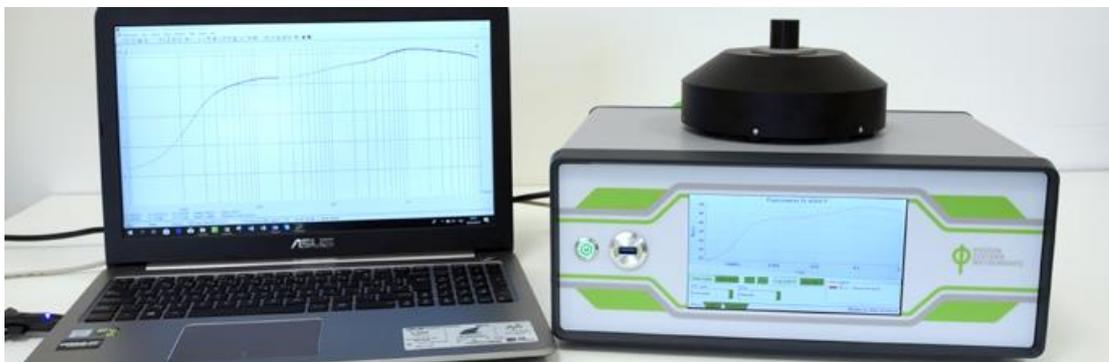


## FL6000 双调制叶绿素荧光测量仪



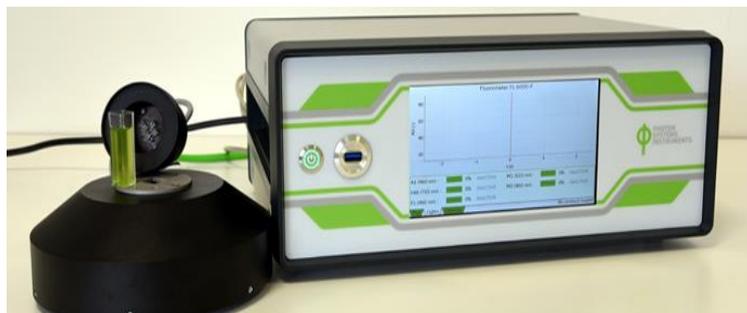
FL6000 双调制叶绿素荧光仪是 FL3500 双调制叶绿素荧光仪的最新升级版，专门用于对蓝绿藻或绿藻等微藻，叶绿体或类囊体悬浮物进行光合作用深入机理研究的强大科研工具。仪器具备双通道测量控制，可控制测量样品的温度，并配备单翻转光（STF），内置多种可用户自行修改的测量程序，可进行目前国际上对于叶绿素荧光的各种深入机理研究。其核心结构是包含了一个悬浮液标准样品杯的光学测量头，内置 3 组 LED 光源和 1 个 1MHz/16 位 AD 转换的 PIN 二极管信号检测器。AD 转换的增益和积分时间可以通过软件控制。检测器测量叶绿素荧光信号的时间分辨率可高达 4  $\mu\text{s}$ （快速版为 1 $\mu\text{s}$ ）。

### 应用领域：

- 植物光合特性和代谢紊乱筛选
- 生物和非生物胁迫的检测
- 植物抗胁迫能力或者易感性研究
- 代谢混乱研究
- 光合系统工作机理研究
- 受胁迫植物光合生理应对策略研究

### 典型样品：

- 蓝藻（蓝细菌）
- 绿藻
- 叶绿体悬浮物
- 类囊体悬浮物
- 植物碎片



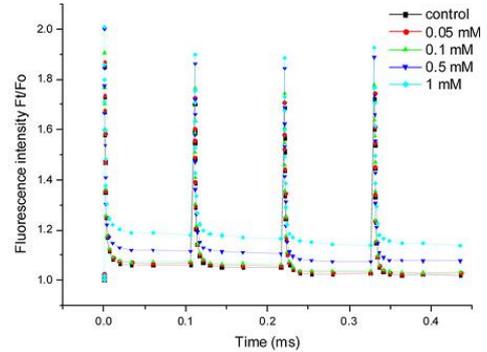
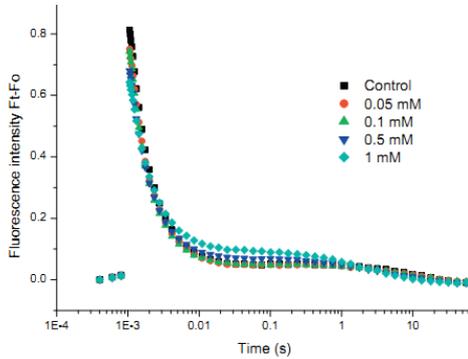
### 功能特点：

- 内置叶绿素荧光诱导测量、PAM（脉冲调制）测量、OJIP 快速荧光动力学测量、QA - 再氧化动力学、S 状态转换、叶绿素荧光淬灭等测量程序，是世界上公认的功能最为全面的叶绿素荧光仪
- 双调制技术，可双色调制测量光，具备调制光化学光和持续光化学光，可进行 STF（单周转光闪）、TTF（双周转光闪）和 MTF（多周转光闪）及定制 FRR 技术（Fast Repetition Rate）测量
- 标准版时间分辨率达 4 $\mu$ s，快速版更高达 1 $\mu$ s，是目前时间分辨率最高的叶绿素荧光仪
- 控制单元为双通道，可连接温度传感器用于温度控制、连接氧气测量单元用于希尔反应测量等
- 具备极高灵敏度，最低检测极限为 100ng Chla/L
- 测量光、光化光、饱和单反转光光源颜色、强度均可定制
- 主机配备彩色触摸显示屏，可实时查看荧光曲线图

#### 技术参数：

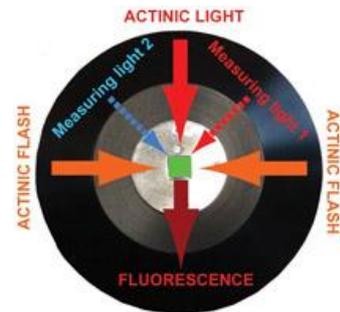
- 实验程序：Kautsky 叶绿素荧光诱导效应测量；PAM（脉冲调制）荧光淬灭动力学测量；OJIP 快速荧光动力学测量；QA - 再氧化动力学；S 状态转换；快速叶绿素荧光诱导
- 荧光参数：
  - PAM 荧光淬灭动力学测量：测量荧光淬灭动力学曲线，可计算  $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v$ ,  $F_0'$ ,  $F_m'$ ,  $F_v'$ ,  $QY(II)$ ,  $NPQ$ ,  $\Phi PSII$ ,  $F_v/F_m$ ,  $F_v'/F_m'$ ,  $Rfd$ ,  $qN$ ,  $qP$ ,  $ETR$  等 50 多项叶绿素荧光参数；
  - OJIP 快速荧光动力学测量：测量 OJIP 快速荧光动力学曲线，可计算  $F_0$ ,  $F_J$ ,  $F_i$ ,  $F_m$ ,  $F_v$ ,  $V_J$ ,  $V_i$ ,  $F_m / F_0$ ,  $F_v / F_0$ ,  $F_v / F_m$ ,  $M0$ ,  $Area$ ,  $Fix Area$ ,  $SM$ ,  $SS$ ,  $N$ ,  $\Phi_i P_0$ ,  $\Psi_{i0}$ ,  $\Phi_i E_0$ ,  $\Phi_i D_0$ ,  $\Phi_i P_{av}$ ,  $ABS / RC$ ,  $TR_0 / RC$ ,  $ET_0 / RC$ ,  $DI_0 / RC$  等 20 多项相关参数；
  - QA - 再氧化动力学 (QA- reoxidation kinetics)：测量 QA - 再氧化动力学曲线，用于拟合 QA - 再氧化过程中快相 (Fast phase)、中间相 (Middle phase) 和慢相 (Slow phase) 各自的振幅 ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ) 和时间常数 ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ )
  - S 状态转换 (S-state test)：测量 S-state test 荧光衰减曲线，用于拟合计算无活性光系统 II ( $PSII_x$ ) 反应中心数量

- 闪光荧光诱导 (Flash Fluorescence Induction, FFL, 仅限快速版): 用于拟合计算有效天线面积、天线连通性等
- 提供用户自定义 protocol 功能, 可实现 PSII 天线异质性 PSII  $\alpha$  与 PSII  $\beta$  分析、PSII 有效天线截面积 ( $\sigma$  PSII) 等参数的测量 (选配定制功能)

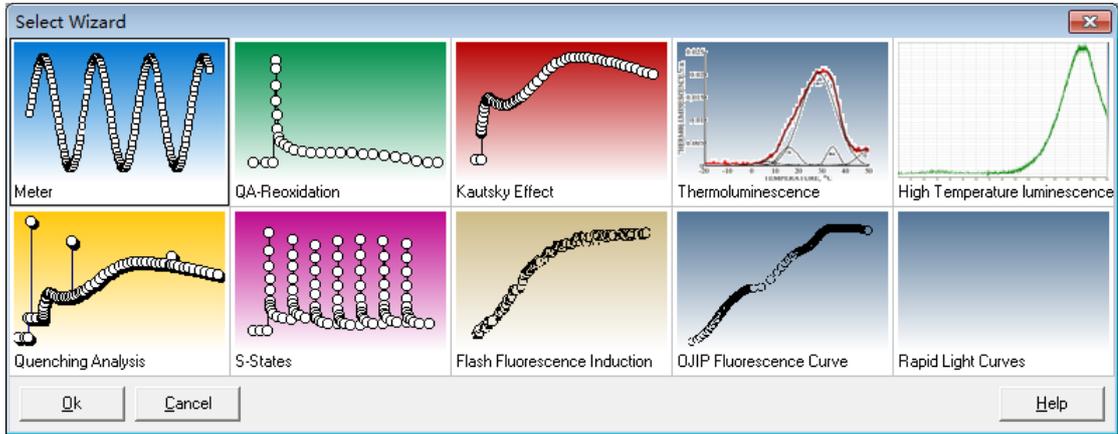


QA - 再氧化动力学曲线和 S-state test 荧光衰减曲线 (Li, 2010)

- 时间分辨率 (采样频率): 高灵敏度检测器, 标准版时间分辨率为 4 $\mu$ s, 快速版为 1 $\mu$ s
- 最低检测极限: 标准版 100ng Chla/L, 快速版 1  $\mu$ g Chla/L
- 控制单元: 配备彩色触摸显示屏, 可实时查看荧光曲线图
- 测量室:
  - 测量光闪: 623nm 红橙光和 460nm 蓝光, 光闪时间 2 - 5 $\mu$ s
  - 单周转饱和光闪: 最大光强 170000  $\mu$ mol (photons)/m<sup>2</sup>.s, 光闪时间 20 - 50 $\mu$ s
  - 持续光化学光: 最大光强 3500  $\mu$ mol (photons)/m<sup>2</sup>.s
  - 荧光检测器: PIN 光电二极管
  - AD 转换器: 16bit
  - 样品试管: 底面积 10 $\times$ 10mm, 容积 4ml
- 定制测量室 (选配): 可分别定制测量光、饱和光闪和光化学光颜色 (蓝色、青色、琥珀色等) 以及检测波段 (Ch1A, Ch1B)
- 远红外光源 (选配): 用于测量 F<sub>0</sub>' , 波长 730nm
- 氧气测量模块 (选配): 测量藻类的氧气释放
- 温度控制 (选配): TR 6000 温度调节器, 控温范围 5 - 60 $^{\circ}$ C, 精确度 0.1 $^{\circ}$ C

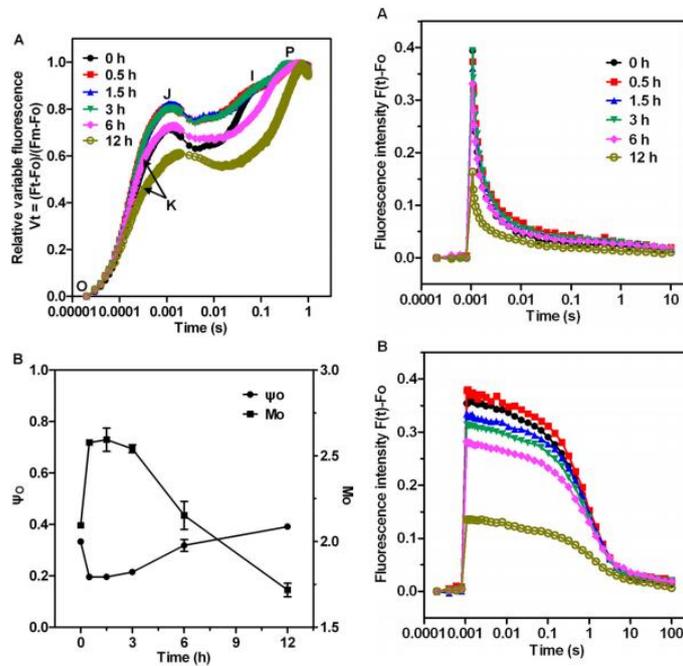


- 电磁搅拌（选配）：用于样品混匀，防止样品沉淀，可手动调速或软件自动控制
- 通讯接口：RS232 串口/USB
- FluorWin 软件：定义或创建实验方案、光源控制设置、数据输出、分析处理和图表显示



### 典型应用：

1. 中科院水生生物所王强研究员使用 FL3500 叶绿素荧光仪（FL6000 之前型号）和 TL 植物热释光系统证明亚硝酸盐胁迫首先影响 *Synechocystis* sp. PCC 6803 PSII 受体侧 (Zhan X, et al, 2017)。这种光合作用深入机理的研究经常需要这两种仪器来配合完成。



2. 中科院新疆生态与地理研究所潘响亮研究员及其课题组使用 FL3500 叶绿素荧光仪 (FL6000 之前型号) 深入开展了环境中重金属、盐分、有毒化合物、除草剂、杀虫剂、抗生素等各种有害物质对藻类的毒理研究。通过 FL3500 独有的高分辨率 OJIP 快速荧光动力学测量、QA - 再氧化动力学、S 状态转换等叶绿素荧光测量程序, 全面揭示了不同浓度与处理时间对藻类光合系统造成损伤的毒理机制及其生态影响。目前, 潘响亮课题组已经使用 FL3500 (FL6000 之前型号) 在国际 SCI 期刊与国内核心期刊上发表了二十余篇高水平文章。

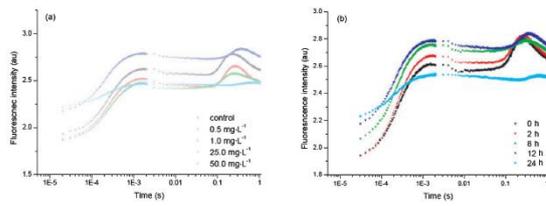


图 1. 不同浓度六价铬处理后的蓝藻快速荧光 OJIP 曲线

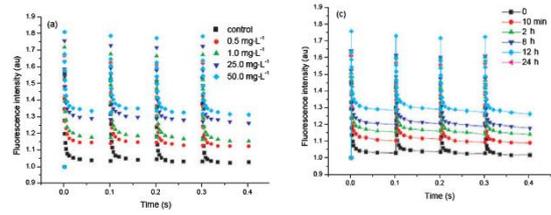


图 2. 不同浓度六价铬处理后的蓝藻 S 状态转换曲线

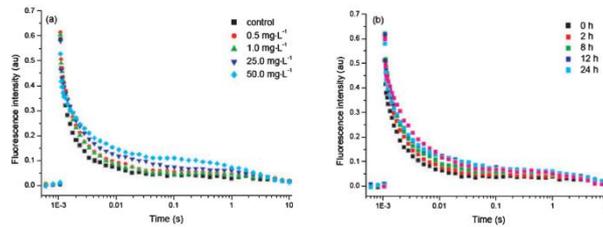


图 3. 不同浓度六价铬处理后的蓝藻 QA - 再氧化动力学曲线

产地: 捷克

参考文献:

1. Manaa A, et al. 2019. Salinity tolerance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) as assessed by chloroplast ultrastructure and photosynthetic performance. *Environmental and Experimental Botany* 162: 103-114
2. Yu Z, et al. 2019. Sensitivity of *Chlamydomonas reinhardtii* to cadmium stress is associated with phototaxis. *Environmental Science: Processes & Impacts* 21: 1011-1020
3. Liang Y, et al. 2019. Molecular mechanisms of temperature acclimation and adaptation in marine diatoms. *The ISME journal*, DOI: 10.1038/s41396-019-0441-

4. Orfanidis S, et al. 2019. Solving Nuisance Cyanobacteria Eutrophication Through Biotechnology. *Applied Sciences* 9(12): 2566
5. Sicora C I, et al. 2019. Regulation of PSII function in *Cyanothece* sp. ATCC 51142 during a light - dark cycle. *Photosynthesis Research* 139(1 - 3): 461 - 473
6. Smythers A L, et al. 2019. Characterizing the effect of Poast on *Chlorella vulgaris*, a non-target organism. *Chemosphere* 219: 704-712
7. Albanese P, et al. 2018. Thylakoid proteome modulation in pea plants grown at different irradiances: quantitative proteomic profiling in a non - model organism aided by transcriptomic data integration. *The Plant Journal* 96(4): 786-800
8. Antal T, Konyukhov I, Volgusheva A, et al. 2018. Chlorophyll fluorescence induction and relaxation system for the continuous monitoring of photosynthetic capacity in photobioreactors. *Physiol Plantarum*. DOI: 10.1111/pp1.12693
9. Antal T K, Maslakov A, Yakovleva O V, et al. 2018. Simulation of chlorophyll fluorescence rise and decay kinetics, and P700-related absorbance changes by using a rule-based kinetic Monte-Carlo method. *Photosynthesis Research*. DOI:10.1007/s11120-018-0564-2
10. Biswas S, Eaton-Rye J J, et al. 2018. PsbY is required for prevention of photodamage to photosystem II in a PsbM-lacking mutant of *Synechocystis* sp. PCC 6803. *Photosynthetica*, 56(1), 200 - 209.
11. Bonisteel E M, et al. 2018. Strain specific differences in rates of Photosystem II repair in picocyanobacteria correlate to differences in FtsH protein levels and isoform expression patterns. *PLoS ONE* 13(12): e0209115.
12. Fang X, et al. 2018. Transcriptomic responses of the marine cyanobacterium *Prochlorococcus* to viral lysis products. *Environmental Microbiology*, doi: 10.1101/394122.
13. Kuthanová Trsková E, Belgio E, Yeates A M, et al. 2018. Antenna proton sensitivity determines photosynthetic light harvesting strategy, *Journal of Experimental Botany* 69(18): 4483-4493