

LI-COR®

LI-6400XT

便携式光合作测量系统



使用手册

ecotek
A Gene Group Company

基因有限公司农业环境科学部
北京力高泰科技有限公司

编译

Version 6.3/2016

目录

温馨提示：仪器日常检查与测定注意事项	4
I 仪器状态的日常检查（测量菜单F4 (New Msmnts)下）	4
i.i 预热期间检查（开机时保持空叶室并旋紧状态，将两个化学药品管拧到完全Bypass）	4
i.ii 预热后检查	5
II 测定注意事项	6
ii.i 光合测定过程中的注意事项（品种或处理间比较光合的试验）	6
ii.ii 荧光测定过程中的注意事项	7
ii.iii 土壤呼吸测定过程中的注意事项	7
LI-6400XT光合-荧光测定系统简介及新增功能亮点介绍	8
一、测定原理	9
二、硬件介绍	10
2.1 主机	10
2.2 电缆线	11
2.3 分析器	11
2.4 电池及充电器	12
2.5 其他叶室	12
三、软件介绍——OPEN6.3 版本	13
3.1 开机过程中软件界面介绍	13
3.2 OPEN6.2 OPEN 6.3 版本界面较以前版本变化介绍	14
3.2.1 节点式对话窗口。	14
3.2.2 增加了m行的匹配信息。	14
3.2.3 全新多相闪光技术（Multiphase Flash）简称MPF	14
3.3 配置菜单Config Menu功能介绍	15
3.3.1 安装新叶室或光源配置程序	15
3.3.2 如何在不关机状态切换到其它叶室程序	15
3.4 校准菜单Calib Menu功能介绍	16
3.4.1 校准程序操作介绍——以IRGA的校准为例	16
3.4.2 历史校准记录的调用	16
3.4.3 返回厂家默认校准（强烈推荐使用）	16
3.5 用户菜单Utility Menu功能介绍	17
3.5.1 数据传输方式	17
3.5.2 设定或修改当前时间和日期	17
3.5.3 休眠模式	17
3.6 测量菜单New Msmnts功能介绍	18
3.6.1 常用参数行与功能行	18

3.6.2 光合基本测量过程	23
3.6.3 自动测量程序（可能需要考虑CO ₂ mixer注入系统校准）	26
四、荧光叶室（6400-40）的使用	30
4.1 更换荧光叶室	30
4.2 加载荧光叶室配置文件	30
4.3 荧光叶室光源（活化光）的校准	31
4.4 荧光叶室的功能行与参数	32
4.5 几种常用荧光测定试验	32
4.5.1 实验一：光化学效率的测量Fv/Fm	32
4.5.2 实验二：研究PS II的效率，PhiPS2，ETR.....	33
4.5.3 试验三：荧光淬灭测量	33
4.5.4 实验四：荧光光响应曲线测量步骤	34
4.5.5 实验五：荧光CO ₂ 曲线测量步骤	35
4.5.6 实验六：荧光诱导动力学曲线设定、测量步骤及数据处理	36
4.5.7 实验七：暗弛豫动力学曲线设定、测量步骤及数据处理	37
五、6400-18 RGB三基色光源的使用	42
5.1 三基色光源硬件连接	42
5.2 6400-18 三基色光源的使用	42
5.2.1 配合其它叶室使用	42
5.2.2 临时调用 6400-18 三基色光源——以标准叶室配置文件为例	42
5.2.3 如何控制 6400-18 三基色光源	43
六、土壤呼吸测量室 6400-09 的使用	44
6.1 土壤呼吸室硬件组装步骤	44
6.1.1 拆卸光合叶室	44
6.1.2 安装土壤呼吸气室	45
6.1.3 主机气路改造	46
6.2 土壤呼吸室软件操作	46
6.2.1 土壤呼吸操作界面、参数及功能	46
6.2.2 土壤呼吸测量操作步骤	47
6.3 土壤呼吸室操作注意事项	48
七、常见问题及分析	49
7.1 光合速率Photo值不正常	49
7.1.1 预热是否完成	49
7.1.2 查看CO ₂ R读数是否稳定	49
7.1.3 查看CO ₂ S读数是否稳定	49
7.1.4IRGA的零点是否正常	49
7.1.5 植物生长状况所致	49

7.2	IRGA NOT READY问题解析	50
7.2.1	硬件连接问题（电缆线）	50
7.2.2	分析器光路太脏	50
7.2.3	检查chopper motor 能否运行	50
7.2.4	主板电路、保险丝	50
7.3	Cond、Ci为负值	50
7.4	高湿报警High Humidity	50
7.5	h行参数“Tblock, Tair, Tleaf, CTleaf”异常的可能原因	51
7.6	g行参数“Parin, Parout”及光源工作异常的可能原因	51
7.7	g行参数“Press”读数异常的可能原因	51
八、	维护保养	51
8.1	清洁样品室的步骤	51
8.2	排除气路堵塞的方法	53
8.2.1	气路堵塞的判断	53
8.2.2	哪些地方容易堵塞	53
8.2.3	堵塞查找	53
8.2.4	气路堵塞的处理	53
8.3	手柄自锁栓的更换及位置调节	54
8.4	电池、主机和分析器的维护保养	55
8.4.1	电池的维护保养	55
8.4.2	主机的维护保养	55
8.4.3	分析器的维护保养	55
8.5	仪器不可进水	55
	附录数据导出后所有参数解析	56

温馨提示：仪器日常检查与测定注意事项

I 仪器状态的日常检查（测量菜单 F4 (New Msmnts)下）

日常检查可帮助您确保仪器测量数据的准确性，在离开实验室或野外测量前能及时发现仪器是否存在故障，这些既可以节省时间，也可节省人力和财力。在此我们介绍一些日常需要检查的项目，推荐大家掌握使用。

i.i 预热期间检查（开机时保持空叶室并旋紧状态，将两个化学药品管拧到**完全Bypass**¹）

1) 检查温度传感器

- 查看h行参数“Tblock, Tair, Tleaf, CTleaf”是否合理，且相差在1℃以内；温度值如果异常，请见章节7.5故障分析。
- 确定叶温热电偶的位置是否正确，直接测量叶片温度时，叶温热电偶的结点位置应高于叶室垫圈约1mm，保证夹叶片时能与叶片充分接触；如果使用能量平衡方法测量叶片温度，则叶温热电偶的结点位置应低于叶室垫圈1mm，确保夹叶片时，接触不到叶片。

2) 检查光源和光量子传感器

- 检查光源是否工作，且工作正常。测量界面下按2, F5, 设置光强，查看参数g行ParIn值和设置是否一致。（未使用光源，则该检查项忽略）。
- 检查g行 ParIn_μm 和ParOut_μm传感器是否有响应（用手遮住传感器感光部位读数降低，完全遮住，读数归零）。光源工作不正常或光量子传感器读数异常，请见章节7.6故障分析。

3) 检查大气压传感器

- 检查g行Prss_kPa值是否合理。一般在海平面大气压值约100kPa，海拔300米大气压约为 97 kPa，随天气变化，大气压可能会有1到2 kPa的变化。Press读数异常请见章节7.7故障分析。

4) 检查叶室混合扇

- 在测量菜单中，按2, f1, 按字母O关闭，或按5或字母F打开叶室混合扇，将分析器头部放到耳朵旁边，听分析器头部声音是否随着风扇关闭、打开有变化，如果有变化，表示正常，**检查后恢复到FAST状态**。如果声音没有变化，则表明混合风扇不转动，此时需要联系公司维修部。

5) 检查是否存在气路堵塞

- 第一步，在测量菜单中，按2, f2, 设定流速flow rate的Target为1000，检查b行flow能否达到650以上（该值为标准大气压下的参考值，海拔升高后，该值会有所下降），如果能达到，则说明气路在bypass状态下没有堵塞；
- 第二步，将苏打管的调节旋钮从bypass一侧完全旋到scrub一侧，实时观察b行flow值，如果流速下降大于20，同时在拧苏打管时，伴随有较大噪声产生，则苏打管存在气路堵塞，排除气路堵塞的方法见章节8.2；
- 第三步，同上（第二步），检查干燥管。

（检查后将流速调回至500，药品管仍然保持Scrub状态，以备接下来的检查使用）

¹完全 Bypass：将化学药品管向 bypass 方向拧到最紧状态；反之完全 Scrub，即向 scrub 方向拧到最紧。

i.ii 预热后检查

6) 叶室的漏气检查

- 保持叶室关闭，化学管保持在完全Scrub位置，在叶室周围轻轻吹气，如果a行样品室CO₂S的读数增加量大于2 μmolmol^{-1} ，说明叶室可能有漏气。
- 常发生漏气的地方：上下叶室泡沫垫圈变形或位置错位对不齐；上下叶室的O形密封圈缺失；排气管（L型）没有连接或有裂口；叶室后部三孔垫圈位置松动或错位。

7) 检查流速零点

- 关闭泵(测量菜单，按2，f2，按字母O)，然后关闭叶室混合扇（按2，f1，按字母O）；
- 检查b行Flow是否在 $\pm 2\mu\text{molmol}^{-1}$ 之间，如果在，表示正常；如果不在此范围，需进入校准菜单，进行Flow meter zero。

注意：完成后，将流速再调节回500，将混合风扇设置在Fast状态。

8) 检查CO₂和H₂O IRGAs零点（最重要）

- 检查零点前确保电缆信号正常：在确定仪器硬件连接不存在问题时，检查L行参数，出现以下两种情况说明圆形接头的IRGA电缆线接触不良，信号中断，仪器出现“IRGA NOT READY”报警则需要寄回公司维修：

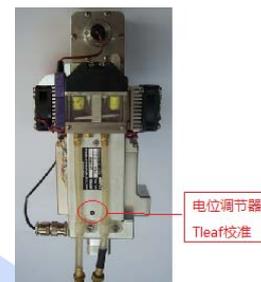
- 当L行前两个参数CRagc和CSagc变成负的一千多或负的两千多；
- L行的参数出现大于5000的情况；

- 检查零点前确保光路干净：查看L行的前两个参数CRagc和CSagc，两者都应在1500以内。若CRagc超过1500，说明参比室光路已脏；若是CSagc超过1500，说明样品室光路已脏（注意：如果使用的是6400-09则该行参数出现在I行，而不是L行）。出现上述情况请首先清洁光路，参见8.1 清洁样品室的步骤；
- 检查零点前确保化学药品有效，并拧到完全Scrub：有效干燥剂为蓝色，吸水颜色变粉色，粉色量不超过一半仍可用于零点检查；苏打管可以通过以下方法判断是否有效：旋转至完全scrub，观察CO₂R降到最低之后，向进气口吹气，CO₂R不会升高或升高量少于2个ppm，则苏打有效；
- 检查CO₂零点：将苏打管旋至完全Scrub，干燥管完全Bypass。空叶室闭合，等待大约5mins；查看a行CO₂R和CO₂S应在 $\pm 5\mu\text{molmol}^{-1}$ 以内，如果不在这个范围，且有下降的趋势，建议继续等待10mins，依然超出上述范围，就需要恢复到出厂状态。请参见章节3.4.3 返回厂家默认校准；
- 检查H₂O零点：将干燥管完全Scrub，苏打管完全Bypass。空叶室闭合，等待大约5mins；查看a行H₂OR和H₂OS应在 $\pm 0.5\text{mmolmol}^{-1}$ 以内，如果不在这个范围，且有下降的趋势，建议继续等待10mins，依然超出上述范围，就需要恢复到出厂状态。请参见章节3.4.3 返回厂家默认校准；
- 恢复到出厂状态后，将两个药品管的旋钮都拧到完全Bypass，叶室关闭不漏气，等待CO₂，H₂O读数稳定，在测量菜单下按1，F5Match、Match IRGAs，遇到一些报警提示，只要确保仪器不漏气，则按提示继续匹配或者按回车键消掉报警后继续匹配，直到CO₂R和CO₂S相等，则匹配完成。

9) 校准叶温热电偶的零点

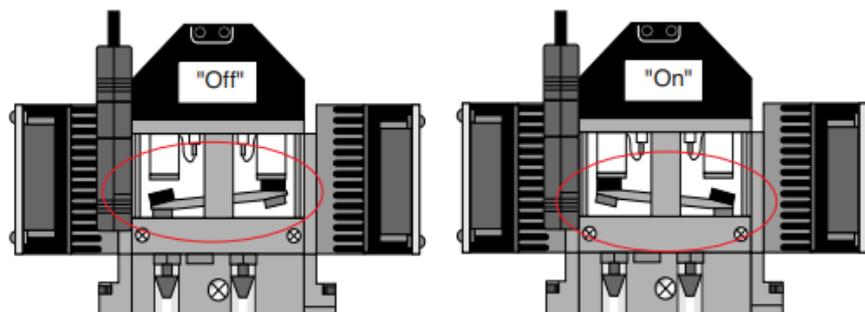
- 拨开紫色插头，检查h行Tblock和Tleaf温度差值是否在0.1 $^{\circ}\text{C}$ 以内，如果大于0.1 $^{\circ}\text{C}$ ，则需要调节电

位调节器（见右图）进行校准，使得Tleaf和Tblock之间相等或相差0.1℃以内。用一字型螺丝刀对分析器底部电位调节器进行温度校准，顺时针旋转Tleaf升高，反之降低，直到Tleaf基本等于Tblock。完成后将紫色插头重新插好。



10) 检查匹配阀

主界面点击F4（New Msmnts）进入测量界面。等待a行的CO₂和H₂O浓度稳定后，按1，F5（MATCH），进入匹配模式。应看到匹配阀随之变动，如下图。当F5变为MATCH IRGAs后再按F5，完成匹配，点击F1 exit退出。



左图为正常测量模式时匹配阀的姿态，右图为匹配时匹配阀的姿态

- 在系统进气浓度稳定且不漏气时进行匹配，匹配频度建议 10 分钟左右进行一次匹配，退出匹配后待数据稳定了再按 Log 记录数据。
- 如果做实验时，需要改变进气CO₂浓度，如A-Ci Curve，那么，每改变一次CO₂浓度，必须进行一匹配。
- 注意 **NEW**：从 open6.3 版本起，LI-6400XT 增加自动匹配功能。在测量菜单下按 5, F3(log options) 下，找到 Match，按 enter 键切换到 always，按 F5 (ok)，则以后每次记数前系统会自动先做匹配再记数。

II 测定注意事项

ii.i 光合测定过程中的注意事项（品种或处理间比较光合的试验）

- 1) 叶片生长环境一致，且能代表满足试验目的需要的叶片生长微环境。主要针对光环境。
- 2) 叶龄一致。
- 3) 叶片之间无相互遮荫的叶片。
- 4) 生长状况具有代表性的叶片，如良好状态的叶片则包括无病虫害、无损伤、水分和营养状况良好。
- 5) 最适测量时间为上午 9:00 ~ 11:00，即双峰植株第一个光合状况最佳时间；如果是单峰植株，则可以适当延长测定时间。
- 6) 进行对比实验时，为了增加对比性，需要把不同叶片的外部环境设置相同。如光强（很重要）、CO₂ 浓度（很重要），流速、甚至叶温、湿度等等。
- 7) 凡是使用光源进行控光试验的光合测定，包裹光响应曲线和 CO₂ 响应曲线，测定之前，需要查看 g 行参数 PARout（植物所处光环境）和所控光强之间的差距，差距大，则需要考虑进行光诱

导，在所控光强下至少诱导 20 分钟以上。此饱和光强不能太大，否则可能产生光抑制。提前确定最适诱导光强和诱导时间。

- 8) 光下平衡时间。不同植株的净光合速率 (Pn) 稳定时间可能不同，为了准确测定不同植株之间的光合能力差异，需要提前摸索光下稳定时间。
- 9) 饱和光强需要预备试验来确定。在测定 CO₂ 响应曲线时需要提前设置光强为饱和光强。
- 10) 测定光响应曲线时，在 20μmol m⁻²s⁻¹<PPFD<100μmol m⁻² s⁻¹ 范围内，设定较多的点。阴生植物或叶片至少设定 5 个点，阳生植物或叶片在 20μmol m⁻²s⁻¹<PPFD<150μmol m⁻² s⁻¹ 范围内至少设定 5 个点。
- 11) 每个测定需要重复，一般至少 5 个植株，每个植株至少取样 2 个叶片，具体重复次数请参考统计学的方法来确定。

ii.ii 荧光测定过程中的注意事项

- 1) 测定暗适应植物，切记关闭活化光；反之，测定光适应植物，一定要打开活化光。
- 2) 荧光测定一定要保证植物有充足的暗适应和光适应！
- 3) 做荧光猝灭实验，一定要使用相同配置的测量光和饱和闪光，测定同一叶片同一部位的暗适应荧光参数和光适应荧光参数。

4) 大量叶片淬灭测定注意事项：

问题 1：样品多，耗时长

解决途径：成批样品提前标记好所测叶片及部位，然后进行统一暗适应，测定所有标记好的叶片的暗适应参数；完成后统一光适应，再按同样顺序测定所有标记好的叶片的光适应参数；

问题 2：导出的数据或在当时看到的 q 行中的 qN 以及 NPQ 值为虚假错误值

原因：非光化学淬灭参数 qN，NPQ 是利用 o 行参数和 p 行参数进行运算得到，而 o 行参数和 p 行参数是随着测定的进行随时被更新的，对同一片叶子这两行参数已经错位，所以计算值错误；

解决途径：导出数据后在 excel 下用每个叶片原始测定的荧光数据和 qN，NPQ 计算公式，重新计算 qN，NPQ。

ii.iii 土壤呼吸测定过程中的注意事项

- 1) 提前几个小时或一天把 Collar 插入需要测定的土壤。如果土壤表面需要清理，提前一天或者几个小时进行。
- 2) 为了增加测定可比性，测定时间最好一致。因为一天之中，同一土壤“呼吸”变化很大。
- 3) 土壤室下边缘尽量靠近地面，增加混合程度，使测量气室底端距离地面 1~2 cm 为宜。
- 4) 保持土壤呼吸室遮荫，以免升温。
- 5) 如果测量点周围没有林冠，风吹动时会使得土壤呼吸室泄压口处产生气压波动，从而导致测量值不稳定。最好在有风条件下用物体为土壤呼吸室挡风。
- 6) 由于土壤的高异质性特点，建议增加测定点数，即保证足够量的土壤环安置数量，加大重复数，以期获得最真实土壤呼吸速率。

LI-6400XT 光合-荧光测定系统简介及新增功能亮点介绍

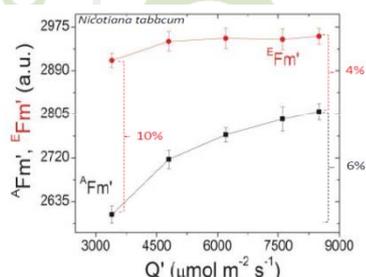
LI-6400XT 测定系统不仅可用于研究植物光合作用，还可用于叶绿素荧光、植物呼吸、植物蒸腾、群落光合及土壤呼吸等多项指标的测定，这些功能的完美集成使得 LI-6400XT 成为引领生理生态学研究领域重要的必不可少的基础研究设备。其主要测量参数包括：净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(E)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)、大气 CO₂ 浓度(Ca)、光量子通量密度(PPFD)、叶温(TLeaf)、空气相对湿度(RH)等。

- 若配备 6400-02LED 红蓝光源和 6400-01CO₂ 注入系统还可进行多种响应曲线测定，如光响应曲线、CO₂ 响应曲线等，并在相关模型支持下进一步计算光饱和点、光补偿点、表观量子效率、CO₂ 饱和点、CO₂ 补偿点、羧化效率等多项重要生理生态指标。
- 若配备 6400-18 RGB 三基色光源，可进行全光谱下的光合测定。
- 若配 6400-09 土壤呼吸室，可进行土壤呼吸的测定。
- 若配备 6400-40 荧光叶室还可同时得到以下参数：最大荧光(F_m)、初始荧光(F₀)、可变荧光(F_v)、光化学效率(ΦPSII)、光化学猝灭(qP)、非化学猝灭(qN/NPQ)等。
- 同时 LI-6400 配置有多种可选的叶室：如簇状叶室，针状叶室，狭长叶室，拟南芥叶室，苔藓叶室等等，最大可能满足广大科研人员的需求。

LI-6400XT OPEN 6.3 版本新增并值得强调的几个特点如下：

LI-6400XT 新增亮点 (一)：全新多相闪光技术 (Multiphase Flash(简称MPF))。对于光适应叶片，应用MPF技术可以得到稳定且“真实”最大荧光产量Fm'，即EFm'；MPF不需要特别强的饱和光强度，最大程度减小了对植物的损伤，并有效延长光源寿命；不采用MPF技术的荧光光源无论光强多少，得到的Fm'都是表观Fm'，即AFm'，比真实的Fm'低估 10%左右，见文献Earl, H, 2004²和S. D. LORIAUX, 2013³。

Fm'的准确测量对于计算准确的 ΦPSII (实际的光化学量子效率), J (电子传递速率), qN (非光化学猝灭), gm (叶肉导度) 和其他参数都非常有意义，对于非胁迫植物来说，使用 EFm'计算出的电子传递速率 J 和总 CO₂ 同化量 (AG) 的实验结果关系更合理。



LI-6400XT 新增亮点 (二)：从 open6.3 版本起，LI-6400XT 增加**自动匹配功能**。在测量菜单下按 5, F3 (log options) 下，找到 Match，按 enter 键切换到 always，按 F5 (ok)，则以后每次记数前系统会自动先做匹配再记数。

²Earl, H. and Ennahli, S. Photosynthesis Research 2004;

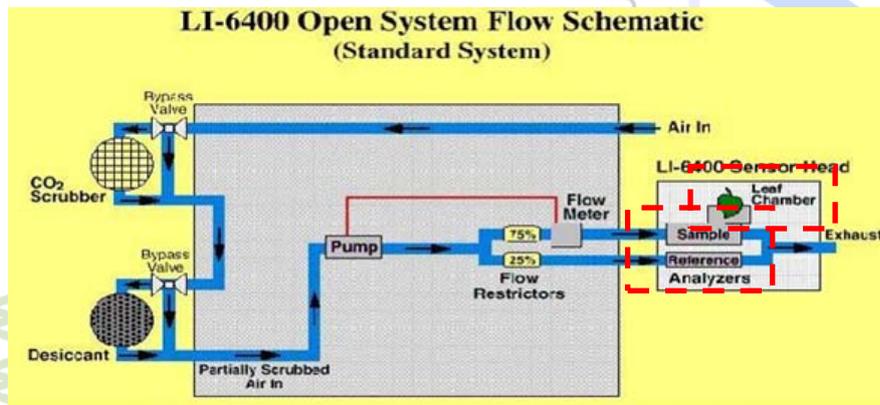
³S. D. LORIAUX, T. J. AVENSON, J. M. WELLES, et al. Closing in on maximum yield of chlorophyll fluorescence using a single multiphase flash of sub-saturating intensity. Plant Cell & Environment, 2013.

一、测定原理

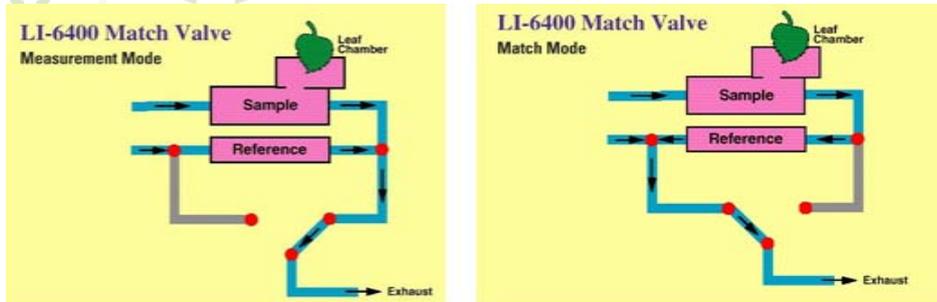


LI-6400XT 测量系统的特点:

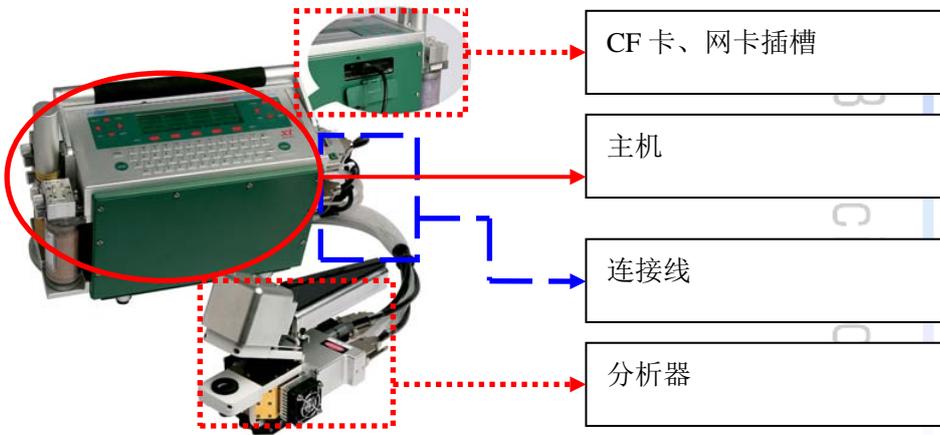
- **开路式:** 可保证测定条件与植物生长的环境条件一致, 见下图;
- **分析室与叶室直接相连:** 消除了气体在管道中吸附而导致的测量误差, 同时消除时间滞后效应, 实现真正的瞬态监测, 见下图红线标识;



- **差分式:** 精确测量出样品室和参比室之间 CO_2 、 H_2O 的浓度差异;
- **匹配 (match):** 在短时间内将样品室与参比室的气路改变, 使之通入同一样品气, 并将两个检测器的读数自动调整一致, 消除了系统内部误差, 保证测量的准确性 (见下图)。



二、硬件介绍



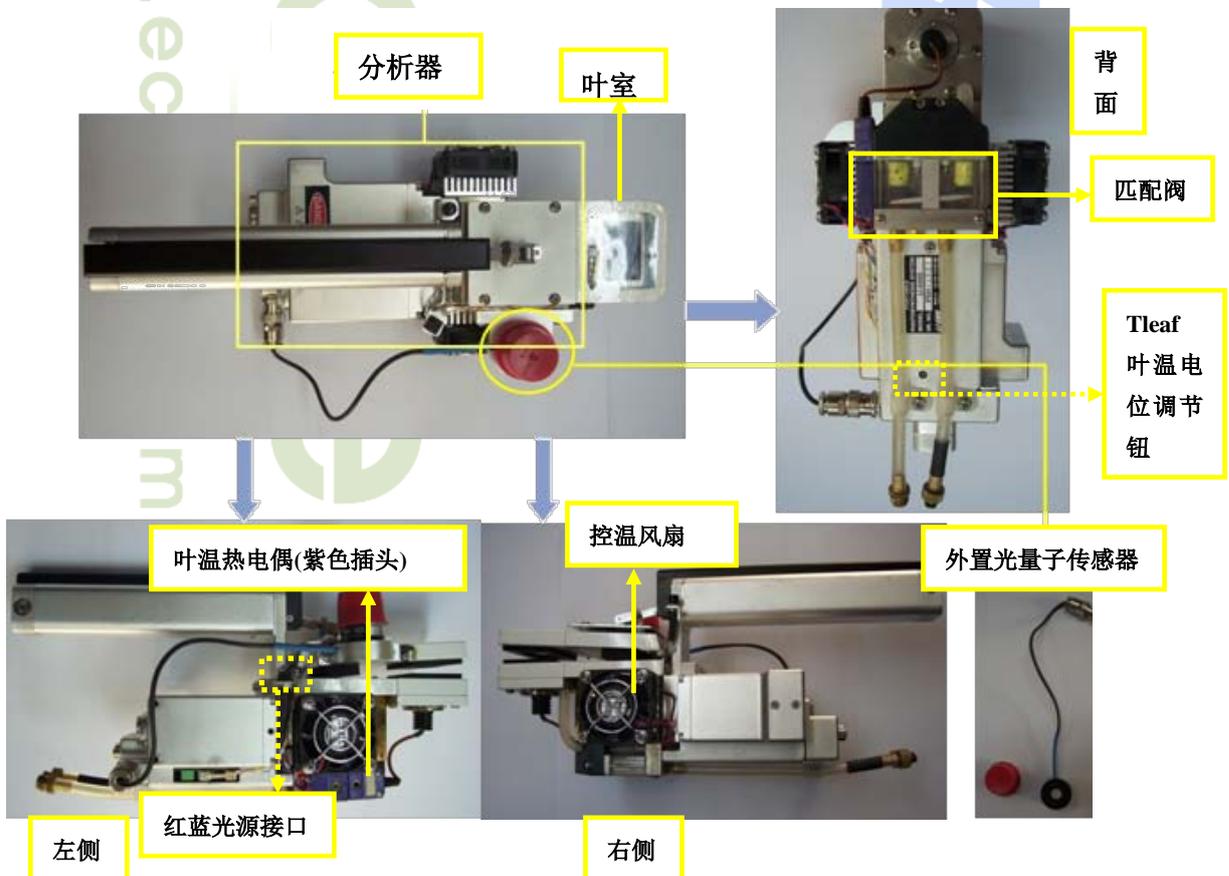
2.1 主机



2.2 电缆线



2.3 分析器



2.4 电池及充电器

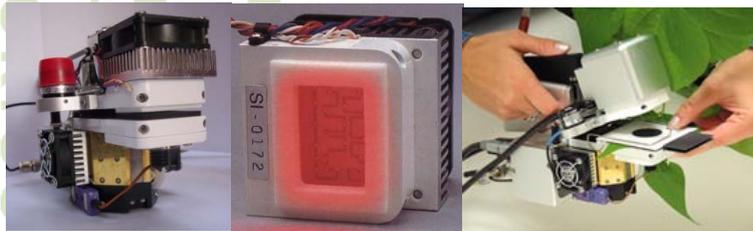


2.5 其他叶室

各种形状的叶室：
如簇状叶室、狭长叶室、针叶叶室、透明底叶室、
苔藓叶室、拟南芥叶室、土壤呼吸室等，如右图：



多种光源选择：6400-02B 红蓝光源 6400-40 荧光叶室



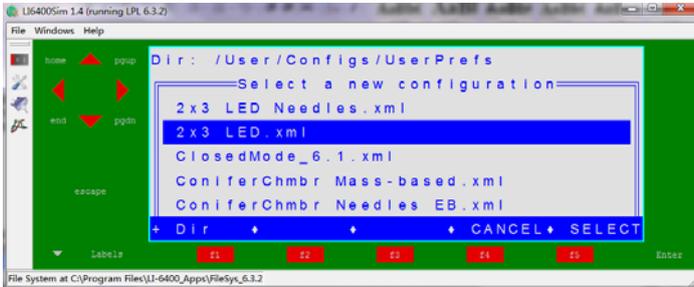
6400-18 RGB 光源及 6400-17 整株拟南芥叶室



三、软件介绍——OPEN6.3 版本

3.1 开机过程中软件界面介绍

若仪器安装很多种叶室的配置文件，仪器开启后显示为下左图“Select a new configuration”，需要选择正确的叶室配置文件，具体叶室配置文件的名称请参考下右图的图文提示。



注意：每种叶室使用时必须与配置文件一一对应，如右图给出了各个叶室的名称、照片和配置文件的名称，例如：6400-02BLED 红蓝光源，配置文件 configuration 名称为 2×3 LED.xml；

回车后界面提示“Is the Chamber/IRGA connected? (Y/N)”，选择 Y，开机，进入主界面。



若没有安装其他叶室，则开机后系统直接提示“Is the Chamber/IRGA connected? (Y/N)”，选择 Y，到主界面，见下图，预热 15~20 分钟。



2×3 LED.xml		6400-02B LED 红蓝光源
ConiferChmbr		6400-05 狭状叶室
2×6 Needles.xml		6400-07 针状叶室
2×6.xml		6400-11 狭长叶室
2×3 Clrbtm EB.xml		6400-08 叶室透明底
SoilChamber_6.2.xml		6400-09 土壤 CO ₂ 呼吸室
ExtRch_1 cm EB.xml		6400-15 阔叶叶室
WholePlantChamber EB.xml		6400-17 拟南芥叶室
OpaqueConifer RGB EB.xml		6400-22 可控光狭状叶室
BryophyteChamber Mass-based.xml		6400-24 苔藓叶室

开机后界面说明（如左图）：

第一行是 LI-6400XT 测定系统的名称；

第二行是当前系统版本号 OPEN 6.3.2；

第三行是用户存储空间已被占用的百分比；

第四行显示的是当前时间和电池电压；

第五行显示的是操作系统主菜单：每个主菜单下都有一个红色的功能键 f1 到 f5，对应上面的功能菜单，介绍如下：

F1: Home Menu，主要介绍仪器版本号和部分用于维修诊断模式，用户基本不使用；

F2: Config Menu，配置菜单，主要用于对当前程序配置或编辑，详见章节 3.3；

F3: Calib Menu，校准菜单，所有校准工作均在此主菜单下进行，要慎重，详见章节 3.4；

F4: New Msmnts，测量菜单，所有测量均在此菜单下进行，最重要，见章节 3.5；

F5: Utility Menu，用户菜单，也较为重要，详见章节 3.5。

3.2 OPEN6.2 OPEN 6.3 版本界面较以前版本变化介绍

3.2.1 节点式对话框。

对于温度，流速 Flow，CO₂ 浓度，湿度，光强的控制 6.3 采用了节点式对话框，可以更清晰，更灵活地设置这几个变量。



响应曲线的节点式对话框。可以让用户从任意指令下进入设置，取代了过去单通道式的设置。



3.2.2 增加了 m 行的匹配信息。



3.2.3 全新多相闪光技术（Multiphase Flash）简称 MPF

MPF 技术，可以得到稳定且真实的最大荧光产量 F_m' 。在 1 秒饱和闪光期间划分三相闪光，其中第二相闪光光源自动调整一系列光强并实时测定对应荧光，系统自动拟合曲线，得到饱和光强无限高的情况下，叶片真实 F_m' 值，即 EF_m' ；MPF 不需要特别强的饱和光强度，最大程度减小了对植物的损伤，并有效延长光源寿命；不采用 MPF 技术的荧光光源无论光强多少，得到的 F_m' 都是表观 F_m' ，即 AF_m' ，比真实的 F_m' 低估 10% 左右**。（**注说明）

F_m' 的准确测量对于计算准确的 Φ_{PSII} （实际的光化学量子效率）， J （电子传递速率）， q_N （非光化学淬灭）， g_m （叶肉导度）和其他参数都非常有意义，对于非胁迫植物来说，使用 EF_m' 计算出的电子传递速率 J 和总 CO₂ 同化量（AG）的实验结果关系更吻合理论。

**注：1、Earl, H. and Ennahli, S. Photosynthesis Research 2004;

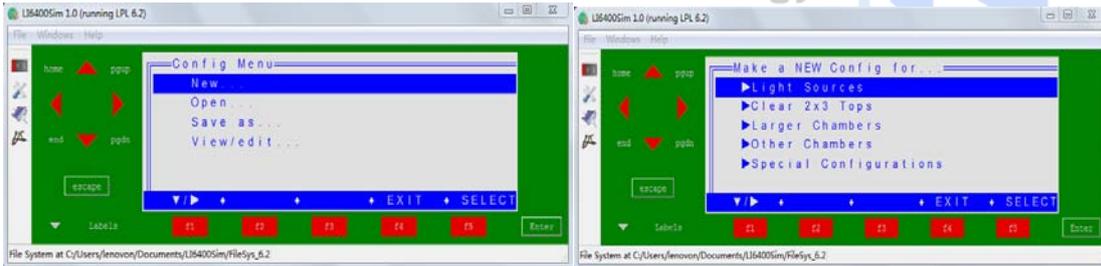
2、S. D. LORIAUX, T. J. AVENSON, J. M. WELLES, et al. Closing in on maximum yield of chlorophyll fluorescence using a single multiphase flash of sub-saturating intensity. Plant Cell & Environment, 2013.

3.3 配置菜单 Config Menu 功能介绍

3.3.1 安装新叶室或光源配置程序

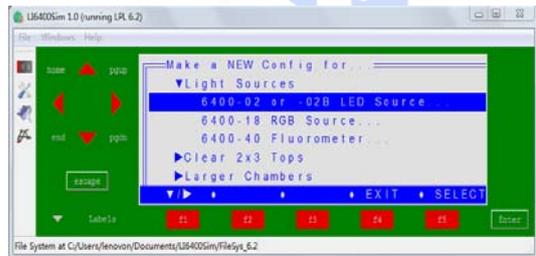
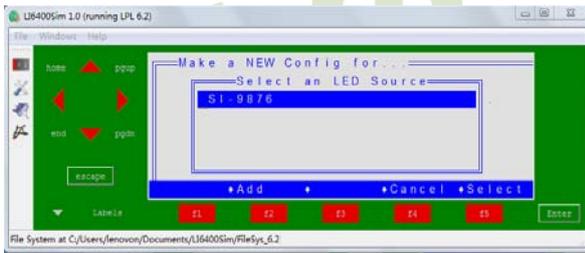
开机后在主界面，点击 F2 (Config Menu)，界面显示如下左图：

“New...”即安装标准叶室之外的其他叶室或光源所对应的配置文件。选中“New...”，回车或者按 F1 下拉菜单键，进入目录，如下右图，所有叶室的配置文件分为五类。如果安装的是光源，则选择“Light sources”；类别描述很清晰，只需要考虑所要安装的硬件特点找对应的软件程序即可，见下图。

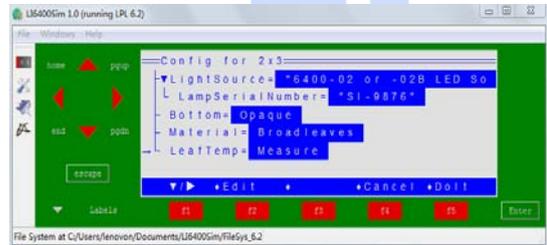


下面以安装红蓝光源程序为例，介绍在 6.3 版本下 Config Menu 的操作步骤：

- 第一步：进入 Config Menu，选中“New...”回车；
- 第二步：选中红蓝光源 6400-02，回车；见右图
- 第三步*：选中序列号（与硬件对应），回车；见下图，



第四步：选择叶室底部特征、叶片类型和叶温测量方式（按 Edit 进行选择，F5 (Doit) 确定），见右图

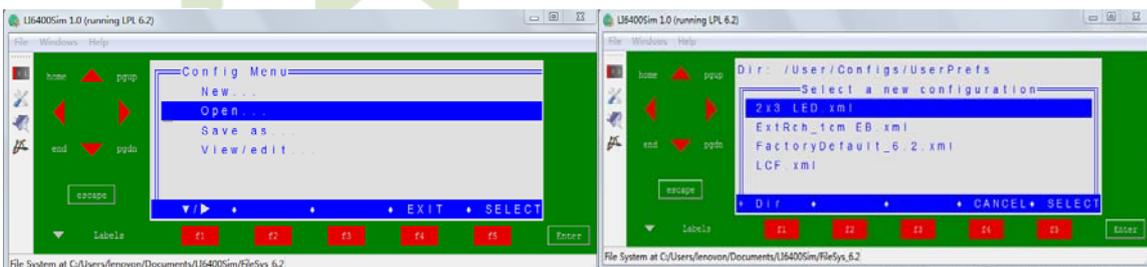


第五步：按字母 N，将该配置文件命名为“2×3 LED，并保存到系统中。见右图。完成。



3.3.2 如何在不关机状态切换到其它叶室程序

方法如下：进入主菜单 Config Menu 下的 Open(下左图)，回车，出现已安装的配置文件，如下右图，选中要进入的叶室或光源的配置文件，如 2×3LED.xml，回车，系统自动进入选中的叶室，按 Esc 键退出，完成。



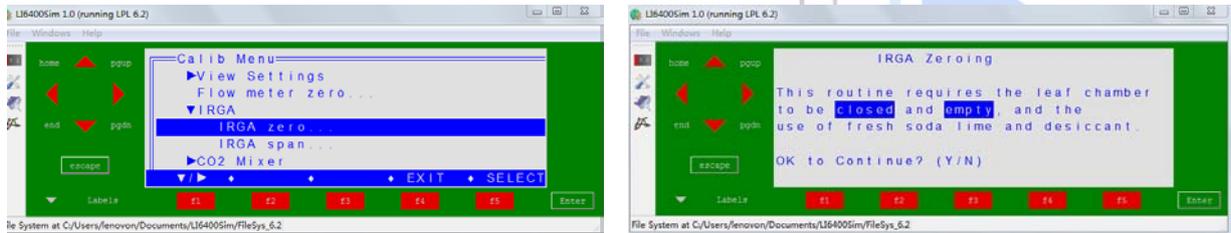
3.4 校准菜单 Calib Menu 功能介绍

3.4.1 校准程序操作介绍——以 IRGA 的校准为例

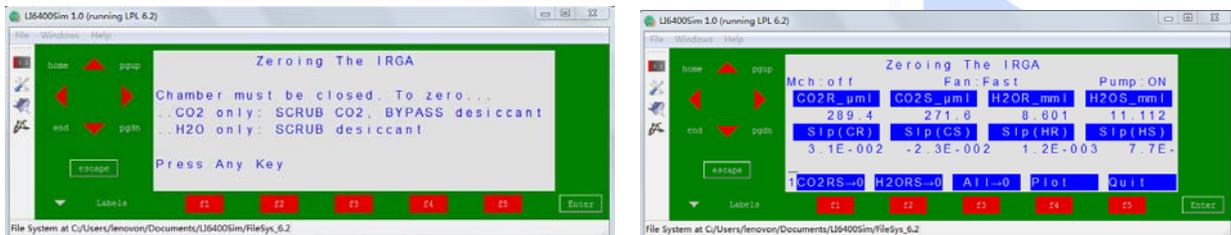
(请勿随便校准仪器，否则可能导致数据全部错误，建议使用 3.4.3 回到厂家出厂校准，而不是自己校准)

如果回到厂家零点仍然解决不了问题，再考虑手动做校准。

第一步：进入校准菜单，找到 IRGA zero，回车；第二步：确定满足要求，空叶室且关闭不漏气，按 Y。



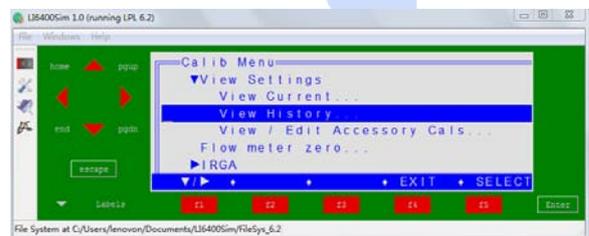
第三步：确定化学药品管的旋钮位置，见提示；



第四步*：校准之前必须保证化学管内是新鲜的药品，需要在化学药品管拧到完全 Scrub 方向 20 分钟，a 行参数完全稳定后，即 CO₂ 的数据变化幅度稳定到 0.5 以内，而 H₂O 的变化幅度稳定到 0.1 以内，按 f1 或 f2 开始校准。建议两个参数分开做调零，尽量不要一起调。

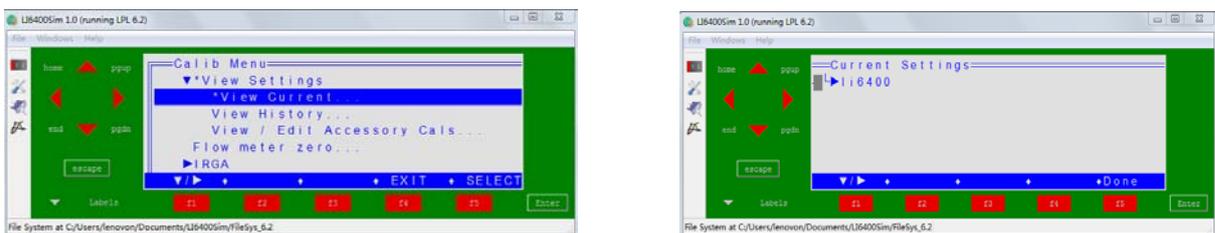
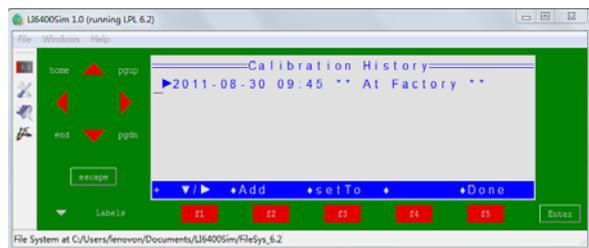
3.4.2 历史校准记录的调用

在 Calib Menu 下的 View Settings 选项里，有“View History...”，进入该界面，可以直接调用以前做的所有校准信息。



3.4.3 返回厂家默认校准（强烈推荐使用）

在 Calib Menu 下的 View Settings 选项里，回车，找到“View History...”，选中，回车，进入该界面，按 Home 键光标锁在最前面的“at factory...”，这就是厂家保存的出厂校准值，如右图；然后点击 f3 (SetTo)，再点击 f5 (OK)；到此，校准返回到了出厂设置，但是这并没有保存；移动光标选中“*View Current...”，回车，点击 f3 (Save)，选 Y 保存后，再点击 f5 (Done)，完成保存。



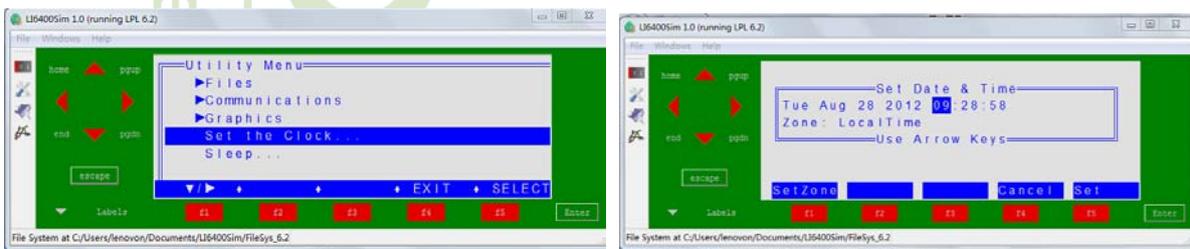
3.5 用户菜单 Utility Menu 功能介绍

3.5.1 数据传输方式

- 方法一：CF 卡的数据，可以用读卡器导出也可以用方法三 RS-232 数据线导出。
- 方法二：网线方式导出，取出数据卡，插入网络适配器，连接网线到电脑，在电脑上预先安装 LI-6400XTerm 软件，双击打开该图标后，Ethernet 选择以太网连接机器，点击 connect 按钮，打开 Windows 下的 File，右面窗口选择 User 下的数据，左面窗口选择计算机的存储位置。拖动右面窗口数据到指定位置即可！
- 方法三：利用常规的文件交换模式（File Exchange Mode）导出数据，这种方法的优点是可以同时导出 CF 卡和主机内的数据，但速度稍慢。方法如下：
 - ✧ 首先用 RS232 数据线连接电脑和 LI-6400XT；
 - ✧ 在仪器主界面，按 f5(Utility Menu)，找到 Communication，按 f1 拉开，按下箭头选择“File Exchange Mode”，回车，LI-6400XT 主机保持这种交换模式的状态；
 - ✧ 在电脑上预先安装 SimFX 软件，双击打开 LI6400FileEx，点击 File，选择 Prefs，选择 Com 端口（可右键点击我的电脑，查看硬件、属性、设备管理器，找到对应的 COM 口），按 Connect，连接成功后，整个对话框的左侧为电脑文件管理器界面，右侧为 LI-6400XT 主机文件存储界面，从 LI-6400XT 的 User 文件或 Flash 文件下，将准备导出的数据选中，直接拖到左侧电脑的某一个文件夹内即可，完成数据传输。
- 方法四：用 RS232 数据线连接电脑和 LI-6400XT，在 LI-6400XT 主界面按字母 L，进入 Lterm 状态；在电脑上预先安装 LI-6400XTerm 软件，双击打开该图标后，选 RS-232，在安装驱动程序后，会自动生成 COM 口编号，点击 connect 按钮，其他操作同方法二。

3.5.2 设定或修改当前时间和日期

如下图所示，在用户菜单下进入 Set the Clock，选择时区，并利用上下左右箭头对时间和日期进行修改，完成后，点击 f5 Set，进行保存。



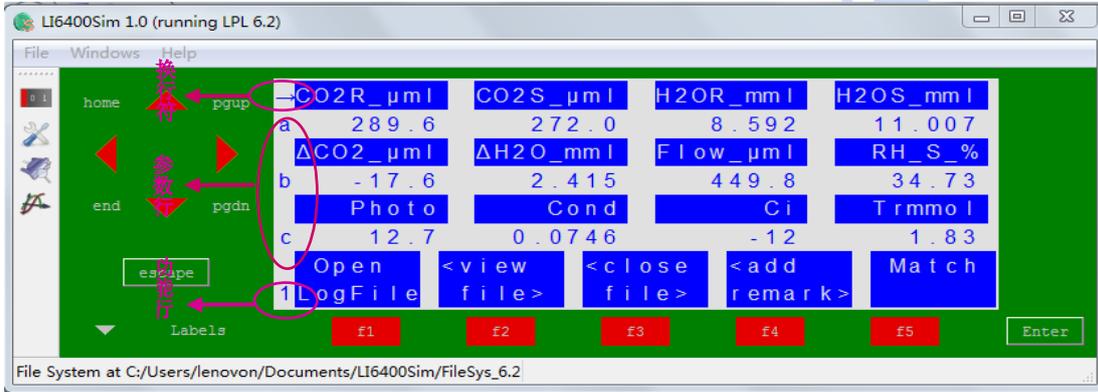
3.5.3 休眠模式

如下图所示，在用户菜单下进入 sleep mode，按 Y，使仪器进入休眠状态。从休眠状态退出，只须按两次 ESC 键即可。



3.6 测量菜单 New Msmnts 功能介绍

测量菜单有参数行（前有字母标识，如下图的 a 行、b 行、c 行）和功能行（前有数字标识，如下图第 1 功能行），如下图所示，参数行可通过“home”、“end”、“pgup”、“pgdn”四个按钮来快速调用，也可通过上下左右键和其他参数行调到最前页；功能行可以通过 labels 按钮或直接按数字进行切换。



与光合测定相关的参数行主要有 a 到 m，共计 13 行，如果测定荧光，则会增加参数行到 t，如果使用土壤呼吸叶室，则参数行和功能行会做相应调节，以下详细介绍重要参数含义：

3.6.1 常用参数行与功能行

表1 光合测定的重要参数项缩写及含义

参数行	缩写	含义	Description	单位 (Unit)
A 行	CO2R_μml	参比室CO ₂ 浓度	Reference cell CO ₂	(μmol CO ₂ mol ⁻¹)
	CO2S_μml	样品室CO ₂ 浓度	Sample cell CO ₂	(μmol CO ₂ mol ⁻¹)
	H2OR_mmol	参比室H ₂ O浓度	Reference cell H ₂ O	(mmol H ₂ O mol ⁻¹)
	H2OS_mmol	样品室H ₂ O浓度	Sample cellH ₂ O	(mmol H ₂ O mol ⁻¹)
B 行	ΔCO ₂ _μml	CO ₂ 浓度差异 (样品-参比)	CO ₂ delta (sample - reference)	(μmol CO ₂ mol ⁻¹)
	ΔH ₂ O_mmol	H ₂ O浓度差异 (样品-参比)	H ₂ O delta (sample - reference)	(mmol H ₂ O mol ⁻¹)
	Flow_μml	样品室流速	Flow rate to the sample cell	(μmol s ⁻¹)
	RH_S_%	样品室相对湿度	Relative humidity in the sample cell	(%)
C 行	Photo	净光合速率	Photosynthetic rate	(μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)
	Cond	气孔导度	Conductance to H ₂ O	(mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)
	Ci	胞间CO ₂ 浓度	Intercellular CO ₂ concentration	(μmol CO ₂ mol ⁻¹)
	Trmmol	蒸腾速率	Transpiration rate	(mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)
D 行	BLC_mol	边界层导度	Total boundary layer conductance for the leaf (in-cludes stomatal ratio)	(mol m ⁻² s ⁻¹)
G 行	Prss_kPa	空气大气压	Atmospheric pressure	(kPa)
	ParIn_μm	叶室内部光强	In-chamber quantum sensor	(μmol m ⁻² s ⁻¹)
	ParOutμm	外部光强	External quantum sensor	(μmol m ⁻² s ⁻¹)
H 行	Tblock°C	冷却模块温度	Temperature of cooler block	(°C)
	Tair°C	样品室空气温度	Temperature in sample cell	(°C)
	Tleaf°C	叶片温度	Temperature of leaf thermocouple	(°C)
	Ctleaf	计算出的叶片温度	Computed leaf temperature	(°C)
L 行	CRagc_mv	CO ₂ 参比室自动增益控制信号	Reference CO ₂ AGC (automatic gain control) signal	mV
	CSagc_mv	CO ₂ 样品室自动增益控制信号	Sample CO ₂ AGC signal	mV
	HRagc_mv	H ₂ O参比室自动增益控制信号	ReferenceH ₂ O AGC signal	mV
	HSagc_mv	H ₂ O样品室自动增益控制信号	Sample H ₂ O AGC signal	mV

表2 土壤呼吸气室重要参数项缩写及含义

参数行	缩写	含义	Description	单位 (Unit)
A 行	CO2S_umol	样品室CO ₂ 浓度	Sample cell CO ₂	($\mu\text{mol CO}_2\text{mol}^{-1}$)
	H2OS_mml	样品室H ₂ O浓度	Sample cell H ₂ O	($\text{mmol H}_2\text{O mol}^{-1}$)
	RHcmbr%	气室内部相对湿度	Relative humidity in the chamber	(%)
	RHirgar%	分析器相对湿度	Relative humidity in the IRGA	(%)
B 行	EFFLUX	碳通量	CO ₂ Efflux	($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
	C2avg	平均CO ₂ 增加速度	Mean CO ₂	($\mu\text{mol CO}_2\text{mol}^{-1}$)
	Wavg	平均H ₂ O增加速度	Mean H ₂ O	($\text{mmol H}_2\text{O s}^{-1}$)
C 行	Tsoil °C	土壤温度	Temperature of soil	(°C)
	Tsch °C	气室温度	Temperature in chamber	(°C)
	Program Status	程序运行进程描述		
D 行	Vtot	总体积	Total volum	(cm^3)
	InsDpth	气室底部插入土壤深度	Insertion Depth	(cm)
	Target	环境CO ₂ 浓度	Target CO ₂	($\mu\text{mol CO}_2\text{mol}^{-1}$)
	Delta	CO ₂ 差值	CO ₂ Delta	($\mu\text{mol CO}_2\text{mol}^{-1}$)
E 行	Prss_kPa	空气大气压	Atmospheric pressure	(kPa)
	Flow	流速	Flow rate	($\mu\text{mol s}^{-1}$)
	dC/dt	CO ₂ 变化速率	dC/dt	($\mu\text{mol s}^{-1}$)
	dW/dt	H ₂ O变化速率	dW/dt	(mmol s^{-1})
I 行	CRagc_mv	CO ₂ 参比室自动增益控制信号	Reference CO ₂ AGC (automatic gain control) signal	mV
	CSagc_mv	CO ₂ 样品室自动增益控制信号	Sample CO ₂ AGC signal	mV
	HRagc_mv	H ₂ O参比室自动增益控制信号	Reference H ₂ O AGC signal	mV
	HSagc_mv	H ₂ O样品室自动增益控制信号	Sample H ₂ O AGC signal	mV

表3 荧光叶室重要参数项缩写及含义

参数行	缩写	含义
N行	F	实时荧光信号值
	dF/dt	荧光变化率
	FlrEvent	最近的荧光事件
O行	F ₀	最小初始荧光、基底荧光、暗荧光
	F _m	暗适应下最大荧光
	F _v /F _m	光化学量子效率, 没有遭受任何环境胁迫并经过充分暗适应叶片, 其PSII最大的(潜在)光化学量子效率, $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$
P行	F ₀ '	光下最小荧光
	F _m '	光下最大荧光
	F _v '/F _m '	光下开放的PSII反应中心的激发能捕获效率, $F_v'/F_m' = (F_m' - F_0')/F_m'$
	F _s	稳态荧光, 又称Ft
Q行	PhiPS2	作用光存在时PSII实际的光化学量子效率, 即PSII反应中心电荷分离实际量子效率, $\Phi_{PSII} = (F_m' - F_s)/F_m'$
	ETR	电子传递速率, $ETR = PPFD \times \Phi_{PSII} \times 0.85 \times 0.5$
	qP	光化学淬灭系数, 反映了PSII反应中心中开放程度, 1 - qP则反映了反应中心关闭程度, 反映了QA的还原程度
	qN	非光化学淬灭系数, 反映了植物热耗散的能力的变化, $qN = (F_m - F_m')/(F_m - F_0')$
R行	Adark	Dark photo value, 暗光合速率
	LeafAbs	叶片吸收系数
	PS2/1	光系统分配比列, 一般将两个系统各设为50%
	PhiCO2	CO ₂ 同化速率相对应的量子产量
S行	F	实时荧光值
	M: Int Khz Hz Gn	测量光的设定
T行	FlrMax	最大荧光测定值
	F:%Rmp P1 P2 P3 Int Khz Hz	饱和闪光的设定
U行	FlrMn	最小荧光测定值
	D:Dur Far Bfr Aft Khz Hz	暗脉冲和远红光的设定
V行*	NPQ	非光化学淬灭系数, 反映了植物热耗散的能力的变化, 数值范围在0 ~ n(1,2,3,4,5), $NPQ = (F_m - F_m')/F_m' = F_m/F_m' - 1$

*: V行参数是在第6功能行用户自行添加。

表4 功能项缩写及含义

功能行	功能描述	F1	F2	F3	F4	F5
1	Logging control; IRGA matching 记录控制; IRGA匹配	Open logfile 建立文件	<View file> 查看文件	Close file 关闭文件	Add remark 添加备注	Match 匹配
2	Environmental control manager keys (CO2, humidity, tem, light) 环境控制	Leaffan 叶室风扇	Flow 控制流速	Mixer 控制混合器	Temp 控制温度	Lamp= 控制光强
3	Chamber fan speed; system and user-defined constants. 面积, 气孔比例和风扇速度	Area 叶面积	STOMT 气孔比例	Sys&Usr Consts 系统/用户定义参数	Promps onlog/off 打开/关闭提示功能	Prompt all 打开提示
4	Real time graphics control 实时图形检测		Graph quickpik 快速选取图形	View graph 看图	Graph setup 图形设置	
5	AutoProgram control; defining what's logging 自动程序, 定义记录内容	Auto Prog 自动程序		Log option 记录选择	Defined stability 定义稳定性	Define log bat 定义记录键
6	Text display control 文本显示控制	Display Quikpik 快捷显示	Display list 显示列表	What's what 这是什么	Display editor 编辑显示	Diagnostic mode 诊断模式
7*	Soil Flux Control Keys 6400-09土壤呼吸测定控制行	Target=380 环境浓度(可编辑)	Cycles=1/3 循环次数(可编辑)	START 开始测定键	LogOnlyFinal 记录选项(可编辑)	Edit/Save 所有可编辑选项
8*	荧光测定编辑功能行	Flr QuikPik 快速调用荧光程序	Flr Editor 荧光程序编辑	Define Actinic 定义活化光	Flr Adjust 荧光调整	Rcrdng OFF/ON 记录开关
9*	荧光各项光源控制行	Meas is ON 测量光开关控制	Flash 饱和闪光开关控制	Dark Pulse 暗脉冲开关控制	Actinic is OFF 活化光开关控制	FarRed is OFF 远红光开关控制
0*	荧光测定行	Do F₀ 测定F ₀	Do F_m 测定F _m	Do F₀F_m 测定F ₀ F _m		View Fsh/Drk 查看闪光、暗脉冲记录
0*	荧光测定行	Do F₀' 测定F ₀ '	Do F_s 测定F _s	Do F_s F_m' 测定F _s F _m '	Do F_s F_m' F₀' 测定F _s F _m 'F ₀ '	View Fsh/Drk

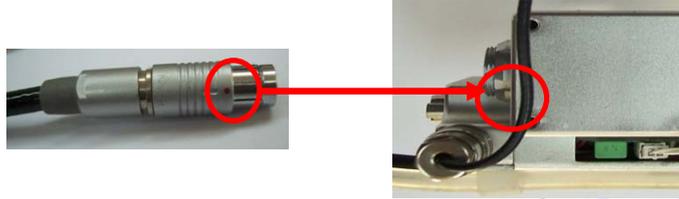
注: •: 第7功能行在测定光合-荧光期间为空白, 是供用户自行开发使用, 自定义行; 使用6400-09土壤呼吸叶室时, 为专用行;

*: 第8, 9, 0行, 仅限于测定荧光时出现的功能项。

3.6.2 光合基本测量过程

3.6.2.1 硬件连接

根据试验设计，选择合适的叶室（如标准叶室、狭长叶室、针状叶室、簇状叶室、红蓝光源等），正确连接硬件，**切记注意电缆线的圆形接头与分析器端相连时，红点相对，直插直拔，切记不可旋转；**



3.6.2.2 开机预热

预热 15~20mins，在此过程中，可以做一些仪器的简单检查，见温馨提示中的“日常检查内容之预热期间检查”。预热后继续做“日常检查之预热后检查”工作。

3.6.2.3 化学药品管的正确位置

两个原则：

- 1) 利用缓冲瓶保证进气稳定的非控制 CO₂ 环境试验，两个化学药品管均在完全 Bypass 位置；
- 2) 使用 CO₂ 注入系统来给系统提供 CO₂ 气体，则苏打管在完全 Scrub，干燥管应在完全 Bypass；

3.6.2.4 新建一个文件名或打开已有文件名的操作

新建文件名步骤：在主菜单界面(图 A)进入 f4 (New Msmnts)，界面如图 B；按 f1 (Open LogFile)，定义一个文件名，如输入 test，如图 C，文件名可以保存到当面默认的 User 下，也可以通过按 f1 (Dir) 重新定义路径（如图 D），按上箭头选中 Flash，将文件保存到 Flash（主机箱后槽安装有 CF 卡时）下。无论保存在 User 下还是 Flash 下，回车，完成此步骤，界面如图 E，出现添加或编辑一个 Remark 的提示，输入需要进一步提示的内容，也可以不输直接回车，完成文件名的新建，界面进入准备测量界面，如图 F。

图 A

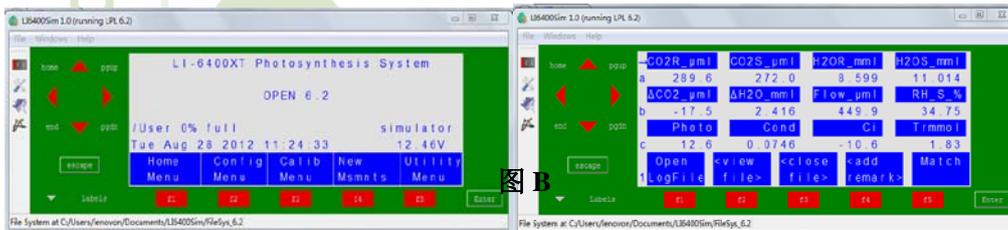


图 B

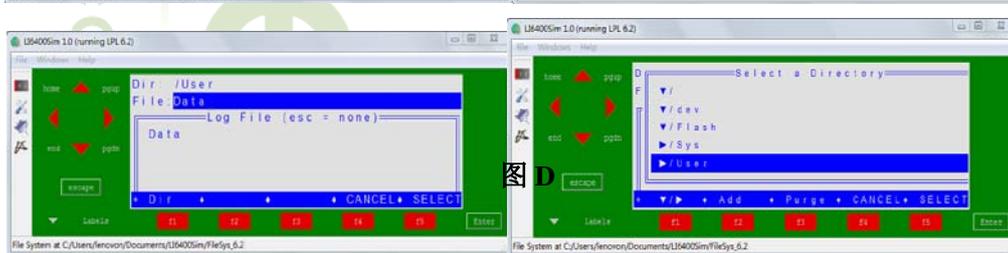


图 C

图 D

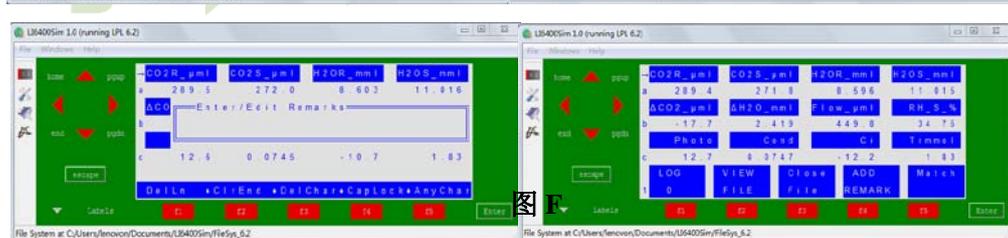
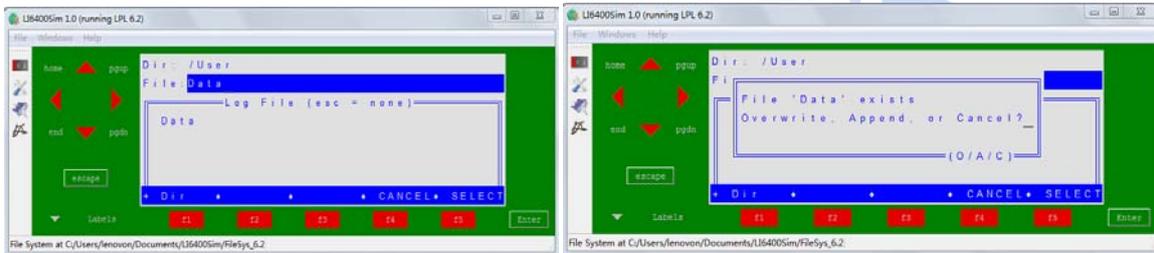


图 E

图 F

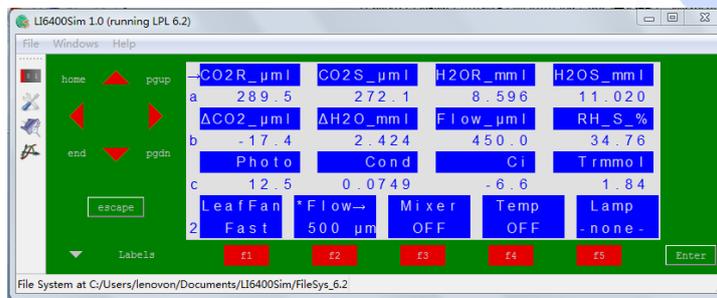
打开已有文件名:

对于一个已经存在的文件名，可以在 OpenLogFile 下直接用下箭头查找，确定，如下左图所示，直接选中 Data，回车，界面出现如下右图所示的提示，提醒用户，此文件名已经存在，有三种选择，O、A、C；O 为 Overwrite，即将此文件名下以前记录的数据全部覆盖掉，全部丢失，一般不选择；A 为 Append，即追加，即在该文件名下已有的数据后面继续追加新的数据记录，这是最常用的选择；C 为 Cancel，即取消使用这个文件名，重新建立一个文件名。

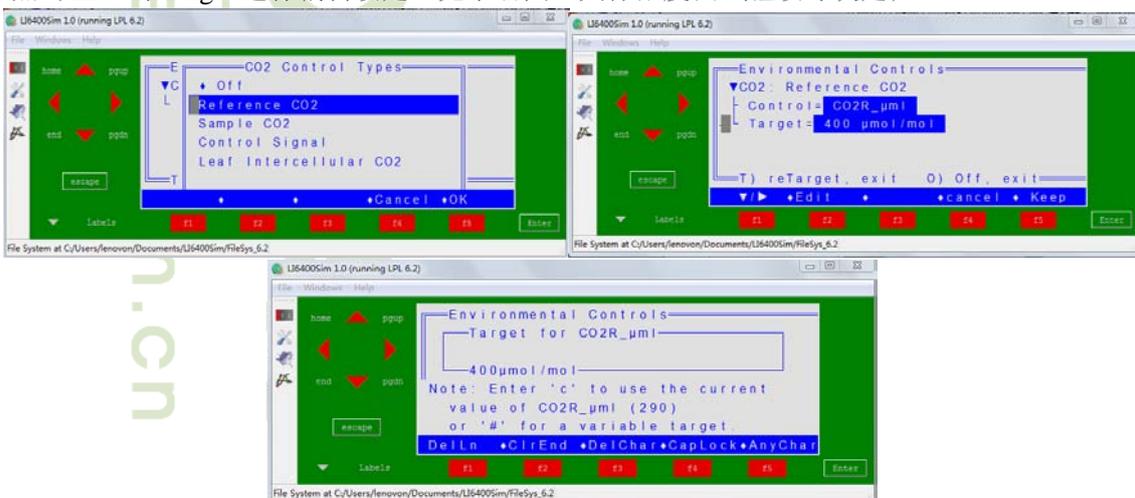


3.6.2.5 环境控制功能行的设定

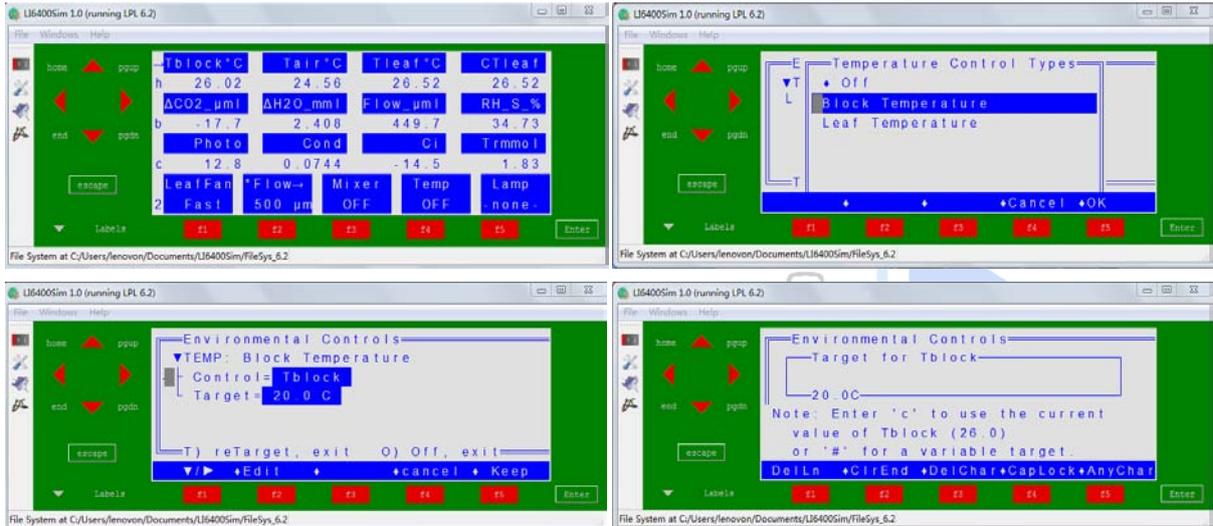
根据用户自己的试验设计，来确定相应的设置，主要是针对第二功能行的设定，如下图：



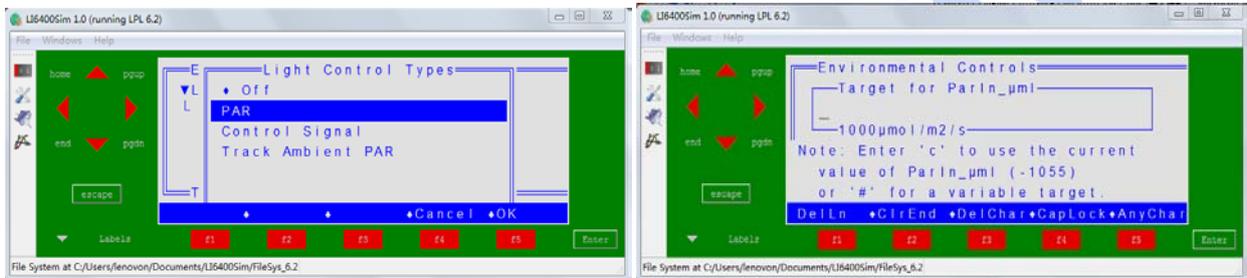
- 1) LeafFan 通常默认为 Fast 状态，即保持叶室混合扇快速转动；
- 2) Flow 一般为 500，只有遇到小叶片或低光合速率的测量时，可以将 Flow 调低到 200 以上；
- 3) Mixer 的状态，取决于是否使用注入系统，如果没有使用注入系统，则 Mixer 保持 off 状态；如果使用，则根据实验设定 CO₂ 浓度，如下左图所示，可以控制参照室 R 的 CO₂ 浓度，也可以是控制样品室 S 的 CO₂ 浓度；点击 Edit 对 Target 进行编辑设定，见下右图，具体浓度由试验设计决定；



- 4) Temp, 一般为 OFF 状态，只有做控温试验时才进行设定，但是控温之前一定要首先查看参数行 h 的值，如下左图，了解当前测定环境的温度，在不使用 6400-88 控温模块时，LI-6400XT 可控制环境温度的正负 6 度以内。两种温度控制设置，如下右图，一般控制 Block 的温度。Edit 后 Keep，通常情况下，亦可设置控制 Temp 为环境温度，避免叶室温度升高的变化。



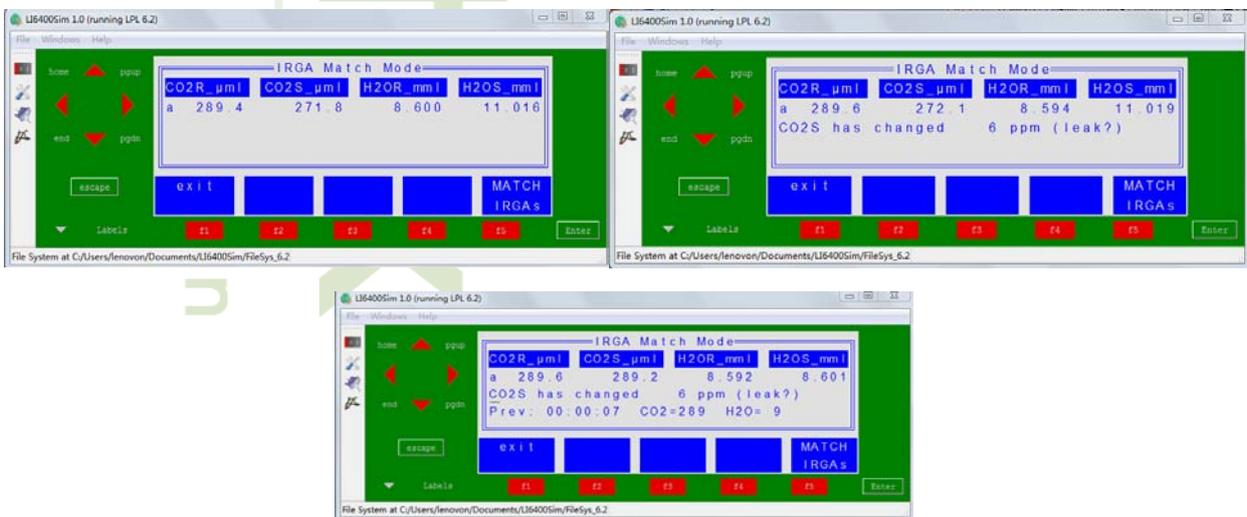
5) Lamp, 只有使用光源, 并进入相应的配置文件时才有效。在功能行 2, f5 下, lamp 默认为 Off, 根据试验设定, 进行控光, 按下箭头选中 **PAR**, 选中 OK 后对 Target 进行光强设定。



3.6.2.6 夹入叶片, 确保进气浓度稳定, 且不漏气, 进行匹配

注意: 进气 CO₂ 浓度 (CO₂R) 必须稳定, 缓冲瓶越大越好; 在仪器不漏气的情况下 (CO₂S 稳定), 无论夹叶片或未夹叶片, 任何时候均可进行匹配 match, 测量过程中, 应经常匹配。匹配时, 按下 1 功能行的 f5, 界面如下图依次所示:

match 第一界面, 气路改变, F5 变为 match IRGAs, 继续按 F5 后见到第二界面, 提示是否漏气, 只要 CO₂ 浓度改变 3 μmolmol⁻¹ 以上均会出现提示, 但多为假报警, 继续按下 f5(match IRGAs), 进行匹配; 则实现 CO₂R 和 CO₂S 相等, 完成匹配; 按两次 Esc 退出匹配界面即可。

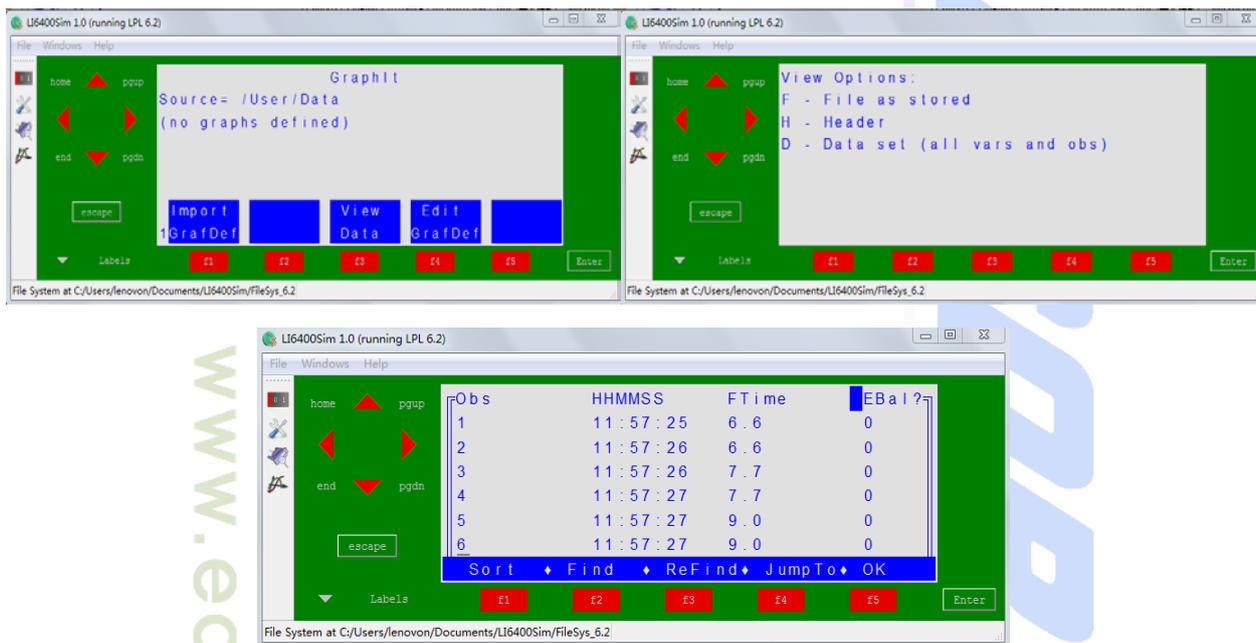


3.6.2.7 等待数据稳定后，按功能行 1 的 f1 (Log) 记录数据

判断标准：前提是进气浓度稳定，不漏气；参数行 c 行的 Cond、Ci、Tr 均为正值，且 Cond 多数在 0 到 1 之间；其次，查看 B 行 ΔCO_2 的变化幅度稳定在 0.5ppm 之内，Photo 值稳定在小数点后一位，且不再向一个方向一直增加或降低，即为稳定。记数后，一次测定完成，更换被测叶片，Remark 可输可不输，方法依上，继续测量其他叶片。

3.6.2.8 查看数据（不是必须要进行的步骤）

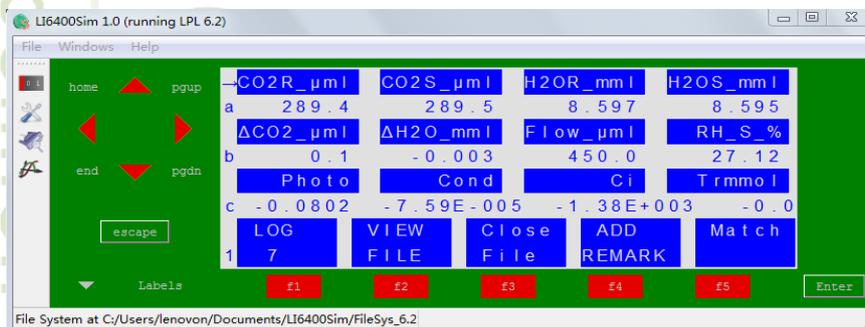
在功能行 1 的 f2 为查看数据控制区，按下 f2，如下左图，再按 f3 (View Data)，出现下右图所示界面，以 D 这种格式的数据为成列排列，按字母 D，查看数据。



按住 shift 键和右键头，可以快速查看各列数据。

3.6.2.9 测定完成关闭文件，或同一文件名下继续添加 Remark，进行测定

如果完成了测定，直接按功能行 1 的 f3 (CloseFile)，关闭文件，结束本次测量，并保存了数据，见下图；如果想继续在同一文件名下添加 Remark，则按功能行 1 的 f4 (Add Remark)，继续添加一个标注，开始新一轮的测定，最后再关闭文件。



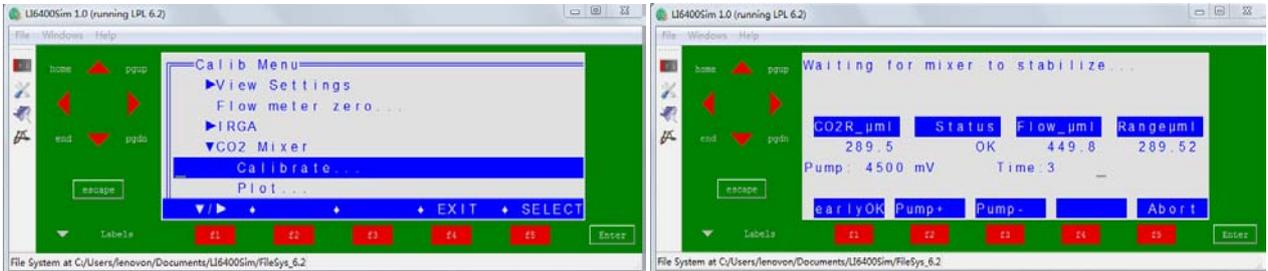
3.6.3 自动测量程序（可能需要考虑 CO2mixer 注入系统校准）

使用自动测量程序，一般需要用到红蓝光源和 CO₂ 注入系统，前者控制光强，后者控制 CO₂ 浓度，光照强度和 CO₂ 浓度均为影响光合作用最主要的两大因素，只有有效控制这两个因素，才能做出好的响应曲

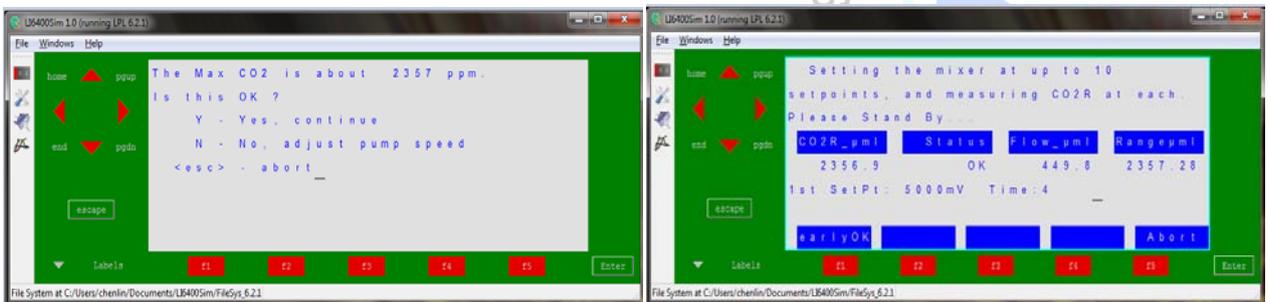
线。红蓝光源的硬件安装和程序配置，请见 3.3.1 的内容介绍。

使用 CO₂ 注入系统，在硬件安装好之后，正确校准注入系统方法：

首先安装 CO₂ 钢瓶打开注入系统，控制一个环境浓度，通气 1~2 分钟即可，然后，进入 Calib Menu，如下左图，选择 CO₂ Mixer 下的 Calibrate，回车，按 Y，出现界面如下右图。



之后的工作就是等待系统自动完成。首先要使 CO₂R 值达到最高浓度，只要上到 2000 以上，就是 OK 的，按 Y 继续，如下左图。仪器会自动做八点校准，用八个电压值标定八个 CO₂ 浓度，如下右图。



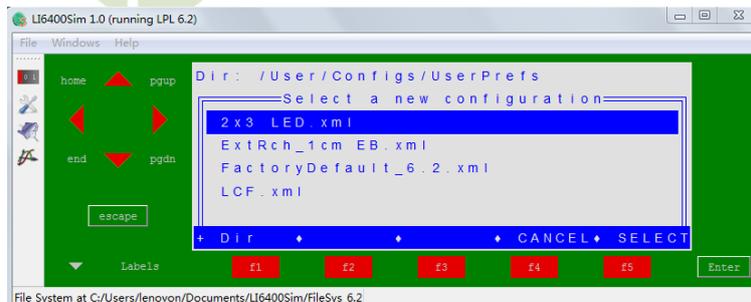
八点校准完成后，如下左图，按 Y 做一个图 plot，如果图形如下右图显示，则是 OK 的，按 Esc 退出。



退出后，系统会提示要不要保存这次的校准结果，按 Y 将此校准结果应用，完成校准并保存。

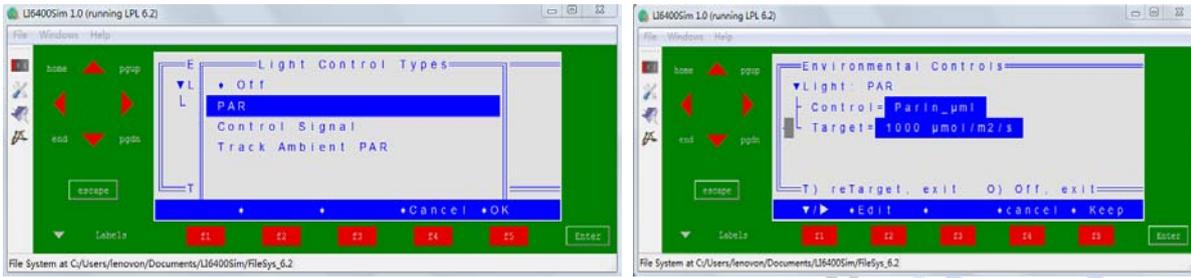
3.6.3.1 光响应曲线测定

1) 首先安装红蓝光源，然后在开机时进入红蓝光源的配置文件，如下图：

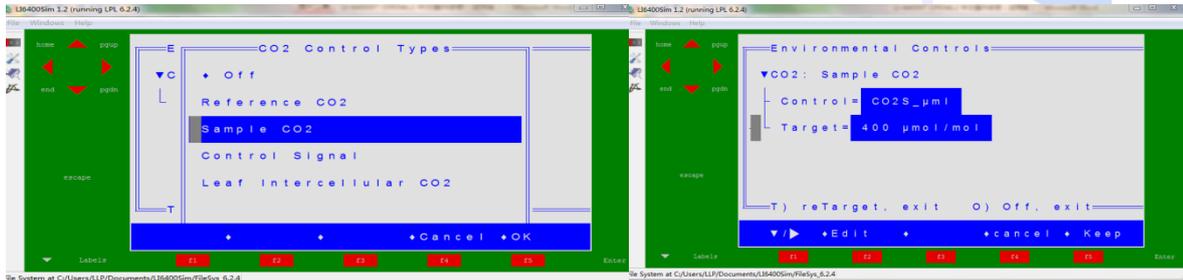


2) 观察试验地光照条件，确定在做响应曲线之前是否要进行光诱导，在测量菜单第 2 功能行的 f5, 选 PAR，如下图左，在 Target 点 Edit 设定相应的光强，如下图右，打开光源，然后将叶片夹入已打开光源的叶室。

如果外界光强很好，不需要诱导，则在夹叶片之前也一定要先打开光源，设定成光强梯度的第一个点，即最高光强，闭合叶室不漏气，准备测量。

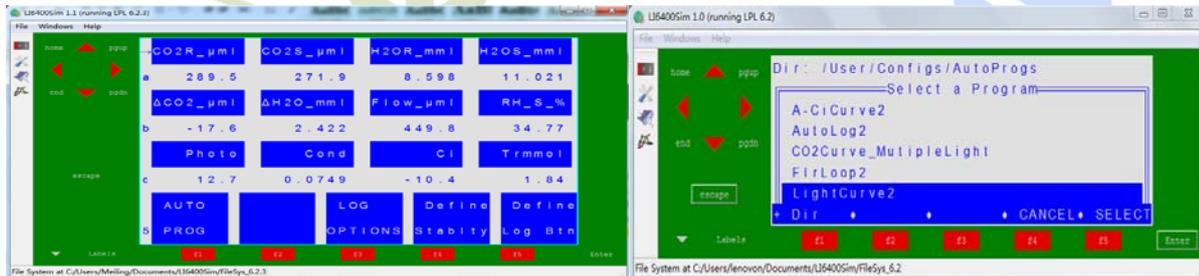


测定光响应曲线时，在有条件的情况下最好使用 CO₂ 注入系统控制 CO₂S 的浓度（如控制在 400µmolmol⁻¹），如下图，这样曲线做出来的效果较好。

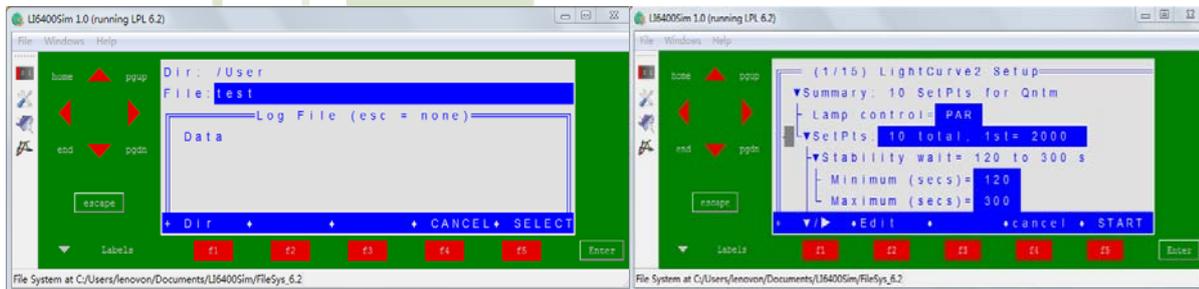


3) 设定光强梯度

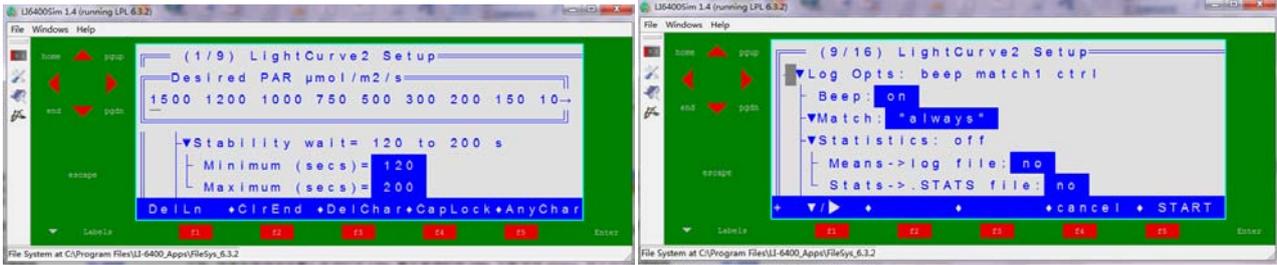
进入测量菜单下的第 5 功能行的 f1 (Auto Prog)，摁 light curve2，回车，如下图。



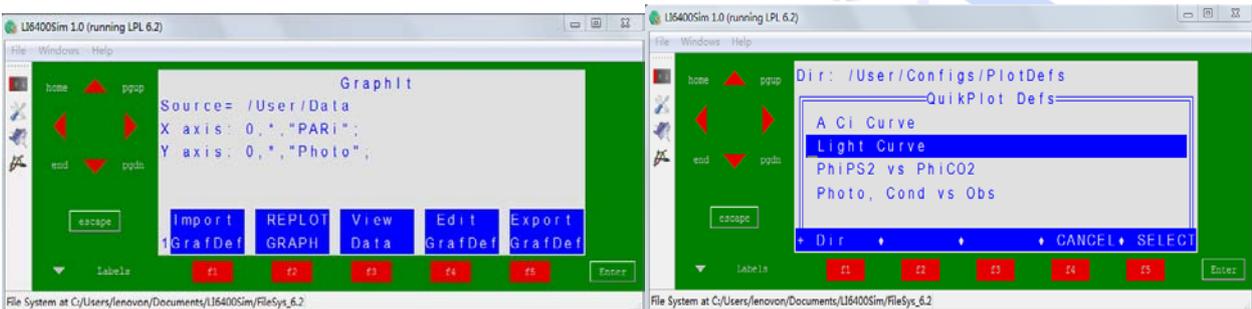
然后系统会自动提示建立一个新文件名，如下图，命名为 test，再加一个标注 remark，然后出现设置页面，将光标指向 summary 行，回车拉开里面的内容，确认 lamp control=PAR，不是就回车切换到 PAR，然后选择 SetPts 行，回车。



在该页面设置光强梯度，按 home 按钮查看所有梯度，或按 F1 (DelLn) 整行删除，自行修改梯度：从高到底设定光强梯度，最小值为 0，如：2000 1500 1200 1000 750 500 250 150 10060 20 0，注意梯度之间加一个空格。回车后继续设定最小等待时间 120s、最大等待时间 200s，匹配选择 always，其余保持默认状态即可。如下几个图，点击 Start，则曲线自动开始进行测定。



在曲线测定过程中，可以通过功能行 1 的 f2 (view file) 下的 f1 (ImportGrafDef) 中，找到 light curve，回车，即可看到目前根据所测的几个点的光响应曲线散点图，**但要注意：看图之后，尽快退出该界面进入测量菜单界面，否则程序无法进行下一个点的测量。**

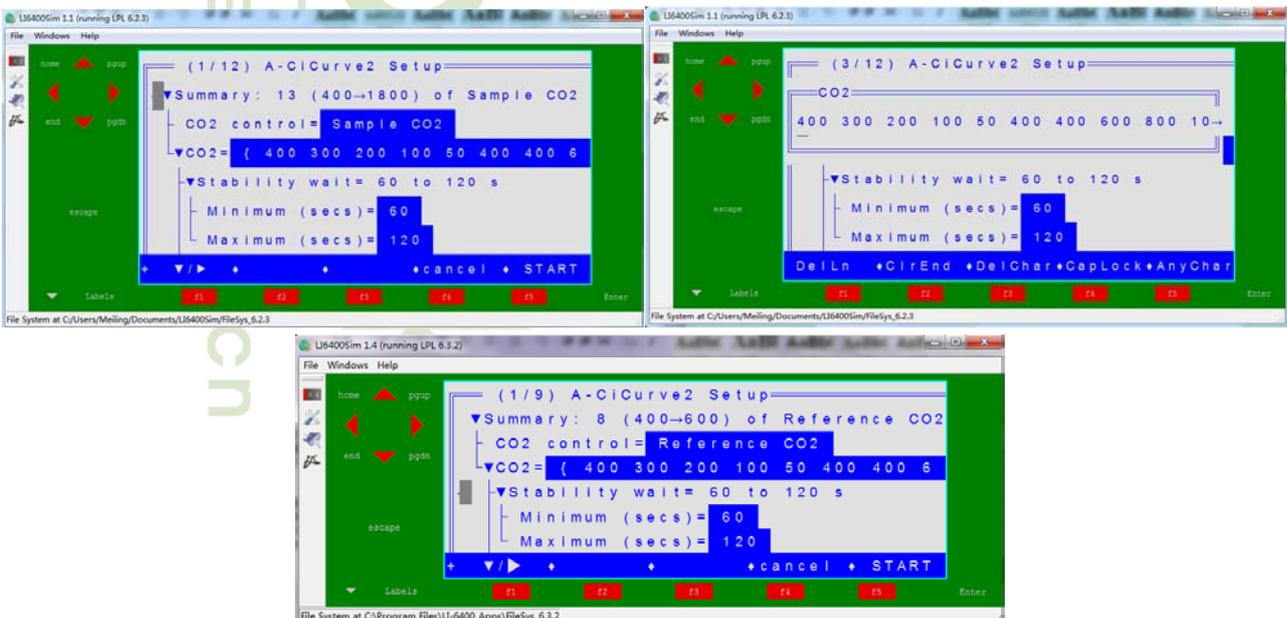


测定完成后（功能行左上角的*号消失），关闭文件（colse file）即可。

3.6.3.2 CO₂ 响应曲线测定

测定 CO₂ 响应曲线时，要使用红蓝光源控制光强（具体光照强度的设定有两种情况，一种是按用户的试验来设定；一种是设定该植物的饱和光强，如控制在 1200 μmolmol^{-1} ），注入系统先校准。

测定前判断是否需要诱导，同章节 ii.i. 将叶片夹入叶室之前先打开光源，控制 CO₂S 浓度为 400ppm。然后在第 5 功能行，进入 f1 (AutoProg)，摁 f1 Aci Curve，回车，**其余步骤同光响应曲线。在此只需注意 CO₂ 浓度梯度采用先降后升，如 400 300 200 100 50 400 400 600 800 1000 1200 1500 1800 2000 等。**

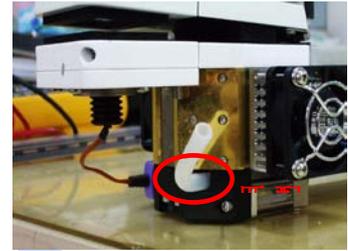


四、荧光叶室（6400-40）的使用

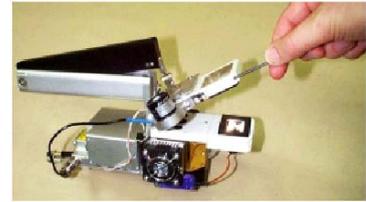
4.1 更换荧光叶室

- 1) 将叶温热电偶的紫色插头拔开，如下左图；
- 2) 拔开匹配阀接口，如右图；
- 3) 用镊子拔下光量子传感器接线，如图。

- 4) 如果使用红蓝光源，需要拔下红蓝光源的黑色接头，如右图。

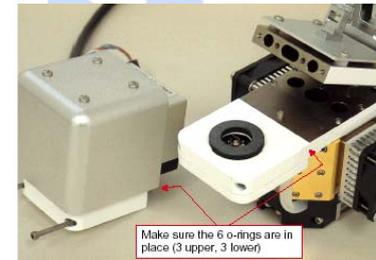


- 5) 去除 IRGA 分析器头部的上部和下部叶室：利用 LI-6400 和 LCF 工具包中的 3/32”内六角扳手将固定上部和下部叶室的长螺丝拆除。断开连接叶室上部的光照探头和叶室下部的叶片温度探头，如右图。



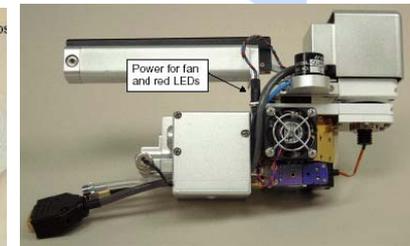
- 6) 连接 LCF 叶室的下部和上部

上下叶室连接处均有 3 个 O 形圈，一定要放置好，并且将其连接到 IRGA 分析器头部（如右图），接着安装叶温热电偶和匹配阀接口。



- 7) 荧光光源连接线

将 15 针的 LCF 连接器与它的 cable 相连接，将这个 cable 另一端的 37 针连接器插入到 LI-6400XT 的操作平台上。这根电缆线可以通过捆绑带与其他连接线固定在一起，也可以穿入原连接线的保护网中，如下图所示。



4.2 加载荧光叶室配置文件

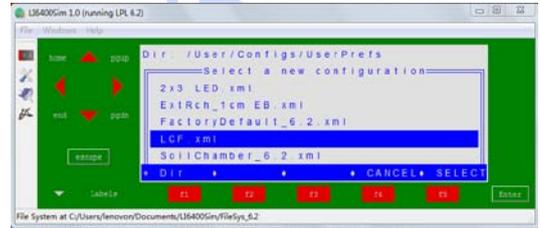
在 Config menu 下的“New...”中找到“Light sources”下的“6400-40 Fluorometer”，select，选择荧光叶室作为荧光光源为 Fluorometer，选择叶片类型和温度测量方式，如下图。更改方式将光标移动到该行点击 Edit。点击 Dolt 出现右侧图片的内容，然后按 N，新建一个配置文件，命名为“LCF”。



4.3 荧光叶室光源（活化光）的校准

在使用荧光叶室前，尤其是首次安装使用，要对活化光光源做校准。具体表现为：控制 Actinic 光强时，控制光强与 ParIn 的读数不吻合。遇到这种情况，首先关闭光源，看 ParIn 读数是否正常，为 0；如果不为 0，先对 ParIn 做校准；然后再试；如果控光强度仍然和 ParIn 不吻合，建议做活化光的校准。校准步骤如下：

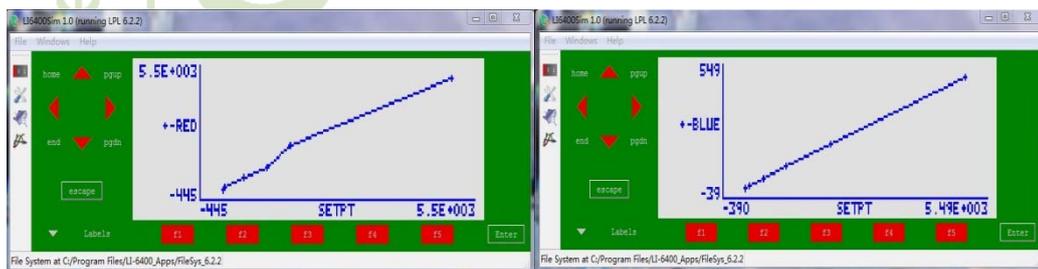
- 1) 开机，进入荧光叶室配置文件，如 LCF；
- 2) 在主界面下进入 f3, Calib Menu；找到 LCF Source，回车；按 f1，显示出树形结构中的具体信息，找到 Calibrate，回车；



- 3) 回车后开始自动校准，直到出现提示是否看图；



- 4) 按 Y，看校准图，分别是红光和蓝光的校准图；正常图形为下图所示：



- 5) 看完图，按 ESC，退出，按 Y，保存校准。完成。



4.4 荧光叶室的功能行与参数

见章节 3.6.1 的表 3 和表 4.

4.5 几种常用荧光测定试验

4.5.1 实验一：光化学效率的测量 Fv/Fm

实验准备：需要植物叶片完全的暗适应。一般而言，30 分钟左右的遮光处理（传统的方法一般采用锡箔纸来包裹植物叶片）是足够的，但是最好的情况是暗适应一个晚上，在凌晨破晓前测量。

测量过程：

- 硬件连接好后开机，选择“LCF”叶室配置文件，回车启动系统。
- 把叶片夹入叶室，关闭。
- 荧光参数设置：进入测量菜单第 8 行 F2 “Flr Editor”，将菜单拉下来，选择其中的“Measure”，修改其中的测量强度，频率等，如下表设置；采用同样的方法依次修改“Flash”。然后按 F5 (done) 完成设置。
- 设置的保存：按 esc 退到主菜单，按 F2 config menu，进入，选择 save as，回车，再回车，完成。



Measurements	Intensity 强度设定	3
	Rate 调制频率设定	0.25KHz
	Filter 信号平均频率	1
	Gain 放大倍数	10
FlashType= multiphase	Ramp 下降幅度	30%
	Phase1, 2, 3 三阶段	均为 300ms
	Target 强度设定	8 或其他（据植物而定）
	Rate 调制频率设定	20KHz
	Filter 信号平均频率	50 Hz
	Auto save	No

- 开始测量：进入测量菜单，按“1, F1”起文件名，添加 remark 等。按字母“N”，把 N 行变量显示在屏幕上，等待变量 dF/dT 稳定后（±10 以内即可）。按数字 0 把菜单翻到 0 行，按 F3 “Do FoFm” 来测量，按字母“O”来显示“Fo”“Fm”“Fv/Fm”的实际测量值，这时测量已经结束，数据已自动记录到您起的文件名中，关闭文件。
- 重复测量：因为不同植株、不同叶片、叶片的不同位置之间均存在个体差异，这是自然现象，并非仪器造成的，所以要想实验结果有代表性，重复是必须的。一般而言，严格按统计学需要几十次重复。但考虑到实际样品量和工作量，具体重复数量可以调整。重复多的数据代表性好，更有说服力。
- 数据处理：通过方差分析来确定处理内差异和处理间差异，以比较说明不同处理之间的差异是否显著（请参考生物统计学相关书籍）。

4.5.2 实验二：研究 PS II 的效率，PhiPS2, ETR

实验准备：已经光照活化的植物样品。在自然光条件下或于叶室内，叶室内活化光强度设置成与外界条件相同，活化时间不等，一般至少需要 30 分钟，具体时间长度取决于植物和光强差。

测量过程：

- 硬件连接好后开机，选择“LCF”叶室配置文件，回车，启动系统。
- 按 2, F5 设置和外界实际光强一致或您想要模拟的光强值，并打开光源（或者 8,F3 和 9,F4 来设置光强，打开光强）。把叶片夹入叶室，关闭。
- 按字母“N”，把 N 行变量显示在屏幕上，等待变量 dF/dT 稳定后 (± 10 以内)，对于设置光强与外界条件不一致的情况需要较长的时间)。按 0, F4 (Do FsFm'Fo') 来测量，按字母“Q”来显示“PhiPS2”和“ETR”的实际测量值，这时测量已经结束，数据已自动记录到您起的文件名中，关闭文件。
- 接下来是重复测量和数据处理的问题了（同实验一中该部分的介绍）

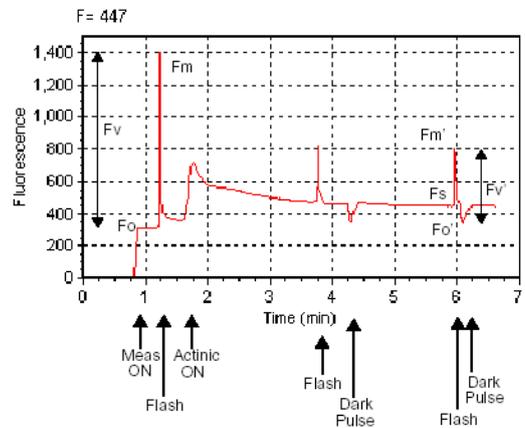
4.5.3 试验三：荧光淬灭测量

实验准备：

植物叶片暗适应，测量完 F_0 、 F_m 后，需要打开活化光对同一叶片进行光活化，再测量 F_s 、 F_m' 和 F_0' 。LI-6400XT 将进一步完成 qP 、 qN 和 NPQ 的计算。右图为淬灭参数的测量过程（右图仅为示意图）

测量过程：

- 选择“LCF”叶室配置文件后，启动系统。
- 把叶片夹入叶室，关闭。
- 按字母“N”，把 N 行变量显示在屏幕上，等待变量 dF/dT 稳定后 (± 10 以内)。按数字 0 把菜单翻到 0 行，按 F3“Do FoFm”测量。
- 按 2, F5 选择“PAR”把活化光设置为您期望研究的光强水平或目前外界的实际光强，并打开光源进行活化。等待 N 行中 dF/dT 显示稳定 (小于 ± 10) 后（提前活化好的叶片，会较快稳定，否则需要进行光适应 20 分钟以上），按数字“0”，按“F4”“Do Fs Fm'Fo'”来测量。这时可以按字母“Q”来查看“ qP ”、“ qN ”（数值范围在 0-1 之间）的值了。
- V 行为 NPQ 值，如果没有该值，可以按数字 6 进入屏幕编辑器菜单。按“F4”后，按下箭头找到 V 行（空白），按 F1 Edit，再按 F2 Add，按下箭头键找到“4221: NPQ”，回车，按 F5 OK，再按 F5 OK。回到主菜单，进入“Config Menu”，选“Save as”两次回车，完成。其实不管主机屏幕上有无显示 NPQ ，它都会保存在我们的数据文件中的。
- 接下来是重复测量和处理的问题了（同实验一中该部分的介绍）。



注意：这样进行的淬灭测量，是用叶室夹着同一片叶子完成暗适应测量和光适应测量，所需时间较长。缺点是每一个样本都需要单独活化，如果测量的样品很多，这一过程需要花费大量时间。可以考虑对需要测量的样品（全部做标记）一起暗适应后测量 F_0 、 F_m 后，把所有叶片放在自然光或卤素灯下活化后，再逐一测量其 F_s 、 F_m' 、 F_0' 值，再根据公式进一步计算 qN 、 NPQ ，具体见 ii. ii 章节的说明（此处为作者自己理解，请谨慎参考）。

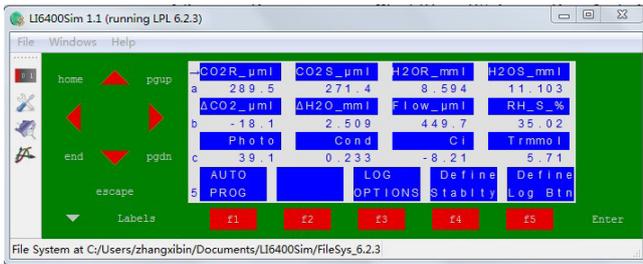
4.5.4 实验四：荧光光响应曲线测量步骤

1、环境设置和 LCF 设置：LCF 的设置—参照荧光实验一。

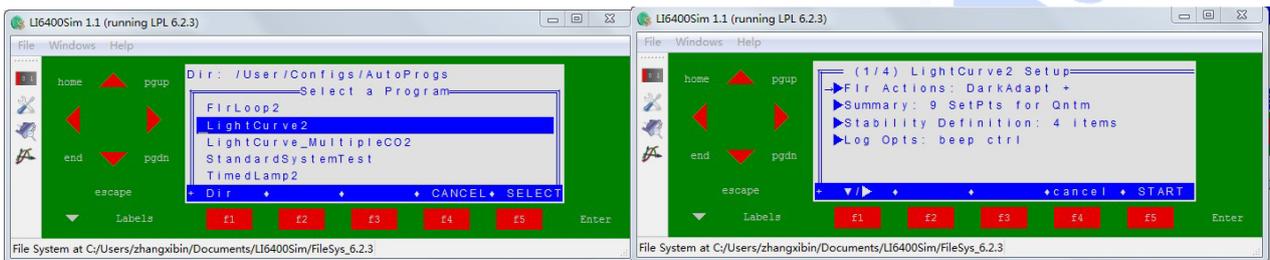
完成仪器的日常检查；植物为光适应状态；提前打开光源(2, F5)，夹好叶片，关闭叶室，确保不漏气；
 CO₂—设定样品室 CO₂ 浓度，如 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 或具体实验要求浓度（建议控制 CO₂ 浓度）；
 Humidity/Flow—流速 300 $\mu\text{mol s}^{-1}$ 或根据具体情况调整；干燥剂管完全 bypass 或根据实验要求调整；
 Temperature—根据实验要求确定是否控制温度，如果控制，建议控制 Tblock 为所要控制的温度。

2、设置自动程序

1) 在测量菜单下，第 5 功能行 f1 (AUTOPROG)



2) 选中 LightCurve2 回车，建立好记录文件和 Remark，进入自动程序界面；



3) 按 F1 下拉菜单，依次将界面上的 Flr Action 和 Summary 里的设置都打开，如下图：如果提前测定了暗呼吸速率和 Fo、Fm，则输入正确值，如果没有可以选择默认值，设置完成后，按 f5 (START) 运行程序。

Match before log = "always"

Summary 下的光强梯度根据实验设计，从高低到设定强度，上图举例是从 2000 到 200，共设定了 7 个点，用户可根据自己的实验改变梯度，类似前面介绍光响应曲线的光强梯度设定。

注：在设定完毕，运行此程序前，可选择将此次设定保存，以便下次直接调用。方法如下：按 Labels，翻页到 F2 变成 Save as，按 F2 保存，并对其进行命名，下次可直接在 AUTOPROG 中选用这个名称。

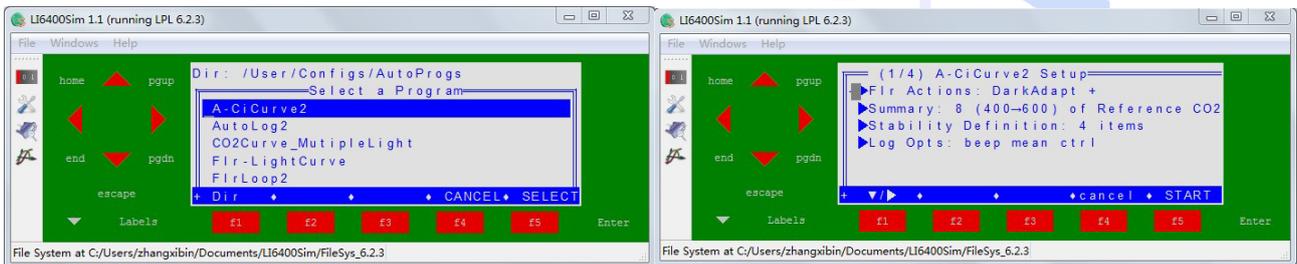
4.5.5 实验五：荧光 CO₂ 曲线测量步骤

1、前期准备

- 1) 植物材料最好提前充分光适应。
- 2) 开机，选择 LCF 配置文件，对仪器进行日常检查（参照说明书），安装好钢瓶，并对其进行校准，见章节 3.6.3。校准完成后，将 CO₂S 设定为 400 μmol mol⁻¹；活化光设定为该植物材料的饱和光强。
- 3) 可将已经光适应充分的植物材料置于叶室之中；如果没有提前光适应，则需要在启动测量前进行至少 30min 的光诱导（光诱导时间是植物材料的不同而不同，短则 20min 以内,长则 1 小时以上）。

2、自动程序的选择和设定

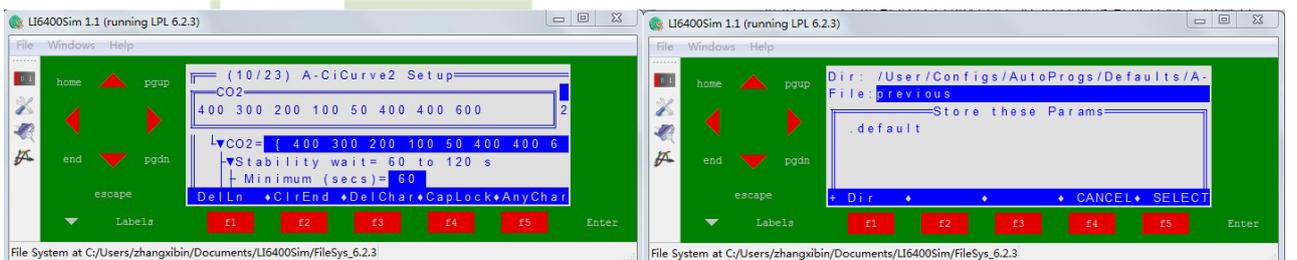
- 1) 在测量菜单下，第 5 功能行按 f1(AUTO PROG)
- 2) 选中 A-CiCurve2，回车，根据提示建立好记录文件和 Remark



- 3) 将闪动的箭头置于 F1r Actions 位置，然后按 f1 将其展开；Dark adapt before starting 设为 no；如果之前做过暗适应测量，此时可以手动输入暗呼吸速率 Dark photo rate，以及 Fo, Fm 这些值，有了 Fm 可以得到 NPQ、qN 的 CO₂ 响应曲线；
- 4) 向下移动箭头，分别将 Save each flash、Save each dark pulse、F1r Reacording 这三项可以选择 Yes，也可以均设定为 NO。
- 5) 再将箭头移至 Summary，回车，将箭头移至 CO₂ control，回车，选中 Sample CO₂，回车。



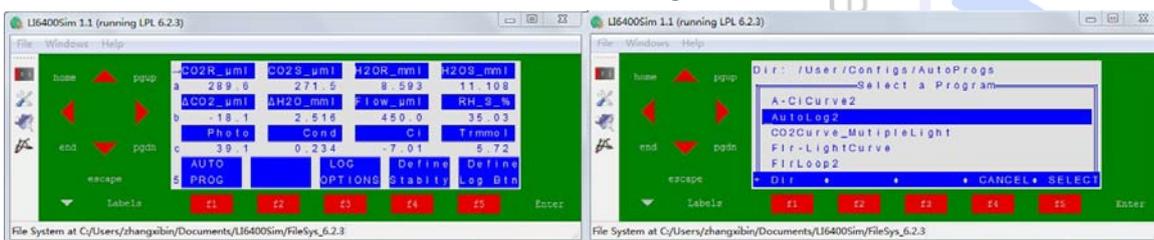
- 6) 将箭头移至 CO₂={.....} 回车，进行 CO₂ 浓度梯度设置，如下，设置原则参照光合 CO₂ 响应曲线。浓度梯度先降-恢复-后升；Match before log 设为“always”。Log 选择 “Log w/Fs Fm’”。完成设定，按 F5 (Start) 运行程序；或者也可选择将上述设置进行保存：按 Label 键，F2 变为 Save As，按下，对其进行命名保存，以便下次直接调用，如下右图。



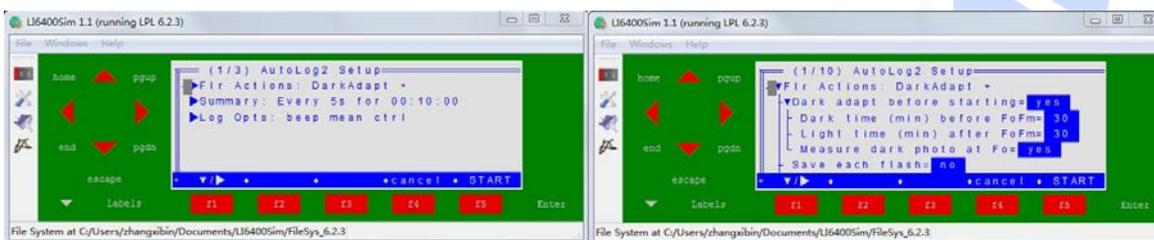
说明：如果需要获得 NPQ 随 Ci 的变化数据，则需要提前测量一个完全暗适应的 Fm，用该 Fm 数值与不同 Ci 值下获得的 Fm’去计算 NPQ 在整个过程中的变化情况。

4.5.6 实验六：荧光诱导动力学曲线设定、测量步骤及数据处理

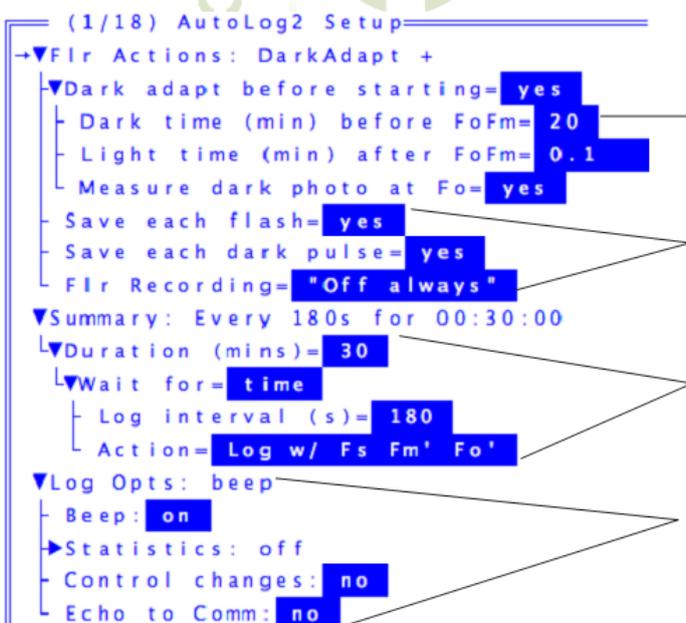
- 1、植物预先充分暗适应（最好是过夜，但至少也得暗适应 30min 以上）；
- 2、环境因素控制：CO₂—以大气中浓度为控制原则（400 μmol mol⁻¹），特殊设置除外；
Light—以具体实验要求为准设定 Actinic 光强；
Flow—300 μmol s⁻¹ 或根据具体情况调整；
- 3、LCF 设置，参照实验一。
- 4、夹上已经充分暗适应的植物材料，打开测量光，检测 F 值直至稳定（dF/dt 在 ±10 以内）。
- 5、启动自动程序“AutoLog2”
 - 1) 在测量菜单下，第 5 功能行按 F1，选中 AutoLog2，回车，设置好文件名和 Remark；



2) 进入自动程序设置界面，如下



3) 点击 f1，展开 F1r Actions 功能选项，如下：



如果已经暗适应过,该时间可设为 0.1

设置为 Yes, Yes, ON always

根据需要设置诱导时间和记录间隔

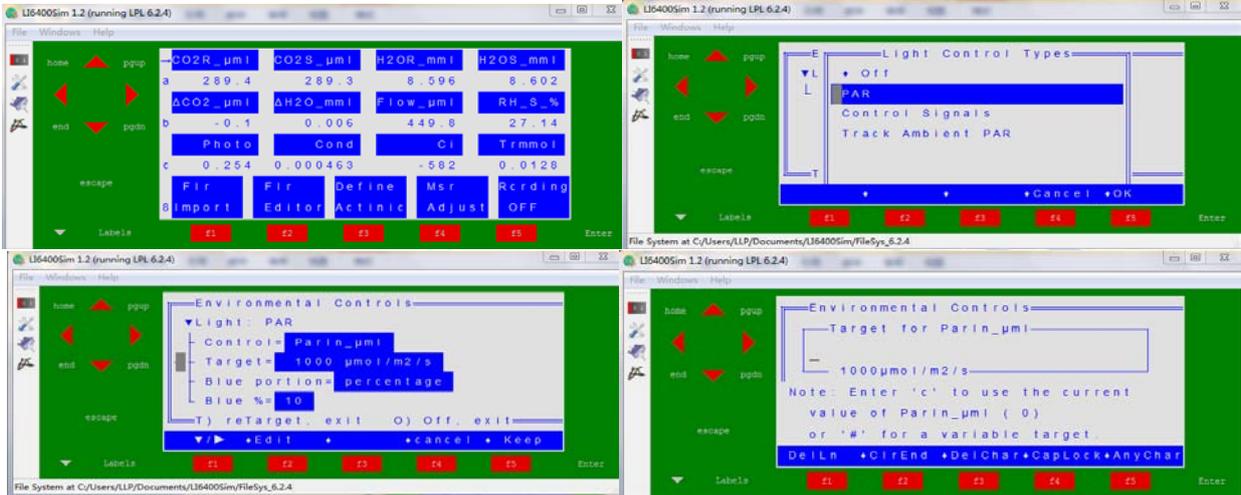
记录选项, 依个人喜好而定

3) 设置完成后，点击 f5(start)。如果想保存设置，则在按 Start 之前，按 Lables 翻页，找到 save as，起一个名称，例如 F1r kinetic，等等，以后直接调用。

4.5.7 实验七：暗弛豫动力学曲线设定、测量步骤及数据处理

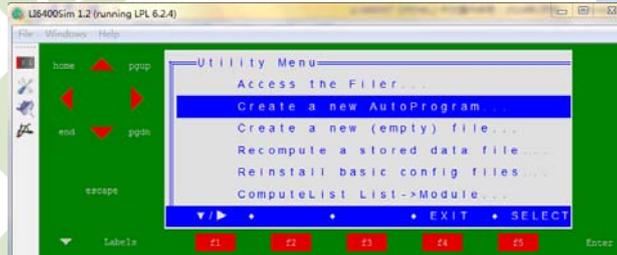
1、准备工作：

- 1) 植物预先充分暗适应，可以节约 30 分钟；
- 2) 提前在测量菜单下第 8 功能行 F3 (Define Actinic)，设定活化光 Actinic 的强度（见下图），根据自己的实验进行设定，例如：计划设定 PAR 为 $1000\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ，选择 PAR），回车，输入 1000，回车。

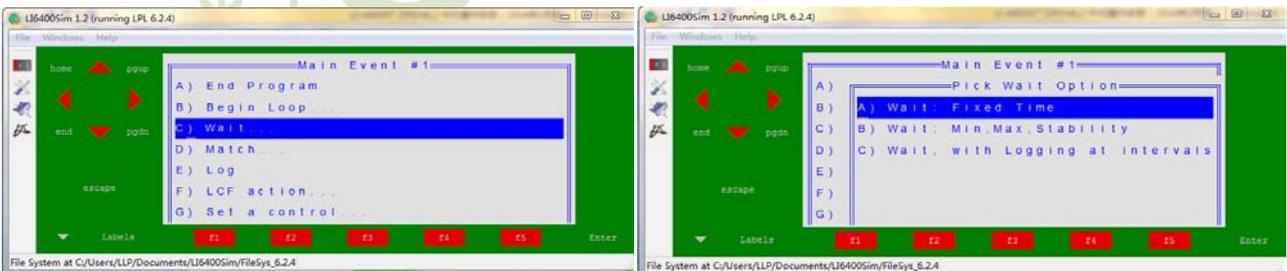


2、自动程序设定：

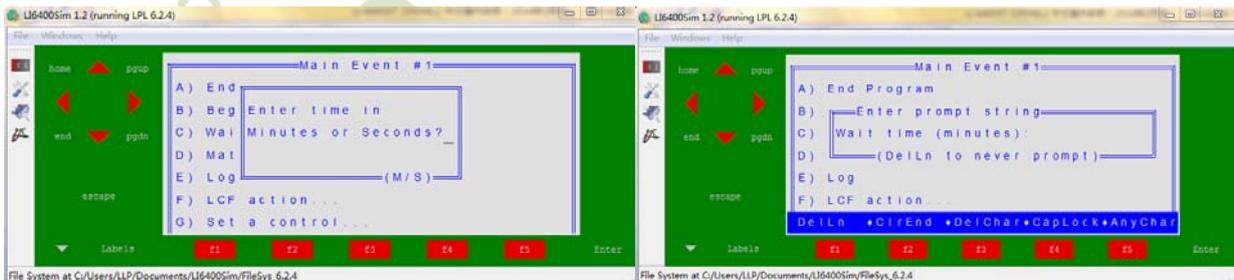
- 1) 在主界面，按 F5 (Utility Menu) 进入用户菜单，按 F1 拉开菜单，选择 Create a new Autoprogram, enter。



- 2) 在以下界面，按下箭头选中 Wait..., 回车；选中 A) Wait: Fixed Time, 回车。

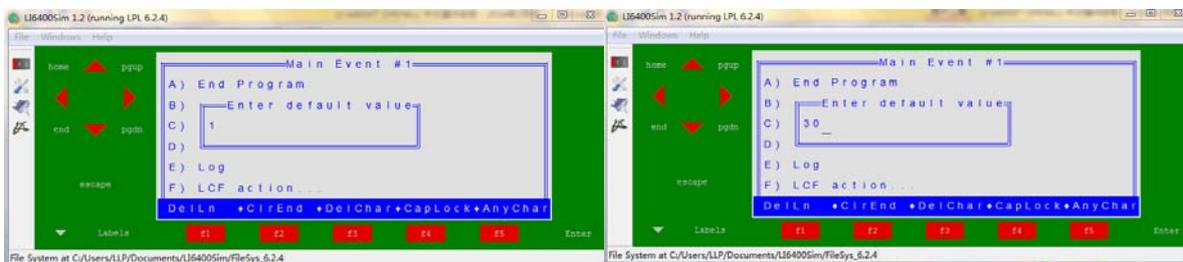


按字母 M，选择分钟为设置时间的单位，出现下右图的提示，直接回车。

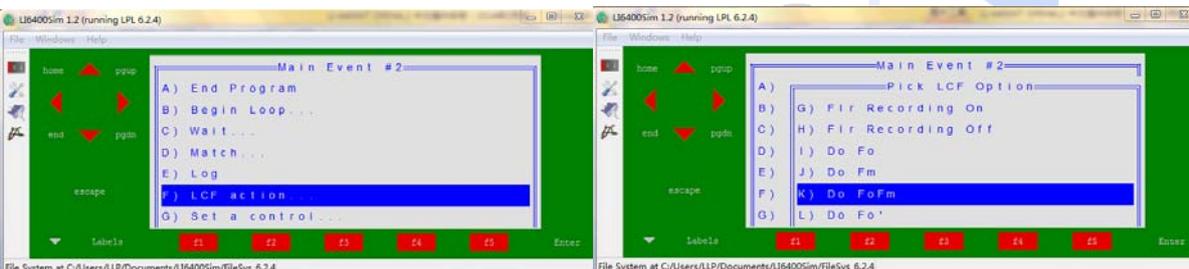


出现以下对话框，表示需要输入等待的时间，这个时间是针对测定暗适应参数 F_0 和 F_m 前的等待时间，

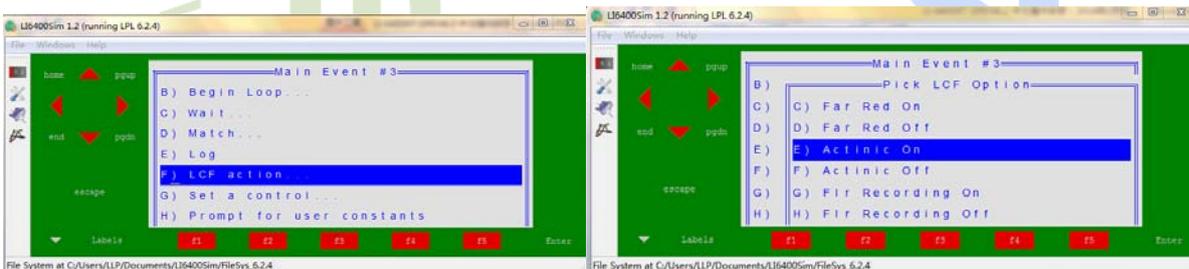
如果叶片是提前进行了充分暗适应，则输入 1，回车，表示测定前先等待 1 分钟，如下左图；如果叶片没有经过提前暗适应处理，则输入 30，回车，表示测定暗适应参数前等待 30 分钟，即进行 30 分钟的暗适应处理，再测定参数。



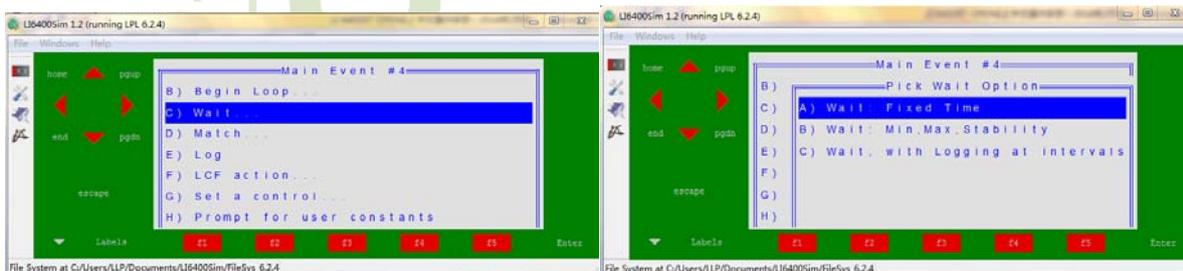
3) 在以下界面，按下箭头选中 LCF Action..., 回车；按下箭头直到选中 K) Do FoFm, 回车。



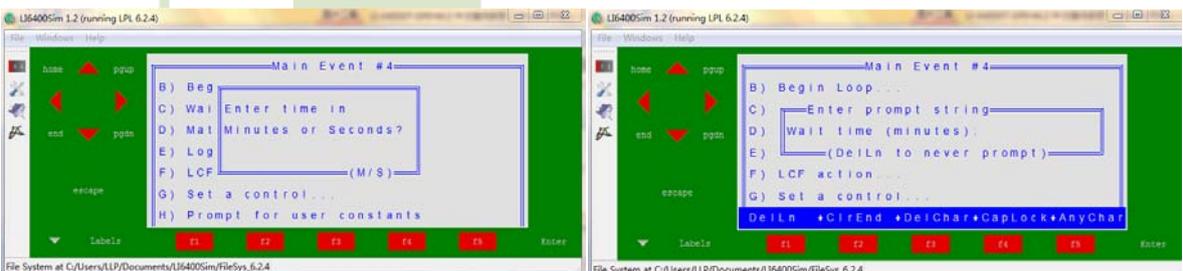
4) 在以下界面，仍选中 LCF Action..., 回车；按下箭头直到选中 E) Actinic On, 回车。



5) 在以下界面，按下箭头直到选中 C) Wait..., 回车；选中 A) Wait: Fixed Time, 回车。



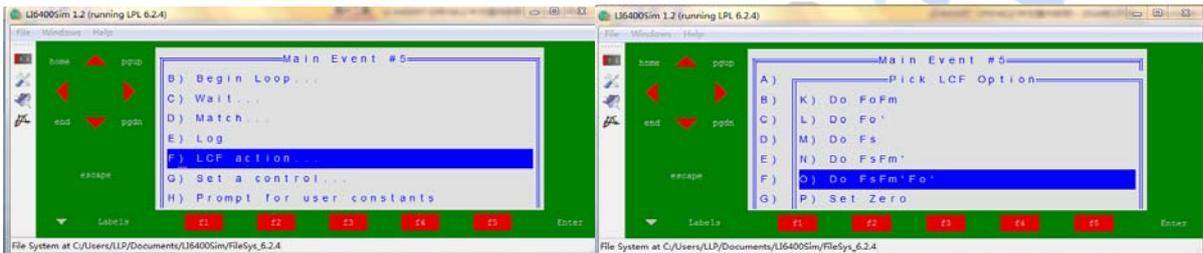
按字母 M，选择分钟为设置时间的单位，出现下右图的提示，直接回车。



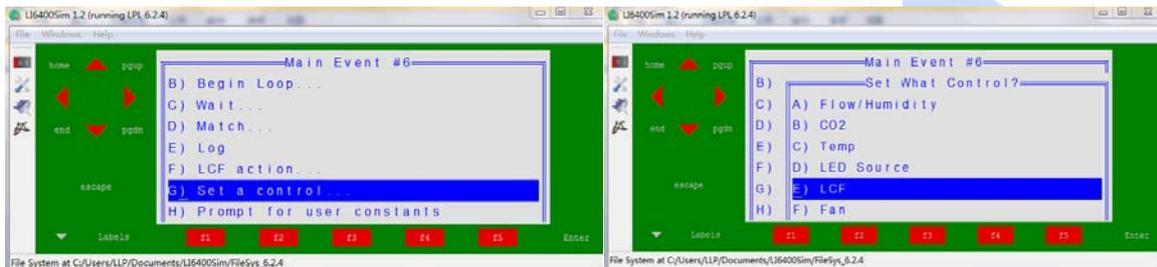
出现以下对话框，表示需要输入等待的时间，输入 30，回车，表示测定光适应参数前等待 30 分钟，即进行 30 分钟的活化光处理，再测定参数。



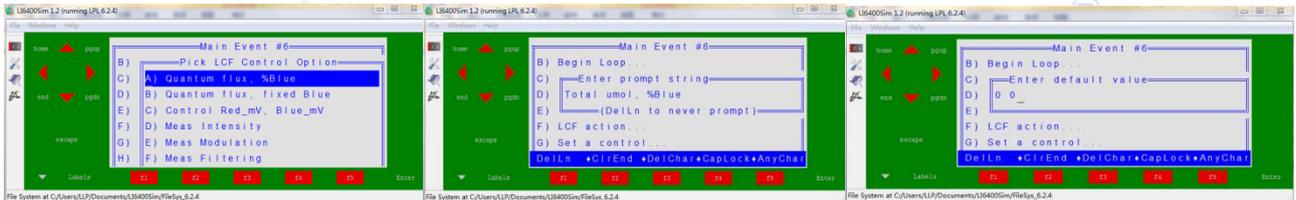
6) 在以下界面，按下箭头选中 LCF Action..., 回车；按下箭头直到选中 O) DoFsFm'Fo', 回车。



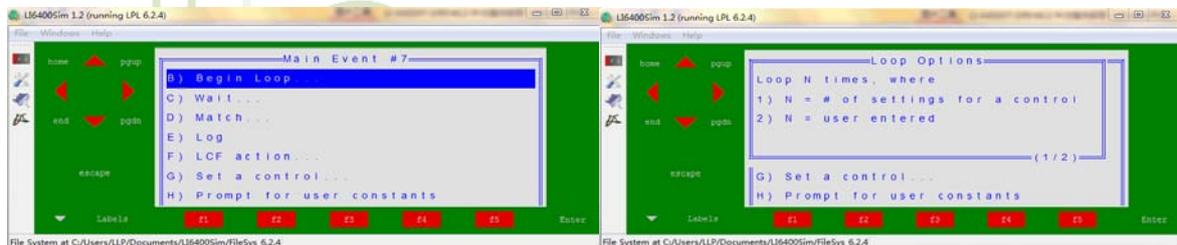
7) 现在开始暗弛豫，要将活化光设定为 0：在以下界面，仍选中 Set a control，回车；按下箭头直到选中 E) LCF，回车。



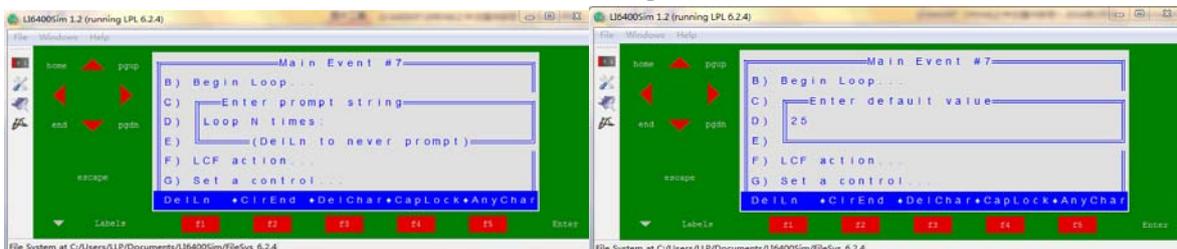
8) 在以下界面，选择 A)Quantum flux,%Blue，回车；再按回车，光强和蓝光比例各输入 0,0。



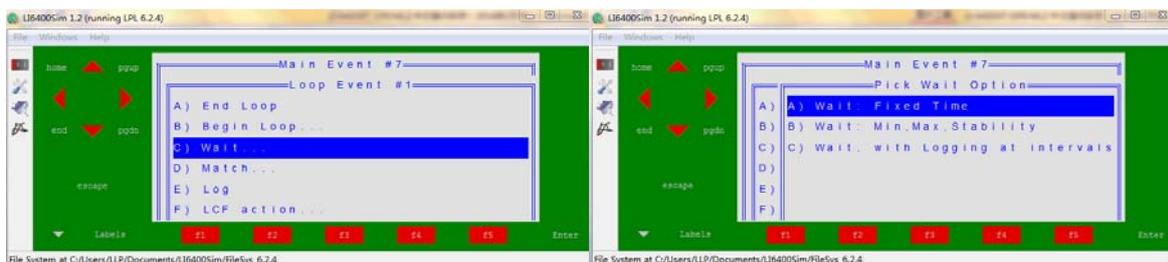
9) 在以下界面，按下箭头选中 B) Begin Loop..., 回车；按数字 2 选择自己定义 Loop 次数。



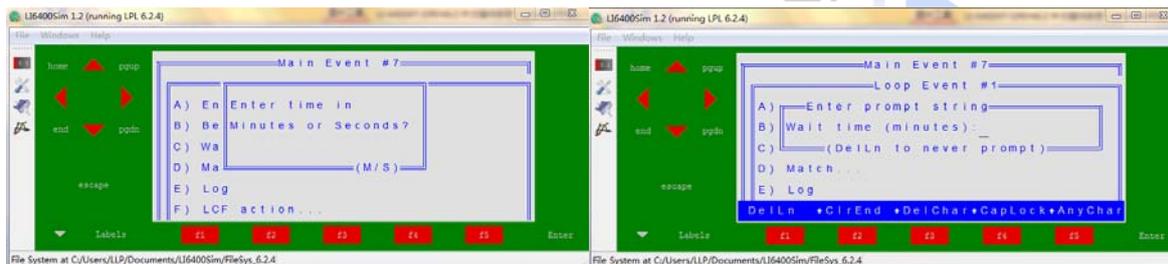
在出现下左界面时，直接回车；然后输入要进行 Loop 的次数，例如 25 次，输入 25，回车。



10) 在以下界面，按下箭头选中 Wait...，回车；选中 A) Wait: Fixed Time，回车。



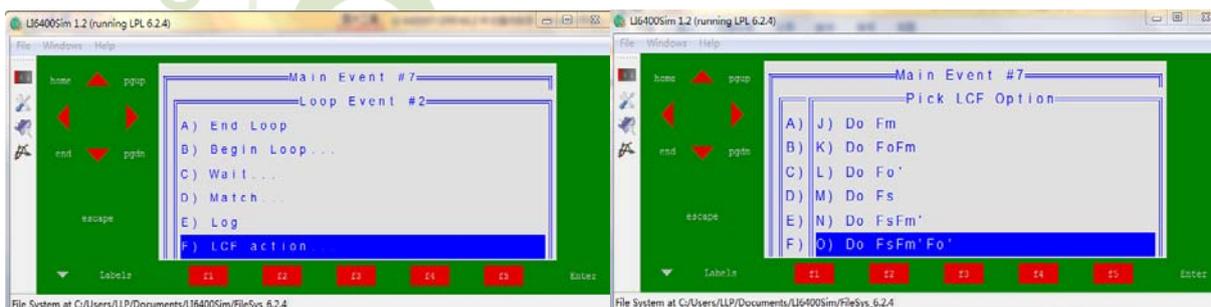
按字母 M，选择分钟为设置时间的单位，出现下右图的提示，直接回车。



出现以下对话框，表示需要输入等待的时间，输入 3，回车，表示光强设为 0 后等待 3 分钟，再开始测定暗弛豫参数。



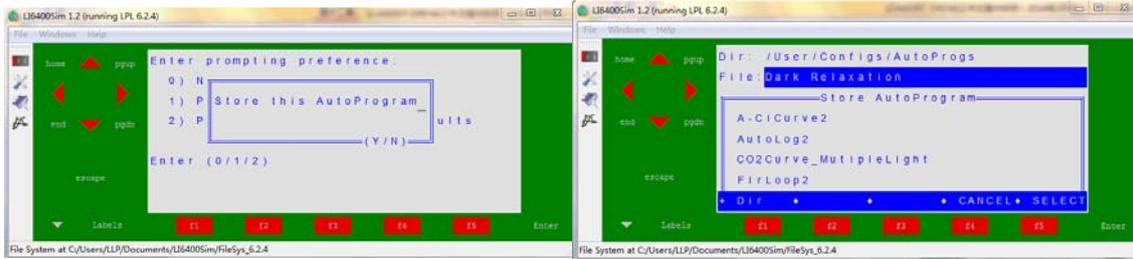
11) 在以下界面，按下箭头选中 LCF Action...，回车；按下箭头直到选中 K) DoFsFm'Fo'，回车。



12) 在以下界面，按下箭头选中 A) End Loop，回车。再按下箭头选中 A) End Program，回车。完成程序设定。最后按 0，表示不需要提示。



13) 在以下界面，按 Y，保存程序；输入程序名 Dark Relaxation，回车。完成所有设定。



3、开始测量：

夹上叶片，在测量菜单第5功能行，按F1（Auto Prog），再按下箭头选中Dark Relaxation，回车。起一个文件名，回车，remark可输可不输，回车。可以看到程序自动开始运行，功能行前面出现*号，K行程序状态指示着等待时间，等等。

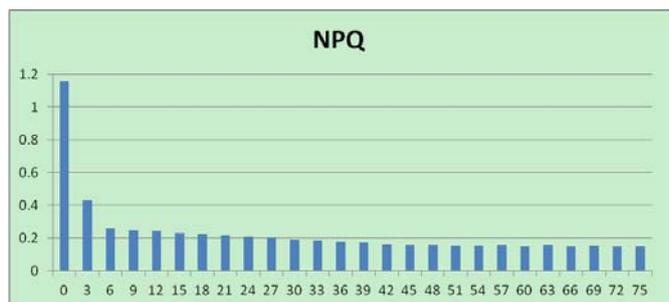


4、计算NPQ（非常重要）：以下内容所用数据见下图（暗弛豫实验数据举例）

Obs		HMMSS	FTime	EBal?	Photo	Cond	Ci	Fo	Fm	Fo'	Fm'	Fs	Fv/Fm	qP	qN	NPQ	
1	暗适应参数测定	14:21:48	1242	0	76.68175	-0.00306	39873.34	224.7	1077.5	0	0	0	0	0	0	1	#DIV/0!
2	光适应参数测定	14:41:58	2446	0	46.2635	0.00066	-109106	224.73	1077.5	212.9	498.9	468.5	0.7914	0.106344	0.6692	1.159935	
3		14:46:01	2697.5	0	32.70349	0.005202	-9195.07	224.73	1077.5	212.85	754.08	468.46	0.7914	0.527724	0.3741	0.428952	
4		14:49:03	2879.5	0	31.64089	0.005223	-8839.56	224.73	1077.5	212.85	854.9	468.46	0.7914	0.601885	0.2575	0.260434	
5		14:52:05	3062	0	24.07274	0.005383	-6354.04	224.73	1077.5	212.85	865.26	468.46	0.7914	0.608209	0.2455	0.245335	
6		14:55:07	3244.5	0	9.309244	0.005902	-1808.19	224.73	1077.5	212.85	867.52	468.46	0.7914	0.609563	0.2429	0.242088	
7		14:58:09	3426.5	0	12.03656	0.005111	-3032.42	224.73	1077.5	212.85	876.88	468.46	0.7914	0.615066	0.2321	0.228831	
8		15:01:11	3609	0	9.669573	0.005114	-2304.89	224.73	1077.5	212.85	878.41	468.46	0.7914	0.61595	0.2303	0.226692	
9		15:04:13	3791	0	18.45503	0.002433	-11241.6	224.73	1077.5	212.85	886.9	468.46	0.7914	0.620785	0.2205	0.214955	
10		15:07:15	3973.5	0	9.460227	0.001825	-7475.05	224.73	1077.5	212.85	891.97	468.46	0.7914	0.623616	0.2146	0.208049	
11		15:10:17	4156	0	1.263041	0.00133	-830.296	224.73	1077.5	212.85	898.03	468.46	0.7914	0.626948	0.2076	0.199891	
12		15:13:19	4338	0	-2.66433	0.001849	2919.32	224.73	1077.5	212.85	907.38	468.46	0.7914	0.631968	0.1968	0.18753	
13		15:16:21	4520.5	0	-17.3628	0.003152	9310.965	224.73	1077.5	212.85	911.25	468.46	0.7914	0.634009	0.1923	0.182483	
14		15:19:23	4703	0	-47.6731	0.008654	9346.698	224.73	1077.5	212.85	916.88	468.46	0.7914	0.636933	0.1858	0.17523	
15		15:22:25	4885	0	-1.31658	0.004666	1118.901	224.73	1077.5	212.85	921.1	468.46	0.7914	0.639096	0.1809	0.169846	
16		15:25:27	5067.5	0	7.708037	0.001777	-6133.9	224.73	1077.5	212.85	927.82	468.46	0.7914	0.642491	0.1731	0.161366	
17		15:28:29	5250	0	-9.27503	0.002806	5857.216	224.73	1077.5	212.85	929.09	468.46	0.7914	0.643122	0.1717	0.159785	
18		15:31:31	5432	0	-38.8151	0.007193	9166.973	224.73	1077.5	212.85	931.17	468.46	0.7914	0.644116	0.1693	0.157184	
19		15:34:33	5614.5	0	-35.1668	0.007828	7753.334	224.73	1077.5	212.85	932.52	468.46	0.7914	0.644826	0.1677	0.155513	
20		15:37:35	5796.5	0	-24.2205	0.00788	5522.131	224.73	1077.5	212.85	935.21	468.46	0.7914	0.646148	0.1646	0.152191	
21		15:40:37	5979	0	-17.3035	0.007523	4304.355	224.73	1077.5	212.85	931.91	468.46	0.7914	0.644526	0.1684	0.156266	
22		15:43:39	6161.5	0	-16.0023	0.007281	4142.415	224.73	1077.5	212.85	936.44	468.46	0.7914	0.646752	0.1632	0.150671	
23		15:46:41	6343.5	0	-7.718	0.006995	2420.329	224.73	1077.5	212.85	932.2	468.46	0.7914	0.644665	0.1681	0.155916	
24		15:49:43	6526	0	6.510518	0.006561	-876.79	224.73	1077.5	212.85	936.1	468.46	0.7914	0.646584	0.1636	0.151094	
25		15:52:45	6708.5	0	21.78092	0.005144	-5973.36	224.73	1077.5	212.85	935.59	468.46	0.7914	0.646336	0.1642	0.151717	
26		15:55:47	6890.5	0	16.96225	0.005696	-4007.01	224.73	1077.5	212.85	939.3	468.46	0.7914	0.648139	0.1599	0.147176	
27		15:58:49	7073	0	7.666177	0.005761	-1422.31	224.73	1077.5	212.85	938.84	468.46	0.7914	0.647919	0.1604	0.14773	

整个暗弛豫过程描述如下：充分暗适应的植物在测定其暗适应参数 Fo, Fm (Fm=1077) 之后，进行充足的光适应，大约30分钟以上(以上实验设定的是20分钟)，然后测定其光适应参数 Fs, Fm' (Fm'=498), Fo', 通过以上5个参数计算得到 NPQ (NPQ=(Fm-Fm')/Fm'=(1077-498)/498=1.159935)；然后将活化光关闭，植物进入黑暗状态，开始每隔几分钟打一个饱和闪光，测定最大荧光参数。

右图为暗弛豫截图，由数据可看出 qE=1.1599-0.1472=1.013，为可恢复的 NPQ； qI=0.147，为无法恢复的这一部分 NPQ； qT 一般都不好确定，多数忽略，见文献，有些文献特指某个时间的 NPQ 为 qT，之前的为 qE，之后的为 qI。



五、6400-18 RGB 三基色光源的使用

5.1 三基色光源硬件连接

用自带的 37 针线缆，将 6400-18 三基色光源与 LI-6400XT 主机相连，再将交流电源对应接头接到光源上，如右图。

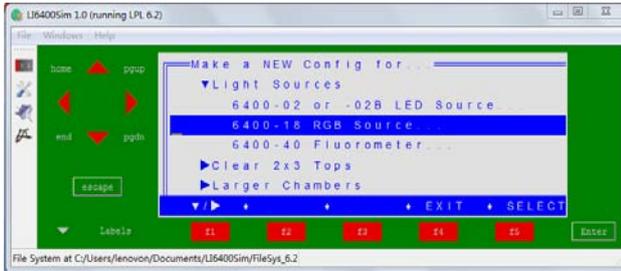


5.2 6400-18 三基色光源的使用

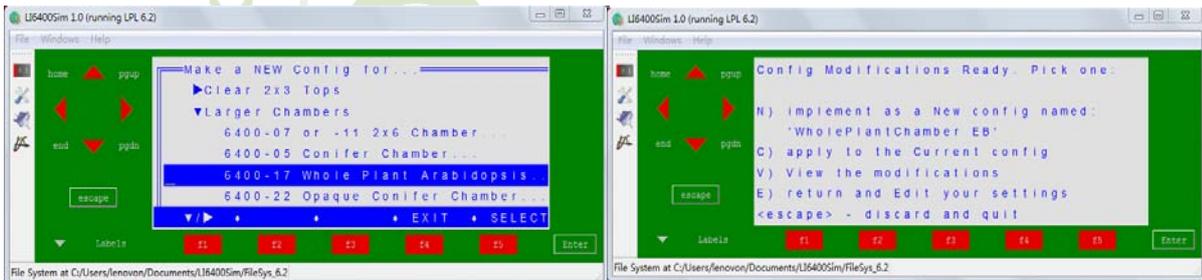
6400-18 三基色光源的使用有两种情况：一种是配合其它叶室使用，另一种是临时调用。

5.2.1 配合其它叶室使用

1) 主菜单点击 f2，进入 Config Menu，选择 New...，回车，在“Light Source”中选择“6400-18 RGB Source...”见下图，回车。

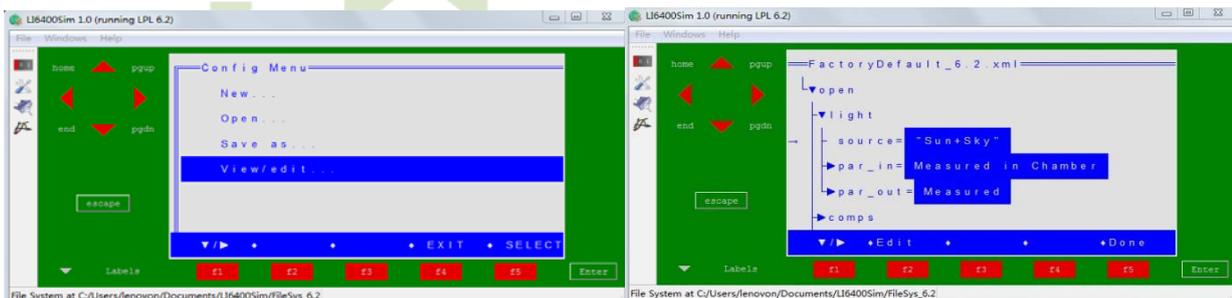


2) 选择需要的叶室，如整株拟南芥叶室 6400-17，见左下图，回车，在弹出的右下图界面点击字母“n”。

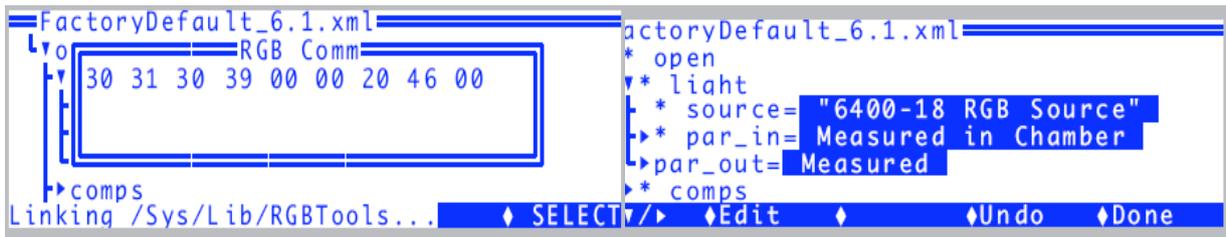


5.2.2 临时调用 6400-18 三基色光源——以标准叶室配置文件为例

1) 主菜单点击 f2，进入 Config Menu，选择“View/edit...”如左下图，再通过方向键↓依次选择 open>light>source，按 f2 将“Sun+Sky”改成“6400-18 RGB Source”，回车，如右下图。



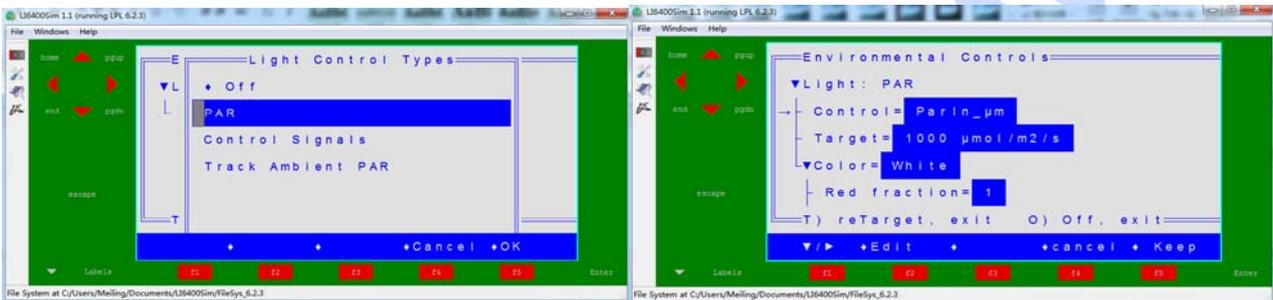
2) 等待光源与主机通讯同步, 如右下图, 最后按 f5 Done 保存即可。



5.2.3 如何控制 6400-18 三基色光源

6400-18 三基色光源提供了多种设定, 可独立设定单一光质 (红光、绿光、蓝光); 也可设定为白光, 也可以用做红蓝光源或其他单色光的两两组合。下面逐一举例示范:

1) 设定 $1000\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的白光: 在测量界面 New Measurement 下, 按 2, f5, 选择 Control PAR, Target 设定强度 1000, Color 选择 white, 如下图。最后按 F5, Keep;



2) 设定 $1000\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的红蓝光: 在测量界面 New Measurement 下, 按 2, f5, 选择 Control PAR, Target 设定强度 1000, Color 选择 RedBlue Source, 其中红蓝光比例可调, 如 red 为 94%, blue 为 6%, 如下图。最后按 F5, Keep;



3) 也可以设定单色光或其他光质组合, 如 Yellow 是红光和绿光的组合, 每种光的比例也可以调整, 如同红蓝光源; 同理 Cyan 为绿光、蓝光组合; Magenta 为红光、蓝光的组合。最后按 F5, Keep。

六、土壤呼吸测量室 6400-09 的使用

6.1 土壤呼吸室硬件组装步骤

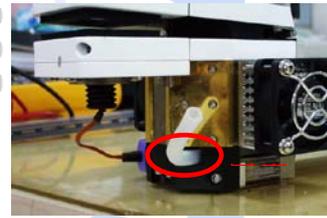
6.1.1 拆卸光合叶室

安装 6400-09 前，气体分析室手柄必须卸下。按以下步骤操作：

- 1) 拨开叶温热电偶的紫色插头连接端；如右图
- 2) 将连接在叶室下部的塑料匹配管拔下，并把它抽出，如图1-1；换上末端封闭的塑料管（如图1-2）连接到匹配阀上。

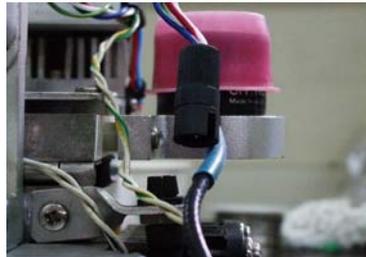
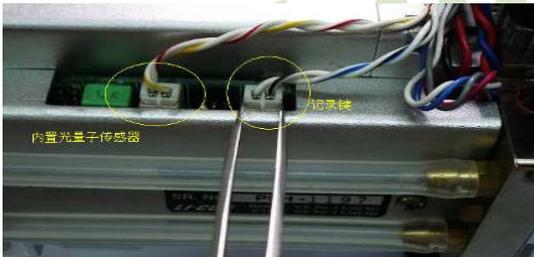
图 1-1 拨开 L 型匹配管

图 1-2 将末端封闭的塑料管插到匹配阀接口位置



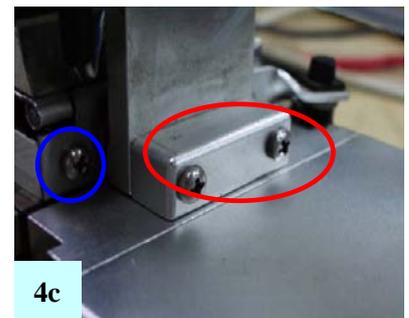
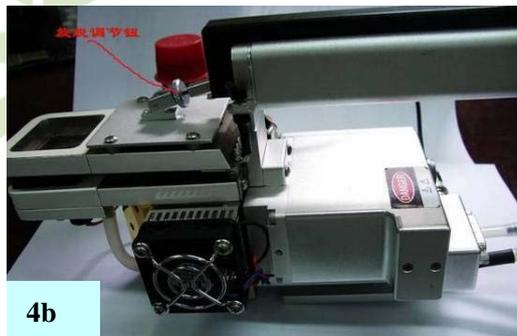
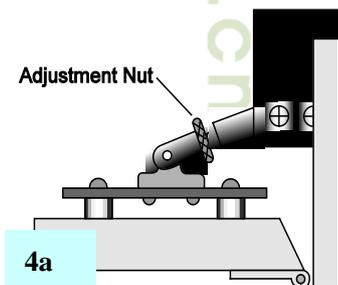
- 3) 拔下记数按键等接线

用尖嘴镊子拔下**记录键**、**内置光量子传感器**、**外置光量子传感器**的插头。如果使用红蓝光源，需要拔下红蓝光源的黑色接头，旋转拧开外置光量子传感器的连接端，如下图。



- 4) 脱下手柄和叶室的上半部分：

- A. 张开叶室，通过顺时针方向旋转松紧螺丝，把手柄与叶室上部分开（如图 4a、4b 所示）。
- B. 合上手柄，以免手柄活动。否则有可能损坏手柄里的开关。
- C. 旋下手柄下方用于固定的两颗长螺丝（如图 4c 红圈内所标识）。注意，不要丢失黄色垫片，并记住正确的位置。
- D. 脱下在叶室上半部分后方活页的两颗短小的螺丝（图 4c 蓝圈标识）。
- E. 分析器两旁的风扇分别由四颗螺丝固定。松开其中一颗，然后把光源后插座固定在上面(推荐)。



5) 打开样品室，如下图所示。用 5/64" 内六角起子把 8 颗内六角螺丝旋下，就可以打开样品室。卸下螺丝后，将端盖卸下一因为该模块与叶室间有**透明密封垫片(注意别丢失弄坏)**，所以可能需要用力才能将其卸下。取下后注意保存密封垫片，不要撕破。



待露出样品室后，顺便可以查看样品室是否干净，如右图，如果有杂质，仔细用洗耳球吹去叶室内、风扇和镀金板上的灰尘。主要注意光路部分。

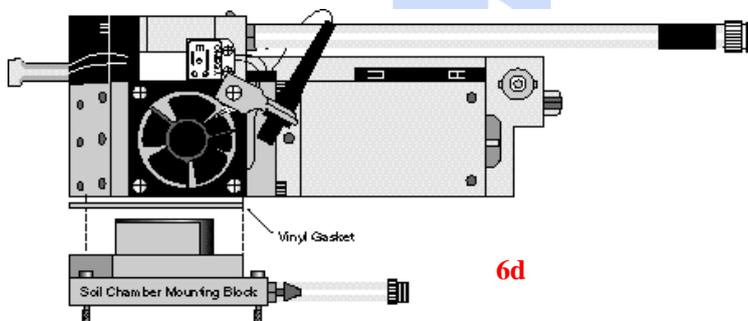


6.1.2 安装土壤呼吸气室

6) 使用上一步骤旋下的 8 颗内六角螺丝，把土壤呼吸室固定块（见图 6a、6b，分别是正反两面）装到叶室下半部分（图 6c）的位置，正确安装方向如图 6d 所示：

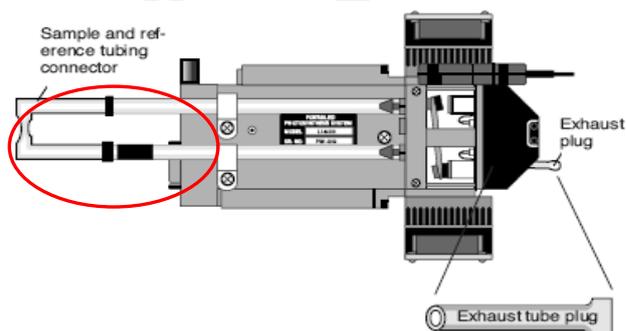
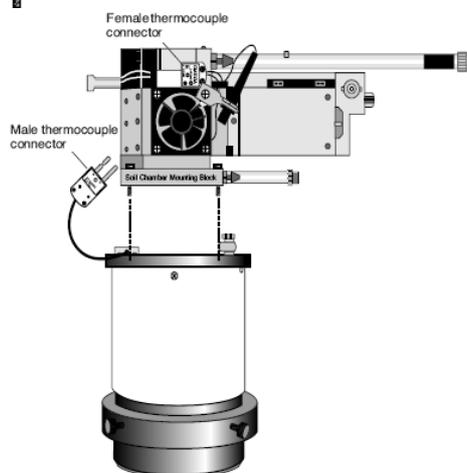


将图 6b 固定块倒扣在 6c 所示的分析器上，注意在分析器底座上的密封垫片（如图 6d 所标位置），要确保它一直粘在分析器底座上，注意对齐。然后，把 8 颗内六角螺丝上紧。在旋紧 8 颗螺丝时，不要一次性上紧，刚开始时，只需上至不掉落程度即可，然后旋紧其对角位置上那一颗螺丝。如此逐一把 8 颗螺丝上紧。目的是让 8 螺丝均匀受力。



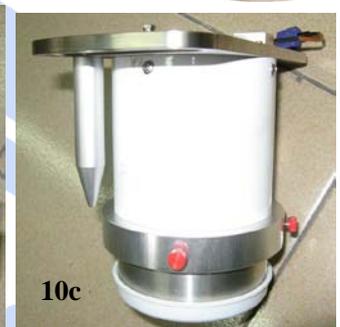
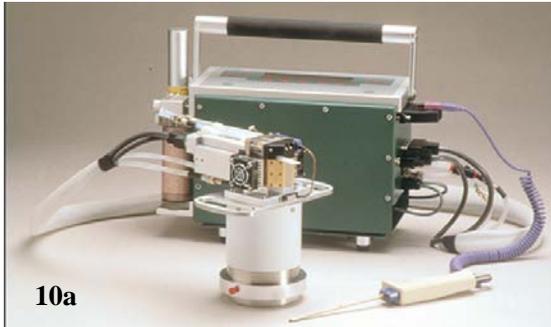
7) 用四颗内六角螺丝（使用 5/64" 内六角匙），把 6400-09 主体部分与先前安装好的固定块连接起来。四颗内六角螺丝分别位于固定块的四个角上，接上热电偶接线（如右图）。

8) 用“U”管把分析器底部的样本室与参比室连接起来，下图。



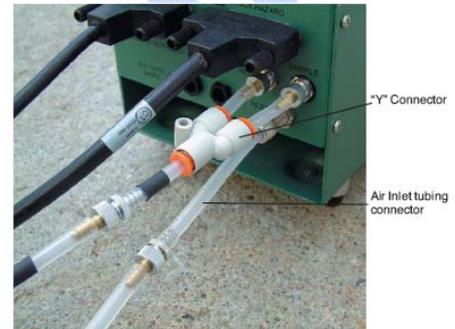
9) 把连接线的进气管连接到6400-09的气路管上，如右图所标，再将电缆线与分析器端口连接。

10) 把6400-13热电偶转换器安装到6400主机的辅助口（图10a）上；然后把土壤温度探针连接到转换口（位置见图10b和10c）上。



6.1.3 主机气路改造

由于土壤呼吸室测定采用闭路式，因此主机气路需要将样品室和参比室合为同一气路，采用备件包里的 Y 型气路管，将主机箱的样品室和参比室连接起来，同时用备件包内的两端带有接口螺丝的进气管连接，如右图，整个硬件安装过程到此完成。

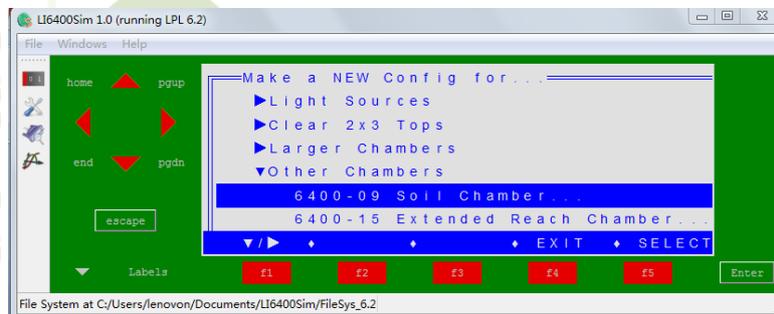


6.2 土壤呼吸室软件操作

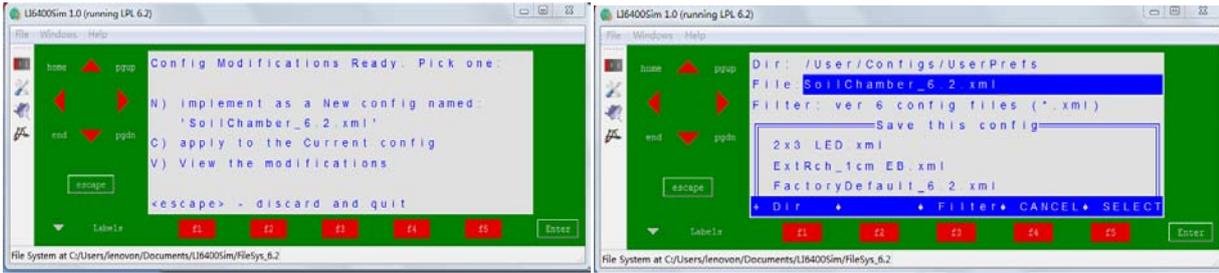
6.2.1 土壤呼吸操作界面、参数及功能

1) 6400-09 soil chamber 配置文件加载

如果您的 LI-6400XT 上还未安装 6400-09 程序，需首先在开机后进入 Config Menu 加载该程序，如下图所示，在 config menu 下选择“New...”回车进入，选择“Other Chamber”，按 f1 或回车键，拉开，选择第一项的 6400-09 Soil Chamber，回车。



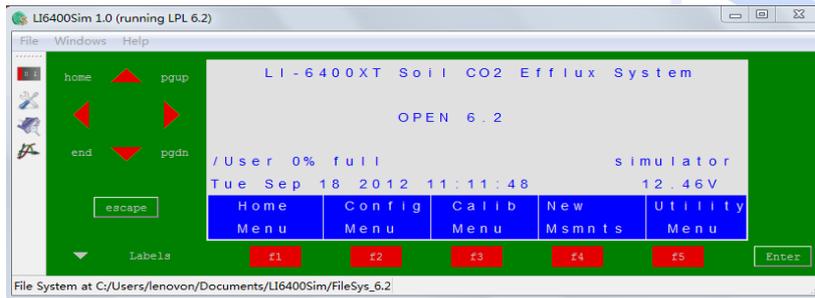
系统会自动完成安装，按字母 N，新建一个配置文件，并命名为“Soil Chamber_6.2.xml”，如下图所示，回车，完成配置。系统会自动进入土壤呼吸测定程序。



按 ESC 退出 Config Menu，点击 F4 进入测量菜单 New Msmnts。

2) 开机界面

6400-09 开机界面如下图，名称为“LI-6400XT Soil CO₂ Efflux System”，按 f4 进入测量菜单。



3) 功能行与参数行介绍

见章节 3.6.1 常用参数行与功能行详解（表 2 和表 4）

6.2.2 土壤呼吸测量操作步骤

测量前，首先要提前几小时或提前一天，将土壤隔离环（collar）安放在测量点，以尽可能减小对土壤的扰动。一般土壤环高出地面 2-3cm 即可。同时，需要在土壤呼吸气室与土壤隔离环之间加上一个海绵气垫，以减少漏气。

硬件组装并检查无误，且完成上面操作后，则可以按以下步骤进行测量：

- 1) 将苏打管旋钮拧到中间松弛状态（非完全 bypass 即可，让苏打吸收 CO₂）。
- 2) 确定土壤表面的 CO₂ 浓度。把土壤呼吸室靠近土表，且不要受操作员的呼吸影响，观察参数行 a 行 CO₂S 显示的土壤呼吸室内 CO₂ 浓度。
- 3) 把 6400-09 气室安放在测量点的土壤环上，并把土壤温度传感器插入到靠近土壤环的周边土壤一定深度（通常为 5~10 cm）。
- 4) 在第 3 功能行的 f1，输入所测土壤面积，如果使用的是厂家提供的土壤隔离环，土壤面积应设为 80 cm²。如果是自制的土壤环，需要自己测定面积，输入。
- 5) 在第 7 功能行的 f1，设定 CO₂ 浓度目标值 "Target" 及变化范围 "delta"。第 1 步测量得到的土表 CO₂ 浓度作为目标值 Target，并选择一个适应研究需要的变化范围。对于低 CO₂ 通量的土壤，delta 值可以为 3~10 μmolmol⁻¹；若土壤呼吸较强，那么需要把 delta 适当增大，如 20 或 30，或更高。
- 6) 在第 7 功能行的 f5 (Edit Params) 输入土壤呼吸室插入土壤的深度 "Insert depth" 单位为 cm，插入深度可通过测量呼吸室底部得出。下图给出了两种测定方式，一种是直接将土壤呼吸室插入到土壤中（这种方法会扰动土壤，一般不采用），插入深度应该在 1 至 3 cm，这取决于土壤类型及气室底端的定位情况（如下图 A）。如果使用了土壤隔离环（一般采用此种方式），那么应该输入负数，深度为土壤呼吸室底部边缘与土表之间的距离，单位为 cm（如下图 B）。

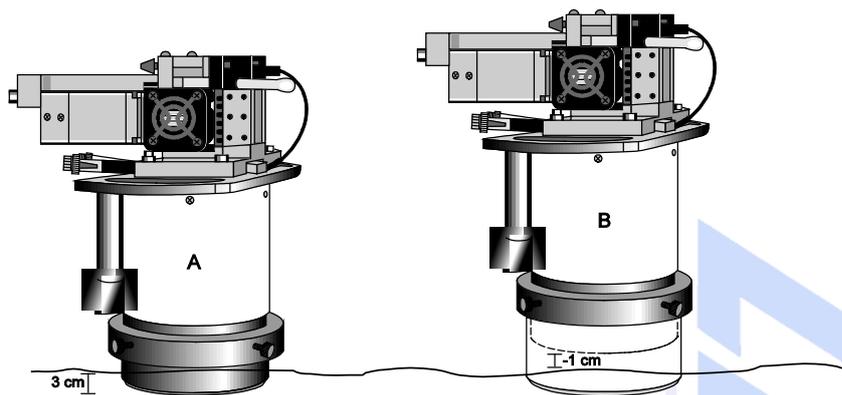
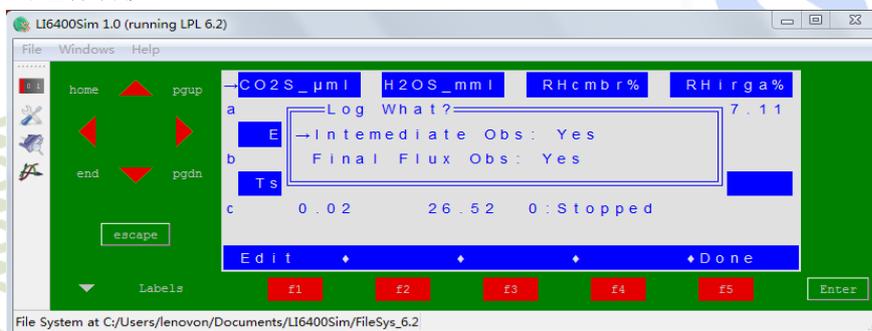


图. 判断土壤呼吸室插入的深度。

7) 在第 7 功能行的 f2, 输入在该测量点的循环测量次数 (Cycles), 一般 3 次足够。

8) 在第 7 功能行的 f4, 选择数值记录方式, 如下图所示, 可以通过上下箭头选择对实时测定值 (Intermediate Obs) 和最后结果 (Final Flux Obs) 记录选择, 当箭头选中其中一个, 按 f1 (Edit) 或回车键, 在 Yes 和 No 之间进行切换。



有三种记录数据的方式:

- ① 当两个都选择 Yes, 则, 记录所有数据 Log All; 当您怀疑数据或仪器出现问题时, 请选择此种记录方式, 以便做详细的数据分析。此种方式导出的数据中 Mode 一列显示为 3 的是 IntermediateObs, 显示为 4 的为用户可直接使用的 Final Flux Obs。
- ② 如果选择最终结果 (Final Flux Obs) 为 Yes, Intermediate Obs 为 No, 则只记录最终的计算结果 (Log only Final), **一般选择这种方式;**
- ③ 最后一种方式是选择最终结果 (Final Flux Obs) 为 No, Intermediate Obs 为 Yes, 这种方式适用于自己编程的用户, 一般用户不选择。

确定了要选择的记录方式后, 按 f5 (Done), 完成设定。退回到测量菜单。

9) 开始测量前, 用户可以定义几个提示信息, 如所测的土壤环编号, 插入深度等, 在第 3 功能行的 f4, 将其设定为 Prompt ON Log, 则每次测定开始前, 系统会自动弹出提示框, 如果您不需要提示, 可以将其设定为“Prompt Off”。

10) 在第 7 功能行的 f3, 按 Start 开始测量。若尚未打开任何记录文件, 系统会提示输入保存数据的文件名和 Remark。如果已经打开记录文件, 则系统会提示您是否覆盖 (按 O) 或追加数据 (按 A)。完成后, 测量程序将开始进行。

11) 测定完成, 在第 1 功能行按 f3 (Close File) 关闭文件, 完成测定。

6.3 土壤呼吸室操作注意事项

见温馨提示章节 ii.iii 介绍。

七、常见问题及分析

7.1 光合速率 Photo 值不正常

测量前，首先要将化学药品管的旋钮旋到正确的位置，如不使用 CO₂ 注入系统的情况下，两个化学药品管均在**完全 Bypass** 的位置；如果使用 CO₂ 注入系统，则**苏打管**要旋到**完全 SCRUB** 的位置，而干燥剂管应在**完全 Bypass** 的位置。在这种情况下，出现 photo 值不正常，则检查以下各项：

7.1.1 预热是否完成

所有测定都必须等待仪器预热好之后才能进行。开机预热时间在 15~20mins。如果没有预热好，photo 值可能出现不正常现象。

7.1.2 查看 CO₂R 读数是否稳定

通过观察 CO₂R 的数值变化，可以判断进气稳定与否，如果 CO₂R 稳定在波动小于 0.5 的情况下，则进气稳定；否则，有可能是以下原因：

1) 进气不稳定：缓冲瓶体积太小，或者与外界相通的开口太大。

正确的方法是：缓冲瓶盖上只留两个孔，一个孔径大小正好把进气管插进去；另一个的孔径与进气管的内径相当；缓冲瓶要放置在测定人员的上风头，减少扰动；对于气体混合好，自然大气环境下，大于 2 升的缓冲瓶均可；如果在温室或大棚内，则需要更大体积的缓冲瓶。如果缓冲瓶无法使 CO₂R 数值稳定，则建议使用 CO₂ 注入系统，以便控制稳定的气体浓度；

2) 电路问题：如果使用注入系统后，CO₂R 还是不稳定，则需要检查 L 行的 4 个 agc 的值判断电路问题；

3) 气压传感器和温度传感器：同时检查参数行 g 行气压值 press 和 h 行的温度值，看是否在合理范围，是否稳定，大气压和温度传感器的读数也会影响到 CO₂ 读数的稳定。

7.1.3 查看 CO₂S 读数是否稳定

在保证仪器预热好，且进气稳定时，关闭叶室，查看 CO₂S 是否稳定，如果不稳定，则有可能样品室光路太脏或电缆线连接不当，检查方法见 7.2.2 的介绍，清洁步骤见 8.1 章节的介绍；CO₂S 不稳定，常见的原因是叶室存在漏气。判断漏气的方法见本文温馨提示章节的介绍。

7.1.4 IRGA 的零点是否正常

预热后，如果 photo 值还是不正常，则需要检查 IRGA 的零点，检查方法见本文温馨提示章节的介绍。如果零点有漂移，则返回厂家校准，具体步骤见本文 3.4.3 章节的介绍。

7.1.5 植物生长状况所致

Photo 值稳定，要求植物生长状况要好，水分充足，营养充分，经过充分光诱导。如果没有满足以上这些条件，photo 值不稳定可能是由于植物原因导致。确定 photo 值不稳定是由于植物而非仪器所致的小窍门是：选择一个生长状况较好的杂草进行测定，如果实验对象换成杂草之后，读数稳定，各种状态均很好，表明之前选择的被测叶片存在问题。

7.2 IRGA NOT READY 问题解析

7.2.1 硬件连接问题（电缆线）

出现 IRGA NOT READY 时,首先检查硬件是否连接完好,尤其是 IRGA 的圆形连接器没有完全连接,同时检查 L 行的 AGC 电压值,看四个 agc 的绝对值是否都大于 5000,如果都超过 5000,或者前两个 CSagc 和 CRagc 是负的几千,则电缆线有接触不良的情况,这可能是没有连接好,也可能是电缆线断裂。

7.2.2 分析器光路太脏

当偶尔出现 IRGA NOT READY,且时断时续,同样查看 L 行的 AGC 电压值,在四个值均在 5000 以内时,检查 CSagc 是否大于 1500,如果是,则光路较脏,需要清洁光路,具体步骤见本手册的 8.1 介绍。

7.2.3 检查 chopper motor 能否运行

如果不是以上两种原因,则检查 chopper motor 的工作情况,检查方法为关闭泵关闭风扇(进入第 2 功能行的 f2,按 N 关闭泵,按 f1, O 为关闭风扇,然后听分析器内部 chopper motor 是否运行,有轻微转动的声音表示在工作,没有任何声音,表示不工作,需要维修。

7.2.4 主板电路、保险丝

如果排除了以上三个原因,则检查主板电路和保险丝情况,用户只需要注意开机界面上有没有“FUSE”字样,如果有,表示主机电路板保险丝融掉,在备件包里有更换的,然后将主机箱两侧各 8 个螺丝卸掉,露出主机电路板,共有 6 个保险丝,逐一检查,发现哪个保险丝烧掉之后,在备件包里找到同一个型号的更换即可。**在此要注意:**保险丝有三种型号,型号标识在保险丝两端,一定要先查看型号,再换上新的同型号保险丝。

7.3 Cond、Ci 为负值

7.3.1 检查水分零点（方法见本文温馨提示章节的介绍）

7.3.2 匹配 match 问题

长时间不 match,会经常出现 Cond、Ci 负值现象。在测定过程中越多 match,数据越好。

7.3.3 叶温零点 Tleaf（方法见本文温馨提示章节的介绍）

7.4 高湿报警 High Humidity

$$RH_{alert} = \frac{W_s \frac{P}{1000}}{e_s(T)} \times 100$$

三个被测量的温度值 (T_{block} 、 T_{leaf} & T_{air}) 中最低的一个用来计算报警的相对湿度值:如果超过,那么将会出现“High Humidity Alert”报警信息。

解决方法（以下前三种方法可任选）:

- 1)、干燥剂管调节旋钮向 Scrub 方向缓慢旋转,吸收空气中部分水分,降低湿度到 80% 以下;
- 2)、如果流速是 500 以下,则可以适当增大流速;
- 3)、如果在控温,且控制低于环境温度的值,则提高冷却器温度;
- 4)、排除了以上三个问题,多数是硬件问题,则应联系我们公司维修。

7.5h 行参数 “Tblock, Tair, Tleaf, CTleaf” 异常的可能原因

- Tblock, Tair 出现温度为负数，请确保连接分析器和主机的电缆连接是否存在没有固定好的情况，主要是非圆形接头的黑色电缆两端连接情况；确保硬件连接没有问题，则线缆内部有接触不良，需要寄回公司维修；
- Tleaf 出现温度为负数，有两种可能，一，同上；二，叶温热电偶有短路，表征为拔开紫色插头，温度接近 Tblock，插上紫色插头温度为负值。
- 温度传感器读数不稳定，建议关闭混合风扇（LeafFan 为 Off），如果关闭混合风扇，温度就稳定，开启后就不稳定，则有可能混合风扇下的电机老化，建议联系公司维修部进行检测。

7.6g 行参数 “Parin, Parout” 及光源工作异常的可能原因

- Parin 在黑暗中读数不能为 0，但是见光后，有正常响应，建议在校准菜单下进行 Parin Zero；
- Parin 在黑暗中读数为 0，但是见光后读数反而变负，呈反向响应趋势，则可能在开机选择配置文件时选错导致，例如安装的是标准透明叶室，正确的配置文件时 FactoryDefault，但是如果选择为 2 x 3LED，则会出现以上现象；
- Parin 和 Parou 无正常响应，且无规律可循，则怀疑电缆连接问题，同 7.5 章节的 a)。

7.7g 行参数 “Press” 读数异常的可能原因

- Press 读数稳定，但是读数明显错误，则可能是校准参数出错，按照随机器到货的校准单上 press 的校准参数做修改，具体方法请联系公司技术支持工程师；
- Press 读数不稳定，则属于硬件问题，请联系公司维修部。

八、维护保养

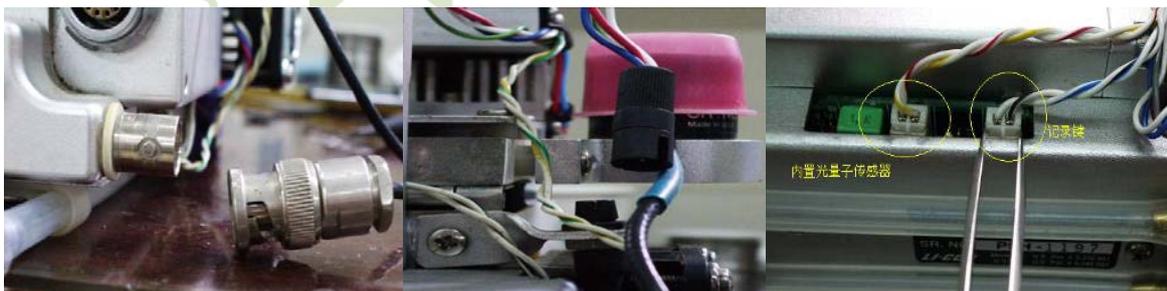
8.1 清洁样品室的步骤

由于 LI-6400 是开路测量系统，叶片上的灰尘、碎屑在测量时可能会进入系统，使得样品室的光路逐渐变得很脏，尤其是掉进小碎屑后，读数会变得无规律的波动。

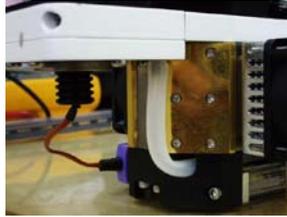
当样品室变得很脏的时候，进入测量界面下就会显示“IRGA NOT READY”的信息，这时，通常在 L 行里可以看到 CSagc 或 HSagc 会超过 5000 mV。

清洁样品室及光路的步骤：

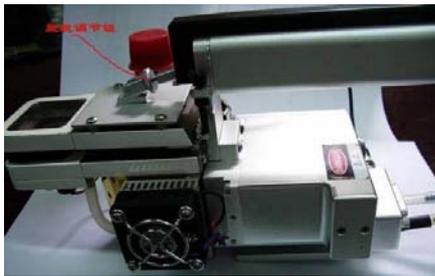
- 用尖嘴镊子拔下记录键、内置光量子传感器、外置光量子传感器的插头；如果使用红蓝光源，需要拔下红蓝光源插头（见下图）。



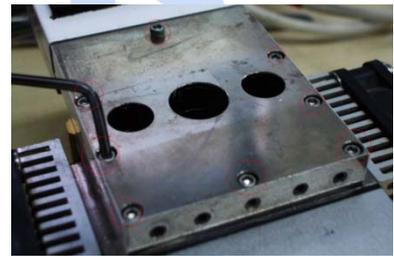
2.取下叶温传感器的紫色插头和匹配气管。未移除匹配气管时如下中图，移除匹配气管后如下右图：



3. 张开叶室，旋松叶室手柄调节螺丝，使手柄与叶室分离，见下左图。用改锥旋松固定叶室上盖和手柄的螺丝（四颗螺丝），下右图。



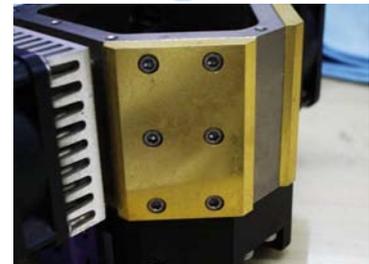
用 3/64 的六角扳手拧下端盖上的八颗螺丝(右图红圈所示)，取下叶室的端盖—因为叶室短盖与叶室间有密封圈，所以可能需要用力才能将端盖卸下。取下后注意保存密封圈，不要撕破。



4. 用 3/64 的六角扳手拧下两块镀金板上的螺丝。同样因为密封圈，可能需要用力才能取下镀金板。共 12 颗螺丝。见右图。

5. 仔细用洗耳球吹去样品室内、风扇和镀金板上的灰尘。主要注意保护光路部分。

6. 用蘸有无水酒精的棉签清洁样品室内部的透镜，尤其透镜部分一定要清理干净，注意不要在透镜口和光路部分留有棉絮。用专用的镜布清洁镀金板，注意不要用硬物接触镀金板，切勿用酒精擦拭镀金板。



7. 用洗耳球吹净样品室盖板部分，并用酒精擦拭干净。

8. 用软布将盖板密封垫片、镀金板密封圈清理干净，注意不要拉扯、撕破。



9. 按拆卸的相反顺序装回各部件。注意安装镀金板与样品室盖板时，要注意密封圈位置。当密封圈与镀金板位置对正时，螺丝旋进时几乎没有阻力，如有阻力则应重新对准位置，主要目的是为防止密封圈破裂造成漏气。安装螺丝时要注意螺丝尺寸，不要装错螺丝。螺丝要旋紧，才能防止漏气。

10. 安装手柄螺丝时，要注意右边螺丝还要固定红蓝光源，不要忘拧。记录键插头位于右边，内置光量子传感器的插头位于左侧，如图所示。



11. 请务必注意，每一个螺丝决不可以拧得太紧，否则极易导致不必要的损坏。原则上以固定住、稍紧为原则！

8.2 排除气路堵塞的方法

8.2.1 气路堵塞的判断

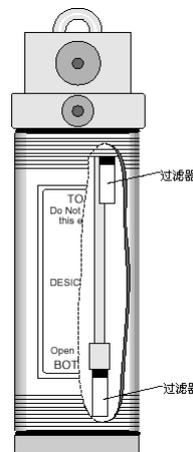
通常，LI-6400 光合仪的最大流量可以达到 $650\mu\text{mol}$ 以上，高原地区会低于 650。如果您的仪器，在测量界面设置 **FLOW**= $1000\mu\text{mol}$ ，参数 b 行的 **Flow** 不能够达到 650（高海拔地区可能为 580），而且分别检查两个化学药品管，方法都是将调解旋钮从 **bypass** 一侧完全旋到 **scrub** 一侧，检查流速下降是否大于 20，如果大于 20，同时在拧化学药品管时，伴随有较大噪声，则相应药品管存在气路堵塞。如果发觉仪器噪音比以前大，或者在做 CO_2 注入系统校准时，不能顺利通过。这样即需要检查相应的气路系统！

8.2.2 哪些地方容易堵塞

- 1、 DESICCANT 和 CO_2 SCRUB 化学管内过滤器及管道
- 2、 DESICCANT 和 CO_2 SCRUB 化学管上端塑料导气管
- 3、 缓冲瓶、进气管道和主机内过滤器

8.2.3 堵塞查找

- 1、 先将苏打管卸下，如果流量能够上去，说明苏打管堵塞，首先检查内部过滤器(每管上、下端各有一个)，如果过滤器没有堵塞，说明上端塑料管调节部分堵塞。
- 2、 如果拆下苏打管流量仍然上不去，再拆下干燥剂管如上判断。
- 3、 如果化学管没有堵塞，请检查主机内过滤器



8.2.4 气路堵塞的处理

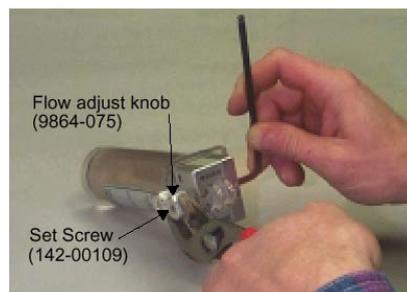
8.2.4.1 化学药品管过滤器

1. 松开紧固螺丝。如果螺丝过紧，可以借助钳子等工具将其卸下。
注意：必须先打开底部盖帽，倒出药品，再打开上端，否则从上端打开，会损坏内部过滤器。
2. 更换内部的过滤器

药品管内的通气管上有两个过滤器。它们有时会发生堵塞现象，需要更换。更换该过滤器时，先打开底部的盖帽，将药品倒出，再打开顶部的盖帽，就可以取下旧的过滤器，更换新的。注意不要将过滤器拧的太紧，因为可能造成上面的螺纹被破坏。

8.2.4.2 化学药品管上端的流量调节组件

1. 将调节螺母置于 SCRUB 和 BYPASS 之间。
2. 卸下调节螺母：使用大号的十字螺丝刀（注意：旧版仪器使用 5/32 英寸的内六角扳手）固定住流量调节螺丝，用钳子朝着 SCRUB 的方向松开调节螺母，和里边的垫片一起取下。此时，请记住螺母的安装方向(如图所示)。



3. 卸下 8 颗螺丝：用 3/32 英寸的六角扳手，卸下两侧的六颗螺丝和顶部靠近调节螺母一侧的两颗螺丝。
4. 取下一侧和中间的金属块儿。
5. 用小刀将上面的标签取下(注意:记住他们的位置)，取下活动的金属块。
6. 如果内部的管路由于长期挤压(尤其在高温环境)而堵塞，就需要更换。同时要仔细检查管路和管座是否有杂物堵塞，造成气流不畅。
7. 重新组装：与拆卸过程相反。需注意的是螺母的方向，同时不要忘了将垫片装回。

8.2.4.3 更换主机内部的空气过滤器

用十字改锥卸下主机两侧的各 8 个螺丝，提住把手，取下主机外壳。如图可见主机内蓝色空气过滤器，过滤器用一个可以紧密贴合的接头和气路连接。压紧接头内的红色环儿，即可将旧过滤器取下，更换新过滤器(空气过滤器需要每年更换一次，如果工作环境比较脏，更换频率就要加大)。注意：安装之前，沿白色箭头方向吹入气流，以去除内部散落的纤维或脏物。



8.3 手柄自锁栓的更换及位置调节

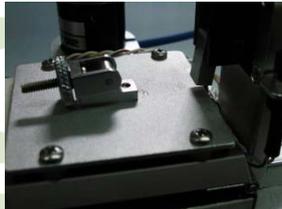
由于操作不当，可能致使手柄的自锁栓变形、折断，需要更换或重新调节自锁栓的位置。

操作不当的原因：

主要是由于使用者过度调节叶室闭合旋钮、将叶片夹得太紧，致使自锁销被强迫压下而扭曲；或者自锁栓位置过分偏离 11:55 左右的位置，而导致压下手柄时，自锁栓被挤压变形。

更换、调整步骤：

1. 用尖嘴镊子将手柄上记录键的插头从分析器的侧面取出。张开叶室，旋脱调节螺母。旋松固定手柄的两颗螺丝，将手柄取下。



2. 用 1/8 英寸的内六角扳手将手柄尾部的螺栓拧下。注意：手柄内部有一个弹簧，切勿丢失。



3. 拧下手柄下方的两颗金属螺丝，将自锁组件取下。



4. 用配件包内自带的内六角扳手旋松自锁销的固定六角螺丝，调节手柄自锁栓的位置在 11:55 的位置，再将螺丝拧紧。

如果自锁销已经损坏，则需要更换；更换后必须重新调整位置。

5. 注意：自锁栓和金属块不能挨的太紧，应留有两张纸厚的间隙，便于自锁栓灵活归位。更换或调整好自锁栓的位置之后，请以相反的顺序将手柄装回原位。反复检查手柄的自锁动作是否精确、活动自如。否则，请重新调整！



8.4 电池、主机和分析器的维护保养

8.4.1 电池的维护保养

电池必须在充满电的情况下保存，且长时间不使用时，也要每三个月充电一次。

8.4.2 主机的维护保养

测定完成后，装箱前将两个化学药品管的调节旋钮旋到中间，保证不挤压任何一个管子的位置；长时间不使用时，每三个月将仪器运行一会儿，半小时即可。

8.4.3 分析器的维护保养

测定完成后，装箱前将叶室从关闭不漏气状态松开，旋松和手柄相连的螺丝，直到样品室上方的三孔垫圈不受挤压为止；分析器内部的化学药品和过滤装置每 1~2 年更换一次，更换时需要邮寄到北京力高泰科技有限公司，由专业人员来完成。

8.5 仪器不可进水

仪器进水可能会造成最大的损害，一旦发现进水，立刻关机，防止水分进入 IRGA 内。然后马上和我公司维修部联系，010-51665551 转 518 分机。

附录数据导出后所有参数解析

Li-6400导出数据参数含义

缩写	中文含义	英文描述	单位
Obs	采集数据个数	Number of the log	-
HHMMSS	采集数据时间	Thehour, minute, second	-
FTime	文件自打开后持续的时间	The number of seconds (floating point) since a log destination has been opened	s
EBal?	是否采用能量平衡	EnergyBalance? 1=yes, 0=no	-
Photo	净光合速率	Photosynthetic rate	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Cond	气孔导度	Conductance to H ₂ O	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Ci	胞间CO ₂ 浓度	Intercellular CO ₂ concentration	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$
Trmmol	蒸腾速率	Transpiration rate	$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$
VpdL	基于叶片温度计算得到的水汽压亏缺	Vapor pressure deficit based on leaf temp	kPa
CTleaf	计算得到的叶片温度	Computed leaf temp	°C
Area	叶片面积	Leaf area	cm ²
BLC_1	单面叶片的边界层导度	One sided BLC	$\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
StmRat	叶片上下表面气孔比例	Stomatal ratio estimate	-
BLC	边界层导度	Total boundary layer conductance for the leaf (includes stomatal ratio)	$\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Tair°C	空气温度	Temperature in sample cell	°C
Tleaf°C	叶片温度	Temperature of leaf thermocouple	°C
Tblock°C	模块温度	Temperature of cooler block	°C
CO2R	参比室CO ₂ 浓度	Reference cell CO ₂	$\mu\text{mol CO}_2\text{mol}^{-1}$
CO2S	样品室CO ₂ 浓度	Sample cell CO ₂	$\mu\text{mol CO}_2\text{mol}^{-1}$
H2OR	参比室H ₂ O浓度	Reference cell H ₂ O	$\text{mmol H}_2\text{O mol}^{-1}$
H2OS	样品室H ₂ O浓度	Sample cell H ₂ O	$\text{mmol H}_2\text{O mol}^{-1}$
RH_R	参比室相对湿度	Relative humidity in the reference cell	%
RH_S	样品室相对湿度	Relative humidity in the sample cell	%
Flow_μml	样品室流速	Flow rate to the sample cell	$\mu\text{mol s}^{-1}$
PARi	叶室内部光合有效辐射	In-chamber PAR	$\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$
PARo	叶室外部光合有效辐射	External PAR	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Press	大气压强	Atm Press	kPa
CsMch	匹配时CO ₂ 的修正量	Sample CO ₂ offset	$\mu\text{mol CO}_2\text{mol}^{-1}$
HsMch	匹配时H ₂ O的修正量	Sample H ₂ Ooffset	$\text{mmol H}_2\text{O mol}^{-1}$
StableF	稳定变量个数占变量总数的比例	Stable is a string that shows the number of stable variables, and the total number in the list, such as "2/5". StableF is this same information as a decimal(e.g. 0.40)	-
BLCslope	计算边界层导度时的斜率	BLCslope	$\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$

缩写	中文含义	英文描述	单位
BLCoffst	计算边界层导度时的截距	BLCoffst	$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
f_parin	计算吸收能量的权重因子	Fraction of ParIn_	-
f_parout	计算吸收能量的权重因子	Fraction of ParOut	-
alphaK	转换吸收能量的转换因子	Used in the conversion of $\mu\text{mol/mol}$ to W/m^2	-
Status	变量的状态	CO ₂ ; H ₂ O; Pump; Flow; CO ₂ mixer; Fan	-
fda	流量/叶片面积	Flow / Area	$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Trans	蒸腾速率	Transpiration rate	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Tair_K	空气绝对温度	Air temp in K	K
Twall_K	Wall绝对温度	Twall temp K	K
R(W/m2)	叶室内的入射辐射	Incoming radiation	W/m^2
Tl-Ta	叶片与空气的温差	Energy balance delta t	°C
SVTleaf	基于叶片温度计算得到的饱和水汽压	SatVap(Tleaf)	kPa
h2o_i	叶片内部的水汽浓度	Intercellular H ₂ O	$\text{mmol H}_2\text{O mol}^{-1}$
h2odiff	叶片内外的水汽浓度差	H ₂ O_i - H ₂ O_s	$\text{mmol H}_2\text{O mol}^{-1}$
CTair	Chamber内的空气温度	The air temperature in the leaf chamber	°C
SVTair	基于空气温度计算得到的饱和水汽压	SatVap(Tair)	kPa
CndTotal	总导度	Total conductance	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$
vp_kPa	Chamber内空气的水汽压	Vapor pressure chamber air	kPa
VpdA	基于空气温度的水汽压亏缺	Vapor pressure deficit based on Air temp	kPa
CndCO2	对CO ₂ 的总导度	Total Conductance to CO ₂	$\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Ci_Pa	叶片内的CO ₂ 分压	Intercellular CO ₂	Pa
Ci/Ca	胞间二氧化碳与大气CO ₂ 浓度比值	Intercellular CO ₂ / AmbientCO ₂	-
RHsfc	叶表面的相对湿度	Surface Humidity	%
C2sfc	叶表面的CO ₂ 浓度	Surface CO ₂	$\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$
AHs/Cs	Ball-Berry 参数	Ball-Berry parameter	$\text{mol m}^{-2} \text{s}$

特此声明：

- 1、此中文手册为原英文手册译稿，加部分经验分享，鉴于翻译水平和科研水平有限，此中文手册仅供 LI-6400XT 使用者参考，本公司不担负任何法律责任。谢谢大家的理解！
- 2、文中所有软件界面截图均来自 LI-6400XT 模拟软件，只用于操作指导，其中所显示的数据不做任何参考，切勿以此为准！！例如：截图中显示 a 行参数 CO2R、CO2S 浓度 289 $\mu\text{mol/mol}$ 为模拟软件的虚构数据，不是真实值！！