ultraweak light emission, free radicals, chilling and light sensitivity[J]. *Physiol Plant*, 1996, **98**: 223-228.
- [10] HUNG K T, HSU Y T, KAO C H. Hydrogen peroxide is involved in methyl jasmonate-induced senescence of rice leaves [J]. *Physiologia Plantarum*, 2006, **127**(2) : 293 - 303.
- [11] CHAN Z L, TIAN S P. Induction of  $H_2O_2$  metabolizing enzymes and total protein synthesis by antagonistic yeast and salicylic acid in harvested sweet cherry fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2006, **39**: 314 - 320.
- [12] XI Gang, YANG Chu-ping, SONG Qing. The responses of chlorophyll fluorescence dynamics and ultraweak photoemission in photosynthesis cell of tobacco to low level radio frequency electromagnetic field [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(5) : 622-625.  
习岗, 杨初平, 宋清. 烟草光合细胞 Chla 荧光动力学和超弱发光对低强度射频电磁场的响应[J]. *光子学报*, 2004, **33**(5) : 622-625.
- [13] SLAWINSKI J. Luminescence research and its relation to ultraweak cell radiation[J]. *Experientia*, 1988, **33**(7) : 559-571.
- [14] SAKIN M L, BRIDGES S M. Chemiluminescence in soybean root tissue: Effect of various substrates and inhibitors[J]. *Photobiochem and Photobiophys*, 1983, **6**: 57-64.
- [15] GU Qiao. Biophotonics[M]. Beijing: Science Press, 2007 : 26.  
顾樵. 生物光子学[M]. 北京: 科学出版社, 2007, 26.
- [16] BALL L, ACCOTIO G P, BECHTOLD U. Evidence for a Direct Link Between Gltathione Biosynthesis and Stress Defense Gene Expression in Arabidopsis[J]. *The Plant Cell*, 2004, **16**: 2448-2462.

## Changes of Biophoton Emission of Plant Leaf Induced by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and Its Significance

XI Gang<sup>1</sup>, LU Hong<sup>2</sup>, LI Shao-hua<sup>1</sup>

(1 Department of Applied Physics, Institute of Science, Xian University of Technology, Xian 710048, China)

(2 Department of Applied Physics, Institute of Science, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** In order to study the relationship between biophoton emission of plant leaf and oxidative stress, the leaf of plant (*Schefflera*) is treated with different concentration H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solution. The experimental result indicates that along with the time of leaf treated with the concentration 7.5%, 15% and 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> extension, spontaneous biophoton emission (BPE) of biophoton emission in leaf increased obviously compared with the control that the leaf had not treated with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solution, and the dynamics curves of delayed luminescence (DL) in leaf showed hyperbolic relaxation. Through the establishment of non-linear dynamics equation about DL and the mathematical simulation, the initial photon number  $I_0$ , coherence time  $\tau$  and weaken parameter  $\beta$  about DL are obtained. The analysis results discover that along with the time of leaf treated with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> extension, initial photon number  $I_0$  of various treatment groups dropped first, latter rose, then dropped again, but the values of coherence time  $\tau$  and weaken parameter  $\beta$  of two treatment groups about 7.5% and 15% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> stress presented fluctuation change, the values of  $\tau$  and  $\beta$  of treatment group about 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> stress presented the monotonous drop tendency. We extrapolated that the change of BPE had reflected the change of active oxygen content in cell under H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> stress, the change of initial photon number  $I_0$  of DL had reflected overall metabolism's change in cell, the changes of  $\tau$  and  $\beta$  about DL had reflected the adaptation and damage process about cell to H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> stress.

**Key words:** Biophoton emission; Oxidative stress; Evaluation; Plant



**XI Gang** was born in 1957, and graduated from Xi'an University of Technology in 1981. He won the M. S. degree of biophysics in 1991. Now, he is working as a professor at Xi'an University of technology, and his research interests focus on biophotonics and biophysics.