

## 水分胁迫下李树叶绿素荧光动力学特性研究\*

胡学华<sup>1,2</sup> 蒲光兰<sup>3</sup> 肖千文<sup>3</sup> 刘永红<sup>1</sup> 邓家林<sup>1</sup>

(1. 四川省农业科学院 成都 610066; 2. 四川省南方丘区节水农业研究重点实验室 成都 610066;  
3. 四川农业大学林学院园艺学院 雅安 625014)

**摘要** 水分胁迫引起李树叶片叶绿素含量(CHL)、相对含水量(LRWC)下降,叶绿素荧光参数  $F_o$  升高, $F_m$ 、 $F_v$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、 $F_m/F_o$  和  $F_o$  与  $F_m$  曲线之间面积降低,表明水分胁迫影响了光系统 II 光化学效率、潜在活性、捕获激发能的效率、光合电子的传递以及电子受体库的大小,从而导致光合速率下降。3 个供试品种中以“索瑞斯”受影响最小,“秋姬”居中,“安哥洛”最大,说明“索瑞斯”抗旱性最强。

**关键词** 李树 水分胁迫 叶绿素荧光

**Effects of water stress on chlorophyll fluorescence in leaves of plum (*Prunus salicina* Lindl.).** HU Xue-Hua<sup>1,2</sup>, PU Guang-Lan<sup>3</sup>, XIAO Qian-Wen<sup>3</sup>, LIU Yong-Hong<sup>1</sup>, DENG Jia-Lin<sup>1</sup> (1. Sichuan Academy of Agricultural Science, Chengdu 610066, China; 2. Key Lab of Water-saving Agriculture in the Southern Hill Region of China, Sichuan Province, Chengdu 610066, China; 3. College of Forest and Horticulture, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China), *CJEA*, 2007, 15(1): 75~77

**Abstract** The effects of water stress on the chlorophyll fluorescence parameters of the plum were studied by using plant efficiency analyser (PEA). The results indicate that chlorophyll fluorescence parameters of leaf are changed obviously under water stress.  $F_o$  is increased;  $F_m$ ,  $F_v$ ,  $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_o$ ,  $F_m/F_o$  and the area between the curves of  $F_o$  and  $F_m$  are decreased, suggesting that the primary light energy conversion of PS II, the potential activities of PS II, the potential photosynthetic activities, photosynthetic electron transport, etc. have been inhibited under water stress. The chlorophyll content, relative water content of plum leaves decrease under water stress. And the characteristics against water stress of three plums varieties are discussed.

**Key words** *Prunus salicina* Lindl., Water stress, Chlorophyll fluorescence

(Received March 28, 2005; revised June 30, 2005)

叶绿素荧光诱导动力学是 Kautsky 于 1931 年发现的,也称为 Kautsky 效应。近年来,植物叶绿素荧光动力学已发展为光合作用机理研究的一种新型、快速、简便、准确、无损伤的检测植物光合作用生理状况的新兴技术。因其包含十分丰富的光合作用过程变化的信息,被视为植物光合作用与环境关系的内在探针,为植物抗性生理研究提供了方便。近年来国内关于李树(*Prunus salicina* Lindl.)的研究很多,但对于逆境下李树光合作用甚至更深层次的叶绿素荧光的研究尚少见报道。本研究旨在通过对水分胁迫下李树叶片叶绿素荧光特性的观测,从能量耗散角度分析其水分胁迫的特征,为快速鉴定李树的抗旱性提供评定指标。

### 1 试验材料与方法

试验采用 2 年生田间种植的李树为试验材料,其品种为“秋姬”、“安哥洛”和“索瑞斯”。选择树冠大小相似,高矮、长势基本一致的植株,以测定单株为中心,四周开深 1m 沟,再用塑料薄膜包埋,回填土壤,使测定树木处于相对独立的土体中,形成干旱的土壤环境,每品种分别做 4 次重复。处理前浇水,使土壤相对含水量基本饱和,停止浇水让其自然干旱,在土壤相对含水量为 80% (对照)、70%~75% (轻度胁迫)、60%~65% (中轻度胁迫)、50%~55% (中度胁迫)、35%~40% (重度胁迫)时取树冠外围生长一致的当年生枝条上功能叶测定叶片相对含水量(LRWC)、叶绿素含量(CHL)和荧光动力学参数。叶片相对含水量采用烘干法测定[ $LRWC=100 \times (\text{原初鲜物质量} - \text{干物质量}) / (\text{水饱和干物质量} - \text{干物质量})$ ],叶绿素含量采用美国

\* “南方季节性缺水灌区节水农业综合技术体系集成与示范”子课题(“863”计划)[2002AA2Z4261]资助

产 SPAD-502 手持叶绿素仪测定, 荧光动力学参数采用英国产持续荧光激发系统 (PEA) 测定, 测定前叶片暗适应 20min。

## 2 结果与分析

### 2.1 水分胁迫对叶片相对含水量与叶绿素含量的影响

逆境条件下植物叶片相对含水量反映叶片的保水能力。由表 1 可知, 随胁迫程度的增加, 叶片相对含水量明显下降。重度胁迫下供试 3 个李树品种“安哥洛”、“秋姬”和“索瑞斯”与对照相比分别下降 26.0%、19.0%、15.2%。随叶片含水量的下降, 叶绿素含量也随之下下降, 与对照相比, 重度胁迫下“安哥洛”下降 6.9%，“秋姬”下降 4.6%，“索瑞斯”下降 4.5%。由此可见, 水分胁迫下不同品种叶片的保水能力差异较大, 从而影响叶绿素含量的变化。3 个品种中以“索瑞斯”表现最好, 表明其具有较高的光和作用潜能与抗水分胁迫能力。

表 1 水分胁迫对李树叶片相对含水量、叶绿素含量及叶绿素荧光参数的影响\*

Tab.1 Effects of water stress on the leaf relative water content, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters

项 目 Items	品 种 Varieties	土壤相对含水量/% Relative water content of soil				
		CK	74	62	53	40
相对含水量/%	秋 姬	96.80	92.20	88.65	83.70	78.40
	安哥洛	97.05	88.30	83.90	78.60	71.80
	索瑞斯	96.20	93.50	90.80	85.72	81.60
叶绿素含量	秋 姬	11.66	11.50	11.37	11.35	11.12
	安哥洛	12.10	11.96	11.80	11.33	11.26
	索瑞斯	13.79	13.77	13.71	13.47	13.17
F <sub>o</sub>	秋 姬	262	268	272	279	283
	安哥洛	303	310	316	326	340
	索瑞斯	301	305	309	321	327
F <sub>m</sub>	秋 姬	1268	1263	1232	1210	1084
	安哥洛	1495	1421	1393	1302	1254
	索瑞斯	1490	1480	1436	1354	1312
F <sub>v</sub>	秋 姬	1006	995	960	931	801
	安哥洛	1192	1111	1077	976	914
	索瑞斯	1189	1175	1127	1033	985
F <sub>v</sub> / F <sub>m</sub>	秋 姬	0.793	0.788	0.779	0.769	0.739
	安哥洛	0.797	0.782	0.773	0.750	0.729
	索瑞斯	0.798	0.794	0.785	0.763	0.751
F <sub>v</sub> / F <sub>o</sub>	秋 姬	3.840	3.713	3.529	3.337	2.830
	安哥洛	3.934	3.584	3.408	2.994	2.688
	索瑞斯	3.950	3.852	3.218	3.218	3.012
F <sub>m</sub> / F <sub>o</sub>	秋 姬	4.840	4.713	4.529	4.337	3.830
	安哥洛	4.934	4.584	4.408	3.994	3.688
	索瑞斯	4.950	4.852	4.647	4.218	4.012
面 积	秋 姬	16642	15428	14643	13131	11987
	安哥洛	14062	11730	11625	11395	10593
	索瑞斯	17460	16393	14884	14305	13540

\* 表中叶绿素含量、F<sub>o</sub>、F<sub>m</sub>、F<sub>v</sub> 和面积均为相对值。

### 2.2 水分胁迫对 F<sub>o</sub>、F<sub>m</sub> 与 F<sub>v</sub> 的影响

初始荧光 F<sub>o</sub> 常以度量色素吸收的能量中以热和荧光形式散失的能量, 最大荧光产量 F<sub>m</sub> 反映通过 PS II 的电子传递情况。由表 1 可知, 水分胁迫下 F<sub>o</sub> 升高, F<sub>m</sub> 下降, 且胁迫程度增加变化幅度加快。表明 PS II 受到损伤或部分失活<sup>[3]</sup>, 通过 PS II 的电子传递受到抑制。3 个品种中以“安哥洛”改变幅度最大, 分别为 12.2% 和 16.1%, 表明其色素吸收的能量中以热和荧光形式散失的能量增加最多, 用于光合作用的明显减少, 通过 PS II 的电子传递明显受到抑制, 甚至电子流被中断。可变荧光 F<sub>v</sub> 的大小及其变化过程与 PS II 的原初反应过程, 特别是其电子受体 Q<sub>A</sub> 的氧化还原状态密切相关, 代表可参与 PS II 光化学反应的光能辐射部分。由表 1 可知, 水分胁迫下李树叶片 F<sub>v</sub> 受到抑制。轻度胁迫时叶片 F<sub>v</sub> 与对照相比下降较少, 随胁迫

程度增加,  $F_v$  的下降幅度和速率增加明显, 重度胁迫时“安哥洛”下降 23.3% , “秋姬”下降 20.4% , “索瑞斯”下降 17.2% 。水分胁迫下叶片  $F_v$  下降, 反映了 PS II 反应中心  $Q_A$  氧化态数量减少, 使  $Q_A \rightarrow Q_B$  传递电子的能力下降。

### 2.3 水分胁迫对 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 与 $F_m/F_o$ 的影响

$F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$  和  $F_m/F_o$  分别代表 PS II 原初光能转化效率、潜在活性和捕获激发能的效率, 是研究植物胁迫的重要参数<sup>[4]</sup>。表 1 表明水分胁迫下李树叶片 PS II 原初光能转化效率 ( $F_v/F_m$ )、PS II 的潜在活性 ( $F_v/F_o$ ) 和开放的 PS II 捕获激发能的效率 ( $F_m/F_o$ ) 明显下降。且胁迫程度越大, 下降的幅度越大, 3 个品种中以“安哥洛”降幅最大, “秋姬”次之, “索瑞斯”最小。  $F_v/F_m$  是 PS II 最大光化学量子产量, 反映 PS II 反应中心内光能转换效率或称最大 PS II 的光能转换效率, 其变化代表 PS II 光化学效率的变化, 是光合作用抑制程度的重要指标之一。水分胁迫下李树叶片叶绿素荧光参数  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$  和  $F_m/F_o$  的变化分析表明, 水分胁迫使 PS II 原初光能转换效率下降, 潜在活性中心受损, 从而抑制了李树叶片光合作用的原初反应。

### 2.4 水分胁迫对 $F_o$ 与 $F_m$ 曲线之间面积的影响

表 1 表明水分胁迫下李树叶片叶绿素荧光参数  $F_o$  与  $F_m$  曲线之间面积下降, 且胁迫越重, 面积降低越迅速。重度胁迫时, 3 个品种与对照相比  $F_o$  与  $F_m$  曲线之间面积分别下降 28.0%、24.7%、22.5% , 降低幅度顺序为“秋姬”>“安哥洛”>“索瑞斯”, 表明 PS II 系统的电子受体库在水分胁迫下减小, 且胁迫越重, 下降越多。胁迫过程中“秋姬”和“索瑞斯”品种  $F_o$  与  $F_m$  曲线之间面积一直处于较高水平, 说明二者电子受体库接受电子的潜力较高。

## 3 小结与讨论

水分胁迫对植物光合作用的影响是多方面的, 不仅直接引发光合机构结构和功能的异常, 同时也影响光合电子的传递<sup>[1]</sup>。水分胁迫下李树叶片叶绿素和相对含水量下降, 叶绿素荧光参数  $F_o$  升高,  $F_m$ 、 $F_v$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、 $F_m/F_o$  和  $F_o$  与  $F_m$  曲线之间面积降低, 说明水分胁迫影响了 PS II 的活性、光合电子的传递过程及  $CO_2$  同化的正常进行; 供试 3 个李树品种在轻度胁迫时各参数变化幅度均较小, 但随胁迫程度增加, 其变化幅度增加, 3 个品种中以“索瑞斯”各参数变化幅度最小, “秋姬”居中, “安哥洛”最大, 说明“索瑞斯”的抗旱性最强。

水分胁迫下叶绿素荧光参数  $F_o$  上升, 说明李树叶片 PS II 内色素吸收的能量流向光化学的部分减少, 并以热和荧光形式散失的能量增加, 或者依赖于跨类囊体膜质子梯度等方式进行热耗散, 从而避免或减轻光合机构的破坏;  $F_v$  明显下降, 表明水分胁迫处理降低了 PS II 反应中心  $Q_A$  的氧化态数量, 使  $Q_A \rightarrow Q_B$  传递电子的能力下降<sup>[2]</sup>;  $F_v/F_m$  下降但降幅较小, 表明 PS II 反应中心内光能转换效率和潜在活性只受到轻微影响或影响不大<sup>[3,6]</sup>;  $F_v/F_o$  和  $F_m/F_o$  值明显下降, 说明水分胁迫影响了 PS II 捕获激发能的效率和光合作用的原初反应;  $F_o$  与  $F_m$  曲线之间面积明显减小, 表明 PS II 系统的电子受体库 (库内包括  $Q_A$ 、 $Q_B$ 、质醌和  $Q_{400}$ ) 减小, 其原因是库内各电子受体的还原受到抑制, 从而导致整个电子传递链的电子传递速率下降, 进一步将影响 ATP 和 NADPH 的形成。本研究表明, 水分胁迫下李树叶片 PS II 的原初光能转化效率和潜在活性降低, PS II 潜在光合作用活力受到抑制, 光合电子传递及光合磷酸化受阻, 从而导致光合速率降低<sup>[5]</sup>。

## 参 考 文 献

- 1 罗俊, 张木清, 吕建林, 等. 水分胁迫对不同甘蔗品种叶绿素 a 荧光动力学的影响. 福建农业大学学报, 2000, 29(1): 18~22
- 2 宋丽丽, 郭延平, 徐凯, 等. 温州蜜柑叶片光合作用光抑制的保护机理. 应用生态学报, 2003, 14(1): 47~50
- 3 史胜青, 袁玉欣, 杨敏生, 等. 水分胁迫对 4 种苗木叶绿素荧光的光化学淬灭和非光化学淬灭的影响. 林业科学, 2004, 40(1): 168~173
- 4 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999. 192
- 5 张秋英, 李发东, 刘孟雨, 等. 水分胁迫对小麦旗叶叶绿素 a 荧光参数和光合速率的影响. 干旱地区农业研究, 2002, 20(3): 80~84
- 6 Maxwell K., Johnson G.N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(345): 659~668