

超便携式调制叶绿素荧光仪

MINI-PAM-II

操作手册



目录

1 安全指导	- 1 -
1.1 常规安全指导	- 1 -
1.2 特殊安全指导	- 1 -
2 引言	- 2 -
2.1 手册目的	- 2 -
3 组件和设置	- 3 -
3.1 基本系统组成	- 3 -
3.2 光电单元	- 3 -
3.3 60°距离叶夹 2010-A.....	- 5 -
3.4 配件	- 6 -
3.4.1 2035-B 叶夹	- 6 -
4 饱和脉冲分析	- 9 -
4.1 五个荧光参数	- 9 -
4.1.1 暗适应样品的测量.....	- 9 -
4.1.2 照光样品的测量.....	- 9 -
4.2 荧光比参数	- 10 -
4.3 相对电子传递速率 (ETR)	- 13 -
4.4 光曲线	- 13 -
4.5 光曲线的参考文献	- 14 -
4.6 饱和脉冲分析的相关综述.....	- 15 -
5 提示	- 16 -
5.1 仪器设定	- 16 -
5.2 默认设置	- 16 -
5.3 F ₀ 荧光	- 16 -
5.4 F _M 荧光	- 17 -
5.5 荧光信号噪音	- 17 -
5.6 系统停止响应	- 17 -
6 触屏操作	- 18 -
6.1 校准	- 18 -
6.2 顶级窗口	- 18 -
6.2.1 基础数据	- 20 -
6.2.2 主要数据	- 22 -
6.2.3 淬灭分析	- 22 -
6.2.4 Ft 图谱	- 22 -
6.2.5 Actinic + Yield	- 22 -
6.2.6 诱导曲线	- 24 -
6.2.7 光曲线	- 25 -
6.2.8 暗弛豫	- 25 -
6.2.9 光化光列表	- 27 -
6.3 主菜单	- 28 -
6.3.1 PAM 设置	- 28 -
6.3.2 Light Sources	- 32 -

6.3.3 Program/clock Settings	- 34 -
6.3.4 Sensors	- 37 -
6.3.5 Aux Control.....	- 40 -
6.3.6 MINI-PAM-II Settings	- 42 -
6.3.7 Memory.....	- 45 -
6.3.8 Info.....	- 45 -
7 MINI-PAM-II/B 基本规格.....	- 47 -
7.1 系统基本组成	- 47 -
7.1.1 光电单元	- 47 -
7.1.2 MINI-PAM/F 光纤	- 48 -
7.1.3 MINI-PAM-II/N 电源.....	- 48 -
7.1.4 000190101101 电池充电器.....	- 48 -
7.1.5 60°倾角距离叶夹 2010-A 60	- 48 -
7.1.6 其他附件	- 48 -
7.1.7 WinControl-3 软件	- 48 -
7.1.8 电脑要求	- 48 -
7.1.9 MINI-PAM/T 运输箱	- 49 -
7.2 配件	- 49 -
7.2.1 2035-B 叶夹	- 49 -
7.2.2 暗适应夹 DLC-8	- 49 -
7.2.3 便携式三脚架 ST-2101A	- 49 -
7.2.4 90°光纤适配器 2030-B90	- 49 -
7.2.5 微光纤 MINI-PAM/F1	- 49 -

1 安全指导

1.1 常规安全指导

1. 仪器安装使用前请首先仔细阅读安全指导和操作指南；
2. 注意所有的安全警告；
3. 保持仪器清洁，注意防尘，远离水和潮湿的地方；
4. 仪器要远离热源；
5. 仪器应放置在通风的环境中；
6. 严格按照操作手册连接电源，**禁止仪器开机后再连接外接电源!!! 仪器不用时拔下电源插头；**
7. 严禁任何液体或冷凝物进入仪器内部；
8. **禁止过度弯曲光纤！**
9. **禁止将光纤末端对着眼睛，防止灼伤!!!**
10. 光源不用时应当关闭，这样可以延长光源的寿命；
11. 测量间隙较长时应关闭主机，这样可以省电；
12. 每次测量开始前应通过调节“Gain”、测量光强或光纤与样品间的距离使只打开测量光时的荧光 F_t （即 F_o ）在 200~500 之间；
13. 只能按厂家推荐方法清洁仪器；
14. 每次用完仪器后，应马上充电；仪器长期放置不用时，应每隔 2-3 个月充电一次！
15. 仅限专业人员进行仪器维修。

1.2 特殊安全指导

MINI-PAM-II 是一个高灵敏度的仪器，如本手册描述的一样，仅供用于研究目的。应严格遵循本操作指导进行操作。以避免给用户造成未知的伤害，同时避免损坏仪器。

MINI-PAM-II 会发出强光，为避免伤害到眼睛，**绝不允许直视MINI-PAM-II 的通光孔和光纤头。**

2 引言

1. “超便携式调制叶绿素荧光仪 MINI-PAM-II”是为在野外或者实验室进行高灵敏度光系统 II, Y(II) 饱和脉冲分析而设计的。该仪器延续了 MINI-PAM 叶绿素荧光仪的传统。MINI-PAM-II 的升级主要是采用高效节能的 LED 技术, 内置 PAR 传感器以及可在自然光下独立触屏操作等技术的更新。
2. 全新设计的 2035-B 叶夹可准确测量叶片的光合有效辐射, 可靠的 PAR 和 Y(II)的数据是叶片电子传递速率(ETR)计算的基础。
3. 远红光 LED 进一步提高了测定技术, 可以选择性激发 PS I, LED 由 6 节 AA 电池(Mignon)供电, 独立运行。电池组可持续提供多达 1000 次的饱和脉冲分析, MINI-PAM-II 内部存储器可存储 27000 次以上饱和脉冲分析的数据。
4. MINI-PAM-II 的操作软件是 WinControl-3。JUNIOR-PAM、MONITORING-PAM、DIVING-PAM 和 WATER-PAM 也是用这个软件。
5. 通过单机或者 WinControl-3 操作 MINI-PAM-II 可自动计算的参数有 F_v/F_m (PS II 最大光化学量子产量), Y(II) (PS II 有效的光化学量子产量) q_L , q_P , q_N , NPQ, Y(NPQ), Y(NO)和 ETR。

2.1 手册目的

MINI-PAM-II 荧光仪展现了荧光测量的高度灵活性。要充分利用MINI-PAM-II 提供的功能, 就必须熟悉饱和脉冲分析的术语和原则。因此, 本章节放在了实际触摸屏理论章(第 18 页, 第 6 章)的前面。

另外, 第 5 章提供了处理 PAM 叶绿素荧光和饱和脉冲分析的综述文章的列表。本手册含有一个为初学者提供一些提示的短篇在第 16 页, 第 5 章。

手册第 6 章(第 18 页)提供了触摸屏操作的详细说明, 包括荧光诱导曲线和光曲线的程序。

3 组件和设置

3.1 基本系统组成

光电单元（主机）

光纤 MINI-PAM/F

电源 MINI-PAM-II/ N

电池充电器 000190101101

USB 数据线 A 型 MINI-B

60°距离叶夹 2010-A

倾斜的有机玻璃架。

触笔

背带

WinControl-3 软件

MINI-PAM-II 操作手册（英文）

3.2 光电单元

图 1 中对 MINI-PAM-II 后面板的插座，灯口和开关进行了概述和编号，第 4 页，表 1 是对它们的属性和功能的注释。

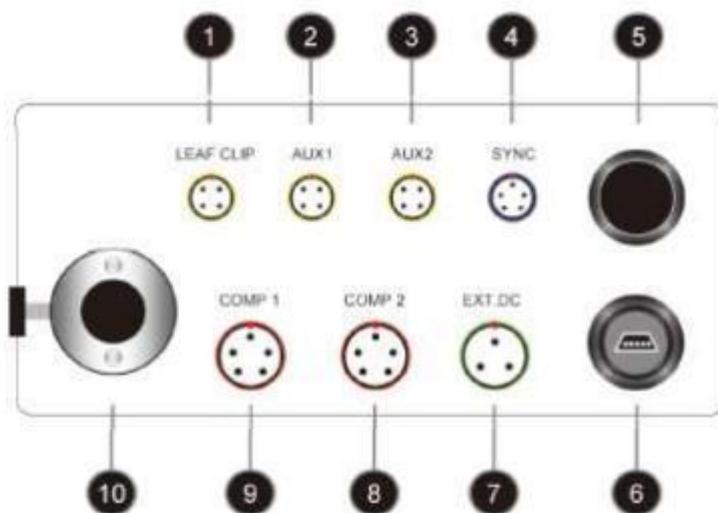


图 1：MINI-PAM II 电源和控制单元的后面板

表 1：MINI-PAM II 背面观

图 1 所示序号	功能
1	LEAF CLIP: 2035B 叶夹插口
2	AUX1: 电子配置 (如: 叶夹) 的插口
3	AUX2: 电子配置 (如: 叶夹) 的插口
4	SYNC: 与 MINI-PAM-II 测量光同步发射的外部光源的插口
5	ON/OFF: MINI-PAM-II 的开关
6	USB SOCKET: USB 线 MINI-B 插头的插口。
7	EXT.DC: 电源供应 MINI-PAM-II/N 的插口
8	COMP2: 为外接 RS232 通信控制设备预留的插口 (例如: 条形码扫描仪)
9	COMP1: 如 COMP2 一类的电子配置的接口。
10	LIGHT PORT: MINI-PAM/F 光纤插口

注意:

谨慎操作, 防止灰尘或异物进入了 MINI-PAM-II 的接口或插口。切勿将一个插头强行插入错误的插槽, 通过使插头上的红点与插槽的红点重合来定向每个插头。切勿试图用硬拉电缆的方式断开插头与插槽的连接。通过拔插头上带纹路的金属部分断开连接。

第一个版本的 MINI-PAM-II 荧光计配备的都是蓝光版 LED (MINI-PAM-II/B)。此 LED 为电驱动, 可作测量光和光化光源。此外, 蓝光版的 MINI-PAM-II, 以及未来的红光版本, 可发射远红外 LED 光。蓝光和远红光 LED 的标准化光谱如图 2 所示。

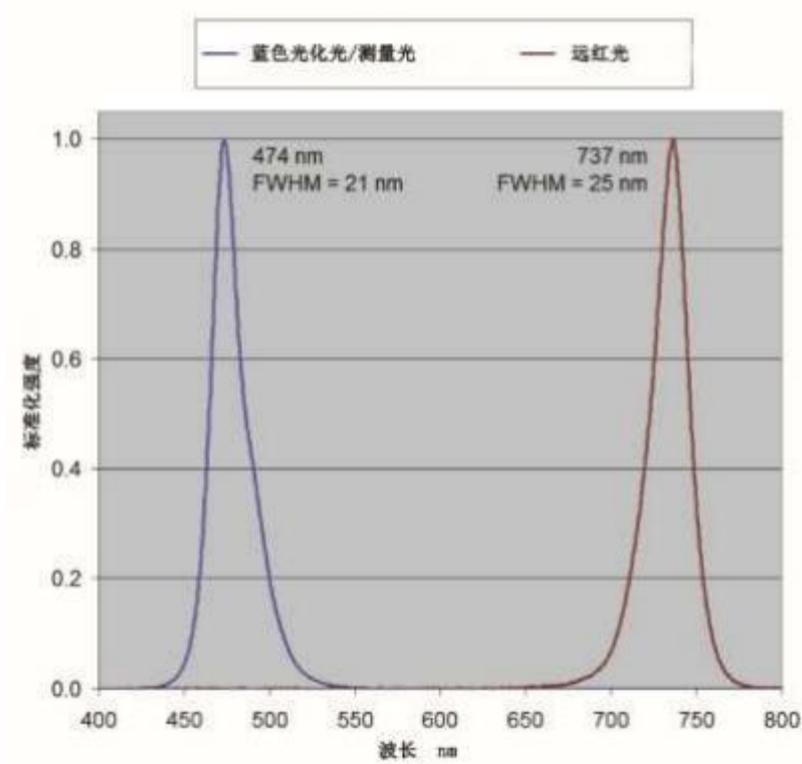


图 2：MINI-PAM II LED 标准发射光谱

3.3 60°距离叶夹 2010-A

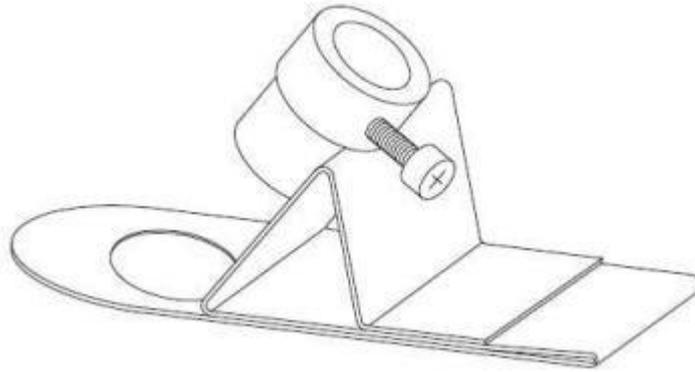


图 3：60°距离叶夹 2010-A

2010-A 叶夹用于固定光纤尾端与样品的角度和距离。它将光纤尾端轴线定位为相对于样品平面呈 60°角。两个隔离环可以用来增加光纤与样品之间的距离。

当实验对象为较厚的叶子或地衣和苔藓时，可将样品放置在 2010-A 叶夹孔的下方。普通叶片通常放在孔的上面进行实验。在后一种情况下，可将叶片夹在叶夹的折叠部分之间进行。

光纤出射面与样品之间的距离对信号的幅度和有效光强的影响很大（图 4，第 5 页）。显然，样品平面和光纤之间存在的 60°角，使得光纤尖端和叶片表面之间的距离发生变化，并且，这样也导致在光纤提供光化光时，叶表面受光不均匀。由于顶部叶绿体层的阴影，叶片内部会存在的更加明显光强梯度。在本质上，所测得的信号将以接收最大光强叶片发出的荧光信号为主要部分，因为这部分叶片被测量光激发得最强烈，发射出的荧光占光纤所接收到荧光的比例最大。

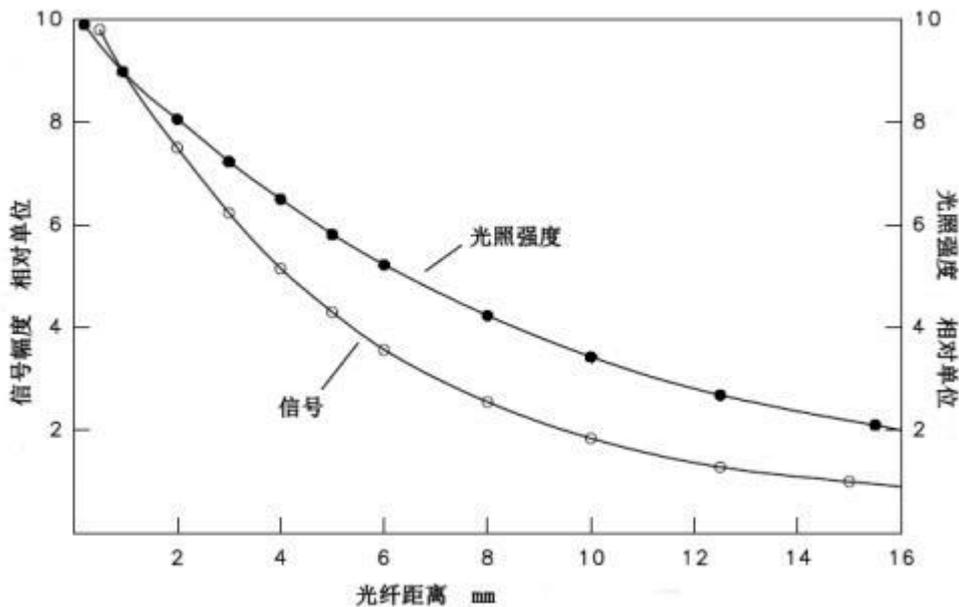


图 4：光纤射出口平面和样品之间的距离与信号振幅/光照强度之间的关系

3.4 配件

3.4.1 2035-B 叶夹

2035-B 叶夹必须连接到主机的 LEAF CLIP 插口（图 1，第 3 页）才可以用来记录与叶绿素荧光平行的光合有效辐射，叶温及环境湿度。环境数据的读数随每一个饱和度脉冲分析进行采集。野外调查过程中，当环境条件变化很大时，2035-B 叶夹几乎是可有可无的。它作为一个定义光纤与叶片表面相对位置的装置，可以替代标准的“距离叶夹”。此外，使用 2035-B 的 PAR 传感器，可以方便对 MINI-PAM-II 内置的 PAR 传感器进行校准。



图 5: 2035-B 叶夹

2035-B 叶夹，叶片是夹在一个加宽的有机玻璃管之间，夹子可垂直调整，以适应不同厚度的叶片。在 2035-B 叶夹上，光纤光学轴与叶片表面呈 60° 角。可选附件中有一个 90° 角的光纤适配器，可满足光纤提供的光化光均匀照射的要求。光纤与叶片表面之间的距离可以变化。日常使用过程中，通常推荐使用最近距离（最大信号）。较大的距离可以用隔离环来进行调整。被照光的叶片面积大小由一个直径为 10mm 的钢环开口限定。

2035-B 叶夹的底部有一个三脚架适配孔。将叶夹固定在三脚架上（如便携式三角架 ST-2101A）有助于对同一植物进行长期测量。

2035-B 叶夹的手柄上配有一个红色按钮为 MINI-PAM-II 的遥控按钮。按下此按钮会触发一个饱和脉冲，从而启动“淬灭分析”测量关键荧光参数。

微型光量子传感器

为监测样品所处环境的光合有效辐射（PAR），2035-B 叶夹上集成了一个微型光量子传感器。微型光量子传感器以 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 为单位测量入射的 PAR，即通量密度的单位。因此，所测量的参数 PAR 与 PPFD（光量子通量密度）是相同的。

这种微型光量子传感器的基本光电元素是：

1. 一个直径 3mm 的辐射盘；
2. 集成了光合有效辐射校正器的高稳定性硅光伏探测器；
3. 余弦响应特性（角度依赖性：在正常轴线 $\pm 30^\circ$ 间，误差 $< 3\%$ ）。

该传感器已经过工厂校准，校准系数存储在 2035-B 叶夹的内部存储器中。校准的稳定性取决于辐射盘是否保持清洁。建议定期与标准光量子传感器进行校检。任何偏差可通过在 WinControl-3 软件或在触摸屏上输入一个校准系数来修正。相对于原始值，校正系数的大幅增加表明在辐射盘上有污垢沉积，可以采用温和的方式，用蘸有稀乙醇的清洁用棉进行清理。

热电偶

镍-铬热电偶安装在放置研究对象叶片的有机玻璃管内。其前端形成一个回路，轻轻压靠在叶片的下表面。这样就可以获得一个有效的均衡温度，同时避免了热电偶受到阳光直接辐射。参考点位于靠近热电压放大器的电路板上，电路板靠近叶夹的底部。热电压与温度之间的关系几乎是线性的。随温度的降低会有 $\Delta V/^\circ\text{C}$ 的小幅下降。校准须在 25°C 下进行，在 0°C 或 -15°C 下校准会分别有 0.5 或 0.8°C 的偏差。

湿度传感器

湿度传感器已校准过，电容式湿度传感器，用来测量接近样品表面的湿度。

数据显示

所有传感器数据都显示在触摸屏“主要数据”窗口（第 21 页，图 11）

暗适应叶夹 DLC-8

暗适应叶夹 DLC-8 重量约为 4 克，因此，可以用于大多数类型的叶片上，而不会对叶片产生任何有害影响。它配备有一个微型滑动闸门，防止在暗适应时叶子接触到光。微型滑动闸门仅在实际测量中打开，此时暴露环境的外部光线被插入的光纤阻止掉。如果决定要测最大量子产量 F_v/F_M ，记录暗-光诱导动力学曲线，暗适应是必不可少的。



图 3.6: 暗适应叶夹 DLC-8

使用暗适应叶夹 DLC-8，光纤与叶片表面呈直角，相对距离为 7 毫米。结果显示，使用暗适应叶夹 DLC-8 时信号的幅度比使用带 60°光纤夹角的 2035-B 叶夹有较明显较升高（系数 2.4）。为了避免信号饱和，测量光强度和增益的设定必须较标准设置进行相应地降低（第 31 页，图 22）

当滑动闸门仍然处在关闭状态，测量光开启，会出现一个虚假的 Ft 信号。这个信号是一小部分测量光经关闭的闸门反射到光检测器上而产生的。但是，这样的背景信号无关紧要，因为反射极其微弱。当滑动闸门打开，测量光冲击的是具强吸收能力的叶片，而不是滑片开关上如同镜子的金属表面。

4 饱和脉冲分析

4.1 五个荧光参数

通常，PAM 荧光仪可以获得五种不同的调制荧光参数。其中的两个 F_0 和 F_M 的测量，样品必须经过暗适应。其他的三个 F_0' 、 F 和 F_M' 的测量可以是暴露在光下的样品，或者是暗一段暗处理之后紧接着进行光处理的样品（见图 6，第 9 页）。有些饱和脉冲分析的参数获得需要对同一样品在暗适应和光下两种状态进行荧光测量（表 2，第 11 页）。

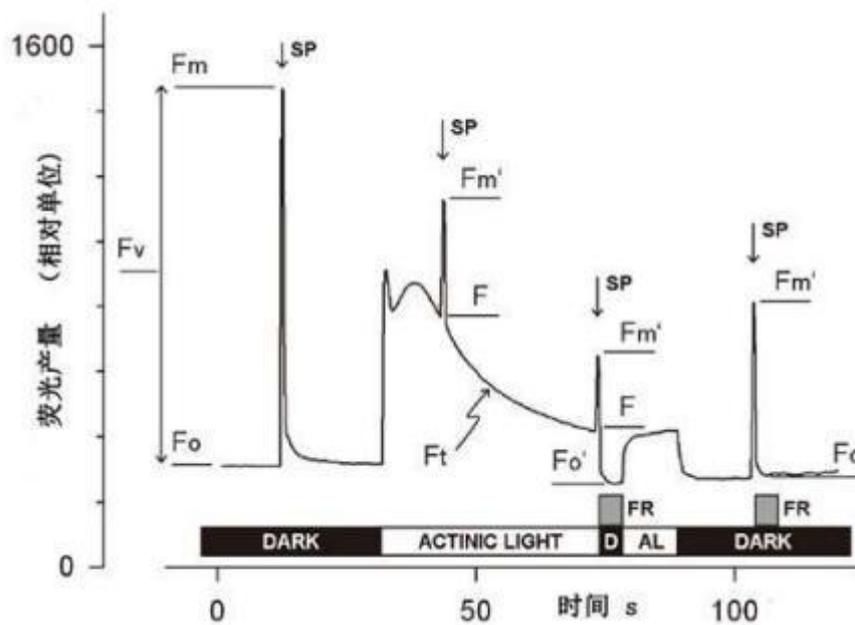


图 6：饱和脉冲分析测量

AL：光化光；D：黑暗处理；SP：饱和脉冲；FR：远红光。

由于 PAM 所测得的荧光是由恒定振幅的微秒级脉冲激发的，荧光水平之间的差异通常理解为叶绿素荧光产量的不同。这适用于不同级别的荧光水平之间的差异分析（例如， F_0 和 F_M 之间），也适用于相同级别的荧光水平（例如一条荧光诱导曲线中 F_M' 的变化）的差异。

4.1.1 暗适应样品的测量

F_0 ：较低测量光强度激发的最低水平的荧光，使光系统 II 反应中心保持开放状态。

F_M ：饱和光的脉冲（饱和脉冲）激发的最大水平的荧光，使得所有的 PS II 反应中心关闭。

4.1.2 照光样品的测量

F_0' ：照光样品的最小荧光水平。由于非光化学淬灭，相对于 F_0 ， F_0' 更低。 F_0' 测量程序（ F_0' 模式，图 22，第 31 页）在一个饱和脉冲后的黑暗间隔里确定 F_0' 的水平。在此黑暗间隔，施加远红光，选择性地

驱动 PS I。目的是耗尽电子传递链上的电子，有效的加速 PS II 反应中心的开启（参见图 6，第 9 页，时间点 75s）。理想情况下，远红外光打开 PS II 用时不超过 5 秒，通常认为在这短短的时间间隔内，光合膜的光电驱动力衰减很小。

如果 F_0' 模式被关闭时， F_0' 的计算将参考 Oxborough 和 Baker（1997，参考文献在第 12 页，表 3）：

$$F_0' = \frac{1}{\frac{1}{F_0} - \frac{1}{F_M} + \frac{1}{F_M'}}$$

在触摸屏上（图 12，第 22 页）和 WinControl-3 中，计算得到的 F_0' 的数值前面有一个波浪线（例如 ~ 456 ）。

F_M' ：照光样品的最大荧光水平。 F_M' 是由饱和脉冲将所有的 PS II 反应中心暂时性关闭引发的。相对于 F_M ， F_M' 的下降是由非光化学淬灭引起的。

F：F 对应的是饱和脉冲之前测得的照光样品的瞬时荧光水平（ F_t ）。

4.2 荧光比参数

为量化吸收光能中的光化学利用和非光化学耗散，利用以上介绍的五个相对荧光产量中的两个或多个推导出了荧光比参数的运算式。表 2（第 11 页）编制 MINI-PAM-II 和的 WinControl-3 中可提供的荧光比参数。下面的文字是对这些参数进行的简要解释。

F_V/F_M 和 $Y(II)$ ：PS II 最大光化学量子产量和 PS II 有效光化学量子产量

F_V/F_M 和 $Y(II)$ 判断吸收的量子中参与 PS II 光化学反应的量子比例。 F_V/F_M 对应的是 PSII 的最大光化学量子产量， $Y(II)$ 对应的是 PSII 的有效光的化学量子产量。 F_V/F_M 的测量要求样品要进行暗适应或光线非常暗，使所有反应中心处于开放状态，激发能量的非光化学耗散最小。

但是，在蓝藻和某些藻类中，往往暗适应后并不显示其 PS II 最大光化学量子产量，因为在黑暗中，随着基质内还原剂的减少，PS II 受体库也可能在减少。结果就是，形成所谓的状态 2，并表现出低 PS II 光化学量子产量。在这种情况下，应先用远红外光进行预照射，然后再测量 F_0 和 F_M 。

$Y(II)$ 的值反应的是光激发的能量中，参与光化学反应的部分。由于照光条件下反应中心的部分关闭和多种类型的非光化学耗散损失，相对于 F_V/F_M ，它的值会降低的。

qP 和 qL：光化学荧光淬灭系数

这两个都是反应光系统 II 反应中心开放程度的参数。qP 是基于 PS II 的天线单位为游离状态的观点（沼泽模型），而 qL 则假定 PS II 的天线单元互相连接（湖泊模型）。qL 似乎更贴切于真实叶片（参见 Kramer 等，2004）。除了 Oxborough 和 Baker（1997）提出的 F_0' 被用作计算之外，qP 和 qL 的测定都不需要对暗适应叶片进行荧光测量。

qN 和 NPQ：非光化学淬灭参数

这两个参数都与激发能量的非光化学淬灭相关，主要涉及到类囊体腔内低水平的依赖于 pH 和玉米黄素的淬灭机制。qN 和 NPQ 两个参数要求对样品进行暗适应和照光状态下荧光测量（表 2，第 11 页）。

NPQ（或 SV_N ；Gilmore and Yamamoto, 1991）的计算相当于计算荧光淬灭的 Stern-Volmer 方程，它预测荧光淬灭（NPQ）与光合天线（例如 zeax-anthin）中荧光淬灭中心浓度的比例。

Y(NO)、Y(NPQ)和 Y(II)：互补的 PS II 产量

Genty et al. (1996)提出了描述 PS II 吸收激发能划分的公式，三个基本的途径的加和等于一。

Y(NO)：激发能中的非调节性能量耗散量子产量，包括散热和荧光发射。

Y(NPQ)：激发能中的调节性能量耗散量子产量，包括散热，涉及依赖 ΔPH 和玉米黄素的耗散机制。

Y(II)：用于电荷分离的激发能。

“互补的 PS II 量子产量”这一概念在分析光合生物吸收的光能是如何分配时是非常有用的。例如在强光下，Y(NPQ)比 Y(NO)高很多表示过量激发能在天线水平被合理的耗散掉，光合能量流动处于稳定的良好状态。不同的是，Y(NO)的值高表明可能过量激发能到达反应中心，从而导致 PS II 受体活性剧烈下降和光损伤，例如活性氧形成。

表 2：荧光参数

源	方程式	样品状态	范围 (理论/实验)
PS II 最大光化学量子产量 (Kitajima and Butler, 1975)	$\frac{F_v}{F_M} = \frac{F_M - F_o}{F_M}$	暗	[0, 1] [0, ~0.84]
PS II 实际光化学量子产量(Genty <i>et al.</i> , 1989)	$Y(II) = \frac{F'_M - F}{F'_M}$	光	[0, 1] [0, ~0.84]
光诱导（依赖 ΔPH 和玉米黄质） 的非光化学荧光淬灭的量子产量 (Genty <i>et al.</i> 1996)*	$Y(NPQ) = \frac{F}{F'_M} - \frac{F}{F_M}$	光和暗	[0, 1] [0, ~0.9]
非调节性热耗散及荧光发射量子 产量：这种能量散失不包括跨膜 ΔpH 和玉米黄质的作用 (Genty <i>et al.</i> 1996)*	$Y(NO) = \frac{F}{F_M}$	光和暗	[0, 1] [0, ~0.9]
Stern-Volmer 非光化学荧光淬灭 (Bilger +and Björk-man, 1990)	$NPQ = \frac{F_M}{F'_M} - 1$	光和暗	[0, ∞] [0, ~4]
光化学淬灭系数 (Schreiber <i>et al.</i> 1986 as formulated by van Kooten and Snel, 1990)	$q_p = \frac{F'_M - F}{F'_M - F'_o}$	光 若要计算 F'_o 则需要 光和暗	[0, 1] [0, 1]
光化学淬灭系数 假定 PS II 天线相互连接 (Kramer <i>et al.</i> 2004)	$q_L = q_p \cdot \frac{F'_o}{F}$	同上	[0, 1] [0, 1]

非光化学荧光淬灭系数

(Schreiber *et al.* 1986

as formulated by

van Kooten and Snel, 1990)

$$q_N = 1 - \frac{F'_M - F'_o}{F_M - F_o}$$

光和暗

[0, 1]

[0, ~0.95]

* Kramer 等 (2004) 为 Y(NO)和 Y(NPQ)推导出更复杂的方程式。 Klughammer 和 Schreiber (2008) 表明由 Kramer 等 (2004) 推导出的方程可转化为 MINI-PAM-II 和 WinControl-3 中的所使用的简单公式 (GENTY 等, 1996 年)。

表 3: 第 11 页表 2 中引用到的参考文献

1. Bilger W, Björkman O (1990) Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. *Photosynth Res* 25:173-185

2. Genty B, Briantais J-M, Baker NR (1989) The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim Biophys Acta* 990: 87-92

3. Genty B, Harbinson J, Cailly AL and Rizza F (1996) Fate of excitation at PS II in leaves: the non-photochemical side. Presented at: The Third BBSRC Robert Hill Symposium on Photosynthesis, March 31 to April 3, 1996, University of Sheffield, Department of Molecular Biology and Biotechnology, Western Bank, Sheffield, UK, Abstract P28

4. Kitajima M, Butler WL (1975) Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. *Biochim Biophys Acta* 376:105-115

5. Klughammer C and Schreiber U (2008) Complementary PS II quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the Saturation Pulse method. *PAM Application Notes* 1: 27-35 (http://www.walz.com/e_journal/pdfs/PAN078007.pdf)

6. Kramer DM, Johnson G., Kiirats O, Edwards GE (2004) New flux parameters for the determination of QA redox state and excitation fluxes. *Photosynth Res* 79: 209-218

7. Oxborough K, Baker NR (1997) Resolving chlorophyll a fluorescence images of photosynthetic efficiency into photochemical and non-photochemical components - calculation of qP and Fv'/Fm' without measuring Fo'. *Photosynth Res* 54 135-142

8. Schreiber U, Schliwa U, Bilger W (1986) Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynth Res* 10: 51-62

9. van Kooten O, Snel J (1990) The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynth Res* 25: 147-150

4.3 相对电子传递速率 (ETR)

相对电子传递速率根据以下公式计算：

$$\text{ETR} = \text{PAR} \cdot \text{ETR-Factor} \cdot \text{PPS}_2/\text{PPS}_{1+2} \cdot \text{Y(II)}$$

该 ETR 方程的基本思路是乘以光系统 II 的有效光化学量子产量 Y(II)，光系统 II 的有效光化学量子产量，通过估计由样品中所有的 PS II 吸收的光子通量密度。计算相对电子传递速率，进一步的计算由下从三个数字得出：

- (1) PAR: 照射在样品上的光合有效辐射的光量子通量密度；
- (2) ETR-Factor: 样品吸收率因子 (= 1 - 透射率)；

ETR-Factor 描述了样品吸收入射光子的比例。绿色叶片最常使用的默认值是 0.84，也就是说 84% 的入射光被吸收了。ETR-Factor 在漂白的叶片或含有大量非光合色素（如花青素）的叶片内比较低。

- (3) $\text{PPS}_2/\text{PPS}_{1+2}$ ：吸收的光合有效辐射分布配到光系统 II 的相对比例；

默认 $\text{PPS}_2/\text{PPS}_{1+2}$ 为 0.5，即假设 PS II 为样本总吸收贡献了 50%。 $\text{PPS}_2/\text{PPS}_{1+2}$ 可能会根据光的波长和样品适应状态偏离理想化因子 0.5。

4.4 光曲线

光曲线程序是将样品暴露在强度阶段性增加地光化光中进行照射。在“快速光曲线(RLC)”中，每个光强步骤的时间间隔是短暂的（最低到 10s），照射的时间间隔内光合反应不能达到完全平衡。通常情况下，RLC 起始光强要略低于自然环境的光强。

RLC 测量在样品的即时适应状态下进行，即不需要测定 F_0 和 F_M 要求的暗适应期。这样一来，可以从 RLC 数据中获取瞬时适应状态下的光合作用信息。显然，没有测量 F_0 和 F_M ，那些计算过程中需要 F_0 和 F_M 的荧光比活参数（如 NPQ 和 qP）都是不可用的。

若照光步骤为足够长的时间，以达到稳态光合作用，那么基于荧光的光曲线则可以与传统的光响应曲线（PI 曲线）相媲美。当然，在如此长时间的光曲线测量过程中，必须避免二氧化碳供应不足的任何限制。

两种情况下，RLC 和长时间光曲线，绘制出由以下三个基本点描述的 PAR 和 ETR 产量的光响应曲线：

α (alpha)，电子/光子：与光合作用量子效率相关的 RLC 的初始斜率。

ETR_{\max} ，微摩尔电子/(平方米·秒)：最大电子传递速率。

I_k ，微摩尔光子/(平方米·秒)：最小饱和辐射照度（半饱和光强）。

基本点的评价需要用到 WinControl-3 软件。该软件使用两个经验函数来计算这些基本点的数据：为描述经典的光合作用光响应曲线，REG1 和 REG2 功能已经分别由 Platt *et al.* (1980)和 Jassby and Platt (1976)做过介绍。

REG1

在使用 REG1 的情况下，直接将实验数据代入以下公式的 ETR，就可以直接拟合并获得基本点 α 。

$$ETR = ETR_{mPot} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\alpha \cdot PAR}{ETR_{mPot}}}\right) \cdot e^{-\frac{\beta \cdot PAR}{ETR_{mPot}}}$$

最新的方程考虑了高光强下的光抑制，因此，拟合过程也加入了一个 β 值：“光抑制参数” (Platt et al., 1980) 和 ETR_{mPot} 潜在的最大光饱和电子传递速率，如果没有光抑制的话是可以得到。

Platt et al. (1980) 引入了“光抑制指数” (I_b) 来量化光抑制。作者根据以下公式定义 I_b 为通过 $1/e$ 因子抑制 ETR_{mPot} 所需的 PAR 值。

$$I_b = ETR_{mpot}/\beta$$

曲线拟合后，WinControl-3 会根据以下方程式计算出 ETR_{max} 和 I_K 。

$$ETR_{max} = ETR_{mPot} \cdot \left(\frac{\alpha}{\alpha + \beta}\right) \cdot \left(\frac{\alpha}{\alpha + \beta}\right)^{\frac{\beta}{\alpha}}$$
$$I_K = \frac{ETR_m}{\alpha}$$

REG2

REG2 函数是单调递增的，因此，它不适用于带光抑制的光曲线：

$$ETR = ETR_m \cdot \tanh\left(\frac{\alpha \cdot PPFD}{ETR_m}\right)$$

在这里，基本点 α 和 ETR_{max} 由拟合程序进行计算。用这两个参数， I_K 的计算参考 REG1 中的描述。

4.5 光曲线的参考文献

Long-term Light Curves

Jassby AD, Platt T (1976) Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. *Limnol Oceanogr* 21: 540-547

Platt T, Gallegos CL, Harrison WG (1980) Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J Mar Res* 38: 687-701

Rapid Light Curves

Fouqueray M, Mouget J-L, Morant-Manceau A, Tremblin AG (2007) Dynamics of short-term acclimation to UV radiation in marine diatoms. *J Photochem Photobiol B: Biology* 89: 1-8

Perkins RG, Mouget J-L, Lefebvre S, Lavaud J (2006) Light response curve methodology and possible implications in the application of chlorophyll fluorescence to benthic diatoms. *Marine Biol* 149: 703-712

Ralph PJ, Gademann R (2005) Rapid light curves: A powerful tool to assess photosynthetic activity. *Aquat Bot* 82: 222-237

Rascher U, Liebig M, Lüttge U (2000) Evaluation of instant light-response curves of chlorophyll

fluorescence parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. *Plant Cell Environ* 23: 1397-1405

Schreiber U, Gademann R, Ralph PJ, Larkum AWD (1997) Assessment of photosynthetic performance of *Prochloron* in *Lissoclinum patella* in hospite by chlorophyll fluorescence measurements. *Plant Cell Physiol* 38: 945-951

Serôdio J, Vieira S, Cruz S, Coelho H (2006) Rapid light-response curves of chlorophyll fluorescence in microalgae: re-relationship to steady-state light curves and non-photochemical quenching in benthic diatom-dominated assemblages. *Photo-synth Res* 90: 29-43

White AJ, Critchley C (1999) Rapid light curves: A new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic. *Photosynth Res* 59: 63-72

4.6 饱和脉冲分析的相关综述

Baker NR (2008) Chlorophyll fluorescence: a probe of photo-synthesis in vivo. *Annu Rev Plant Biol* 59: 89-113

Dau H (1994) Molecular mechanisms and quantitative models of variable photosystem II fluorescence. *Photochem Photobiol* 60:1-23

Demmig-Adams B and Adams WW, III (1992) Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 43:599-626

Govindjee (1995) Sixty-three years since Kautsky: Chlorophyll a fluorescence. *Aust J Plant Physiol* 22:131-160

Krause GH and Weis E (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 42:313-349

Logan BA, Adams III WW, Demmig-Adams B (2007) Avoiding common pitfalls of chlorophyll fluorescence analysis under field conditions. *Funct Plant Biol* 34, 853-859

Maxwell K, Johnson GN (2000) Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *J Exp Bot* 51, 659-668.

Mohammed GH, Binder WD, Gillies SL (1995) Chlorophyll fluorescence: A review of its practical forestry applications and in-instrumentations. *Scand J Forest Res* 10:383-410

5 提示

5.1 仪器设定

MINI-PAM-II的仪器设置在工厂内被调整到最佳性能。例如，LED的电流已经调整到可以满足测量设置为60°距离叶夹或2035-B叶夹（图3和图5）的目标的PAR值。对于不同的几何形状的叶夹，内部光合有效辐射传感器需要重新校准以正确测量内部光化光（见第38页，图32）。根据第5页图4估计的PAR是相当不准确的。

此外，系统的荧光补偿（F-Offset）已经测量过并保存在了MINI-PAM-II内存中。这意味着，在光纤完全插入叶夹而不夹叶片时。MINI-PAM-II显示的荧光值应该接近于零。如果这个信号明显偏离零点，重新调整F-Offset（见第31页，图22）。

5.2 默认设置

对于完全健康的绿色叶片的荧光测量，测量光和饱和脉冲的默认设置都非常适合。但是，有一些样品，需要进行特殊的设置。以下各节将提供一些提示，以完成必要的设置调整。

5.3 F_0 荧光

通常情况下，调节测量光强度，使得 F_0 荧光水平达到大约为500mV（对于 F_0 的定义请参阅第9页，4.1.1节）。从理论上讲， F_0 应保持640mV以下。后者的高值是在假定任何样品的最大 F_V/F_M 是0.84和实际操作中饱和脉冲信号出现在4000mV的基础上得出来的（见表4中公式）。根据实际需要，可任意调节测量光强度（第31页，图22）。

表 4：暗适应叶片的最大 F_0

$\left(\frac{F_V}{F_M}\right)_{Max} = \frac{(F_M)_{Max} - (F_0)_{Max}}{(F_M)_{Max}}$	$(F_M)_{Max}$: F_M 最大可能值=4000
$(F_V/F_M)_{Max} = 0.84$	$(F_0)_{Max}$: 未知的 F_0 最大值
$(F_0)_{Max} = 640$	(F_M) 与此 F_0 值相关，或者用较小的，不饱和的 F_0 。
	$(F_V/F_M)_{Max}$: 假设的PS II 光化学产量的最大可能值

在低信号水平，提高测量光的强度可以增加信号的高度。过高的测量光强度，可能会驱动一定程度的光合作用。因此，打开测量光进行测试，看是产生稳定的信号还是出现任何信号增加。如果是后者的情况下，那么就必须通过调整测量光强度或者是测量光频率，或者同时调整两个选项来降低测量光的平均强度。

5.4 F_M 荧光

F_M 和 F_M' 的水平被确定为饱和脉冲诱导的荧光信号的最大值。饱和脉冲宽度和强度的出厂设置都根据正常绿色叶片予以调整，以使信号到达最高的平稳水平（图7A）。一些样品（例如，强光植物的叶片），标准设置无法使样品达到一个平台期（图7B）。在这种情况下，应增加饱和脉冲强度或/和长度。此外，在荧光动力学曲线中可以清楚地看到信号在饱和脉冲结束前达到最大值（图7C）。荧光动力学曲线不会导致错误的 F_M 或 F_M' 值，因为这些值对应于荧光动力学的最大值。图7C这种情况下，饱和脉冲强度和/或长度可能要增加。

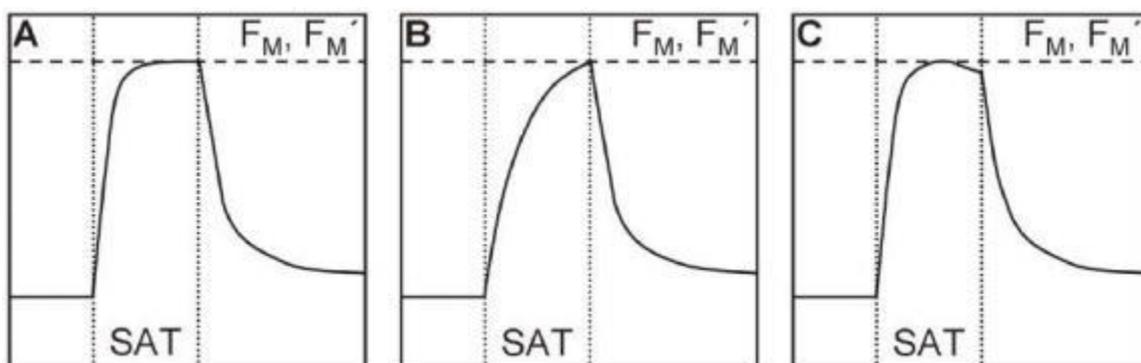


图7：饱和脉冲诱导的荧光动力学曲线

有些样品，特别是弱光植物或者衰老的植物，标准设置下表现为 F_V/F_M 值有所下降，但荧光动力学曲线显示正常。减少饱和脉冲强度，这些样品的 F_V/F_M 增加。因此，分别测试低于和高于标准设置的饱和脉冲强度下的 F_V/F_M 对于优化饱和脉冲设置是非常重要的。

5.5 荧光信号噪音

检查是否有波动的光源（荧光灯管，电脑屏幕）影响荧光。

需排除自动调整Y轴后极低的Y(II)信号被过度放大的情况。

5.6 系统停止响应

断开电源并取出电池，重新开机。

6 触屏操作

MINI-PAM-II 的触屏操作可以实现脱机后独立完成光合作用的饱和脉冲分析、 F_v/F_M 或 $Y(II)$ 信号以及更复杂的实验，如诱导曲线和光曲线的测量都是可以用触摸屏操作完成的。但是，稳态荧光的连续记录，需要通过外部计算机上运行的WinControl-3来操作MINI-PAM-II。

6.1 校准

MINI-PAM-II可以通过使用电阻式触摸屏独立进行操作。触摸屏已经进行过出厂校准，以匹配LED屏幕的二维响应。

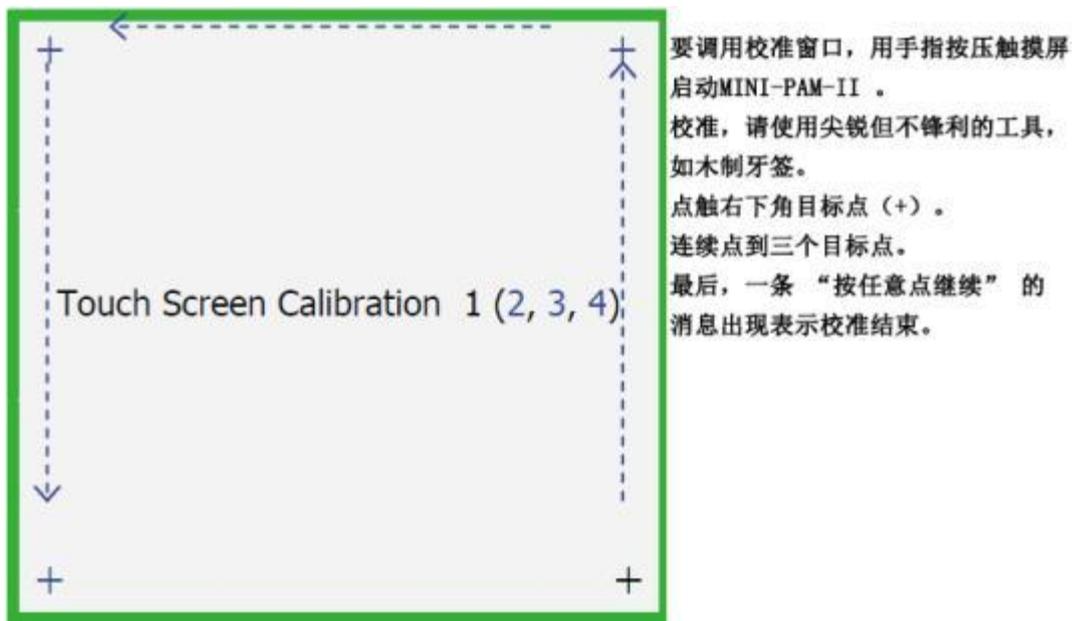


图8: 触摸屏校准

倘若触摸操作不灵敏，可以依第18页图8所述进行校准。

6.2 顶级窗口

MINI-PAM-II 有多个仪器控制和数据显示窗口，常用命令，荧光数据，光化光列表（PAR列表），在9个顶级的窗口显示（第19页，表5）。

所有顶级窗口主菜单及其子菜单都是可以访问的，在这些菜单下，可以对MINI-PAM-II及其附件进行调整设置。

表 5: 顶级窗口一览表

窗口	内容
1. Basic Data 基础数据	最小数据集和文件处理的基础操作键。
2. Primary Data 主要数据	最后一个饱和脉冲分析的数据，荧光的当前水平，测量参数。
3. Quenching Analysis 淬灭分析	最后一个饱和脉冲分析的荧光水平及其对应荧光比率 (F _v /F _M , Y(II),)。
4. Ft Chart	荧光轨迹，所有 X 轴以内的：25 或 125s (见第 77 页，图 38)。
5. Actinic + Yield	带有短光照光程序的饱和脉冲分析。
6. Induction Curve 诱导曲线	当前曲线的饱和脉冲分析图形。
7. Light Curve 光曲线	单签光响应曲线的饱和脉冲分析图形。
8. Recovery Curve	诱导曲线和光曲线之后的暗弛豫曲线图形。
9. Actinic Light List 光化光列表	光合作用有效辐射的设置值，单位 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$

通常，所有的顶层菜单对应有“主面板”和“侧面板”（第 19 页 图 9）。主面板的顶部一行显示窗口的主题，并添加一个大写字母已标记每一个饱和脉冲分析。

主面板的底部有多个操作键，根据窗口不同，这些操作键触发饱和和脉冲、控制光的条件或是影响图形显示。在主面板底部边缘的“信息行”，显示当前日期和时间。

侧面板设有切换窗口的方向键，荧光功能的控制键，以及一个返回主菜单的 (MENU) 键。不同窗口控制键不同。例如，侧边栏最顶部的键在前三个顶层窗口中是触发饱和脉冲的，但是同一个键在“Actinic+Yield” 诱导曲线，光曲线及暗弛豫曲线中是启动自动测量的。



从上到下依次是窗口主题，当前用来标记测量，数字和/或图形数据的字符，操作键，信息栏。操作键在不同窗口中显示不同，有些甚至不显示。信息栏显示日期+时间，或者是PAM的活动，或是关键荧光状态的提示。

图9: 顶层窗口的主体屏幕布局

6.2.1 到 6.2.9 将对 9 个顶层窗口作详细介绍。

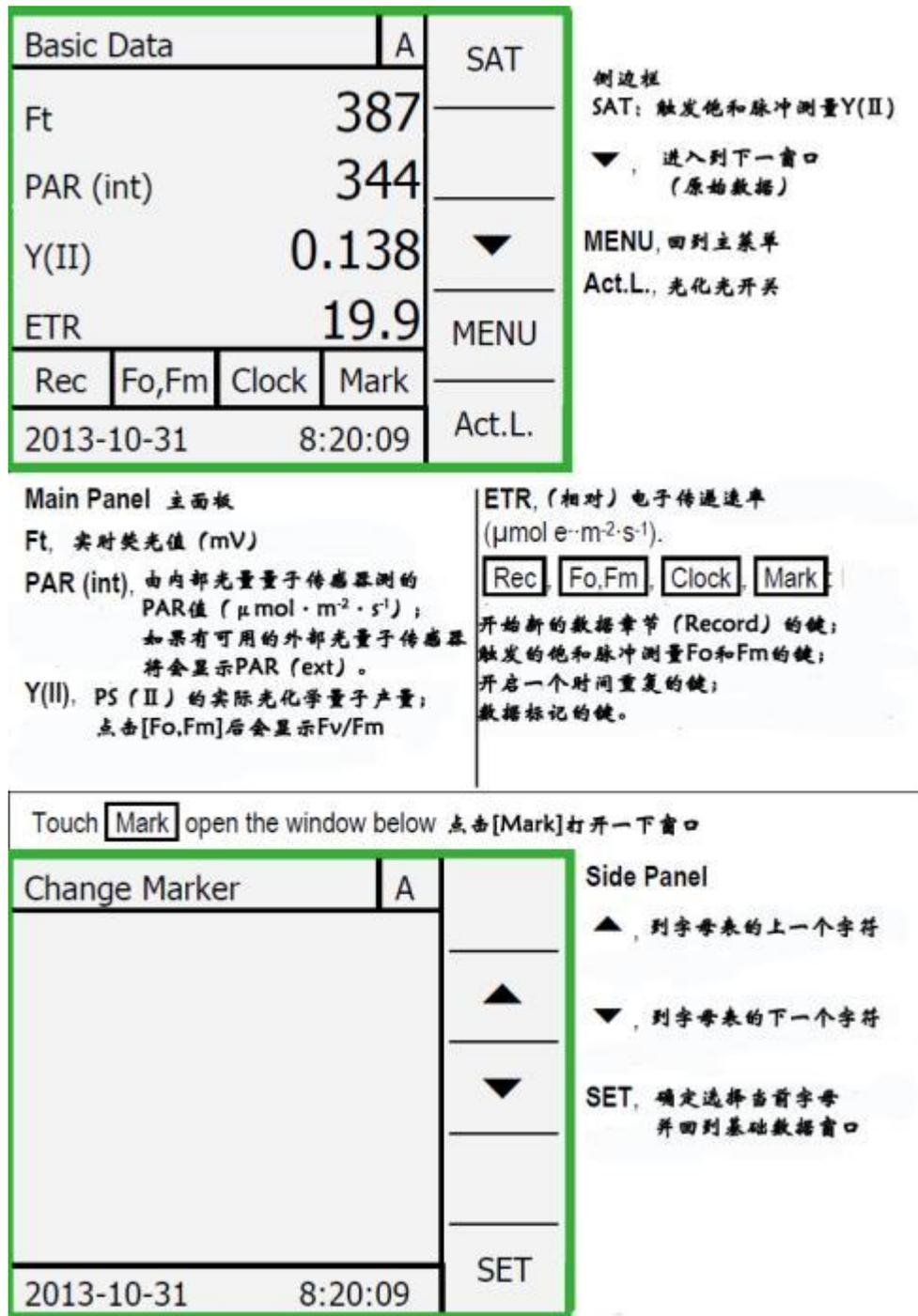


图10: 基础数据和更改标记

6.2.1 基础数据

基础数据窗口 (第 20 页, 图 10) 显示含有四组数据的简化集合, 这样可以实现在野外条件下快速采样。这些数据中, Ft 和 PAR 显示当前测量值, 但是 Y(II) 或 F_v/F_m 以及 ETR 都是上次饱和和脉冲获得的数据。

基础数据窗口的底部边缘设有常用命令键: 命令 **REC** 为开启一个新的数据集 (Record), **Fo, Fm** 测

定 PS II 光化学量子产量，**Clock** 重复开启饱和脉冲出发或者自动测量程序，**Mark** 打开一个新标记的窗口，这个窗口下，字母与每一个饱和和脉冲一起保存。

在“New Marker”窗口通过上下键确定标记字母。当前选定的字母显示在窗口顶部边缘。点**SET**键确认当前选择并回到基础数据窗口。

基础数据窗口的侧面板设有 4 个命令：**SET** 键用来测量 PS II 的实际有效光化学量子产量；**Act.L** 代表的是光化光的开关；如其他顶级窗口中的 **MENU** 功能相同，进入主菜单；最后一个向下的箭头键可以切换到下一个窗口。除了最后一个（Actinic Light List，第 19 页，表5）顶层窗口只需要向上键之外，所有顶级窗口中还有两个箭头键（上，下）。

REC 的属性（新记录）

开始一个与之前的饱和脉冲分析无关的新记录。因此，如果没有提前测定 F_0 , F_M , **SAT** 键只能的到 Y(II), qP 和 qL 的数据，甚至，如果 Fo'模式未启动，那么后面的两个数据也是不可用的，因为此时 Fo'无法通过计算得到。另一方面，如果在进行 **SAT** 命令之前进行过 F_0 和 F_M 的测量，则所有需要 F_0 和 F_M 参与计算的荧光比值参数都可被计算出来。但仅对同一样品的 F_0 , F_M 和 **SAT** 分析时，这样的计算才有效。

Primary Data				A	SAT	侧边栏 增加了向上箭头键 其他和第41页，图.10 基础数据窗口一样
Ft	583				▲	
F	1289				▼	
Fm'	1590					
Y(II)	0.184					
ETR	32.5					
PAR	420 O2	-				
Temp	- Aux1	-			MENU	
Hum	- Aux2	-				
Rec	Fo,Fm	Clock	Mark		Act.L.	
2013-10-31		8:20:09				

Main Panel 主面板

Ft, 实时荧光
按下[Fo,Fm]后显示：
 F_0 , F_m 和 F_v/F_m
暗适应样品的最小和最大荧光
以及PSII的最大光化学量子产量
按下[SAT]后显示：
 F , F_m' 和Y(II)
照光样品最近一个饱和脉冲的
最小荧光和最大荧光，
以及PS (II) 的实际光化学量子产量

插入，上一个饱和脉冲的荧光轨迹
PAR, Temp和Hum,
光合有效辐射 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
温度 °C, 相对湿度 %
O2, Aux1, Aux2,
可选O₂, 温度或者其他传感器附件
测得的数据

Rec, **Fo,Fm**, **Clock**, **Mark** see
Fig. 10, page 41.

图11: 主要数据

6.2.2 主要数据

主要数据窗口的主要功能是显示最后一个饱和脉冲的荧光轨迹。

另外，窗口显示前一个饱和脉冲的数据 (F_t , F_v/F_M 或 $Y(II)$, ETR, PAR)。主要数据窗口可显示 F_o 和 F_M 的信号水平 (按下 **Fo, Fm**) 或者是 F 和 F_M' 的信号水平 (按下 **SAT**)。另外，还会显示 MINI-PAM-II 叶夹测得的温度 $^{\circ}C$ (Temp) 和相对湿度% (Hum)。还会显示可选附件光纤氧气传感器 (O_2) 以及两个辅助传感器的数据 (Aux1 和 Aux2)。

6.2.3 淬灭分析

本窗口可以提供由 MINI-PAM-II 或 WinCintrol-3 智能运算的荧光和荧光比率的完整概述。数据第 2-4 行，是光照射样品 (左) 和暗适应样品 (右) 的数据对比。

Quenching Analysis 淬灭分析				A	SAT
F	919				
Fm'	1250	Fm	2965	▲	
Fo'	~454	Fo	575		
Y(II)	0.265	Fv/Fm	0.806	▼	
Y(NPQ)	0.425	qP	0.416		
Y(NO)	0.310	qL	0.206		
NPQ	1.372	qN	0.667		
				MENU	
Rec	Fo,Fm	Clock	Mark	Act.L.	
2013-10-31				8:20:09	

侧边栏
增加了向上箭头，
其他和第41页，图.10
基础数据窗口相同

Main Panel 主面板
Numerical data: see Fig. 6, page 19 and Table 2, page 25.
Rec, **Fo,Fm**, **Clock**, **Mark**: see Fig. 10, page 41.

图12: 淬灭分析

6.2.4 Ft 图谱

Ft 图谱窗口显示 25 或 125s 时间区间的 Ft，图像与实时荧光对应。X 轴的间隔可以在“MINI-PAM-II Settings”菜单 (第 42 页，图 38) 下进行调整。

单机操作 MINI-PAM-II 时，不保存持续的 Ft 值。要记录 Ft，需要通过 WinControl-3 操作 MINI-PAM-II。

6.2.5 Actinic + Yield

“Actinic + Yield”窗口是为启动和查看自动测量程序而专门设计的四个窗口中的第一个。Actinic + Yield 程序的参数可以在“Program/Clock”菜单 (第 34 页，图26) 下完成。

程序会按设定好的时间用光化光照射样品。根据设定，饱和脉冲可在光化光照光前后开启，或只在照光之后开启。

由于 Actinic + Yield 实验时间很短，所以它经常被用于比较多个样品间光合作用对高光的反应。

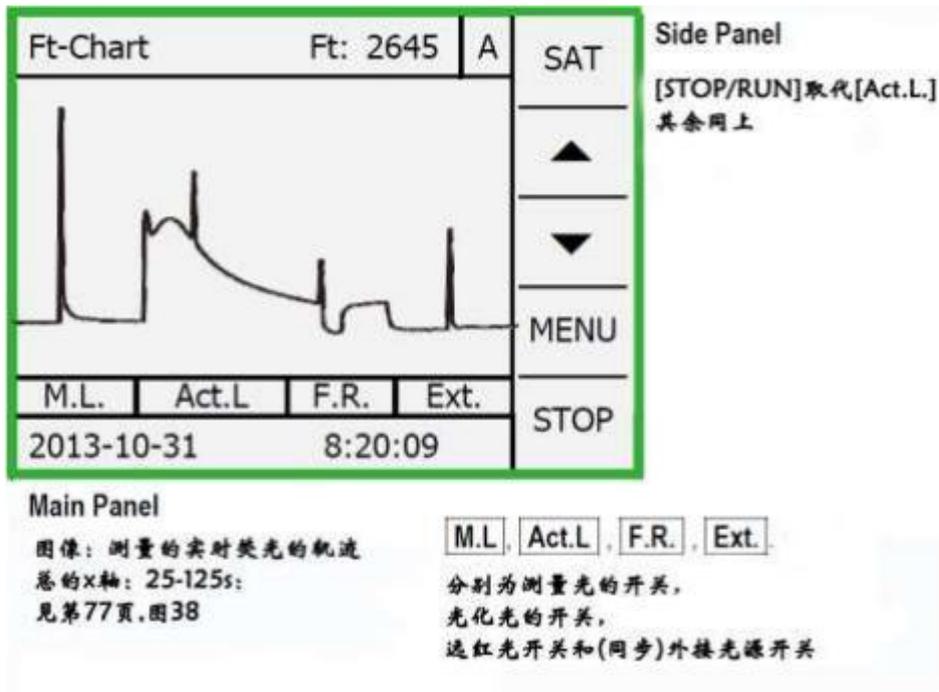


图13: Ft图谱

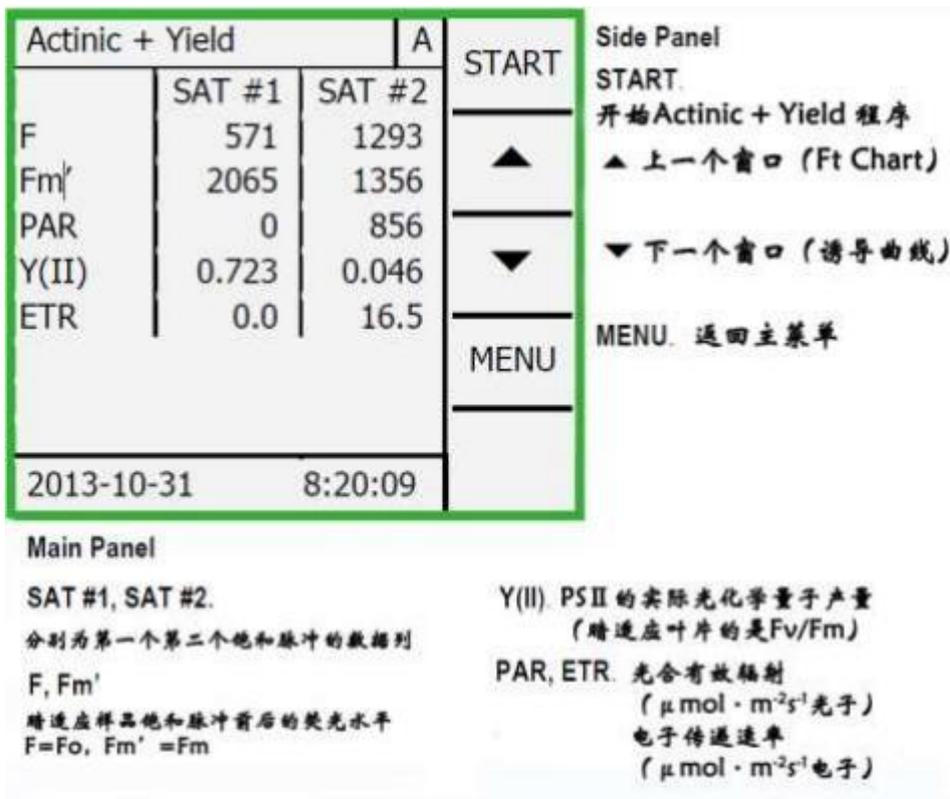


图14: Actinic + Yield

6.2.6 诱导曲线

如题，该窗口下可以启动和中止荧光诱导曲线（第 24 页，图 15）。图形面板提供诱导曲线特征的定义图片。由于屏幕分辨率的限制，难以定量地分析图形数据。因此，诱导曲线窗口还提供了荧光比率参数和荧光水平的数值数据。

点击图形面板后数值数据即可在下方出现。通过导航键可以从一个饱和脉冲切换到另一个饱和脉冲。灰色垂直线标明了当前数值数据在诱导曲线中的位置。

诱导曲线的参数，如饱和脉冲的数量以及它们之间的间隔可以在“Induction Curve Settings”菜单（第 36 页，图 29）中进行调整。该菜单可以在主菜单的“Program/Clock”（第 28 页，图 19）上使用。在“Induction Curve Settings”菜单，可以在诱导曲线之后设置一个荧光暗弛豫实验（没有光化光照射）。

诱导曲线窗口的 **MEM** 可以打开“诱导曲线记忆”窗口，在这个窗口下，可以用导航键在滚动翻看存储的诱导曲线。

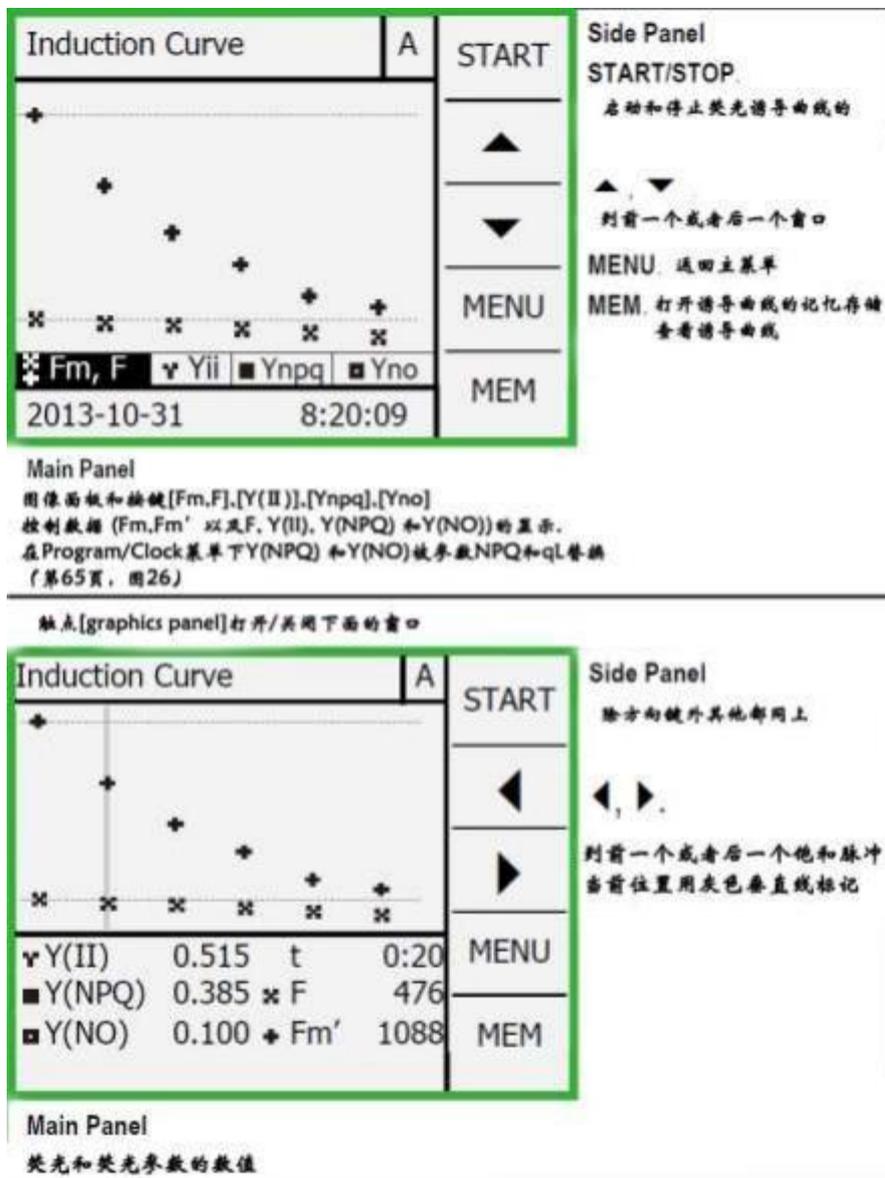


图15: 诱导曲线

6.2.7 光曲线

光曲线窗口与诱导曲线窗口相似，“Light Curve”窗口设有启动和停止光曲线并计算它们的按键（第 25 页，图 16）。同样，“Light Curve”窗口也包含多个饱和和脉冲数据，该数据可以通过触点图形面板获得。不同饱和和脉冲之间切换以及需要显示数据的选择，操作和诱导曲线中一样。

光曲线的参数（照光步骤的数量以及间隔，起始 PAR，暗弛豫曲线）可以在“Induction Curve Settings”菜单（第 37 页，图30）中调整。触点 **MEM**，用侧边栏的上下键箭头键可以滚动查看存储的光曲线。

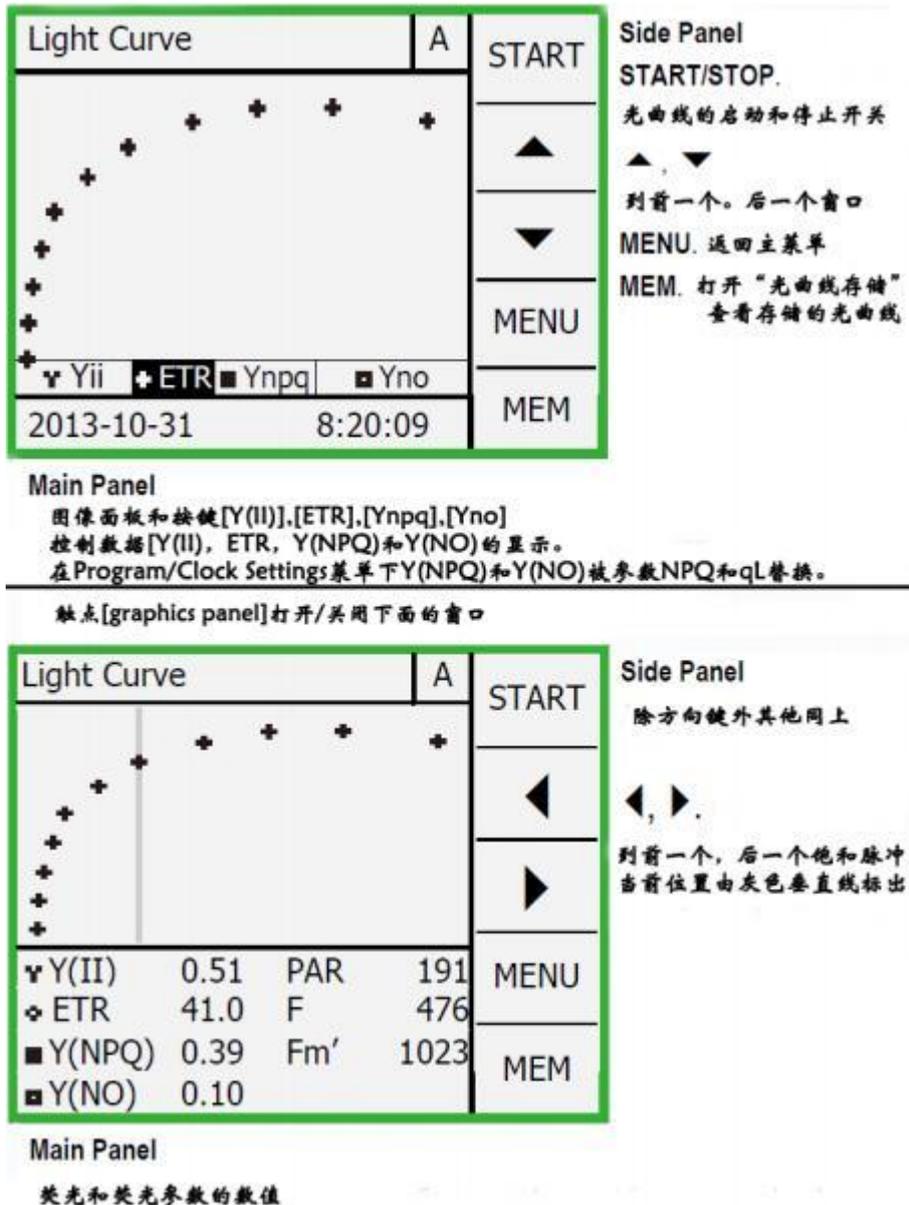


图16: 光曲线

6.2.8 暗弛豫

通常暗弛豫分析会自动附加在诱导曲线和光曲线中（第 6.2.6 和6.2.7 章），这种情况下，暗弛豫会自动开启。否则，可以用“Recovery”窗口（第 26 页，图 17）侧边栏中的 **START/STOP** 键手动开启暗

弛豫功能。

同前面的诱导曲线和光曲线一样，暗弛豫曲线的数据由图形和数值表示。暗弛豫分析的时间长度是固定的：每条暗弛豫曲线持续 39min，在这个过程中，共开启 7 个饱和脉冲。如果之前进行了诱导曲线或者光曲线，那么，诱导曲线和光曲线的最后一个饱和脉冲对应的是暗弛豫曲线的第一个饱和脉冲。两个临近的饱和脉冲之间的时间间隔大致是成倍增加的。

在“Recovery”窗口，按键 **MEM** 可以打开

“Recovery memory”，如果在诱导曲线或光驱曲线测定之后，或者单独进行了暗弛豫分析，在这个窗口下可以单独查看暗弛豫动力学曲线。

表 6：暗弛豫曲线中饱和脉冲的时间频率

SAT序号	黑暗时间 (min)	时间间隔
1	0:00	0
2	0:30	30s
3	1:30	60s
4	4:00	150s
5	9:00	300s
6	19:00	600s
7	39:00	1200s

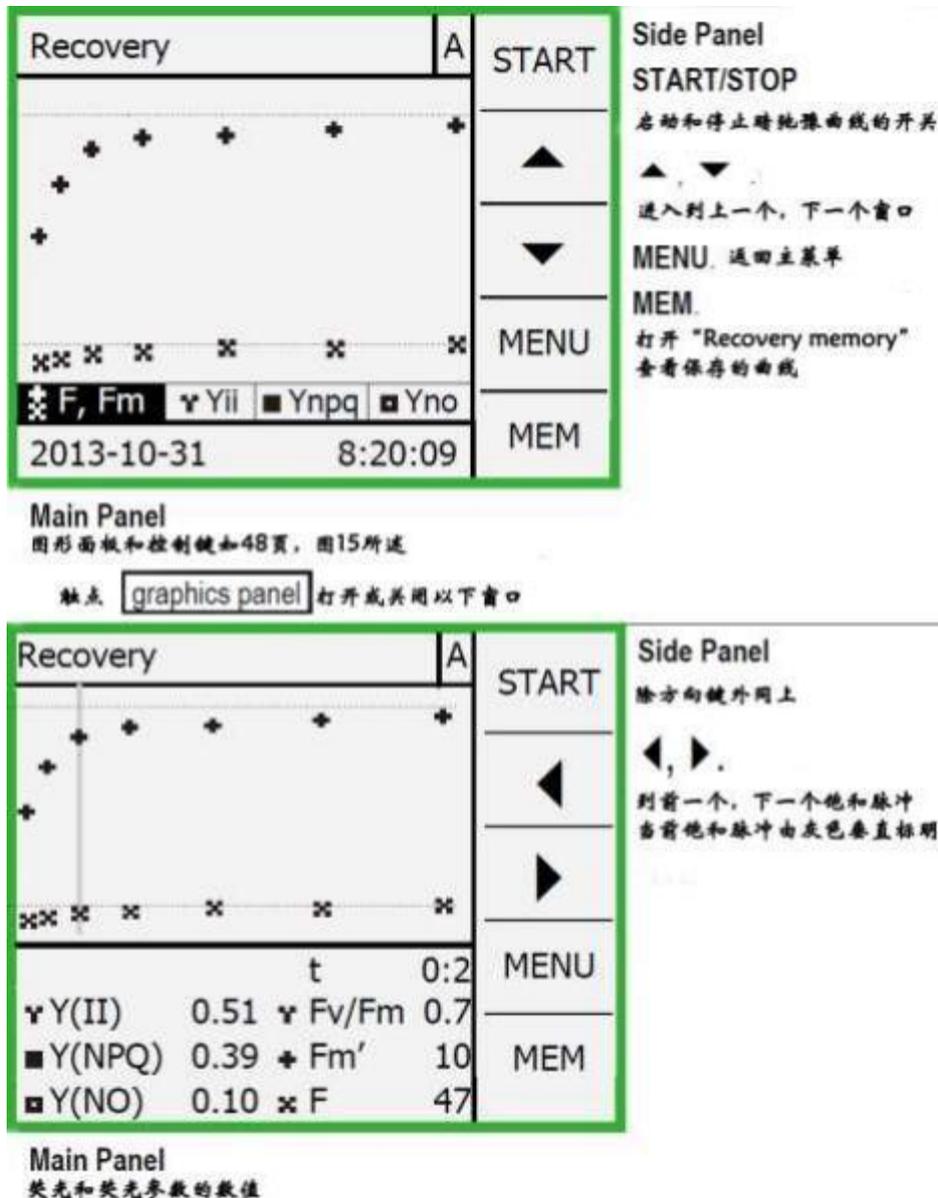


图.17 暗弛豫动力学曲线分析

6.2.9 光化光列表

“Actinic Light List”窗口内包含 MINI-PAM-II 光化光（第 27 页，图 18）在样品平面的目标光强值（ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ）。根据强度设定，列表内的光强值大致呈指数增加。整个列表的光强值都可以乘以内部光化系数(第 32 页，图 23 Int.Act.Factor)。

出厂时，LED 发射器已被调整为使目标 PAR 值与 2035-B 叶夹上叶片平面 PAR 相符，此时 MINI-PAM-II 的光纤应该是插到底的（即光纤前端距样品 7mm，光纤前端与样品夹角为 60° ）。

此外，MINI-PAM-II 内置有一个可以接收恒定少量光化光的光量子传感器，该内置光量子传感器已经过出厂校准，可准确获取光纤完全放置到 2035-B 叶夹最底部，叶片平面的 PAR 值。

无论是出厂 PAR 值还是工厂校准的内置光量子传感器，都不适用于其他形状或者光透性受损的光纤。



图18: 光化光列表

CAL 校准

光化光列表窗口的 CAL 命令是用来调整 LED 光源，使得实际的 PAR 值与目标 PAR 值相匹配。因此，CAL 可以调整光化光 LED 亮度，使其在不同于 2035-B 几何属性的样品位置光强仍保持准确。另外，CAL 充分考虑到了 MINI-PAM-II 光路的特定属性，如透光率下降的光纤。

校准程序-第一步 校准内部 PAR 传感器

如果改变了光纤的角度和距离，内部置光强传感器必须通过与外部标准 PAR 传感器对比来校准。

内置 PAR 传感器的校准只能手动执行，需要用到一个没有连接到 MINI-PAM-II 的 PAR 传感器。为此，在样品位置放置一个外置 PAR 传感器，打开光化光，在“Int. PAR Sensor Settings”窗口（第 38 页，图 32）调整“Calibration Factor”直到内部 PAR 读数与外部 PAR 传感器读数一致。

如果 PAR 传感器可将数据读取到 MINI-PAM-II 中（例如：2035-B 叶夹上的 PAR 传感器），那么内置 PAR 传感器可以自动校准。只需在“Int. PAR Sensor Settings”窗口选择“Calibrate”即可自动调整。

校准程序-第二步 调整 LED 的亮度

通过使用内置 PAR 传感器的读数，LED 的亮度可调整至目标 PAR 值。

6.3 主菜单

“Main Menu”（第 28 页，图 19）是访问MINI-PAM-II 设置、校准、硬件信息以及数据存储的核心部分。主菜单含有 8 个一级项目分类（第 28 页，图 19）。可以通过侧边栏的方向键选择菜单中的任意一行，也可以直接触点选取。大多数的项目都有二级菜单，二级菜单再链接到三级菜单。主菜单及其子菜单的复杂架构如图 20 和 21 所示（第 29、30 页）。

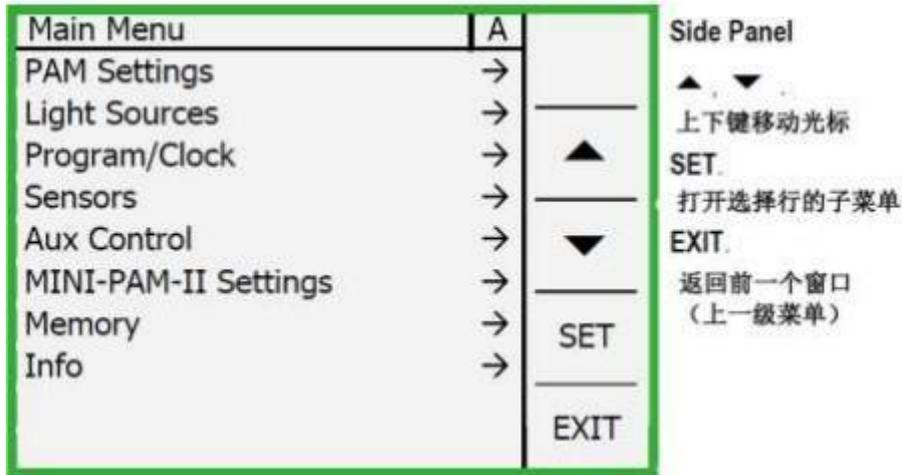


图19：主菜单

6.3.1 PAM 设置

“PAM Settings”包括 MINI-PAM-II 获取荧光方式的设置。具体来说，菜单包含 7 个选择性项目（第 31 页，图 22），同时还可以显示当前 Ft 的值和获得 Ft 时需要减掉的原始信号偏移量。

Meas.Light 测量光

测量光开关（由微秒级，强度极微弱的激发光组成）。选择测量光菜单，触点 **SET**，可以调节测量光。右上角有单独的 **OFF/ON** 键可直接打开或关闭测量光。

Meas.Light SET.测量光设置

这个命令可以打开“Measuring Light Settings”菜单，在这个菜单下，可以通过 **SET** 键选择测量光强度（Meas.

Light Int.），通过方向键调整测量光强度。频率恒定的情况下，可以认为测量光 1-12 档对应的强度是成正比关系的。

“Measuring Light Settings”菜单中另外的两个选项与测量光的频率有关，通过 **SET** 选择“Meas. Light. Freq.”，用方向键可以在 5 个频率间进行选择。第 28 页，表 7 列出了 1-5 档设置的测量光频率。

表 7：测量光频率表

设置	频率Hz
1	5
2	10
3	15
4	20
5	25
high	100

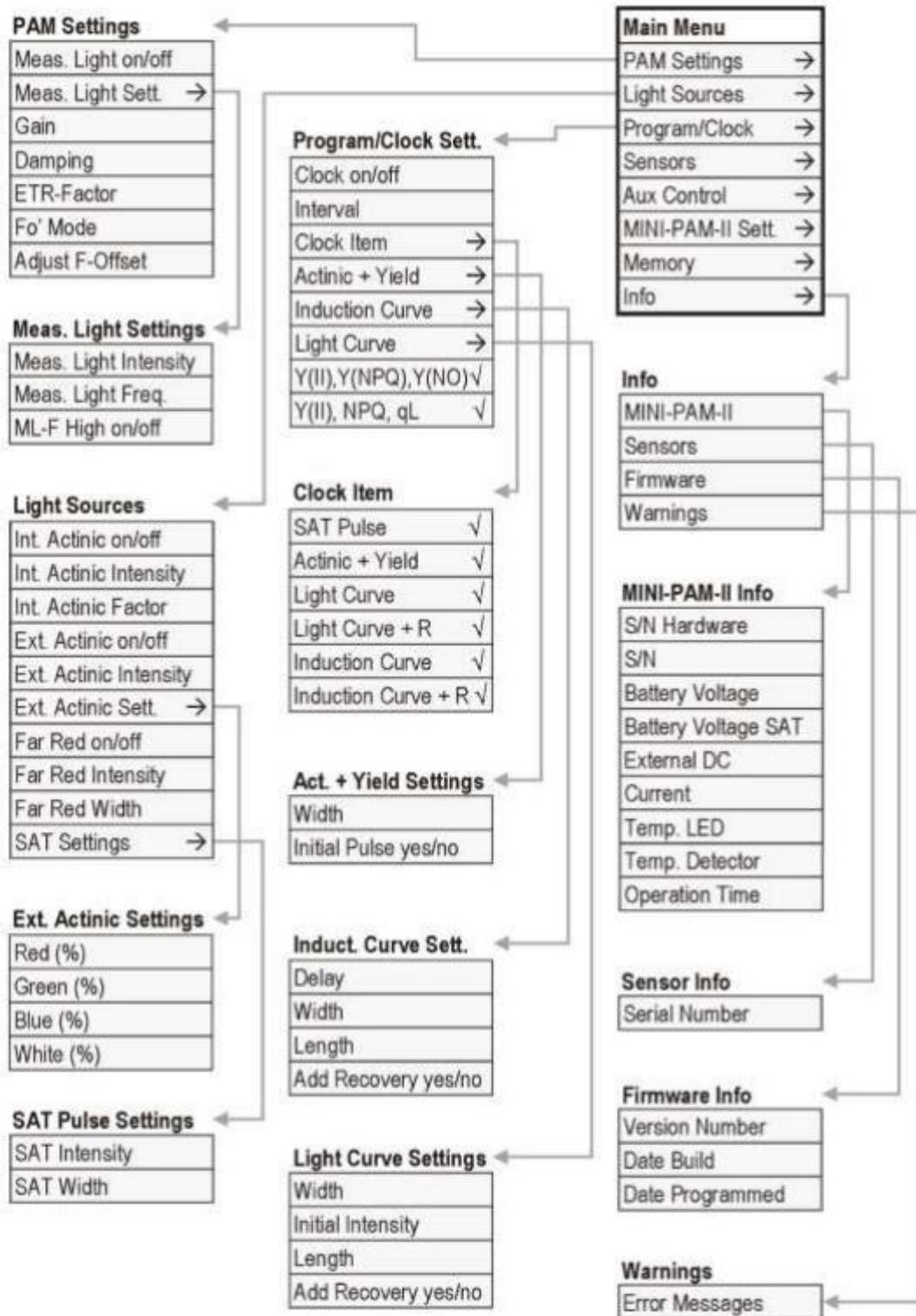


图 20: 主菜单及子菜单 (Part A)

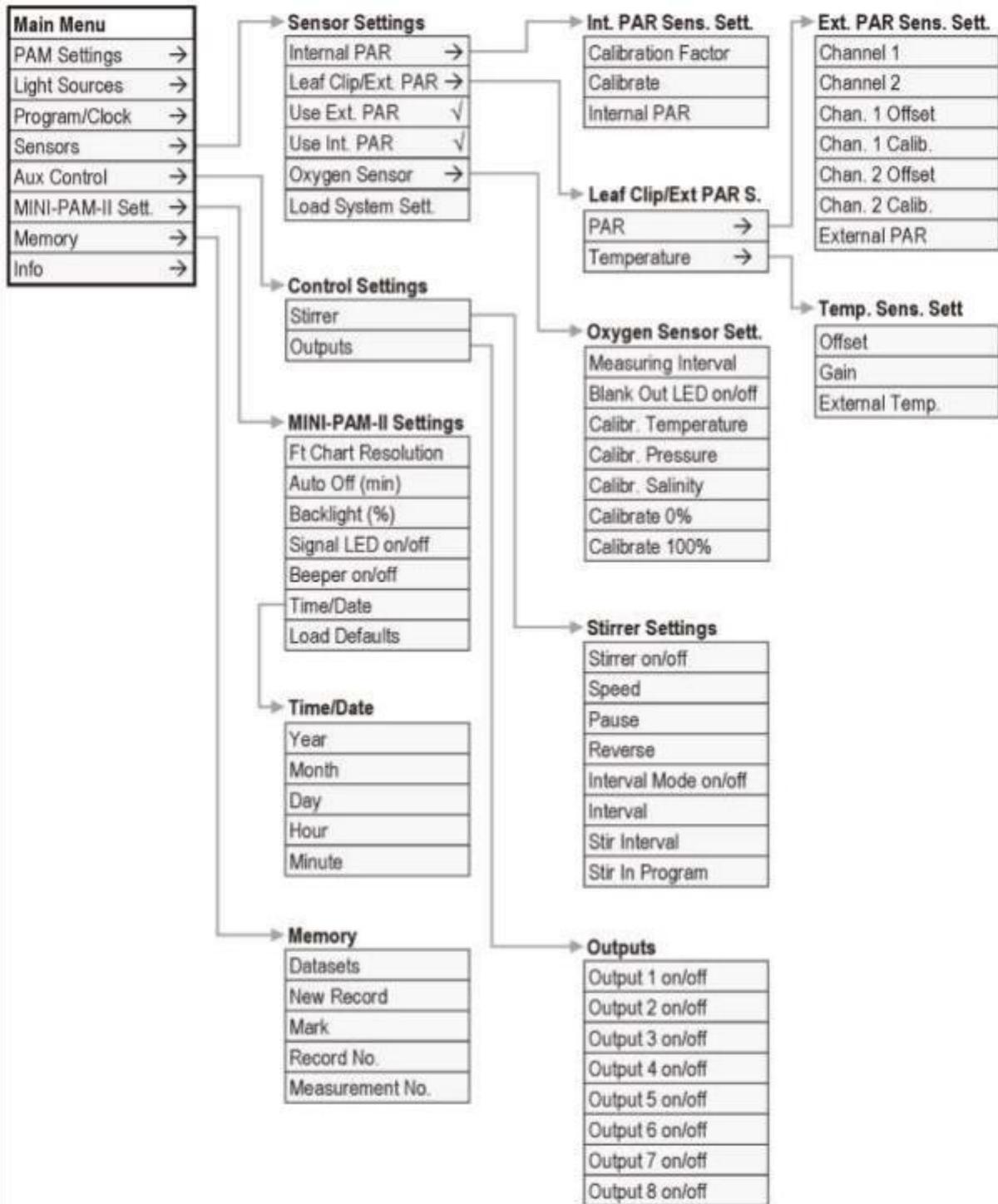


图21: 主菜单及子菜单 (Part B)

PAM Settings		A	Side Panel
Meas. Light	On	OFF	ON/OFF.
Meas. Light Sett.	→		测量光开关
Gain	1	▲	▲ ▼
Damping	2	▼	上下移动键
ETR-Factor	0.84		SET. 打开子菜单 (→)
Fo' Mode	On	SET	选择参数,
Adjust F-Offset	→		通过上下键改变参数值
Ft	421	EXIT	EXIT.
Current F-Offset	70		返回主菜单

图22: PAM设置

测量光频率最高可达 100Hz，可以通过选择菜单（ML-F High）中的第三行来激活。ML-F High 命令设置权限高于“Meas. Light. Freq.”。高测量光频率提高了信号强度，但是它的高强度也可能会驱动光合作用，也就是说测量光变成光化光。这种情况下，F_o的测量结果会偏高。通常，测量光频率在饱和脉冲测量 F_m 和 F_m' 时自动切换到高频。通过 Win-Control-3 软件操作仪器时，测量光频率并不影响持续获得 F_t 的频率。

MINI-PAM-II 光纤完全插入的情况下，2035-B 叶夹内的 PAR 传感器测量到在最高测量光频率和最高测量光强度设置下，测量光平均 PAR 为 0.75 μmol m⁻² s⁻¹。对于相同几何结构的叶夹，平均测量的光强度可以通过以下公式来估算：

$$I_{ML} \left(\frac{\mu\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right) = 0.75 \left(\frac{\mu\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right) \cdot \frac{f(\text{Hz})}{100(\text{Hz})} \cdot \frac{\text{Int.Sett}}{12}$$

I_{ML}: 当前的测量光强度，单位： μmol m⁻² s⁻¹

f: 当前的测量光频率

Int.Sett: 当前测量光强度设置值

Gain

通过 **SET** 选择“Gain”通过方向键设置信号增益系数（1-4）。

Damping

Damping 是一种基于软件的滤波器，特别是高频噪音的抑制，因此，Damping 可以提高信号质量。改变 Damping 设置的原则同“Gain”的描述。Damping 的默认设置是 2。增大 Damping 值会让 MINI-PAM-II 反应变慢。最糟的情况，缓慢的反应速度阻止 F_m 和 F_m' 在饱和脉冲时达到平台期，因此，改变 Damping 应特别注意，只有经验丰富的研究人员才能进行。

ETR-Factor

该因子用于 ETR 的计算，相当于叶子吸收的那部分入射光，默认值 0.84（第 13 页，章节 4.3）。

Fo' Mode

“Fo' Mode”是将饱和脉冲之后的光化光更换为远红光，快速打开 PS II 反应中心（第9页 4.1.2）。测得的 Fo'为远红光照射期间的最小荧光，远红光的时间间隔和强度可以通过“Light Sources 菜单（第32页 图 23）”进行调整。

Adjust F-Offset

“Adjust F-Offset”命令可以确定背景信号的大小并将其从总信号中减去。背景信号必须具有测量光的调制特点才能被荧光仪识别，这些信号可能来自：

测量光激发的，来自悬浮介质或者检测过滤器荧光。

检测过滤器传输的调制激发光的痕迹。

非光学调制的“电子噪音”

通常，背景信号随测量光强度和信号放大（Gain）增强，因此调整 F-Offset 命令的使用取决于测量光强度 Gain 的设置。当前 Offset 值显示在 PAM “Settings” 窗口（第 31 页 图 22）底部。

F-Offset 调整步骤

- 昏暗的环境中
- 关闭一切闪烁光源，如荧光灯，电脑屏幕
- 保证光纤头清洁且不对准任何物体
- 运行“Adjust F-Offset”

6.3.2 Light Sources

Int. Actinic

光化光开关

Light Sources			Side Panel
Int. Actinic	on	OFF	ON/OFF, 光化光开关
Int. Actinic Int.	6	▲	▲, ▼ 光标上下移动键
Int. Actinic Factor	1.00	▲	
Ext. Actinic	On	▼	SET, 进入子菜单 (→)
Ext. Actinic Int.	10	▼	选择参数, 通过上下键改变参数值
Ext. Actinic Sett.	→		
Far Red	off	SET	EXIT, 返回主菜单
Far Red Int.	10		
Far Red Width, s	5	EXIT	
SAT Settings	→		

图23: 光源

Int. Actinic Int.

光化光强度调节，通过 SET 选择菜单项，用箭头键选择设置，1-12 档设置都是可用的。设置的 PAR 信息显示在 “Actinic Light List” 窗口（第 27 页 图 18）

Int. Actinic Factor

系数乘以 “Actinic Light List” 窗口的目标 PAR 值。系数范围为 0.5 至 2.0。

Ext. Actinic

外接 LED 灯的开关，截至当前手册出版，这类 LED 灯尚未开始批量生产。

Ext. Actinic Int.

外接光化光对应强度调整（0.0-100.0%）这里选择的相应的强度乘以四种类型 LED (red green blue white)对应的强度。例如，Actinic Int.=10%，Ext. Actinic Settings Red=10%，这样红光将占最大光强的 1%。

Ext. Actinic Sett.

通过 **SET** 进入子菜单 “Ext. Actinic Settings”（如图 24），每个 LED 类型在 0-100%之间独立调整。相应的有效光强取决于外接光化光强度设置。

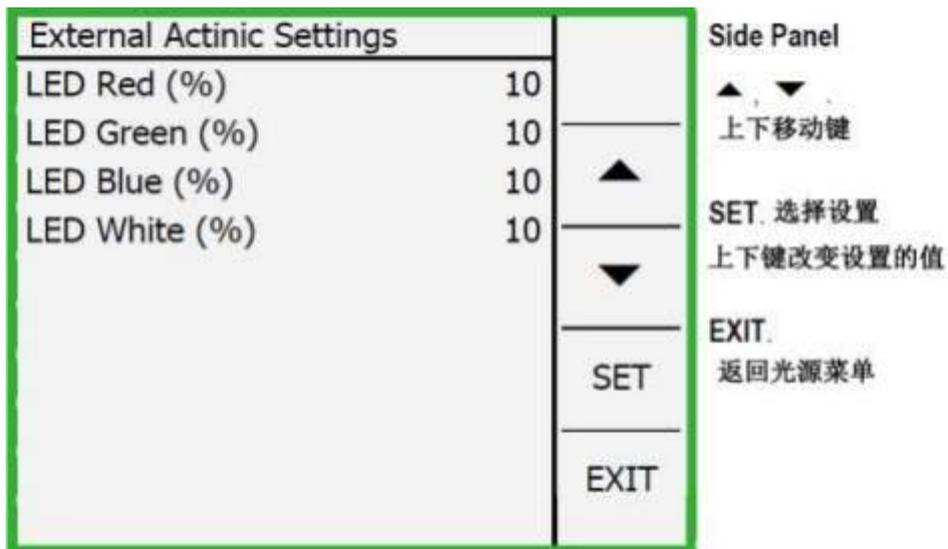


图24：外接光源设置

Far Red

远红光开关

Far Red Int.

远红光强度的调整方法和内置光化光（Int.Actinic.Int）相同。

Far Red Width, s

通过 **SET** 选择菜单，用箭头键选择 Fo'测量所用的远红光照射时间（第 9 页，章节 4.1.2）。照射时间从 2s-30s 以 1s 为单位递增。

SAT Settings

移动到“SAT Settings”，**SET** 打开子菜单“SAT Pulse Settings”（如图 25）。在子菜单中，可以设置饱和脉冲相应的强度和持续时间。在 2035-B 几何模型状态下，从样品水平讲，强度 12 档的设置对应的光强约为 $6000\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ （光纤前端距样品表面：7mm，光纤前端与样品夹角 60° ）饱和脉冲是可调的，随档位升高以 $500\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 为单位递增。

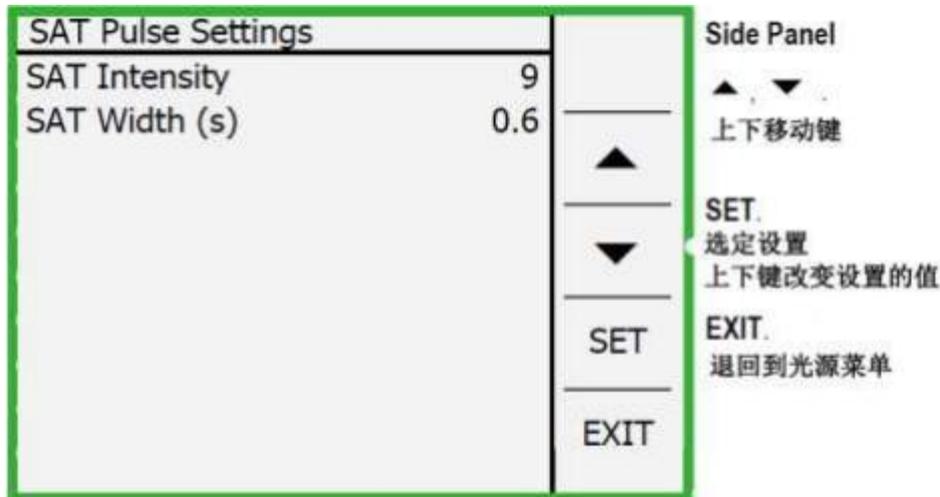


图25: 饱和脉冲设置

6.3.3 Program/clock Settings

“Program/Clock Settings”菜单设有一系列设置好的，可自动完成的实验程序，包括 Actinic + Yield, 诱导曲线和光曲线，还有单个测量和实验方案的重复性触发。

Clock

Clock 的开关，Clock 在设定好时间间隔后，重复性的触发某个动作，间隔时间在“Clock Interval”中设置。重复内容在“Clock Item”中设置。

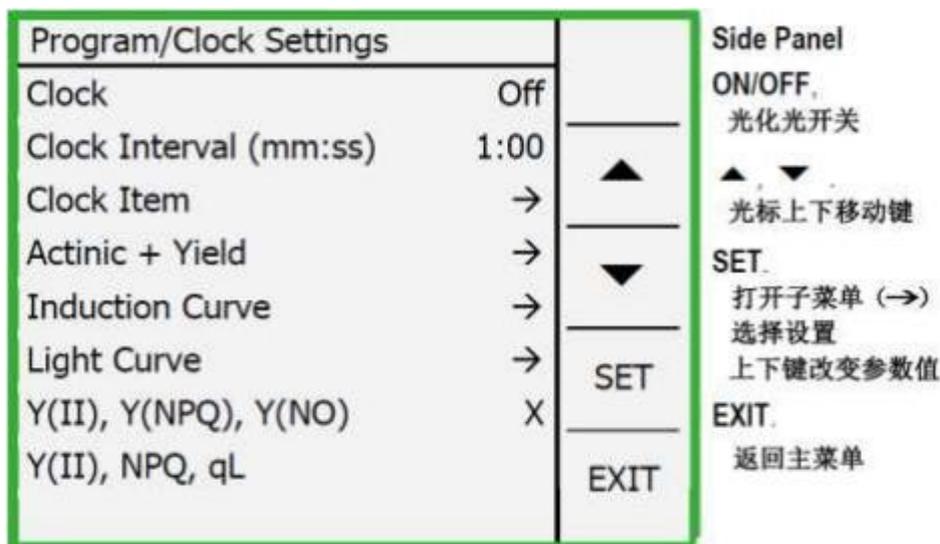


图26: Program/Clock Settings

Clock Interval

分别通过上下键和 SET 选择并进入“Clock Interval”，通过上下键可以在 10s 到60min 之间调整间隔时间。

Clock Item

饱和脉冲分析，Actinic + Yield，诱导曲线，光曲线可以在 Clock 控制下重复执行。暗弛豫实验可以在诱导曲线和光曲线之后执行（Light Curve + Recovery 和 Induction Curve + Recovery）。要选择“Clock Item”中六个选项的其中一个，将光标移动到感兴趣的选项，点击 **SET**。被选定的项目会用 X 标记（图 27 中选择的项目是饱和脉冲）。

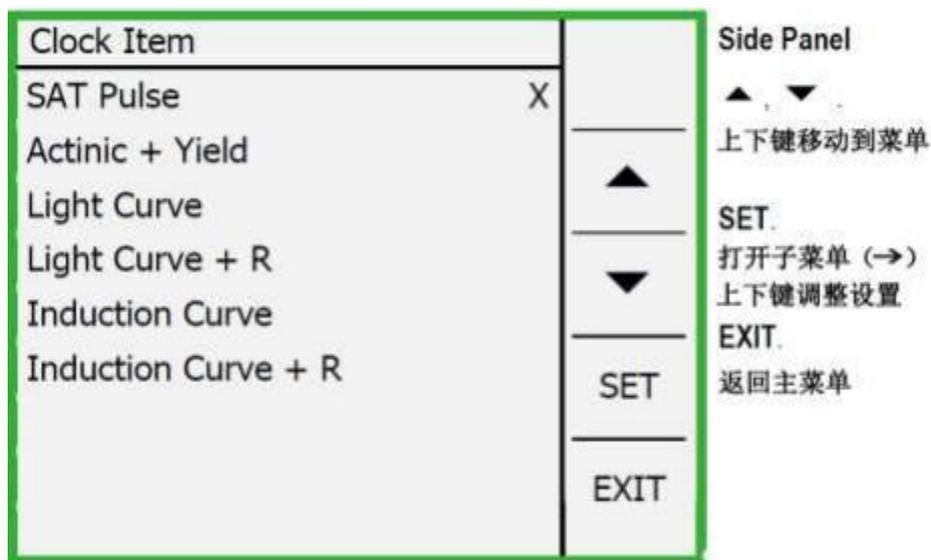


图27: Clock Item

Actinic + Yield

Actinic + Yield 程序的动作由两个因素决定（第 36 页 图 28），光化光照射时间（Width）（可在 5s-5min 之间设置）和是否在照射光化光之前先开启一个饱和脉冲（初始脉冲 Initial Pulse）。光化光照射时间的调整和上面对 Clock 间隔设置的描述相同，通过 SET 命令设置首个脉冲的开/关。另外，光化光强度的调整在“Light Sources”窗口（第 32 页 图 23）。

通过图 28 中侧边栏的 **START** 可以开始一个 Actinic + Yield 程序，这样屏幕显示会自动切换到 Actinic + Yield 测量窗口（第 23 页 图 14）。

Induction Curve

诱导曲线测量在“Induction Curve Settings 窗口（第 36 页 图 29）下进行设置。

Delay（范围 5s-10min）确定暗处理样品饱和和脉冲分析间的黑暗时间（Fo, Fm 测量，第 9 页章节4.1.1），确定光化光照射的起始时间。

Width（范围 5s-10min）是光化光照射期间两个连续的饱和脉冲分析之间的时间间隔。

Length 光化光照射期间饱和脉冲的数量。因此，光化光持续的时间为“总的饱和脉冲数-1”乘以每个间隔的时间。

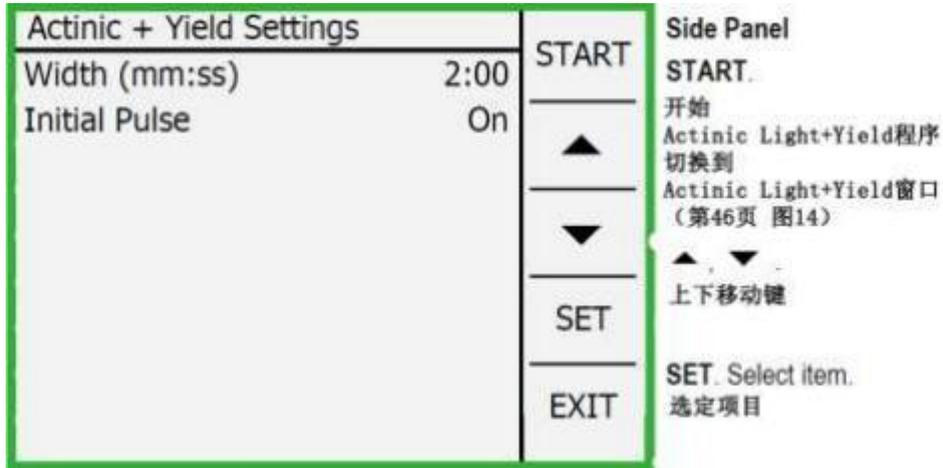


图28: Actinic + Yield设置

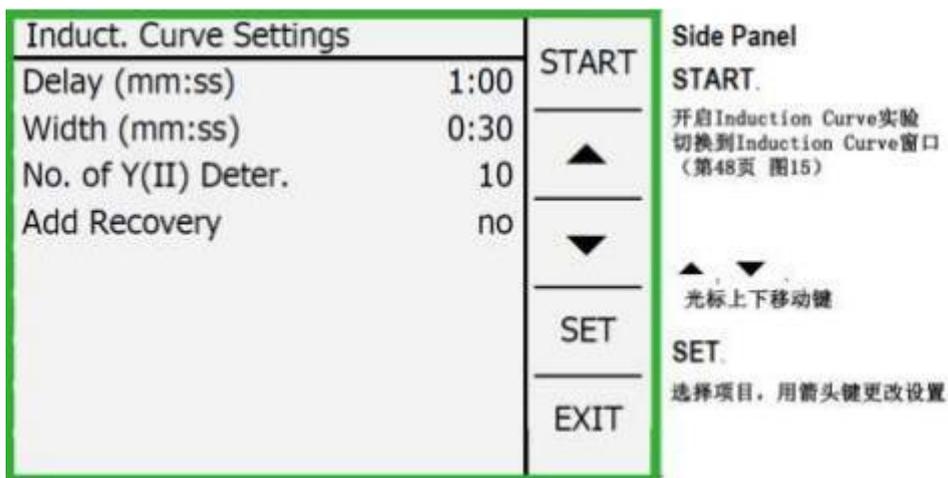


图29: Induction Curve Settings

Light Curve

光曲线的设定在“Light Curve Settings”窗口（第 37 页，图 30）。光曲线的 Width 和 Add Recovery 的属性和诱导曲线相同。

Intensity 指定设置为光曲线第一个照光步骤的光化光强度（范围 1-5，对应 PAR 的值请参照 27 页，图 18）。

Length 是照光步骤的数量，范围可以在 2-12 步之间选择。如果 length=5 且强度为 2，那么照光强度为 2, 3, 4, 5, 6 的 5 个照光步骤即被执行，测量一条光曲线。光曲线所需的总时间由 length 乘以 width 决定。

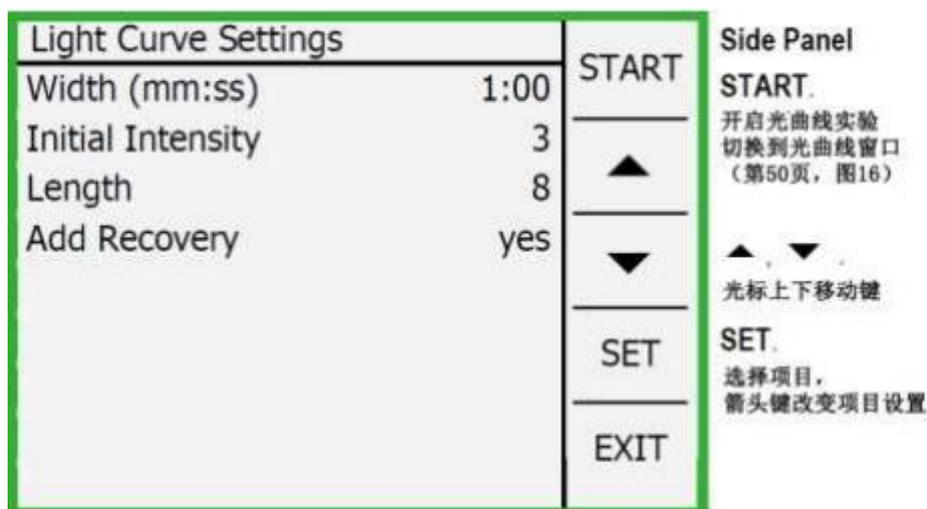


图30: Light curve settings

Select (Y(II), Y(NPQ), Y(NO)) or (Y(II), NPQ, qL)

“Program/Clock Settings” 菜单的最后两行影响 Induction Curve, Light Curve 和 Recovery Curve 窗口下数据的图形和数值的显示。具体来说, 选择(Y(II), Y(NPQ), Y(NO))显示了能量分配途径分析的三个量子产量参数。选择 Y(II), NPQ, qL 显示了经典的 NPQ 参数和一个 PSII 还原状态的参数 (qL)。

行与行之间的选择操作同 “Clock Item” (第 35 页 图 27) 一样。荧光参数的定义参照第 11 页, 表 2。

6.3.4 Sensors

在主菜单选择 “Sensors” 会打开 “Sensors Settings” 窗口 (图 31)。这个窗口包括四个相关联的子菜单 (分别由箭头键进入) 以及 MINI-PAM-II 光的测量是用内部 PAR 传感器还是 2035-B 上的外置光量子传感器的选项 (Use EXT.PAR/Use Int.PAR)。当前活动的传感器用 X 标记, 要改变选择, 将光标移动到其他的传感器, 点击 **SET**。

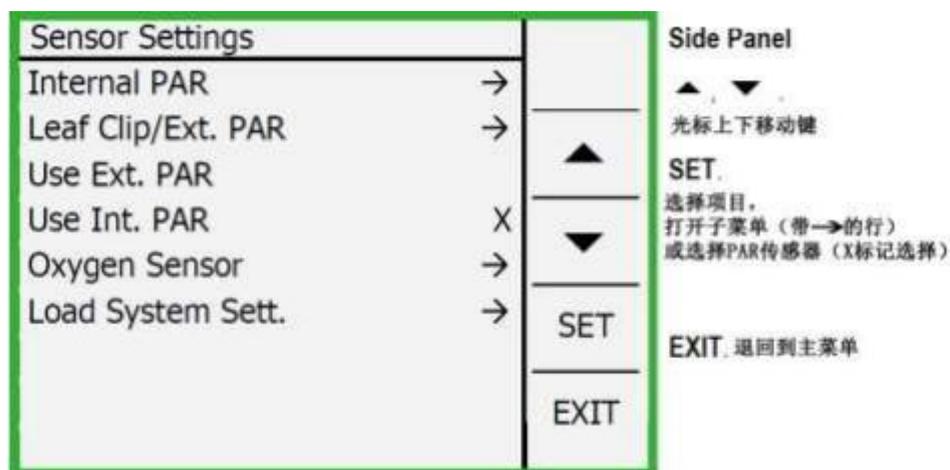


图31: Sensor Settings

6.3.4.1 Internal PAR

选择“Internal PAR”可以打开“Internal PAR Sensor Settings”窗口（第 38 页 图 32）。这个窗口是专门为 MINI-PAM-II 内部的 PAR 传感器的校准设置的。窗口显示当前的“Calibration Factor”，以及内/外 PAR 的读数。内置传感器的正确的校准表现为内部和外部的 PAR 读数相近。如果之前已经进行了内部 PAR 传感器校准，但在两个 PAR 值却明显不同，检查以下几项是否设置错误：

- （1）外置光量子传感器在光化光光束中间。
- （2）之前校准的设置与当前的不同。例如，之前校准时外置 PAR 传感器距光纤 3mm，现在用的是 2035-B 叶夹（不再是 3mm，而是 7mm）内置 PAR 传感器的读数比外置 PAR 传感器读数高得多。
- （3）外置 PAR 传感器为连接或者“External PAR Setting”窗口（第 39 页 图 34）中 PAR 通道选择不正确。校准内置 PAR 传感器需要用到一个独立的外置 PAR 传感器：手动调整“calibration Factor”（**SET**和箭头键）直到内部测量的 PAR 与外置传感器读数相一致。

校准内置 PAR 传感器需要用到一个连接到 MINI-PAM-II 的独立外置 PAR 传感器（2030B 叶夹的 PAR 传感器），进入“校准”，并自动确定校正因子。

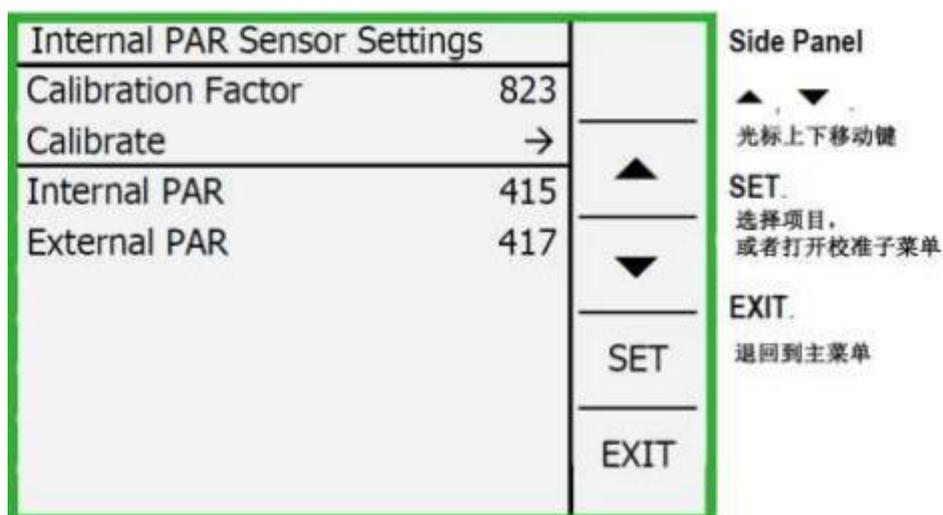


图32: Internal PAR Sensor Settings

6.3.4.2 Leaf Clip/Ext. PAR

“Leaf Clip/Ext. PAR”菜单打开另外一个设有两个链接窗口（Leaf Clip/Ext. PAR Sett, 39 页 图 33）PAR打开的菜单允许活动外置 PAR 通道的选择以及查看和改变 PAR 校准数据（External PAR Sensor Sett, 第 39 页 图 34）。在以下的窗口，“Channel1”对应的是 2035-B 叶夹上的的 PAR 传感器，“Channel2”对应的是连接到 2035-B 叶夹侧边 SMA 接口的传感器。两个通道的斜率（Calib）和偏移量都已经给出。最下面一行，显示的是有效的 PAR 传感器的读数。

目前，通道 2 的 PAR 传感器尚未量产。

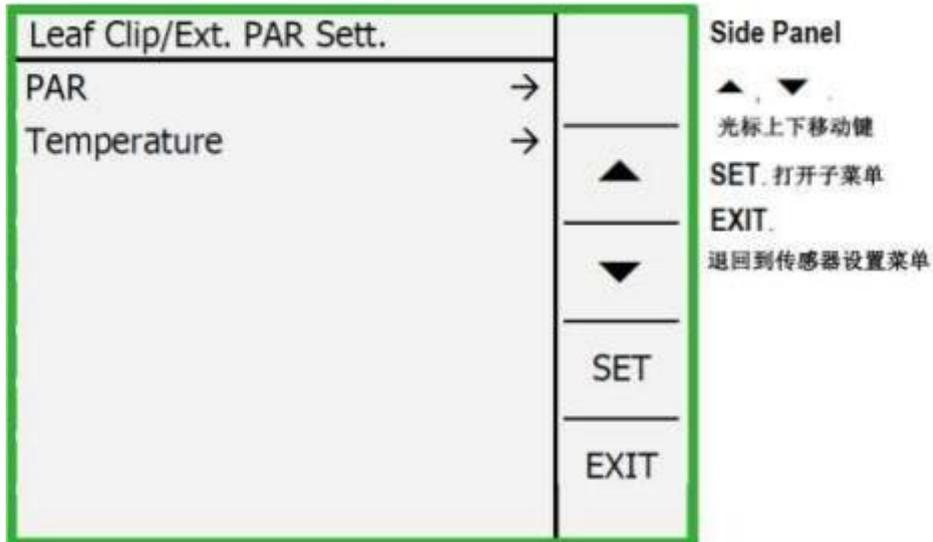


图33: Leaf Clip/Ext. PAR Settings

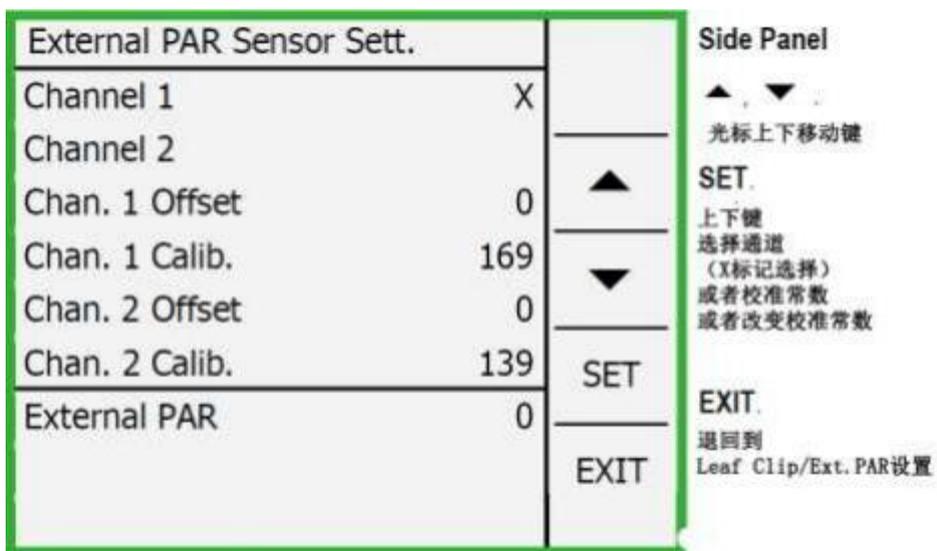


图34: External PAR Sensor Settings

Temperature 菜单下是为 2035-B 叶夹叶片温度传感器校准的数据 (External Temp. Sensor Sett., 40 页图 35)。该窗口列出了校准线的斜率 (Gain) 和偏移量 (Offset)。出厂设置 Gain=1.00, Offset=0。

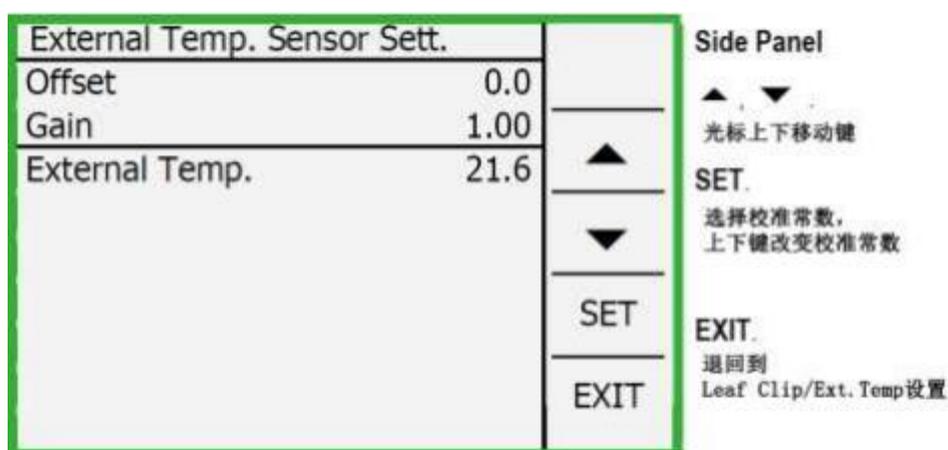


图35: External Temperature Sensor Settings

6.3.4.3 Oxygen Sensor

“Oxygen Sensor Settings” 窗口是为进一步连接光纤型氧气传感器而准备的。

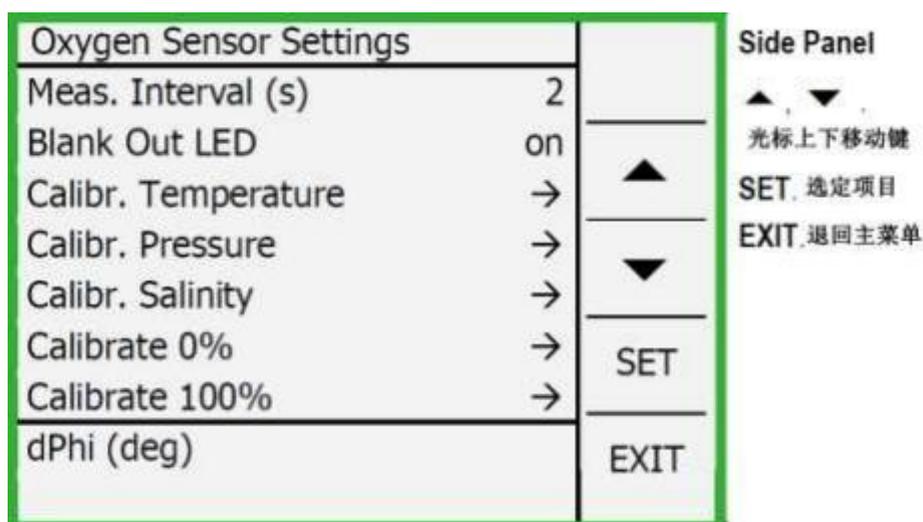


图36: Oxygen Sensor Settings

6.3.4.4 Load System Settings

“Load System Settings” 用以恢复系统设置，如内置 PAR 传感器的校准因子（以 2035-B 叶夹为模型确定的校准系数），测量光电流和外置设备的校准系数储存在 2035-B 叶夹以内。切勿将 “Load System Settings” 和 “Load Defaults”（第 42 页 图 38）混淆。

6.3.5 Aux Control

该菜单及其子菜单可用于控制外接设备。目前，该窗口可通向下一个控制搅拌器子菜单和一个可定义八个输出信号的菜单。目前这些输出信号均未配置。

6.3.5.1 Stirrer Settings

该 stirrer 菜单是为 PAR 荧光仪操控转子防止叶绿体或藻类悬浮液颗粒沉淀而准备的。一个 MINI-PAM-II 的搅拌器附件为选配的。“Stirrer Settings”菜单的内容详细解释如下。

On/Off

主搅拌器开关。

Speed (%)

相对转速，范围：0-100%

Pre-SAT Off (s)

饱和脉冲分析之前的时间，期间搅拌器是停止的。范围：0-60s。

Reverse (s)

“Pre-SAT Off”命令之前的时间，期间旋转方向与正常相反。范围：0-10s

Interval Mode

除了在饱和脉冲前关闭搅拌器之外，Interval Mode 可以进一步限制搅拌时间。Interval 是 Interval Mode 的个定义开始搅拌周期的参数。一个间隔起始搅拌的时间是由 Interval Mode 的第二个参数“Stir Interval”来确定的。

饱和脉冲分析结束后重启间隔。例如，如果闹钟间隔是 5min，搅拌间隔为 10min，搅拌时间为 1min，那么只会在饱和脉冲后的那一分钟内进行搅拌。

Interval (mm:ss)

Interval Mode 参数：以搅拌为起始的重复间隔，范围 0-120min

Stir Interval (s)

Interval Mode 参数：搅拌时间，范围 0-60min

Stir In Program

在诱导曲线和光曲线程序中激活搅拌，这些程序的饱和脉冲分析会启动激活的 Interval Mode 提供的搅拌间隔。该命令只在主搅拌开关将搅拌器打开的情况下执行。

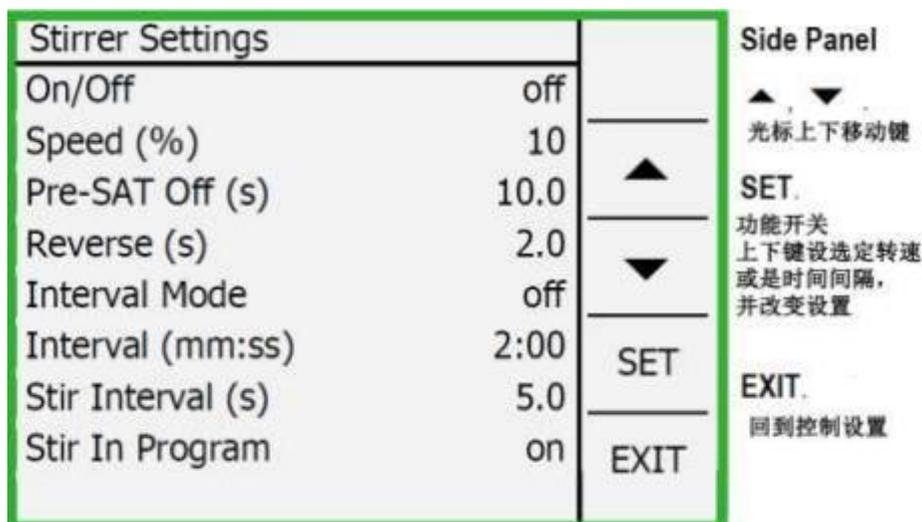


图37: Stirrer Settings

6.3.6 MINI-PAM-II Settings

菜单“MINI-PAM-II Settings”可进行荧光仪设置的调整，Ft 表格所设置的两个时间间隔的选择。以及检索测量的默认设置。

Ft Chart Resolution (s)

Ft 表的分辨率可以是 0.2 或 1.0 秒/点对应 25 或 125 秒/总时间轴。

Auto Off (min)

饱和脉冲之停止后到 PAM 自动关机之前的待机时间。

Backlight (%)

面板背光 LED 阵列最大强度的百分数。

Signal LED

MINI-PAM-II 顶部 LED 的开关（每 2s 绿灯闪一下，正常操作；每 2s 绿灯闪两下，时钟控制操作；绿灯一直亮，饱和脉冲分析；绿灯每 10s 闪一下，机器进入睡眠状态）。

Beeper

Beeper 开关，确认按键和饱和脉冲分析时的声音。

Time/Date

设置时间和日期的简易菜单。

Load Defaults

MINI-PAM-II 内部存储器保存着 43 页，表 8 中左面，中间两列列出变量的默认设置。如果在关闭 MINI-PAM-II 时保存了变量设置，那么变量行右边那一列会标记为“**Yes**”。“**Yes**”表示这些设置在 MINI-PAM-II 以后的使用过程中用于恢复默认设置。

MINI-PAM-II Settings			Side Panel
Ft Chart Resolution (s)	0.2		▲, ▼ 光标上下移动键
Auto Off (min)	5		SET. 上下键改变参数
Backlight (%)	30	▲	功能开关 打开子菜单（带→的行）
Signal LED	on	▼	
Beeper	on		
Time/Date	→	SET	
Load Defaults	→	EXIT	EXIT. 返回主菜单

图38: MINI-PAM-II Settings

表 8: 默认设置

	Default Setting	Current Setting (saved and restored)
Measuring Light		
Status	On	No
Intensity	6, relative unit	Yes
Frequency	3, see Table 7	Yes
Frequency high status	Off	No
Actinic Light		
Status	Off	No
Intensity	6, relative unit	Yes
Factor	1.00	Yes
PAM Signal		
Gain	1, relative unit	Yes
Damping	2, relative unit	Yes
Far Red Light		
Width 5	5, s	Yes
Intensity	8, relative unit	Yes
Saturation Pulse		
Intensity	10, relative unit (\cong 5000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Yes
Width	0.6, s	Yes
Program Actinic Light and Yield		
Actinic light width	30, s	Yes
Initial Pulse	Yes	Yes
Program Induction Curve		
Delay	40, s	Yes
Width	20, s	Yes
Length	12	Yes
Program Light Curve		
Width	20, s	Yes
Intensity	3, relative unit	Yes
Length	8, light steps	Yes
Clock		
Item	Saturation pulse	Yes
Interval	60, s	Yes

表 8: 默认设置

	Default Setting	Current Setting (saved and restored)
Hardware		
Signal LED status	On	Yes
Beeper status	On	Yes
Automatic power down	15, min	Yes
Background light	60%	Yes
Graphics		
Ft chart time resolution	0.2, s/dot	Yes
External Light		
Status	Off	No
Total intensity	1%	Yes
Red LED	10%	Yes
Green LED	10%	Yes
Blue LED	10%	Yes
White LED	10%	Yes
Stirrer		
Status	Off	No
Speed	10%	Yes
Pre-SAT off	10, s	Yes
Reverse	0, s	Yes
Interval mode	Off	Yes
Interval	2, min	Yes
Stirring interval	5, s	Yes
Stir in program	Off	Yes
F₀' Mode		
Status	Off	Yes
PAR Sensor		
Status	Internal	No
Mark		
Character	A	Yes

6.3.7 Memory

Memory 窗口设有存储的饱和脉冲分析 (Datasets) 的概述。最实用的是, 在这里可以查看饱和脉冲诱导的荧光动力学。分别在诱导曲线窗口和光曲线窗口选择 **MEM** 键, 可以查看诱导曲线 (24 页图 15) 和光曲线 (25 页图 16)。另外在这个窗口, 可以启动新的记录, 也可以更改脉冲数据的标记。

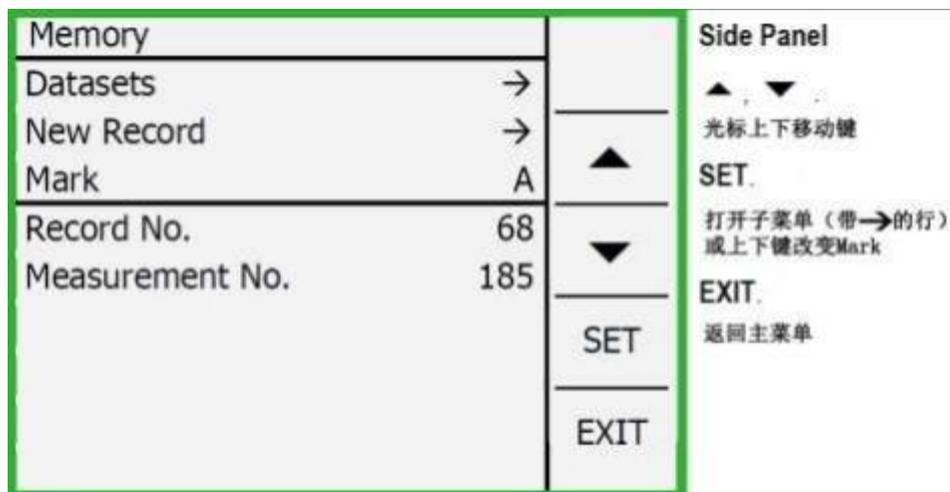


图39: Memory

6.3.8 Info

“Info” (第 45 页 图 40) 含有四个可链接到子菜单的项目, 其中三个是与硬件和软件信息相关的。MINI-PAM-II 提供的是荧光仪的硬件信息。Sensors 列出的是连接到 MINI-PAM-II 上的传感器的序列号。Firmware 显示的是 MINI-PAM-II 固件的序列号和日期信息。第四个环节 (warnings) 包含的是 MINI-PAM-II 对异常情况做出的提示。

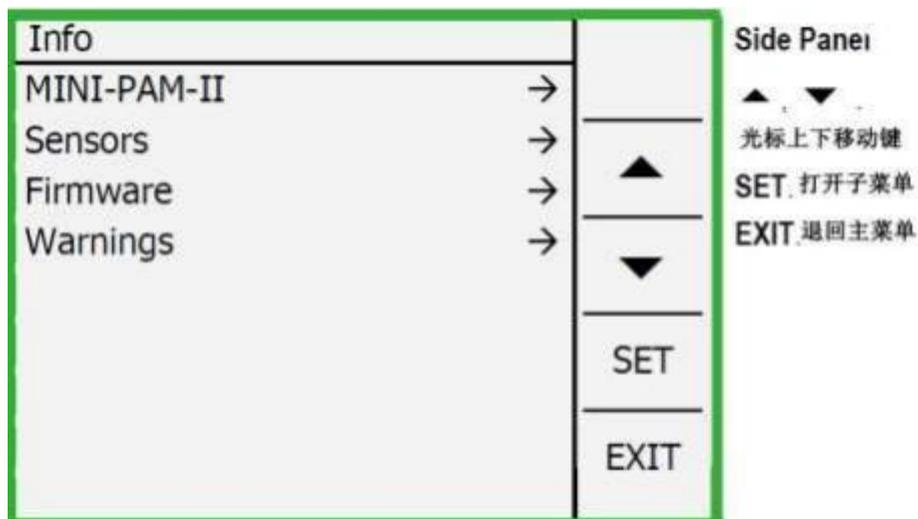


图40: Info

6.3.8.1 MINI-PAM-II Info

“MINI-PAM-II”窗口显示当前电量，单位“V”，如果当前电量低于 7.0V，说明电量已消耗殆尽，如果想在不断电源线的情况下继续使用仪器，需要准备使用备用电池。

本窗口内其他的一些信息是：

- (1) 硬件版本，硬件设计编号；
- (2) S/N，序列号；
- (3) 电量 (SAT)，打饱和脉冲期间的电池电压 (V)；
- (4) 外接直流电，通过 MINI-PAM-II 充电适配器供电电压 (V)；
- (5) 电流，显示目前 MINI-PAM-II 消耗的电流 (A)；
- (6) 温度 (LED)，光化光 LED 的温度 (°C)。

MINI-PAM-II Info		Side Panel
Hardware Version	1	▲ ▼ 光标上下移动键
S/N	PYAC0054	EXIT 退回到Info
Battery Voltage (V)	7.4	
Battery (SAT) (V)	6.8	
External DC (V)	11.9	
Current (A)	0.04	
Temp. LED (°C)	23.6	
		EXIT
Operation Time (h)	15	

图41: MINI-PAM-II Info

7 MINI-PAM-II/B 基本规格

7.1 系统基本组成

7.1.1 光电单元

测量光: MINI-PAM-II/B 的测量光为蓝光 LED (470 nm), 光强 (20 Hz) = $0.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。5 至 25 赫兹的标准调制频率 (调节单位为 5 赫兹) 和 100 赫兹, 测量光饱和脉冲标准设置为 $0.05 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

光化光: 蓝光 LED, 最大连续光强 $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 饱和脉冲最大光强 $6000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

远红光: 发射峰值 735 nm 。

信号检测: $\lambda > 610 \text{ nm}$, PIN-光电二极管, 带有长通滤光片和锁相放大器。

数据存储: 8M 闪存, 提供超过 27000 次饱和脉冲分析的存储空间。

显示: 160*104 字符 (78mm*61mm) 半透/黑白液晶显示屏, 带背光。

端口: 光纤接口, USB 线接口, 外接光源接口, 2035B 叶夹接口, 辅助设备接口, 12V DC 电源接口。

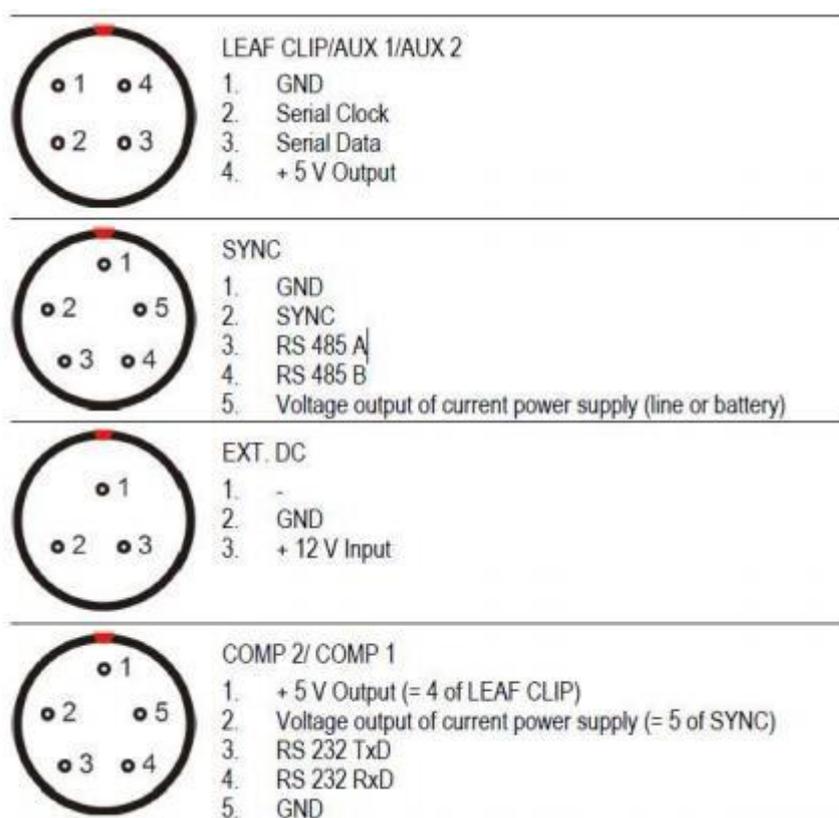
电源: 内置 1.2 V/2 Ah 可充电电池 (品牌 Eneloop), 存储电量可完成 1000 次量子产量 (yield) 测量。六节备用电池, 一段时间不工作时可自动关机。000190101101 电池充电器(100 to 240 VAC, 50-60 Hz, 0.35 A), 可为 1-8AA/AAA 的镍镉电池充电, 为 MINI PAM-II/N 提供 12V/5.5A 电源供给。

操作温度: 0-40 摄氏度。

尺寸: 17.2 cm × 11.2 cm × 7.6 cm (长×宽×高)。

重量: 1.5kg (包含电池)。

表 9: Pin Assignment
when Looking at
Optoelectronic Unit.



7.1.2 MINI-PAM/F 光纤

设计：70 μ m 玻璃纤维结构，塑料包裹，末端带不锈钢制适配器，随机装箱。

尺寸：可用直径 5.5mm，外部尺寸 8mm，长度大约 100cm。

重量：180g

7.1.3 MINI-PAM-II/N 电源

输入：100 to 240 VAC, 50 to 60 Hz

输出：12 V DC, 5.5 A

尺寸：13 cm \times 5.5 cm \times 3 cm（长 \times 宽 \times 高）

重量：350g（包含线）

7.1.4 000190101101 电池充电器

输入：100 to 240 VAC, 50 to 60 Hz

输出：12 V DC, 1.0 A

操作温度：0-40 摄氏度

尺寸：17.5 cm \times 10.5 cm \times 3 cm（长 \times 宽 \times 高）

重量：310g（包含线）

7.1.5 60°倾角距离叶夹 2010-A 60

设计：带光纤固定器和 11mm 样品孔的金属叶夹，尺寸 5.5 cm \times 1.4 cm（长 \times 宽）

7.1.6 其他附件

倾斜的有机玻璃夹，方便放置在桌面上操作。

触摸屏的手写笔。

主机背带。

7.1.7 WinControl-3 软件

程序：WinControl-3 系统操作和数据获取程序是在由计算机操控机器完成测量，获取数据和分析时使用的。支持 Windows XP/Vista，Windows7+8 32 位和 64 位。

饱和脉冲分析：测量参数：Ft, Fo, Fm, F, Fo, Fm。通过 2035B 叶夹测量 PAR，叶片温度，相对湿度。

计算参数：Fo, Fv/Fm, Y(II)（分别为 PS II 最大和有效光化学产量），qL, qP, qN, NPQ, Y (NPQ), Y(NO)和 ETR（电子传递速率）。

拟合程序：内置两个拟合程序确定光曲线参数 α , I_k , ETR_{max} 的基点。

通信协议：USB

7.1.8 电脑要求

处理器：0.8 GHz 的 RAM, 512 MB 内存。1024 \times 600 像素屏幕分辨率，接口，USB2.0/3.0。

操作系统：微软 Windows XP SP2/Vista/ Windows7 和 8。

7.1.9 MINI-PAM/T 运输箱

设计: 金属外壳与定制化泡沫包装。

尺寸: 50 cm×34 cm×20 cm (长×宽×高)

重量: 3.8kg

7.2 配件

7.2.1 2035-B 叶夹

设计: 2035-B 叶夹包含 (1) MINI-PAM/F 光纤放置口和 (2) 样品夹。叶夹上下两部分打开后可以夹住叶片。夹子上面部分提供了一个直径为 1 厘米圆形测量面积。光纤尖端与测量区域之间的标准距离为 8mm。光纤与测量平面呈 60°角。叶片温度传感器安装在测量区域下方。湿度传感器安装在距离测量区域 3cm 的位置。内置芯片保存传感器的校准数据。饱和脉冲可以通过遥控触发按钮被释放。另外提供一个附加光传感器输入接口。

微型光量子传感器: LS-C 用于选择性的 PAR 测量, 范围为 0-7000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 用表面法对带有 -30° 到 +30° 角的入射光线进行余弦校正, 内置放大器。

热电偶: 镍铬, 线径 0.1mm, 感应温度 -20 至 +60°C

湿度传感器: 湿度和温度传感集成电路, 测量范围 0 - 100% 相对湿度。

电源: MINI-PAM-II 插座 (5 V/10 毫安)

电缆长度: 180cm

外形尺寸: 16 cm×5.7 cm (最大) ×8 cm (最大) (长×宽×高)

重量: 250g (不含线)

7.2.2 暗适应夹 DLC-8

设计: 带毛绒接触面和滑片铝制叶夹。

外形尺寸: 6.5cm×2cm (最大) × 1.5cm (最大) (长×宽×高)

重量: 3.6 g

7.2.3 便携式三脚架 ST-2101A

用于安装 2035-B 叶夹。

高度: 可调节范围 24cm-87 cm

重量: 400g

7.2.4 90°光纤适配器 2030-B90

2035 B 叶夹配件, 将 MINI-PAM 的光纤放置到一定距离, 与叶片表面呈 90°。

7.2.5 微光纤 MINI-PAM/F1

有效直径为 2mm, 长 1.5m。包括用于连接到 2035-B 叶夹的适配器。

代表文献

数据来源：光合作用文献Endnote数据库

原始数据来源：Google Scholar

1. Jiang Q, Ma X, Gong X, et al. (2014) The rice OsDG2 encoding a glycine-rich protein is involved in the regulation of chloroplast development during early seedling stage. *Plant cell reports: in press*. [MINI-PAM] [上海师范大学]
2. Wu N, Zhang Y-m, Downing A, et al. (2014) Rapid adjustment of leaf angle explains how the desert moss, *Syntrichia caninervis*, copes with multiple resource limitations during rehydration. *Functional Plant Biology* 41: 168-177. [MINI-PAM] [中国科学院新疆生态与地理研究所]
3. Zhang F, Tang W, Hedtke B, et al. (2014) Tetrapyrrole biosynthetic enzyme protoporphyrinogen IX oxidase 1 is required for plastid RNA editing. *Proceedings of the National Academy of Sciences: in press*. [MINI-PAM] [中国科学院植物研究所]
4. Zhu C, Chen Y, Li W, et al. (2014) Effect of herbivory on the growth and photosynthesis of replanted *Calligonum caput-medusae* saplings in an infertile arid desert. *Plant Ecology* 215: 155-167. [MINI-PAM] [中国科学院新疆生态与地理研究所]
5. 周洁, 施祺, 余克服. (2014) 三亚造礁石珊瑚虫黄藻光合作用效率的日周期及其调控因素. *热带海洋学报* 33: 81-89. [MINI-PAM] [中国科学院南海海洋研究所]
6. Dou Y, Wang B, Chen L, et al. (2013) Alleviating versus stimulating effects of bicarbonate on the growth of *Vallisneria natans* under ammonia stress. *Environmental Science and Pollution Research* 20: 5281-5288. [MINI-PAM] [同济大学]
7. Du N, Wang R, Liu J, et al. (2013) Morphological response of *Vitex negundo* var. *heterophylla* and *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* to the combined impact of drought and shade. *Agroforestry systems* 87: 403-416. [MINI-PAM] [山东大学]
8. Hao X, Li P, Feng Y, et al. (2013) Effects of Fully Open-Air [CO₂] Elevation on Leaf Photosynthesis and Ultrastructure of *Isatis indigotica* Fort. *PloS one* 8: e74600. [MINI-PAM] [山西农业大学, 中国农业科学院环境与可持续发展研究所]
9. Huang X, Ma JX (2013) The influence of ground biomass of *Populus euphratica* on the soil respiration rate in Tarim river basin, Xinjiang, China. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 11: 933-936. [MINI-PAM] [中国科学院新疆生态与地理研究所]
10. Liu F, Pang S, Chopin T, et al. (2013) Understanding the recurrent large-scale green tide in the Yellow Sea:

temporal and spatial correlations between multiple geographical, aquacultural and biological factors. Marine environmental research 83: 38-47. [MINI-PAM] [中国科学院海洋研究所]

11. Liu X, Zhai S, Zhao Y, et al. (2013) Overexpression of the phosphatidylinositol synthase gene (ZmPIS) conferring drought stress tolerance by altering membrane lipid composition and increasing ABA synthesis in maize. Plant, cell & environment 36: 1037-1055. [MINI-PAM] [山东大学]
12. Lu H, Xue T, Zhang A, et al. (2013) Construction of an SSH library of *Pinellia ternata* under heat stress, and expression analysis of four transcripts. Plant Molecular Biology Reporter 31: 185-194. [MINI-PAM] [淮北师范大学]
13. Yang M, Sun F, Wang S, et al. (2013) Down-regulation of OsPDCD5, a homolog of the mammalian PDCD5, increases rice tolerance to salt stress. Molecular Breeding 31: 333-346. [MINI-PAM] [复旦大学]
14. Yuan J, Tan X, Yuan D, et al. (2013) Effect of Phosphates on the Growth, Photosynthesis, and P Content of Oil Tea in Acidic Red Soils. Journal of Sustainable Forestry 32: 594-604. [MINI-PAM] [北京林业大学, 中南林业大学]
15. Zheng Y, Nitin M, Wang L, et al. (2013) Early detection of squash silverleaf and chemical control of *Bemisia tabaci* using imidacloprid. International Journal of Pest Management 59: 10-19. [MINI-PAM] [浙江师范大学]
16. Arrom L, Munné-Bosch S (2012) Hormonal regulation of leaf senescence in *Lilium*. Journal of Plant Physiology: in press. [MINI-PAM]
17. Beckmann M, Hock M, Bruelheide H, et al. (2012) The role of UV-B radiation in the invasion of *Hieracium pilosella* - a comparison of German and New Zealand plants. Environmental and Experimental Botany 75: 173-180. [MINI-PAM]
18. Chiwa M, Matsuda T, Nakatani N, et al. (2012) Effects of canopy N uptake on foliar CO₂ assimilation rates and biomass production and allocation in Japanese red pine seedlings. Canadian Journal of Forest Research: in press. [MINI-PAM]
19. Corcoll N, Bonet B, Morin S, et al. (2012) The effect of metals on photosynthesis processes and diatom metrics of biofilm from a metal-contaminated river: A translocation experiment. Ecological Indicators: in press. [MINI-PAM]
20. de Vera J-P (2012) Lichens as survivors in space and on Mars. Fungal Ecology: in press. [MINI-PAM]
21. Dini-Papanastasi O, Kostopoulou P, Radoglou K (2012) Effects of seed origin, growing medium and mini-plug density on early growth and quality of black locust (*Robinia pseudoacacia* [L.]) seedlings. Journal of Forest Science 58: 8-20. [MINI-PAM]
22. Eldridge RJ, Hill DRA, Gladman BR (2012) A comparative study of the coagulation behaviour of marine microalgae

- Journal of Applied Phycology: in press. **[MINI-PAM]**
23. F.J. Sánchez, Mateo-MartíE, Raggio J, et al. (2012) The resistance of the lichen *Circinaria gyrosa* (nom. provis.) towards simulated Mars conditions - a model test for the survival capacity of an eukaryotic extremophile. Planetary and Space Science: in press. **[GFS-3000, MINI-PAM]**
24. Gao Y, Li D (2012) Detecting salinity stress in tall fescue based on single leaf spectrum. Scientia Horticulturae 138: 159-164. **[MINI-PAM]**
25. Gao Y, Li D, Chen Y (2012) Differentiation of carbonate, chloride, and sulfate salinity responses in tall fescue. Scientia Horticulturae 139: 1-7. **[MINI-PAM]** [东北农业大学]
26. Granath G, Strengbom J, Rydin H (2012) Direct physiological effects of nitrogen on *Sphagnum*: a greenhouse experiment. Functional Ecology: in press. **[MINI-PAM]**
27. Hawes I, Lund-Hansen LC, Sorrell BK, et al. (2012) Photobiology of sea ice algae during initial spring growth in Kangerlussuaq, West Greenland: insights from imaging variable chlorophyll fluorescence of ice cores. Photosynthesis Research 112: 103-115. **[IMAGING-PAM, MINI-PAM]**
28. Huang J, Silva EN, Shen Z, et al. (2012) Effects of glyphosate on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and physicochemical properties of cogongrass (*Imperata cylindrical* L.). Plant Omics Journal 5: 177-183. **[GFS-3000, MINI-PAM]** [浙江师范大学]
29. Izumi M, Tsunoda H, Suzuki Y, et al. (2012) *RBCS1A* and *RBCS3B*, two major members within the *Arabidopsis* *RBCS* multigene family, function to yield sufficient Rubisco content for leaf photosynthetic capacity. Journal of Experimental Botany: in press. **[MINI-PAM]**
30. Kang EX, Luo JJ, Qiu HZ, et al. (2012) Effects of Low Temperature and Light Stress on Gas Exchange and Chlorophyll Fluorescence of Pumpkin Seedlings. Advanced Materials Research 450-451: 537-542. **[MINI-PAM]** [甘肃农业大学]
31. Krause GH, Winter K, Matsubara S, et al. (2012) Photosynthesis, photoprotection, and growth of shade-tolerant tropical tree seedlings under full sunlight. Photosynthesis Research: in press. **[PAM-2000, MINI-PAM]**
32. Lausch A, Pause M, Merbach I, et al. (2012) A new multiscale approach for monitoring vegetation using remote sensing-based indicators in laboratory, field, and landscape. Environmental Monitoring and Assessment: in press. **[MINI-PAM]**
33. Lou H, Hu Y, Zhang L, et al. (2012) Nondestructive evaluation of the changes of total flavonoid, total phenols, ABTS and DPPH radical scavenging activities, and sugars during mulberry (*Morus alba* L.) fruits development by chlorophyll fluorescence and RGB intensity values. Food Science and Technology 47: 19-24. **[MINI-PAM]**

[浙江师范大学]

34. Lu H, Lou H, Zheng H, et al. (2012) Nondestructive Evaluation of Quality Changes and the Optimum Time for Harvesting During Jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Changhong) Fruits Development Food and Bioprocess Technology: in press. **[MINI-PAM]** [浙江师范大学]
35. Lu H, Xue T, Zhang A, et al. (2012) Construction of an SSH Library of *Pinellia ternata* Under Heat Stress, and Expression Analysis of Four Transcripts Plant Molecular Biology Reporter: in press. **[MINI-PAM]** [淮北师范大学]
36. Madrid EN, Armitage AR, Quigg A (2012) The Response of Photosystem II to Soil Salinity and Nutrients in Wetland Plant Species of the Northwestern Gulf of Mexico. Journal of Coastal Research 28: 1197-1207. **[MINI-PAM]**
37. Matsui K, Sugimoto K, Mano Ji, et al. (2012) Differential Metabolisms of Green Leaf Volatiles in Injured and Intact Parts of a Wounded Leaf Meet Distinct Ecophysiological Requirements. PLoS ONE 7: e36433. doi:36410.31371/journal.pone.0036433. **[MINI-PAM]**
38. Morais LE, Cavatte PC, Detmann KC, et al. (2012) Source strength increases with the increasing precociousness of fruit maturation in field-grown clones of conilon coffee (*Coffea canephora*) trees. Trees - Structure and Function: in press. **[MINI-PAM]**
39. Moyes AB, Castanha C, Germino MJ, et al. (2012) Warming and the dependence of limber pine (*Pinus flexilis*) establishment on summer soil moisture within and above its current elevation range Oecologia: in press. **[MINI-PAM]**
40. Oelze M-L, Vogel MO, Alsharafa K, et al. (2012) Efficient acclimation of the chloroplast antioxidant defence of *Arabidopsis thaliana* leaves in response to a 10- or 100-fold light increment and the possible involvement of retrograde signals Journal of Experimental Botany 63: 1297-1313. **[GFS-3000, MINI-PAM]**
41. Onofri S, de la Torre R, de Vera J-P, et al. (2012) Survival of rock-colonizing organisms after 1.5 years in outer space Astrobiology 12: 508-516. **[MINI-PAM]**
42. Park S-H, Jeong JS, Redillas MCFR, et al. (2012) Transgenic overexpression of *UIP1*, an interactor of the 3' untranslated region of the Rubisco small subunit mRNA, increases rice tolerance to drought Plant Biotechnology Reports: in press. **[MINI-PAM]**
43. Peng L, Fukao Y, Fujiwara M, et al. (2012) Multistep Assembly of Chloroplast NADH Dehydrogenase-Like Subcomplex A Requires Several Nucleus-Encoded Proteins, Including CRR41 and CRR42, in *Arabidopsis*. The Plant Cell 24: 202-214. **[MINI-PAM]** [中国科学院植物研究所]
44. Quigg A (2012) Comparing the ecophysiology of four tree species growing in the coastal temperate rainforests of

- Prince William Sound, Alaska. Trees - Structure and Function: in press. [MINI-PAM]
45. Rascher U, Freiberg M, Lüttge U (2012) Functional diversity of photosynthetic light use of 16 vascular epiphyte species under fluctuating irradiance in the canopy of a giant *Virola michelii* (Myristicaceae) tree in the tropical lowland forest of French Guyana. *Frontiers in Plant Science* 2: 1-12. [MINI-PAM]
46. Ruffing AM, Jones HDT (2012) Physiological effects of free fatty acid production in genetically engineered *Synechococcus elongatus* PCC 7942. *Biotechnology and Bioengineering*: in press. [MINI-PAM]
47. Schlüter U, Mascher M, Colmsee C, et al. (2012) Maize source leaf adaptation to nitrogen deficiency effects not only N and C metabolism but also control of P homeostasis *Plant Physiology*: in press. [MINI-PAM]
48. Sellami R, Gharbi F, Rejeb S, et al. (2012) Effects of Nickel Hyperaccumulation on Physiological Characteristics of *Alyssum Murale* Grown on Metal Contaminated Waste Amended Soil. *International Journal of Phytoremediation* 14: 609-620. [MINI-PAM]
49. Sun P, Mantri N, Möller M, et al. (2012) Influence of light and salt on the growth of alien invasive tropical weed *Ageratum conyzoides*. *Australian Journal of Crop Science* 6: 739-748. [GFS-3000, MINI-PAM] [浙江师范大学]
50. Tretiach M, Bertuzzi S, Carniel FC (2012) Heat shock treatments: a new safe approach against lichen growth on outdoor stone surfaces. *Environmental Science & Technology*: in press. [MINI-PAM]
51. Ueda M, Kuniyoshi T, Yamamoto H, et al. (2012) Composition and physiological function of the chloroplast NADH dehydrogenase-like complex in *Marchantia polymorpha*. *The Plant Journal*: in press. [MINI-PAM]
52. van Dam JW, Negri AP, Mueller JF, et al. (2012) Additive Pressures of Elevated Sea Surface Temperatures and Herbicides on Symbiont-Bearing Foraminifera. *PLoS ONE* 7: e33900. doi:33910.31371/journal.pone.0033900. [MINI-PAM]
53. Vasilakoglou I, Dhima K (2012) Leafy and semi-leafless field pea competition with winter wild oat as affected by weed density. *Field Crops Research* 126: 130-136. [MINI-PAM]
54. Vitale L, Arena C, De Santo AV (2012) Seasonal changes in photosynthetic activity and photochemical efficiency of the Mediterranean shrub *Phillyrea angustifolia* L. *Plant Biosystems*: 1-8. [MINI-PAM]
55. Wang H-B, Xie F, Yao Y-Z, et al. (2012) The effects of arsenic and induced-phytoextraction methods on photosynthesis in *Pteris* species with different arsenic-accumulating abilities *Environmental and Experimental Botany* 75: 298-306. [MINI-PAM] [昆明理工学院]
56. Wang Y, Wang Y, Zhu L, et al. (2012) Comparative Studies on the Ecophysiological Differences of Two Green Tide Macroalgae under Controlled Laboratory Conditions. *PLoS ONE* 7: e38245.

doi:38210.31371/journal.pone.0038245. [MINI-PAM] [中国海洋大学]

57. Wilson KG, Ralph PJ (2012) Laboratory testing protocol for the impact of dispersed petrochemicals on seagrass. *Marine Pollution Bulletin*: in press. [MINI-PAM]
58. Yamori W, Masumoto C, Fukayama H, et al. (2012) Rubisco activase is a key regulator of non steady-state photosynthesis at any leaf temperature and, to a lesser extent, of steady-state photosynthesis at high temperature. *The Plant Journal*: in press. [MINI-PAM]
59. Yang M, Sun F, Wang S, et al. (2012) Down-regulation of *OsPDCD5*, a homolog of the mammalian *PDCD5*, increases rice tolerance to salt stress. *Molecular Breeding*: in press. [MINI-PAM] [复旦大学]
60. Zai XM, Zhu SN, Qin P, et al. (2012) Effect of *Glomus mosseae* on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence parameters, and chloroplast ultrastructure of beach plum (*Prunus maritima*) under NaCl stress *Photosynthetica*: in press. [MINI-PAM] [淮阴师范学院, 南京大学]
61. Zhang H-H, Tang M, Chen H, et al. (2012) Effects of a dark-septate endophytic isolate LBF-2 on the medicinal plant *Lycium barbarum* L. . *The Journal of Microbiology* 50: 91-96. [MINI-PAM] [西北农林科技大学]
62. Zhang L, Chen Y, Zhao R, et al. (2012) Soil carbon dioxide flux from shelterbelts in farmland in temperate arid region, northwest China. *European Journal of Soil Biology* 48: 24-31. [MINI-PAM] [中国科学院新疆生态与地理研究所]
63. Zhou J, Qi A-G, Zhang Y-C, et al. (2012) Adventitious root growth and relative physiological responses to waterlogging in the seedlings of seashore mallow (*Kosteletzkya virginica*), a biodiesel plant. *Australian Journal of Crop Science* 6: 73-80. [MINI-PAM] [南京大学]
64. 吉春容, 邹陈, 陈丛敏, et al. (2012) 低温胁迫下巴旦杏的形态生理变化及抗寒性研究. *中国沙漠* 32: 955-962. [MINI-PAM] [中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所]
65. 吴军, 陈佳颖, 赵剑, et al. (2012) 2 个水稻温敏感叶色突变体的光合特性研究. *中国农学通报* 28: 16-21. [MINI-PAM] [上海师范大学]
66. 邢帅, 谭焯辉, 周林滨, et al. (2012) 水体浑浊度对不同造礁石珊瑚种类共生虫黄藻的影响. *科学通报* 57: 348-354. [MINI-PAM] [中国科学院南海海洋研究所]
67. Aragón C, Carvalho L, González J, et al. (2011) The physiology of ex vitro pineapple (*Ananas comosus* L. Merr. var MD-2) as CAM or C3 is regulated by the environmental conditions *Plant Cell Reports*: in press DOI: 10.1007/s00299-00011-01195-00297Online First™. [MINI-PAM]
68. Arena C, Mistretta C, Di Natale E, et al. (2011) Characterization and role of poly(ADP-ribosyl)ation in the Mediterranean species *Cistus incanus* L. under different temperature conditions. . *Plant Physiology and*

Biochemistry 49: 435-440. [MINI-PAM]

69. Arena C, Vitale L, de Santo AV (2011) Influence of irradiance on photosynthesis and PSII photochemical efficiency in maize during short-term exposure at high CO₂ concentration Photosynthetica 49: 267-274. [MINI-PAM, GMA-4]
70. Asensi-Fabado MA, Munné-Bosch S (2011) The aba3-1 Mutant of *Arabidopsis thaliana* Withstands Moderate Doses of Salt Stress by Modulating Leaf Growth and Salicylic Acid Levels Journal of Plant Growth Regulation 30: 456-466. [MINI-PAM]
71. Barros FdV, Goulart MF, Telles SBS, et al. (2011) Phenotypic plasticity to light of two congeneric trees from contrasting habitats: Brazilian Atlantic Forest versus cerrado (savanna). Plant Biology: in press. [MINI-PAM]
72. Beniwal RS, Hooda MS, Polle A (2011) Amelioration of planting stress by soil amendment with a hydrogel–mycorrhiza mixture for early establishment of beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings Annals of Forest Science 68: 803-810. [MINI-PAM]
73. Blanco NE, Ceccoli RD, Segretin ME, et al. (2011) Cyanobacterial flavodoxin complements ferredoxin deficiency in knocked-down transgenic tobacco plants. The Plant Journal 65: 922-935. [MINI-PAM]
74. Cela J, Chang C, Munné-Bosch S (2011) Accumulation of γ - rather than α -Tocopherol Alters Ethylene Signaling Gene Expression in the *vte4* Mutant of *Arabidopsis thaliana*. Plant & Cell Physiology 52: 1389-1400. [MINI-PAM]
75. Di Pippo F, Ellwood NTW, Guzzon A, et al. (2011) Effect of light and temperature on biomass, photosynthesis and capsular polysaccharides in cultured phototrophic biofilms Journal of Applied Phycology: in press. [MINI-PAM]
76. Elobeid M, Göbel C, Feussner I, et al. (2011) Cadmium interferes with auxin physiology and lignification in poplar. Journal of Experimental Botany: in press. [MINI-PAM]
77. Förster B, Pogson BJ, Osmond CB (2011) Lutein from Deepoxidation of Lutein Epoxide Replaces Zeaxanthin to Sustain an Enhanced Capacity for Nonphotochemical Chlorophyll Fluorescence Quenching in Avocado Shade Leaves in the Dark. Plant Physiology 156: 393-403. [MINI-PAM]
78. França MGC, Prados LMZ, de Lemos-Filho JP, et al. (2011) Morphophysiological differences in leaves of *Lavoisiera campos-portoana* (Melastomataceae) enhance higher drought tolerance in water shortage events Journal of Plant Research: in press. [MINI-PAM]
79. Gaudet M, Pietrini F, Beritognolo I, et al. (2011) Intraspecific variation of physiological and molecular response to cadmium stress in *Populus nigra* L. Tree Physiology: in press. [MINI-PAM, HCM-1000]
80. Hanssen IM, van Esse HP, Ballester A-R, et al. (2011) Differential Tomato Transcriptomic Responses Induced by

- Pepino Mosaic Virus Isolates with Differential Aggressiveness. *Plant Physiology* 156: 301-318. **[MINI-PAM]**
81. Hernández I, Alegrea L, Munné-Bosch S (2011) Plant aging and excess light enhance flavan-3-ol content in *Cistus clusii* *Journal of Plant Physiology* 168: 96-102. **[MINI-PAM]**
82. Hill R, Scott A (2011) The influence of irradiance on the severity of thermal bleaching in sea anemones that host anemonefish. *Coral Reefs*: in press. **[MINI-PAM]**
83. Holland V, Brüggemann W (2011) Photosynthetic properties of *Quercus × hispanica* Lam. and *Q. suber* L. under harsh Central European winter conditions. *Photosynthetica* 49: 459-465. **[GFS-3000, MINI-PAM]**
84. Ignatova LK, Rudenko NN, Mudrik VA, et al. (2011) Carbonic anhydrase activity in *Arabidopsis thaliana* thylakoid membrane and fragments enriched with PSI or PSII. *Photosynthesis Research* 110: 89-98. **[MINI-PAM]**
85. Ito T, Asano Y, Tanaka Y, et al. (2011) Regulation of biosynthesis of dimethylsulfoniopropionate and its uptake in sterile mutant of *Ulva Pertusa* (Chlorophyta). *Journal of Phycology* 47: 517-523. **[MINI-PAM]**
86. Izawa T, Mihara M, Suzuki Y, et al. (2011) Os-*GIGANTEA* Confers Robust Diurnal Rhythms on the Global Transcriptome of Rice in the Field. *The Plant Cell* 23: 1741-1755. **[MINI-PAM]**
87. Jentsch A, Kreyling J, Elmer M, et al. (2011) Climate extremes initiate ecosystem-regulating functions while maintaining productivity. *Journal of Ecology* 99: 689-702. **[MINI-PAM, PAM-2000]**
88. Knauer K, Hommen U (2011) Sensitivity, variability, and recovery of functional and structural endpoints of an aquatic community exposed to herbicides. *Ecotoxicology and Environmental Safety*: in press. **[MINI-PAM]**
89. Laureau C, Bligny R, Streb P (2011) The significance of glutathione for photoprotection at contrasting temperatures in the alpine plant species *Soldanella alpina* and *Ranunculus glacialis*. *Physiologia Plantarum* 143: 246-260. **[MINI-PAM]**
90. Liu C, Guo J, Cui Y, et al. (2011) Effects of cadmium and salicylic acid on growth, spectral reflectance and photosynthesis of castor bean seedlings *Plant and Soil* 344: 131-141. **[MINI-PAM]** [淮师范大学]
91. Matthijs HCP, Visser PM, Reeze B, et al. (2011) Selective suppression of harmful cyanobacteria in an entire lake with hydrogen peroxide. *Water Research*: in press. **[MINI-PAM]**
92. Nebauer SG, Renau-Morata B, Guardiola JL, et al. (2011) Photosynthesis down-regulation precedes carbohydrate accumulation under sink limitation in *Citrus*. *Tree Physiology* 31: 169-177. **[MINI-PAM]**
93. Nguyen AV, Toepel J, Burgess S, et al. (2011) Time-Course Global Expression Profiles of *Chlamydomonas reinhardtii* during Photo-Biological H₂ Production. *PLoS ONE* 6: e29364. doi:29310.21371/journal.pone.0029364. **[MINI-PAM]**
94. Offord CA (2011) Pushed to the limit: consequences of climate change for the Araucariaceae: a relictual rain forest

- family. *Annals of Botany* 108: 347-357. **[MINI-PAM]**
95. Peng L, Fukao Y, Myouga F, et al. (2011) A Chaperonin Subunit with Unique Structures Is Essential for Folding of a Specific Substrate. *Plos Biology* 9: e1001040. doi:1001010.1001371/journal.pbio.1001040. **[MINI-PAM]**
96. Peng L, Shikanai T (2011) Supercomplex Formation with Photosystem I Is Required for the Stabilization of the Chloroplast NADH Dehydrogenase-Like Complex in Arabidopsis. *Plant Physiology* 155: 1629-1639. **[MINI-PAM]**
97. Piccotto M, Bidussi M, Tretiach M (2011) Effects of the urban environmental conditions on the chlorophyll a fluorescence emission in transplants of three ecologically distinct lichens *Environmental and Experimental Botany* 73: 102-107. **[MINI-PAM]**
98. Raggio J, Pintado A, Ascaso C, et al. (2011) Whole Lichen Thalli Survive Exposure to Space Conditions: Results of Lithopanspermia Experiment with *Aspicilia fruticulosa*. *Astrobiology* 11: 281-292. **[MINI-PAM, GFS-3000]**
99. Reyes-García C, Mejia-Chang M, Griffiths H (2011) High but not dry: diverse epiphytic bromeliad adaptations to exposure within a seasonally dry tropical forest community. *New Phytologist*: in press. **[MINI-PAM]**
100. Sánchez-Vilas J, Retuerto R (2011) Reproduction reduces photosynthetic capacity in females of the subdioecious *Honckenya peploides* *Acta Oecologica* 37: 155-163. **[MINI-PAM]**
101. Schmidt C, Heinz P, Kucera M, et al. (2011) Temperature-induced stress leads to bleaching in larger benthic foraminifera hosting endosymbiotic diatoms. *Limnology and Oceanography* 56: 1587-1602. **[MINI-PAM, IMAGING-PAM]**
102. Seo J-S, Joo J, Kim M-J, et al. (2011) OsbHLH148, a basic helix-loop-helix protein, interacts with OsJAZ proteins in jasmonate signaling pathway leading to drought tolerance in rice. *Plant Journal* 65: 907-921. **[MINI-PAM]**
103. Seo J-S, Joo J, Kim M-J, et al. (2011) OsbHLH148, a basic helix-loop-helix protein, interacts with OsJAZ proteins in a jasmonate signaling pathway leading to drought tolerance in rice. *The Plant Journal* 65: 907-921. **[MINI-PAM]**
104. Shan T, Pang S, Gao S (2011) Periodic exposure to ambient solar irradiance benefits the growth of juvenile seedlings of *Hizikia fusiformis* *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 29: 1009-1014. **[MINI-PAM]**
105. Stemke JA, Santiago LS (2011) Consequences of light absorbance in calculating electron transport rate of desert and succulent plants *Photosynthetica* 49: 195-200. **[MINI-PAM]**
106. Tezara W, Colombo R, Coronel I, et al. (2011) Water relations and photosynthetic capacity of two species of *Calotropis* in a tropical semi-arid ecosystem *Annals of Botany* 107: 397-405. **[MINI-PAM]**
107. Tretiach M, Pavanetto S, Pittao E, et al. (2011) Water availability modifies tolerance to photo-oxidative pollutants in

- transplants of the lichen *Flavoparmelia caperata* Oecologia: in press. [MINI-PAM]
108. Turóczy Z, Kis P, Török K, et al. (2011) Overproduction of a rice aldo–keto reductase increases oxidative and heat stress tolerance by malondialdehyde and methylglyoxal detoxification Plant Molecular Biology 75: 399-412. [MINI-PAM]
109. Wang W, Wang R, Yuan Y, et al. (2011) Effects of salt and water stress on plant biomass and photosynthetic characteristics of Tamarisk (*Tamarix chinensis* Lour.) seedlings. African Journal of Biotechnology 10: 17981-17989. [MINI-PAM] [山东大学]
110. Yamamoto H, Peng L, Fukao Y, et al. (2011) An Src Homology 3 Domain-Like Fold Protein Forms a Ferredoxin Binding Site for the Chloroplast NADH Dehydrogenase-Like Complex in *Arabidopsis*. The Plant Cell 23: 1480-1493. [MINI-PAM]
111. Zunzunegui M, Barradas MCD, Ain-Lhout F, et al. (2011) Seasonal physiological plasticity and recovery capacity after summer stress in Mediterranean scrub communities Plant Ecology 212: 127-147. [MINI-PAM]
112. 陈亚鹏, 陈亚宁, 徐长春, et al. (2011) 塔里木河下游地下水埋深对胡杨气体交换和叶绿素荧光的影响. 生态学报 31: 344-353. [MINI-PAM] [中国科学院新疆生态与地理研究所]
113. 黄湘, 李卫红, 马建新, et al. (2011) 通过改变光热条件分析胡杨群落光合作用对土壤呼吸速率的影响. 中国沙漠 31: 1167-1173. [MINI-PAM] [中国科学院新疆生态与地理研究所]
114. 刘辉, 张国平, 沈国正, et al. (2011) 一串红品种神州红和帝王对高温胁迫的响应. 浙江大学学报 37: 155-161. [MINI-PAM]
115. 王海红, 束良佐, 周秀杰, et al. (2011) 局部根区水分胁迫下氮对玉米生长的影响. 核农学报 25: 149-154. [MINI-PAM]
116. 张静, 张元明 (2011) 冻融过程对生物结皮中齿肋赤藓叶绿素荧光特性的影响. 中国沙漠 31: 1479-1487. [MINI-PAM] [中国科学院新疆生态与地理研究所]
117. 张铮, 钱宝云, 程晓庆, et al. (2011) 胺鲜酯和镉对蓖麻幼苗光合生理特性的影响. 核农学报 25: 602-609. [MINI-PAM]
118. 朱成刚, 陈亚宁, 李卫红, et al. (2011) 干旱胁迫对胡杨PSII光化学效率和激能耗散的影响. 植物学报 46: 413-424. [MINI-PAM]
119. 朱成刚, 李卫红, 马晓东, et al. (2011) 塔里木河下游干旱胁迫下的胡杨叶绿素荧光特性研究. 中国沙漠 31: 927-936. [MINI-PAM]
120. Álvarez-Cansino L, Zunzunegui M, Barradas MCD, et al. (2010) Gender-specific costs of reproduction on vegetative growth and physiological performance in the dioecious shrub *Corema album*. Annals of Botany 106:

- 989-998. **[MINI-PAM]**
121. Anjum MA (2010) Response of Cleopatra mandarin seedlings to a polyamine-biosynthesis inhibitor under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 32: 951-959. **[MINI-PAM]**
122. Beniwal RS, Langenfeld-Heyser R, Polle A (2010) Ectomycorrhiza and hydrogel protect hybrid poplar from water deficit and unravel plastic responses of xylem anatomy *Environmental and Experimental Botany* 69: 189-197. **[MINI-PAM, HCM-1000]**
123. de Oliveira DC, Isaias RMdS, Moreira ASFP, et al. (2010) Is the oxidative stress caused by *Aspidosperma* spp. galls capable of altering leaf photosynthesis? . *Plant Science* 180: 489-495. **[MINI-PAM]**
124. Díaz-Barradas MC, Zunzunegui M, Ain-Lhout F, et al. (2010) Seasonal physiological responses of *Argania spinosa* tree from Mediterranean to semi-arid climate *Plant and Soil* 337: 217-231. **[MINI-PAM]**
125. Doebbe A, Keck M, La Russa M, et al. (2010) The interplay of proton, electron and metabolite supply for photosynthetic H₂ production in *C. reinhardtii*. *Journal of Biological Chemistry* 282: 30247-30260. **[MINI-PAM]**
126. Doyle SM, Diamond M, McCabe PF (2010) Chloroplast and reactive oxygen species involvement in apoptotic-like programmed cell death in *Arabidopsis* suspension cultures. *Journal of Experimental Botany* 61: 473-482. **[MINI-PAM]**
127. Du N, Guo W, Zhang X, et al. (2010) Morphological and physiological responses of *Vitex negundo* L. var. *heterophylla* (Franch.) Rehd. to drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 32: 839-848. **[GFS-3000, MINI-PAM]** [山东大学]
128. Fabón G, Martínez-Abaigar J, Tomás R, et al. (2010) Effects of enhanced UV-B radiation on hydroxycinnamic acid derivatives extracted from different cell compartments in the aquatic liverwort it *Jungermannia exsertifolia* subsp. *cordifolia*. *Physiologia Plantarum* 140: 269-279. **[MINI-PAM]**
129. Fleck I, Peña-Rojas K, Aranda X (2010) Mesophyll conductance to CO₂ and leaf morphological characteristics under drought stress during *Quercus ilex* L. resprouting. *Ann For Sci* 67: 308. **[MINI-PAM]**
130. Führs H, Behrens C, Gallien S, et al. (2010) Physiological and proteomic characterization of manganese sensitivity and tolerance in rice (*Oryza sativa*) in comparison with barley (*Hordeum vulgare*). *Annals of Botany* 105: 1129-1140. **[MINI-PAM]**
131. Gotoh E, Kobayashi Y, Tsuyama M (2010) The post-illumination chlorophyll fluorescence transient indicates the RuBP regeneration limitation of photosynthesis in low light in *Arabidopsis* *FEBS Letters* 584: 3061-3064. **[MINI-PAM]**
132. Hasunuma T, Harada K, Miyazawa S-I, et al. (2010) Metabolic turnover analysis by a combination of in vivo

- 13C-labelling from $^{13}\text{CO}_2$ and metabolic profiling with CE-MS/MS reveals rate-limiting steps of the C3 photosynthetic pathway in *Nicotiana tabacum* leaves. *Journal of Experimental Botany* 61: 1041-1051.
- [MINI-PAM]**
133. Herschbach C, Teuber M, Eiblmeier M, et al. (2010) Changes in sulphur metabolism of grey poplar (*Populus x canescens*) leaves during salt stress: a metabolic link to photorespiration. *Tree Physiology* 30: 1161-1173.
- [MINI-PAM]**
134. Ibaraki Y, Matsumura K, Gupta SD (2010) Low-cost photochemical reflectance index measurements of micropropagated plantlets using image analysis *Computers and Electronics in Agriculture* 71: 170-175.
- [MINI-PAM]**
135. Jeong JS, Kim YS, Baek KH, et al. (2010) Root-Specific Expression of *OsNAC10* Improves Drought Tolerance and Grain Yield in Rice under Field Drought Conditions. *Plant Physiology* 153: 185-197. **[MINI-PAM]**
136. Jin ZL, Zhang F, Ahmed ZI, et al. (2010) Differential morphological and physiological responses of two oilseed *Brassica* species to a new herbicide ZJ0273 used in rapeseed fields. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 98: 1-8. **[MINI-PAM]**
137. Jubany-Mari T, Prinsen E, Munné-Bosch S, et al. (2010) The timing of methyl jasmonate, hydrogen peroxide and ascorbate accumulation during water deficit and subsequent recovery in the Mediterranean shrub *Cistus albidus* L. . *Environmental and Experimental Botany* 69: 47-55. **[MINI-PAM]**
138. Kao W-Y, Lin B-L (2010) Phototropic leaf movements and photosynthetic performance in an amphibious fern, *Marsilea quadrifolia*. *Journal of Plant Research* 123: 645-653. **[MINI-PAM]**
139. Kontunen-Soppela S, Sillanpää M, Tuhkanen E, et al. (2010) Photosynthetic characteristics in genetically modified sense-RbcS silver birch lines *Journal of Plant Physiology* 167: 820-828. **[MINI-PAM]**
140. Liu F, Pang SJ (2010) Stress tolerance and antioxidant enzymatic activities in the metabolisms of the reactive oxygen species in two intertidal red algae *Grateloupia turuturu* and *Palmaria palmata* *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 382: 82-87. **[MINI-PAM]**
141. Liu F, Pang SJ (2010) Performances of growth, photochemical efficiency, and stress tolerance of young sporophytes from seven populations of *Saccharina japonica* (Phaeophyta) under short-term heat stress. *Journal of Applied Phycology* 22: 221-229. **[MINI-PAM]**
142. Liu F, Pang SJ, Chopin T, et al. (2010) The dominant *Ulva* strain of the 2008 green algal bloom in the Yellow Sea was not detected in the coastal waters of Qingdao in the following winter. *Journal of Applied Phycology* 22: 531-540. **[MINI-PAM]**

143. Mai J, Herbette S, Vandame M, et al. (2010) Contrasting strategies to cope with chilling stress among clones of a tropical tree, *Hevea brasiliensis*. *Tree Physiology* 30: 1391-1402. **[MINI-PAM]**
144. Nikiforou C, Manetas Y (2010) Strength of winter leaf redness as an indicator of stress vulnerable individuals in *Pistacia lentiscus*. *Flora* 205: 424-427. **[MINI-PAM]**
145. Okuda K, Hammani K, Tanz SK, et al. (2010) The pentatricopeptide repeat protein OTP82 is required for RNA editing of plastid *ndhB* and *ndhG* transcripts. *The Plant Journal* 61: 339-349. **[MINI-PAM]**
146. Ortigosa SM, Díaz-Vivancos P, Clemente-Moreno MJ, et al. (2010) Oxidative stress induced in tobacco leaves by chloroplast over-expression of maize plastidial transglutaminase *Planta* 232: 593-605. **[MINI-PAM]**
147. Pietrini F, Zacchini M, Iori V, et al. (2010) Screening of Poplar Clones for Cadmium Phytoremediation Using Photosynthesis, Biomass and Cadmium Content Analyses *Internal Journal of Phytoremediation* 12: 105-120. **[MINI-PAM]**
148. Ritchie RJ, Bunthawin S (2010) The Use of Pulse Amplitude Modulation (PAM) Fluorometry to Measure Photosynthesis in a CAM Orchid, *Dendrobium* spp. (D. cv. *Viravuth Pink*). *International Journal of Plant Sciences* 171: 575-585. **[MINI-PAM]**
149. Sanches MC, Ribeiro SP, Dalvi VC, et al. (2010) Differential leaf traits of a neotropical tree *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze (Lecythidaceae): comparing saplings and emergent trees *Trees - Structure and Function* 24: 79-88. **[MINI-PAM]**
150. Sha C, Wang T, Lu J (2010) Relative sensitivity of wetland plants to SO₂ pollution *Wetlands* 30: 1023-1030. **[MINI-PAM]**
151. Shi G, Cai Q (2010) Zinc tolerance and accumulation in eight oil crops. *Journal of Plant Nutrition* 33: 982-997. **[MINI-PAM]**
152. Shi G, Liu C, Cai Q, et al. (2010) Cadmium Accumulation and Tolerance of Two Safflower Cultivars in Relation to Photosynthesis and Antioxidant Enzymes *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 85: 256-263. **[MINI-PAM]**
153. Suresh K, Nagamani C, Ramachandrudu K, et al. (2010) Gas-exchange characteristics, leaf water potential and chlorophyll a fluorescence in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water stress and recovery *Photosynthetica* 48: 430-436. **[MINI-PAM]**
154. Tretiach M, Bertuzzi S, Salvadori O (2010) Chlorophyll a fluorescence as a practical tool for checking the effects of biocide treatments on endolithic lichens *International Biodeterioration & Biodegradation* 64: 452-460. **[MINI-PAM]**

155. Vasilakoglou I, Dhima K, Karagiannidis N, et al. (2010) Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation Field Crops Research 120: 38-46. [MINI-PAM]
156. Vervliet-Scheebaum M, Straus A, Tremp H, et al. (2010) A microcosm system to evaluate the toxicity of the triazine herbicide simazine on aquatic macrophytes. Environmental Pollution 158: 615-623. [MINI-PAM]
157. Vitória AP, Lage-Pinto F, Campaneli LB, et al. (2010) Ecophysiological adaptation and metal accumulation in water hyacinth from two tropical rivers. Brazilian Journal of Plant Physiology 22: doi: 10.1590/S1677-04202010000100006 [MINI-PAM]
158. Yamazaki J (2010) Changes in the photosynthetic characteristics and photosystem stoichiometries in wild-type and Chl b-deficient mutant rice seedlings under various irradiances Photosynthetica 48: 521-529. [MINI-PAM]
159. Yamazaki J-y (2010) Is light quality involved in the regulation of the photosynthetic apparatus in attached rice leaves? . Photosynthesis Research 105: 63-71. [MINI-PAM]
160. Zheng H, Lu H, Zhen Y, et al. (2010) Automatic sorting of Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. 'hongxing') using chlorophyll fluorescence and support vector machine. Journal of Food Engineering 101: 402-408. [MINI-PAM] [浙江师范大学]
161. Zhou J, Jr. JZ, Wu B, et al. (2010) Physiological factors for tolerance of *Kosteletzkya virginica* (L.) Presl to one-instar bollworms of *Helicoverpa armigera* (Hubner) Acta Physiologiae Plantarum 32: 519-529. [MINI-PAM]
162. Zok A, Oláh R, Hideg É, et al. (2010) Effect of *Medicago sativa* ferritin gene on stress tolerance in transgenic grapevine Plant Cell, Tissue and Organ Culture 100: 339-344. [IMAGING-PAM, MINI-PAM]
163. 桂仁意, 刘亚迪, 郭小勤, et al. (2010) 不同剂量¹³⁷Cs-γ辐射对毛竹幼苗叶片叶绿素荧光参数的影响. 植物学报 45: 66-72. [MINI-PAM]
164. 沈宗根, 陈翠琴, 王岚岚, et al. (2010) 3 种石斛光合作用和叶绿素荧光特性的比较研究. 西北植物学报 30: 2067-2073. [MINI-PAM]
165. 宋春春, 蒋文伟, 朱欣欣 (2010) 不同富营养化处理对再力花叶绿素及其荧光参数的影响. 吉林农业: 74-76. [MINI-PAM, IMAGING-PAM]
166. 杨洋, 黄业伟, 罗淑萍, et al. (2010) NaCl胁迫对毛竹幼苗叶绿素荧光特性及生理指标的影响. 竹子研究汇刊 29: 29-32. [MINI-PAM]
167. 张丽华, 陈亚宁, 赵锐锋, et al. (2010) 干旱区杨树, 榆树人工防护林地土壤CO₂ 释放通量研究. 植物生态学报 34: 526-534. [MINI-PAM]
168. 张秀茹, 郭卫华, 王仁卿, et al. (2010) 三种松树叶绿素荧光特征比较研究. 山东林业科技 40: 1-5. [MINI-PAM]

169. 赵小波, 张学成, 璞 许 (2010) 不同品系条斑紫菜光合效率比较研究. 中国海洋大学学报 40: 57-62. [MINI-PAM]
170. 钟燕川, 郑有飞, 李璐, et al. (2010) 模拟酸雨条件下Pb、Cd对扬花萝卜叶绿素荧光及品质的影响. 南京信息工程大学学报 2: 248-255. [MINI-PAM]