

# LI-6800光合仪气体交换测量原理

LI-COR®

基因有限公司农业环境科学部  
北京力高泰科技有限公司  
技术支持部





# 主要内容

- 一、测量原理
- 二、测量方法
- 三、LI-6800介绍
- 四、测量注意事项

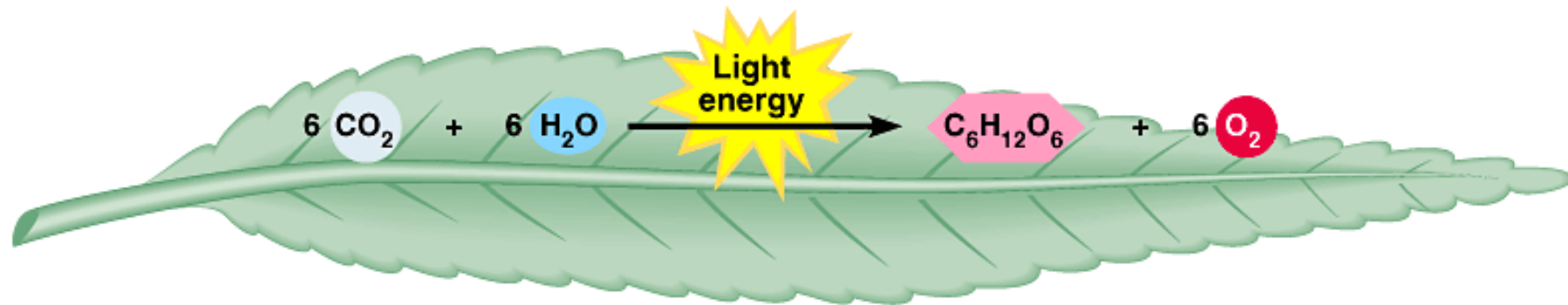


# 主要内容

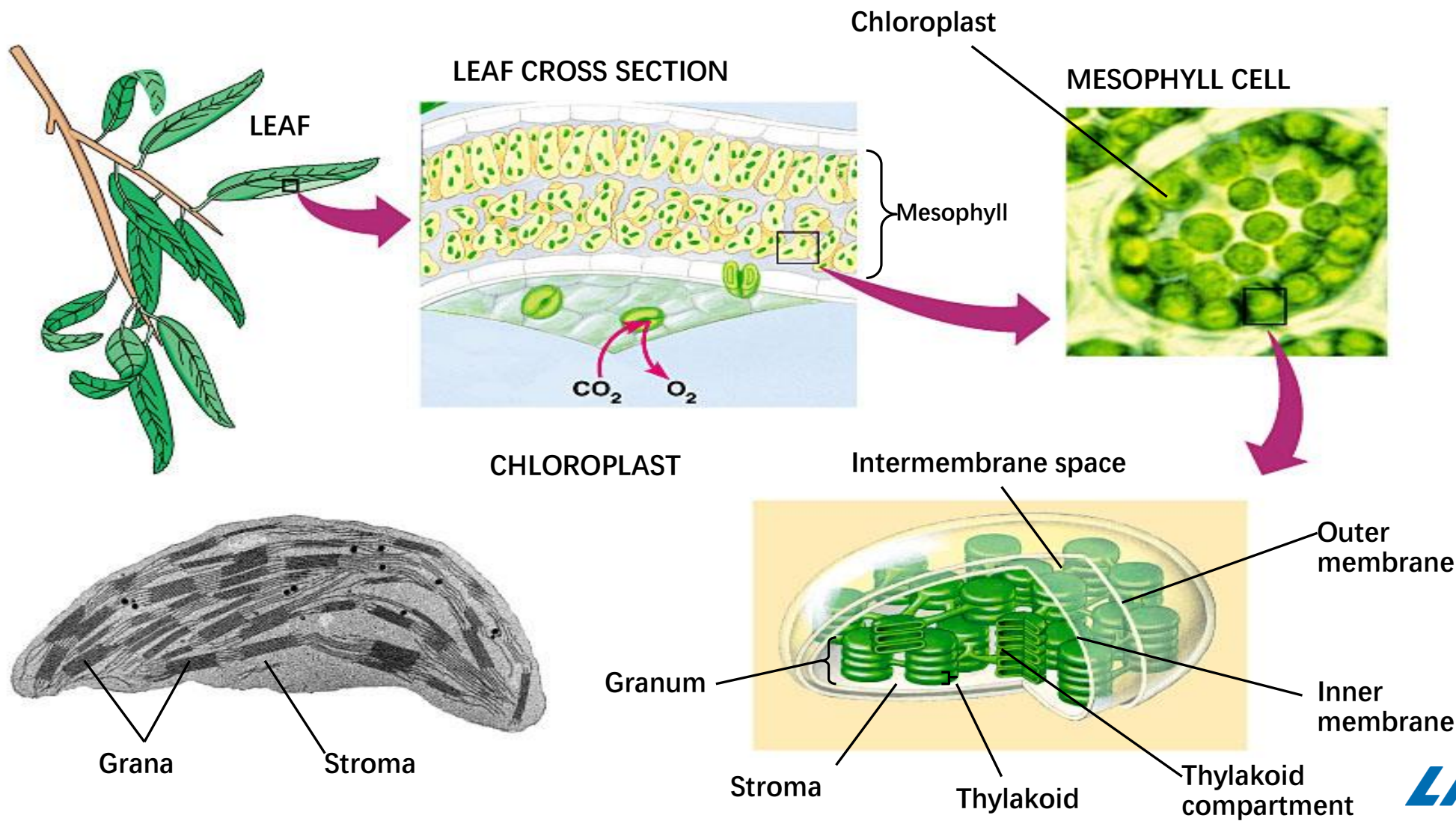
- 一、测量原理
- 二、测量方法
- 三、LI-6800介绍
- 四、测量注意事项

# 光合作用

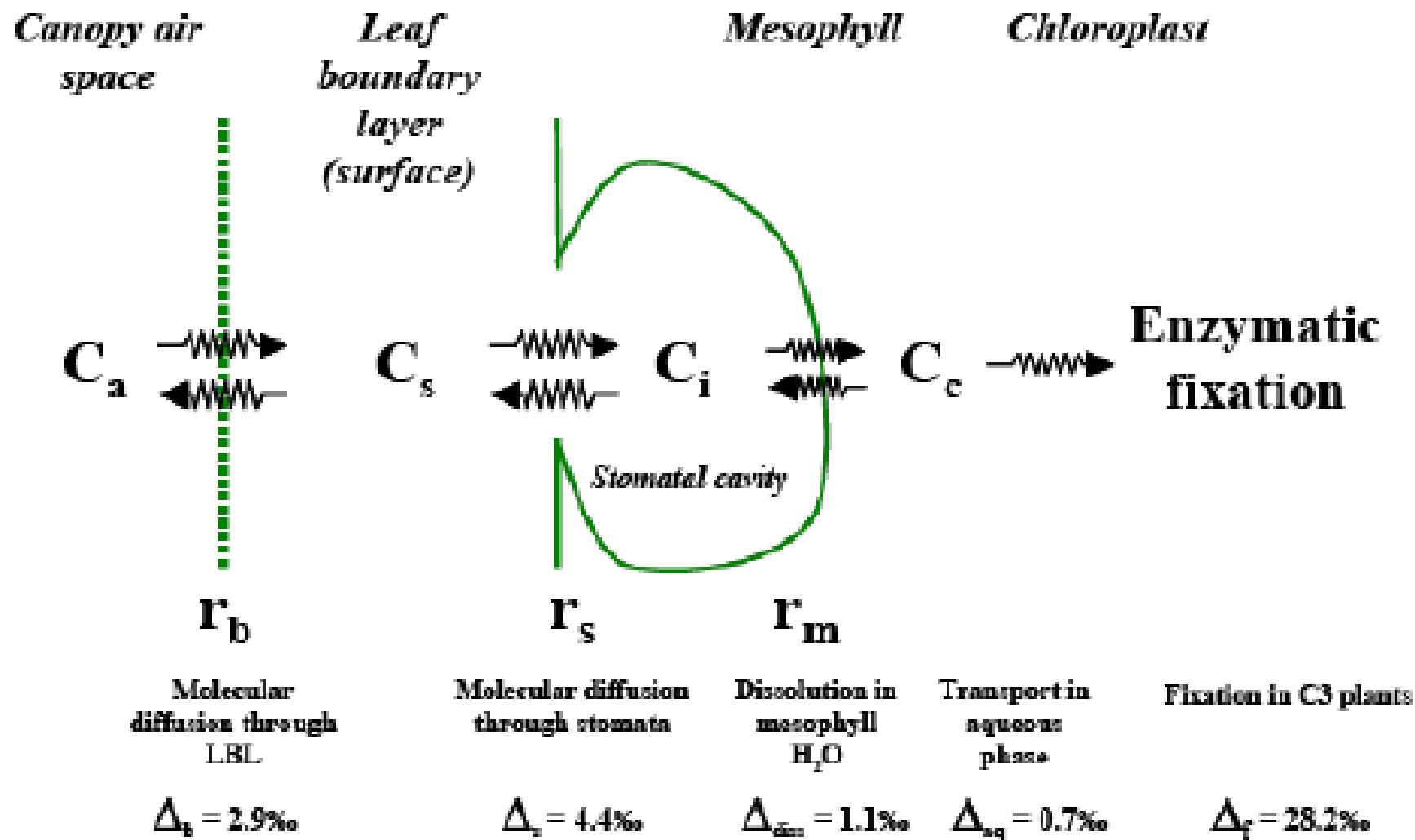
- 光合作用 (Photosynthesis): 即光能合成作用, 是植物、藻类和某些细菌, 在可见光的照射下, 利用光合色素, 将二氧化碳和水转化为有机物, 并释放出氧气的生化过程。
- 光合作用是一系列复杂的代谢反应的总和, 是生物界赖以生存的基础, 也是地球碳氧循环的重要媒介。



# 叶片尺度的光合作用研究

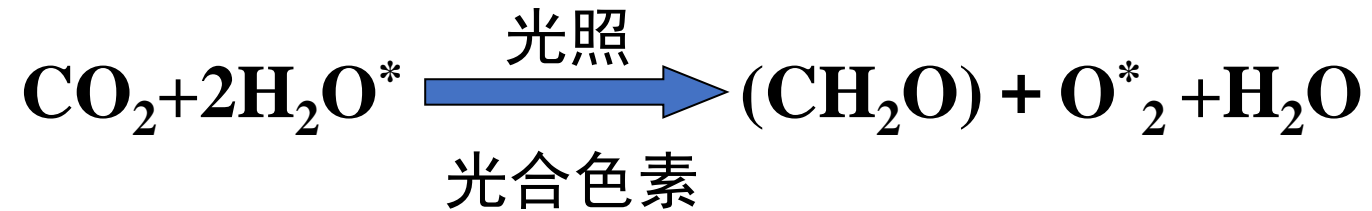


# 叶片尺度的光合作用研究



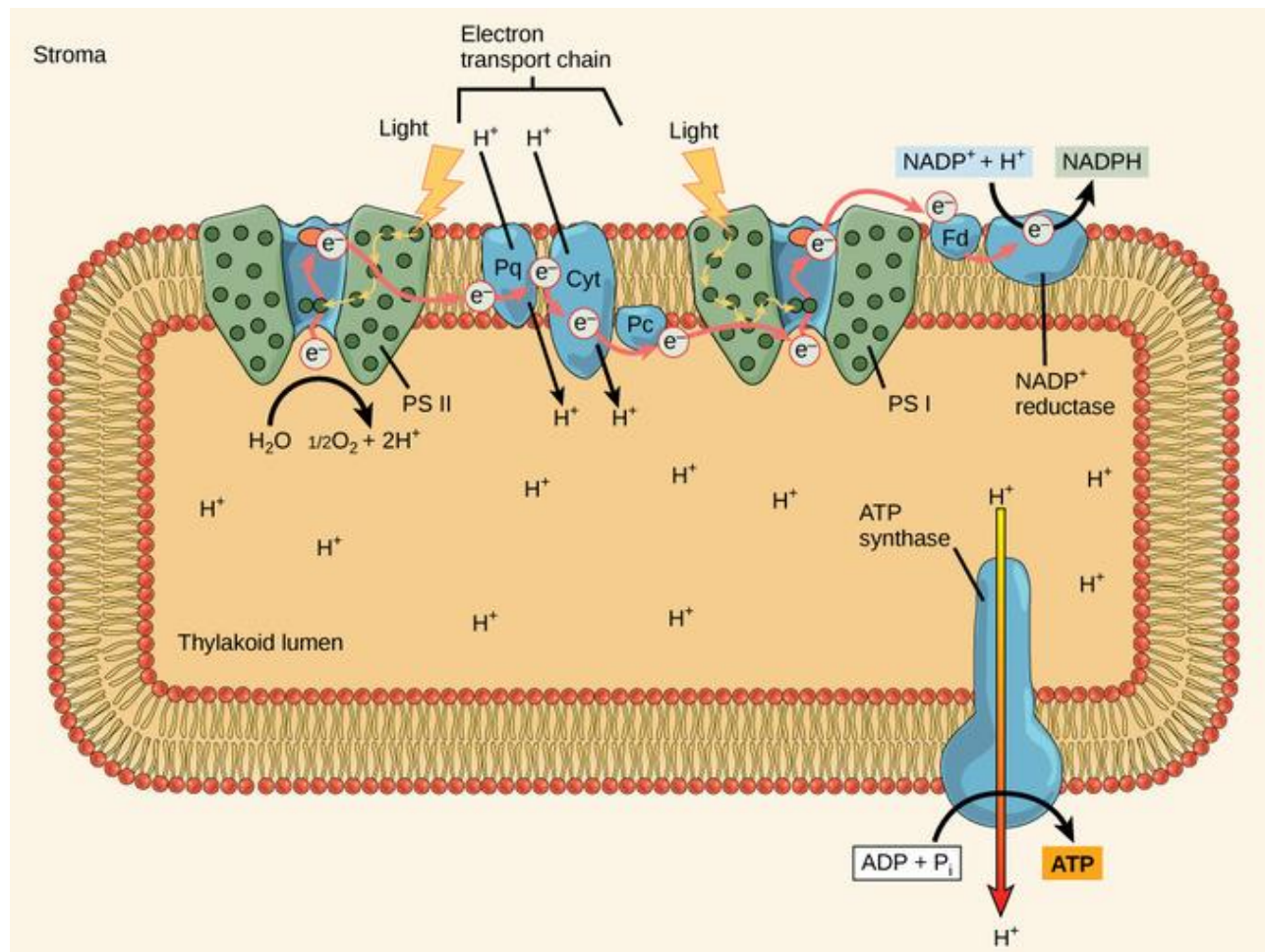
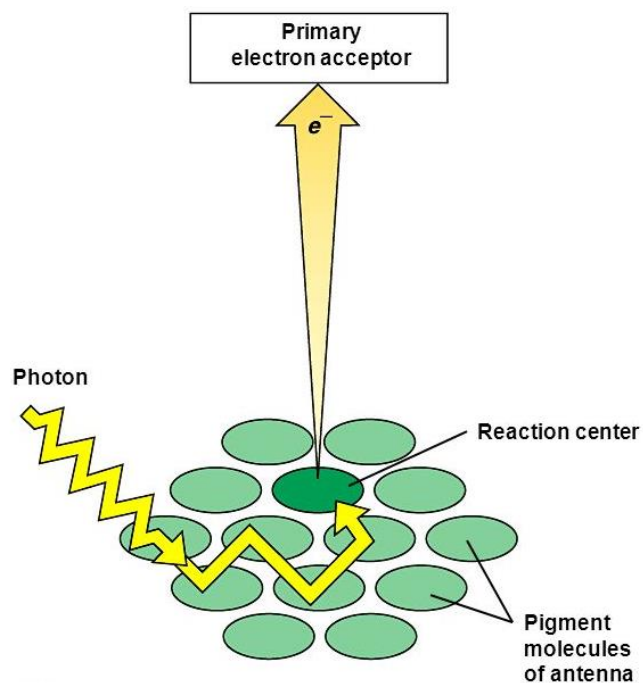


# 叶片尺度的光合作用研究



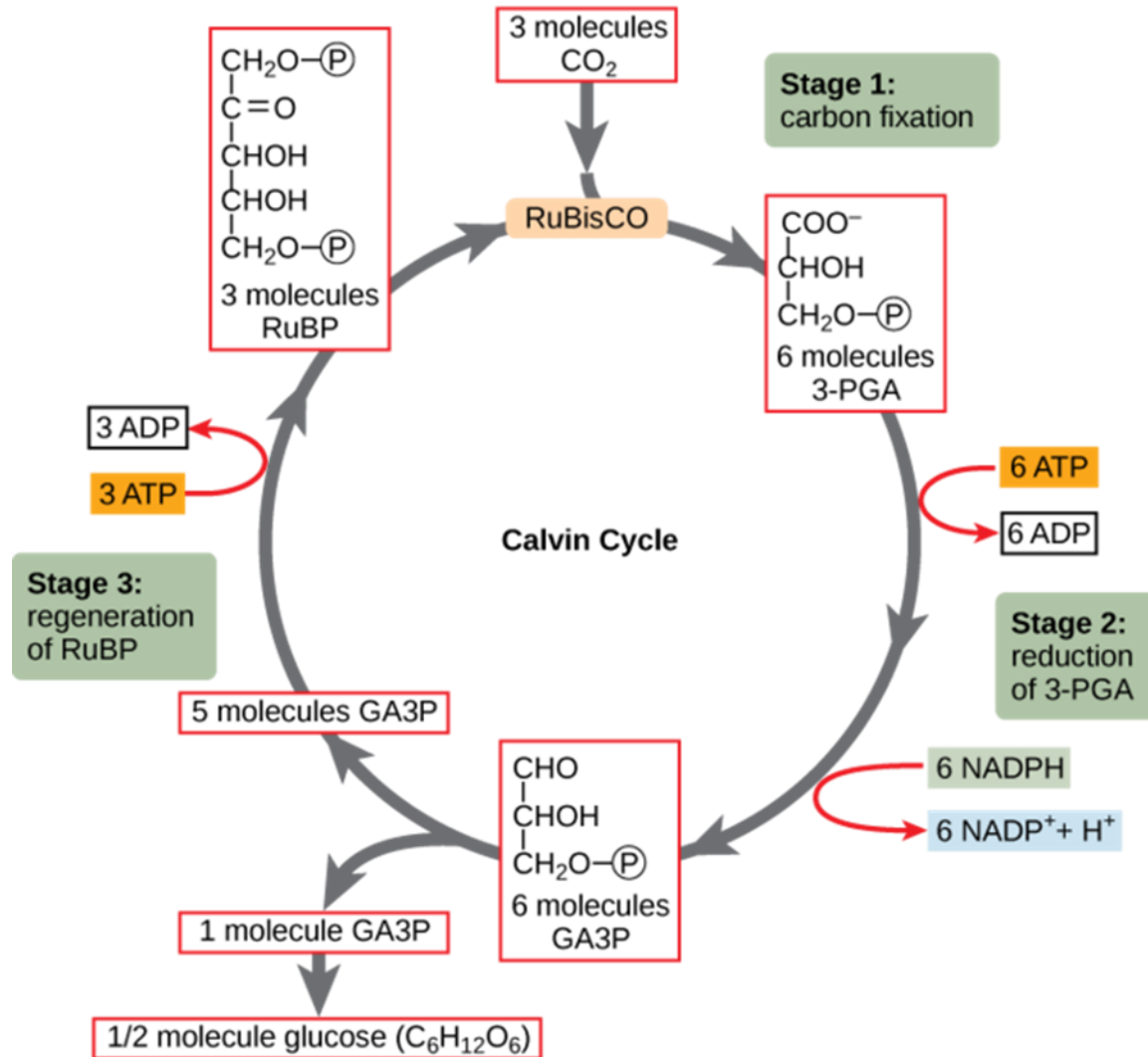
- 此反应式并不能完全表达整个光合作用过程
- 光合作用可分为光反应和碳反应两个阶段

# 光合作用-光反应





# 光合反应-碳反应

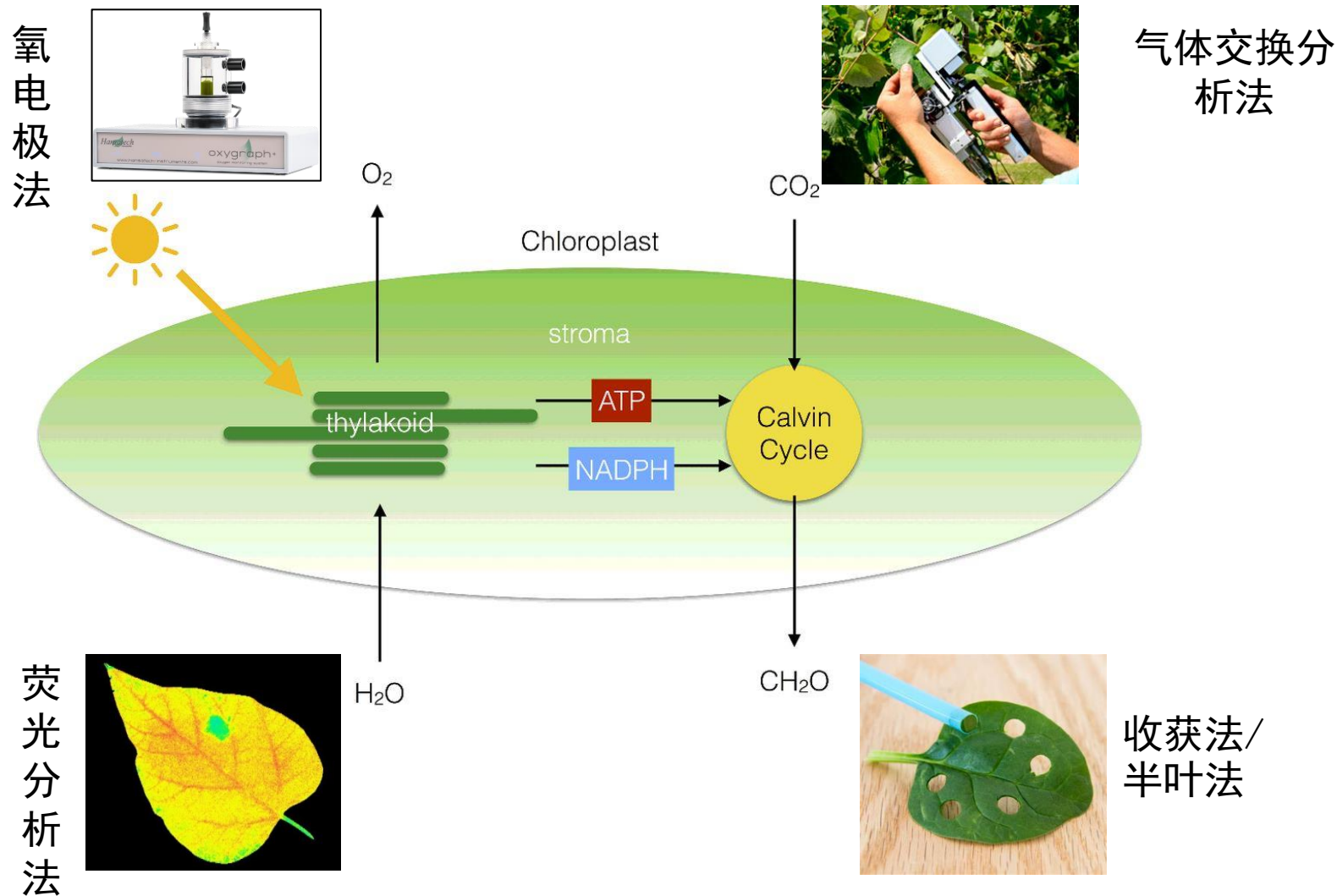




# 主要内容

- 一、测量原理
- 二、测量方法
- 三、LI-6800介绍
- 四、测量注意事项

# 光合作用的测量方法

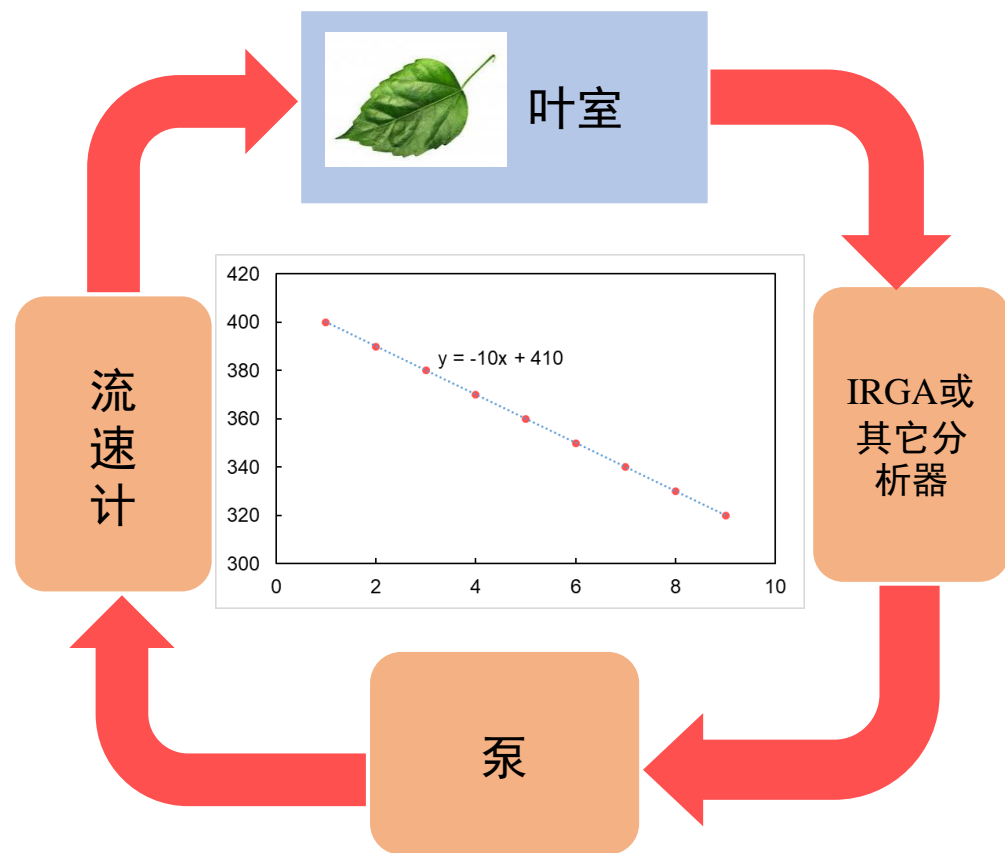




# 光合作用的测量方法

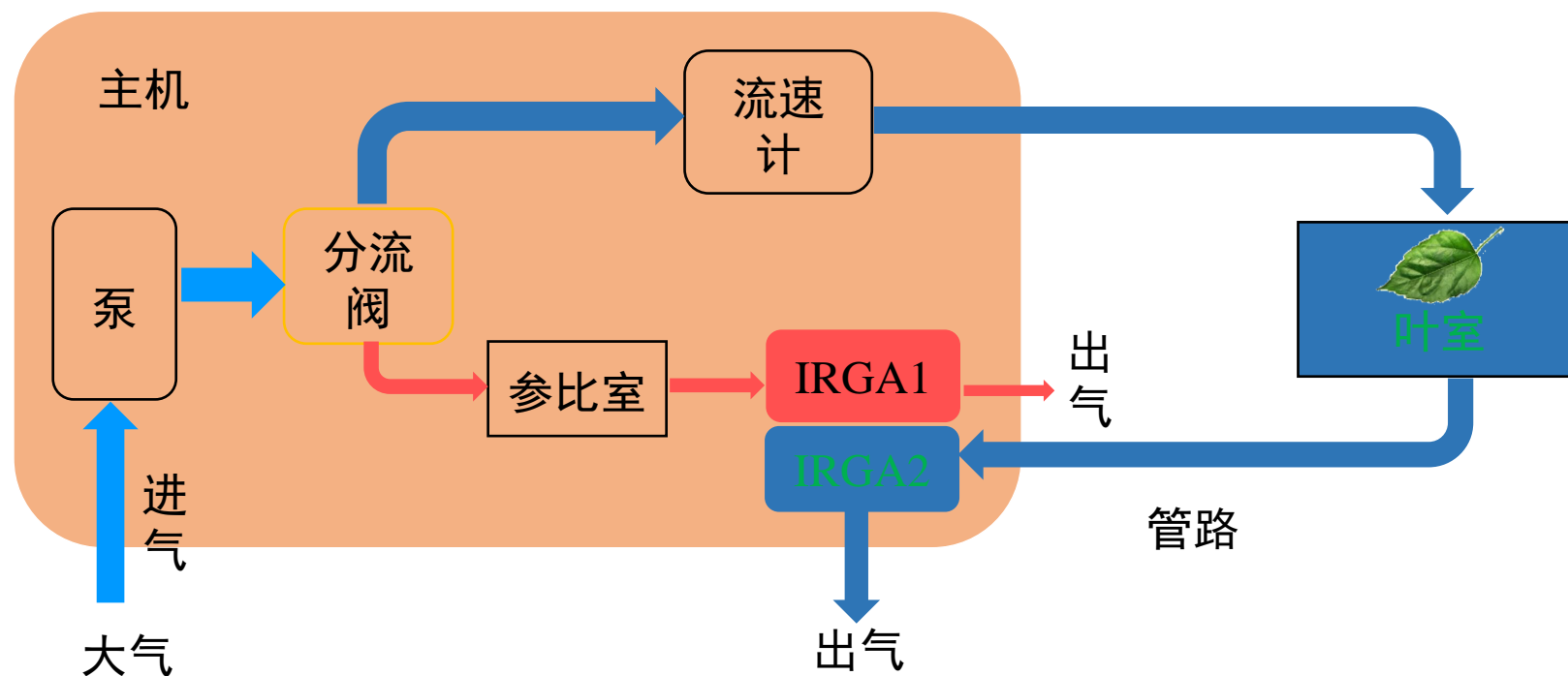
- 氧电极法：参数单一，不能完全反映光合过程（逐渐淘汰）
- 收获法、半叶法：粗糙（很少使用）
- **气体交换分析法**：通过植物在单位时间单位面积/质量同化（或呼吸放出） $\text{CO}_2$ 的量，来反映植物光合/呼吸速率（主流）
- 叶绿体荧光分析法：更多的是反映光能转化过程中能量的分配，间接反映光合，是光合作用的探针（主流）
- 将气体交换参数和荧光参数结合能更全面反映光合的机理。

# 光合作用测定—闭路式气路系统



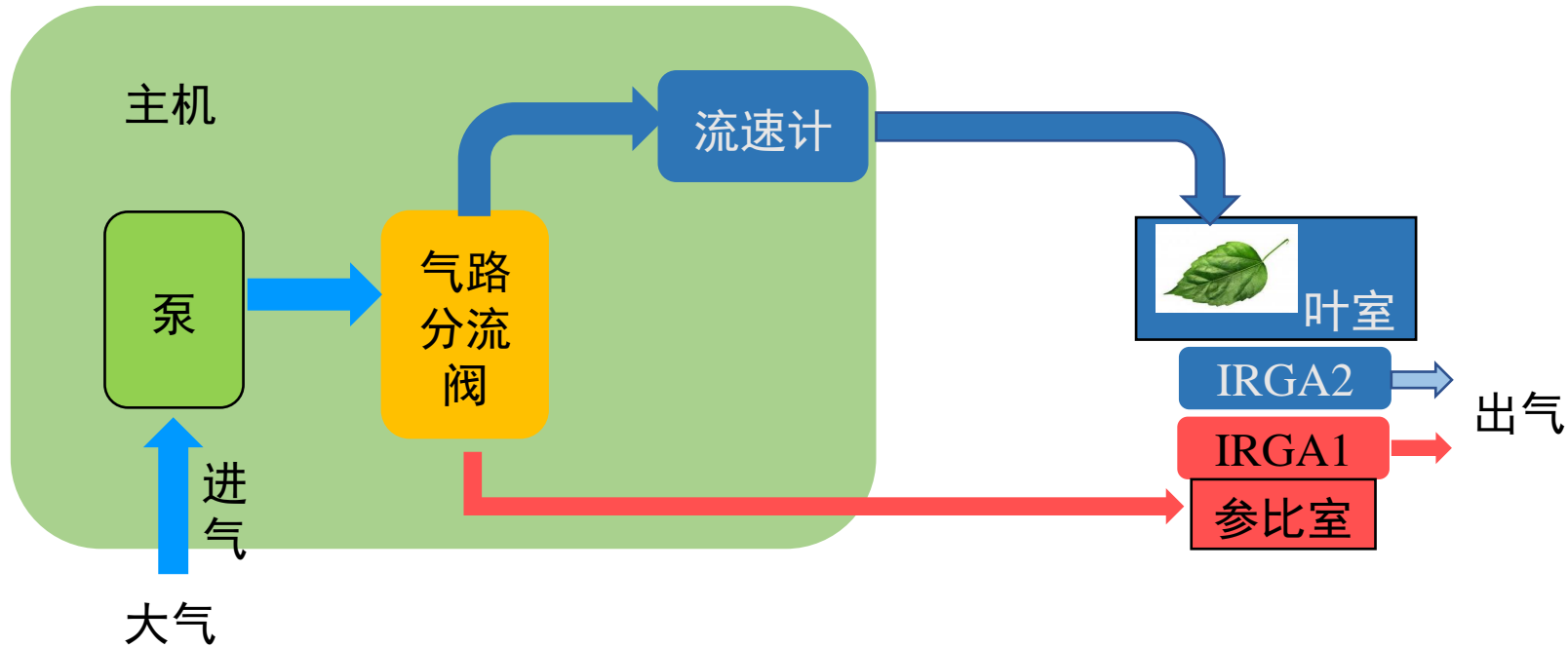
- 早期闭路测量方法：分析器、叶室之间形成闭合回路，以测量植物对CO<sub>2</sub>的消耗速率
- 缺点：植物自身的光合降低了CO<sub>2</sub>浓度，光合速率逐步下降

# 光合作用测定—开路差分式气路系统



- 过渡期开路式差分测量方法：分析器IRGAs置于主机内部
- 时滞效应大，灵敏度差，不能实时反映叶片光合状态
- 管路对水汽具有吸附作用，水分测定准确性差，最终导致气孔导度，蒸腾速率等都不够准确

# 光合作用测定—开路差分式气路系统



- 先进的开路式差分测量方法：分析器IRGAs位于叶室头部
- 优点：无管路—IRGA与样品室之间无管路连接，直接相通；消除了时滞性和水汽吸附导致的测量不准，提高了灵敏度和准确度
- 精度高、反映瞬态的光合作用



# 主要内容

- 一、测量原理
- 二、气体交换分析法
- 三、**LI-6800**介绍
- 四、测量注意事项

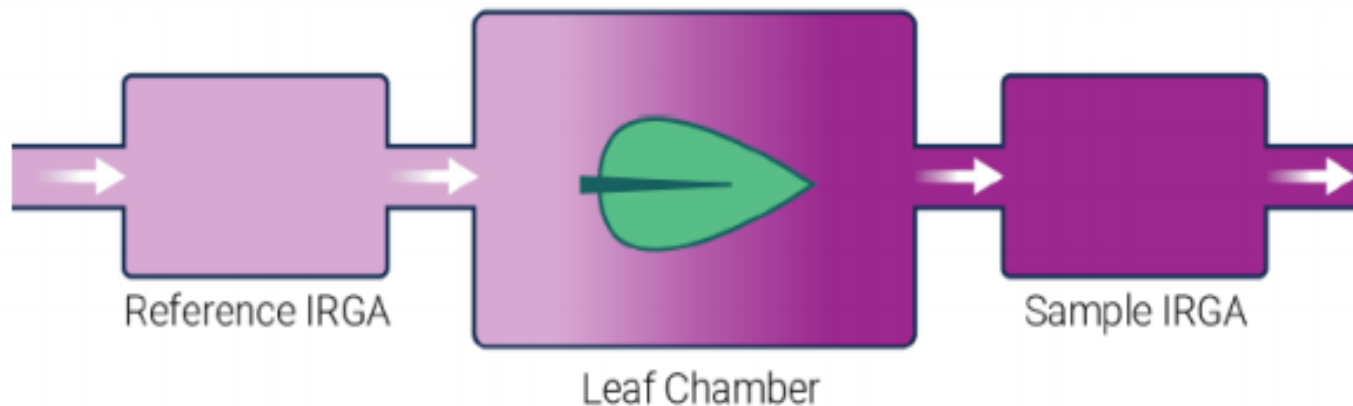


# LI-6800光合仪的测量原理

特点：**开路式、差分法**

开路式：实时测定当前环境下的光合作用，保证了叶室内外环境条件的一致与同步变化。

差分法：样品室和参比室之间具有CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O的浓度差，从而能够精确计算出植物的CO<sub>2</sub>同化速率和蒸腾速率。

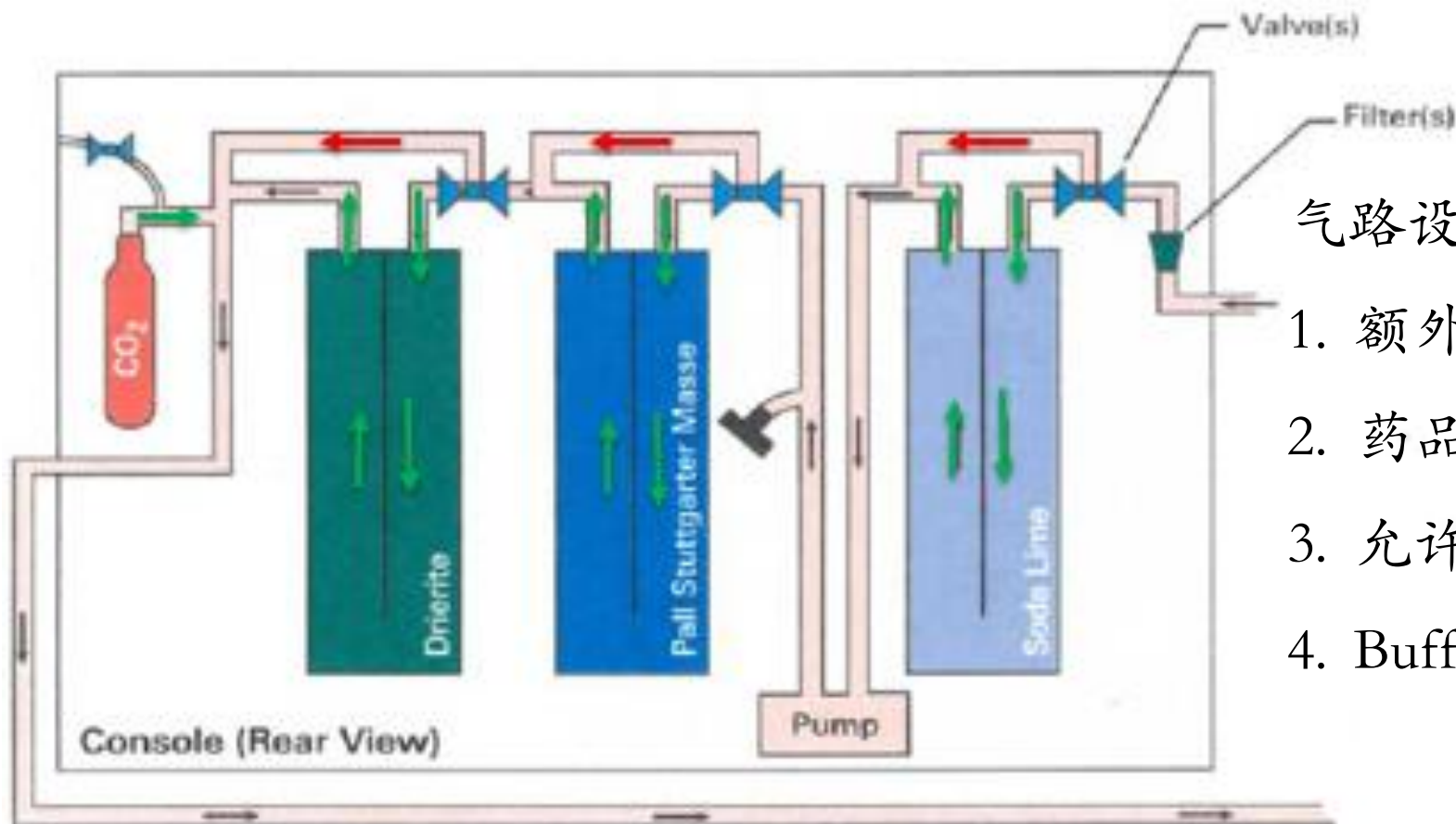


$$A = \frac{\text{Flow} \times (\text{Sample } CO_2 - \text{Reference } CO_2)}{\text{Leaf Area}}$$

$$E = \frac{\text{Flow} \times (\text{Sample } H_2O - \text{Reference } H_2O)}{\text{Leaf Area}}$$

# LI-6800 主机气路

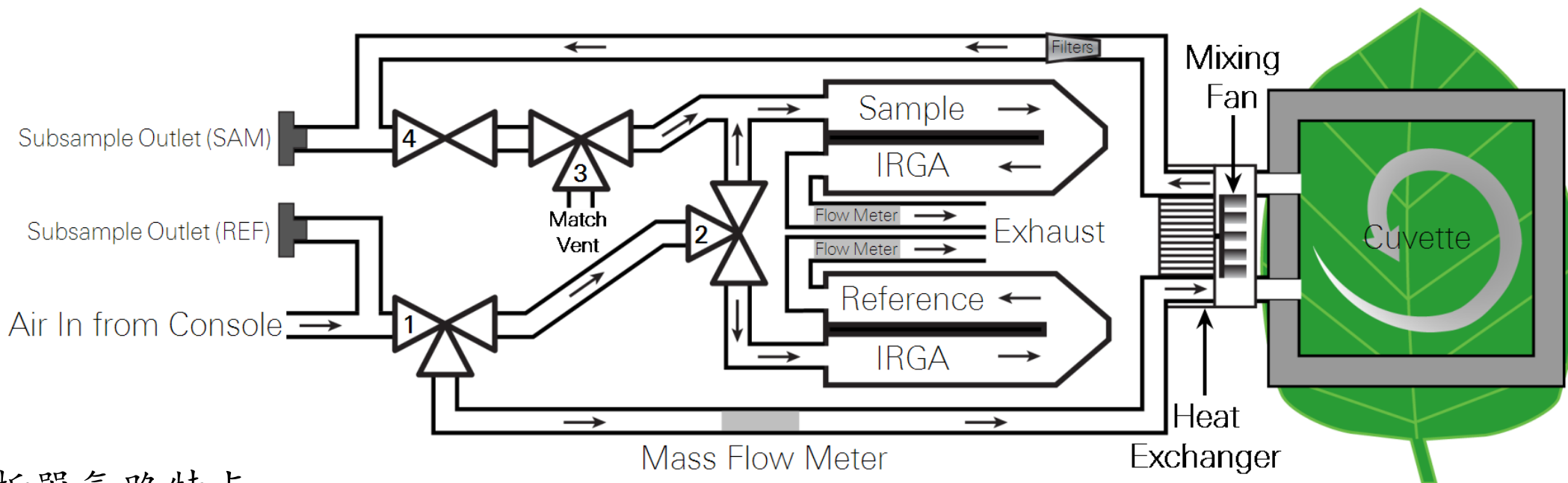
1. **非控制环境条件的测量**：光合日动态和季节动态调查
2. **控制环境条件的测量**：光响应曲线和CO<sub>2</sub>响应曲线等调查



## 气路设计特点

1. 额外的辅助进气口
2. 药品管全自动控制
3. 允许精准的湿度控制(RH、VPD等)
4. Buffer & CO<sub>2</sub> mixing volumes

# LI-6800 分析器气路

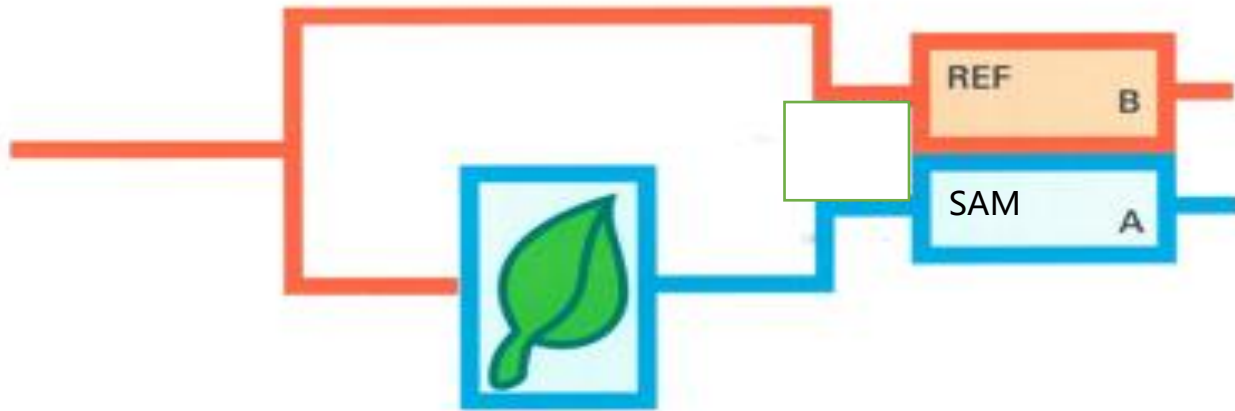


分析器气路特点:

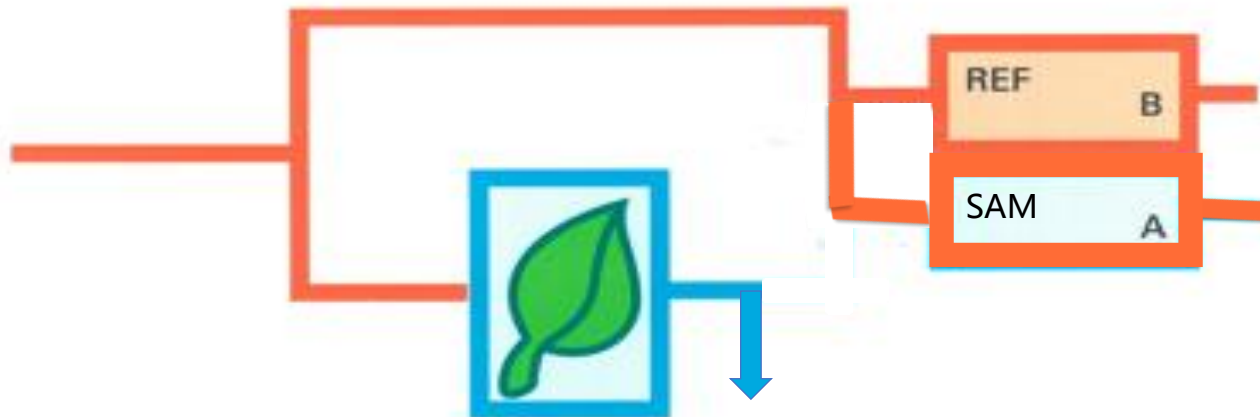
1. 气流在分析器头部分流，而不是在主机中分流；
2. 精确的气路流速计；
3. 气室过压阀，消除扩散效应对低浓度 $\text{CO}_2$ 控制的影响；
4. 样品室和参比室气路均设置取气通路，方便其他分析测定(如同位素质谱分析)；
5. IRGA具有气室漏气检测流速计，可视化气路密封状态；
6. IRGA分析器与叶室模块分离，能够保证测量精度的同时，降低保养频率；

# LI-6800 匹配气路

Measurement mode



Match mode



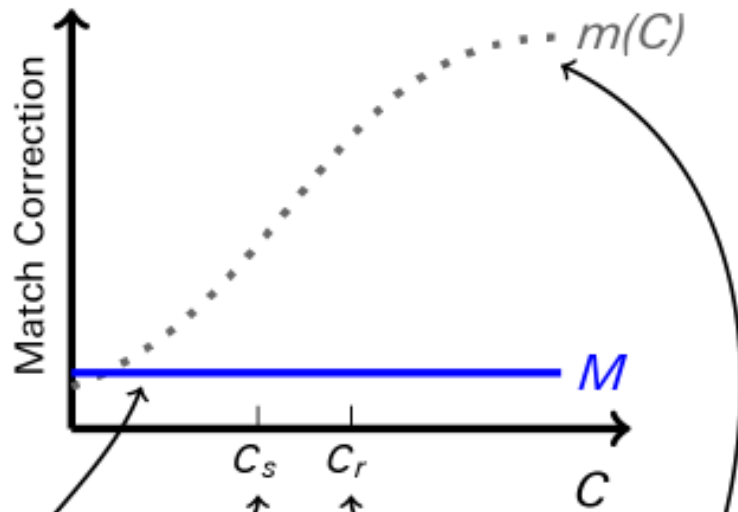
匹配阀设计特点:

1. 参比气路气体匹配IRGAs分析器，不依赖于样品室环境条件
2. 无需等待光合稳定后再进行匹配，匹配过程中叶室内气路供气不中断，对植物叶片无影响。

# LI-6800 匹配气路

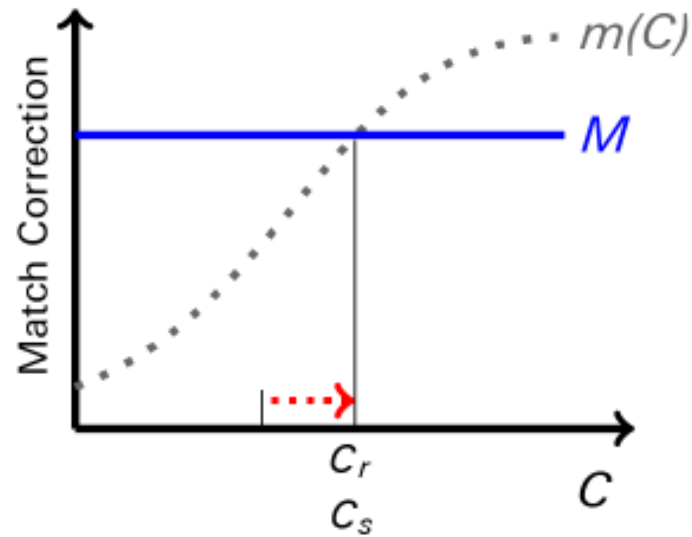
$$M = (C_r - C_s) |_{m}$$

a. Measuring (Pre match)



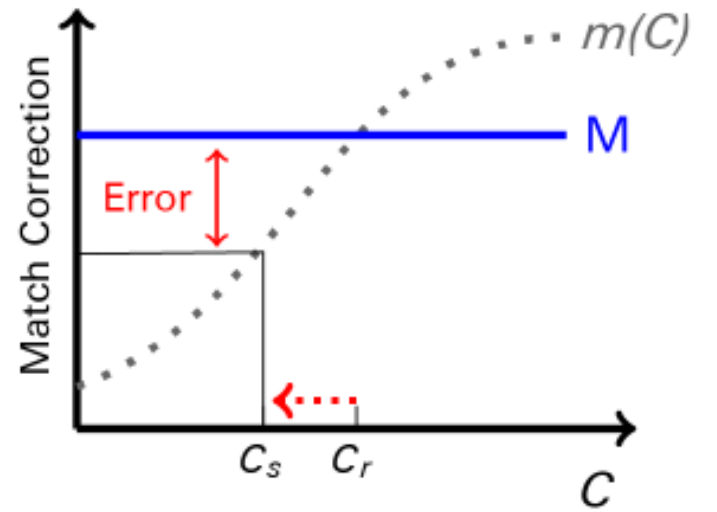
The sample and reference cells are at the indicated concentrations.  $M$  is the match correction from a previous match. The unknown match function  $m()$ .

b. Matching



Entering match, the sample cell is brought to the reference concentration  $C_r$ . When  $M$  is measured, it is the value of  $m(C_r)$ .

c. Measuring (Post match)



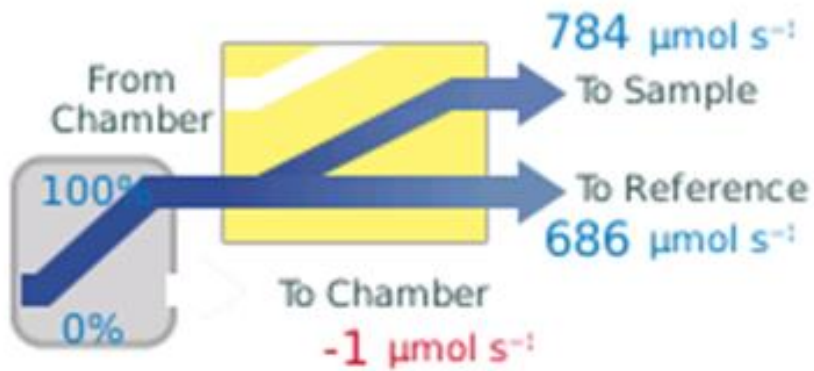
After the match the sample cell receives chamber air once again, but  $M$  stays put. If  $m()$  isn't flat, this introduces an error.



# LI-6800 匹配气路

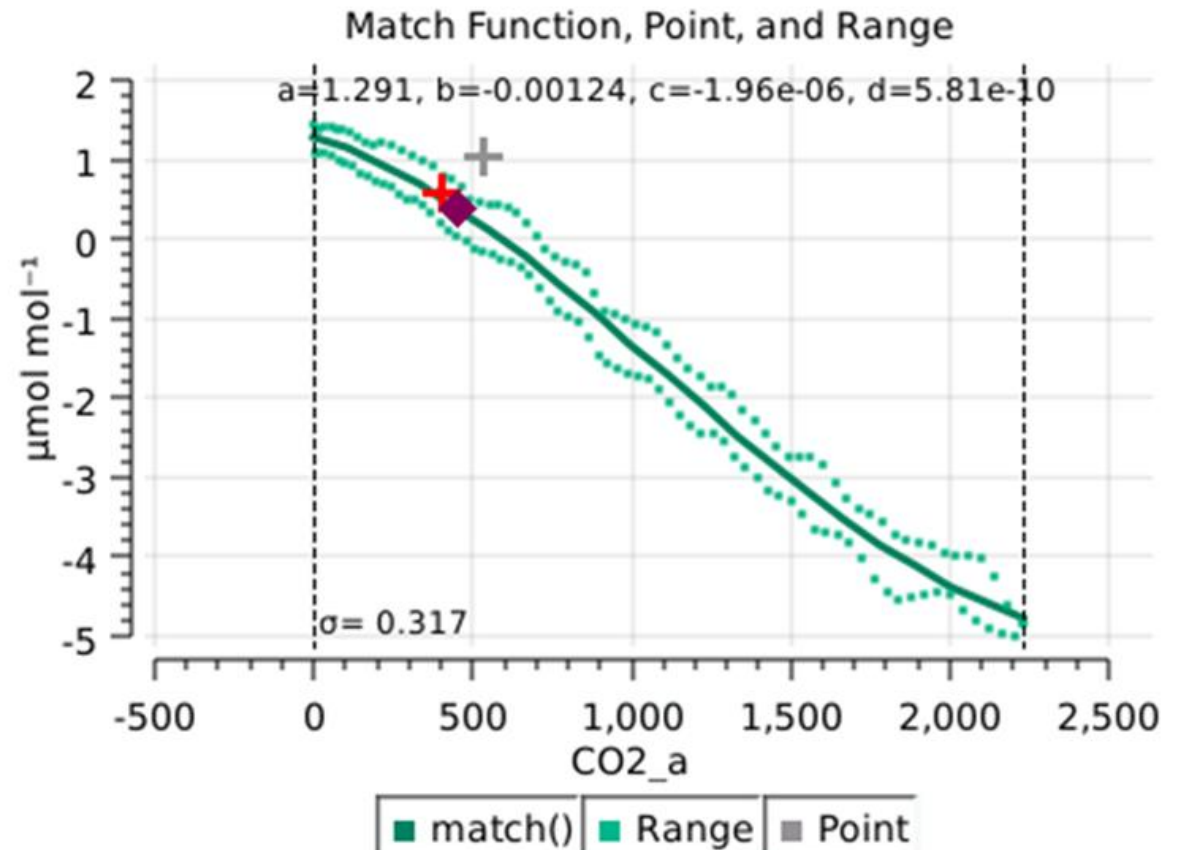
在主机中，点击Acquire后将执行以下操作：

1. 气体不经过叶室，直至IRGA分析器，在样品室和参比室进行分配；
2. 气体浓度从低-高-低，完成一个循环；
3. 记录在升高和降低过程中样品室和参比室的浓度差。



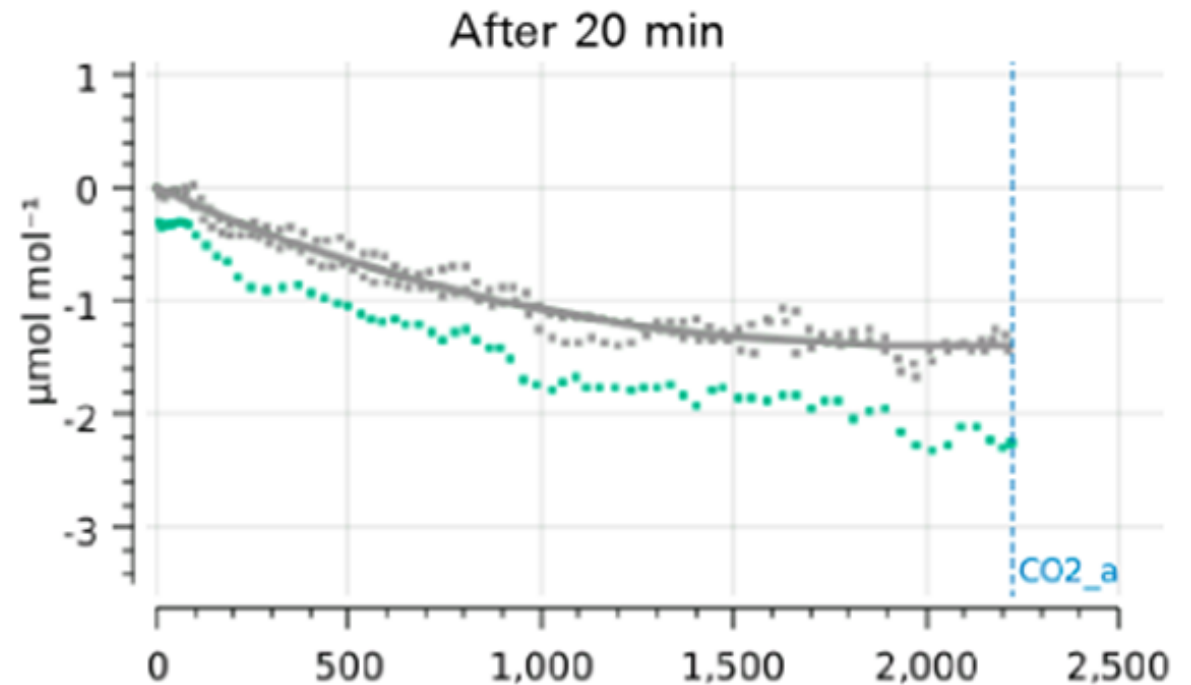
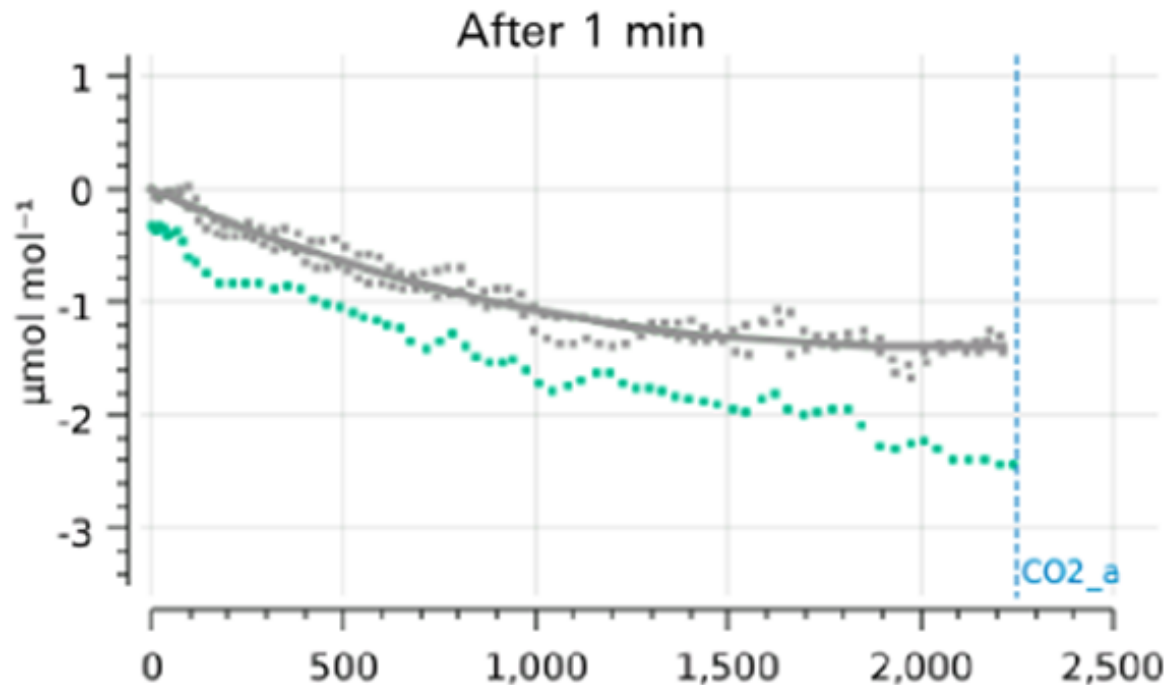
$$\text{CO}_2 \text{ match adjust} = a + b * x + c * x^2 + d * x^3$$

CO<sub>2</sub> Match Data



# Range match stability

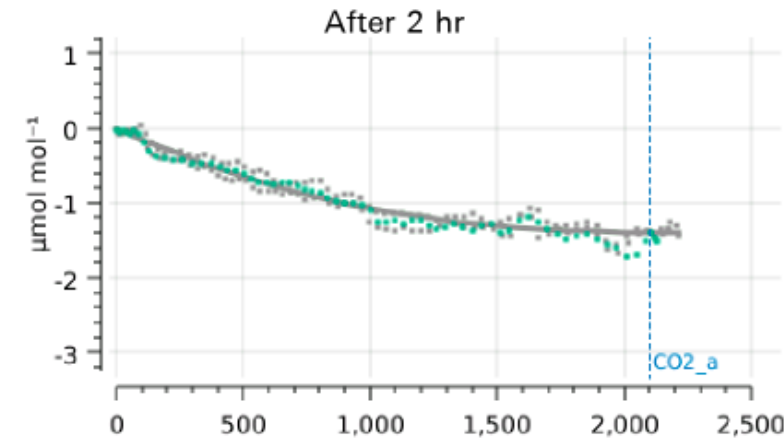
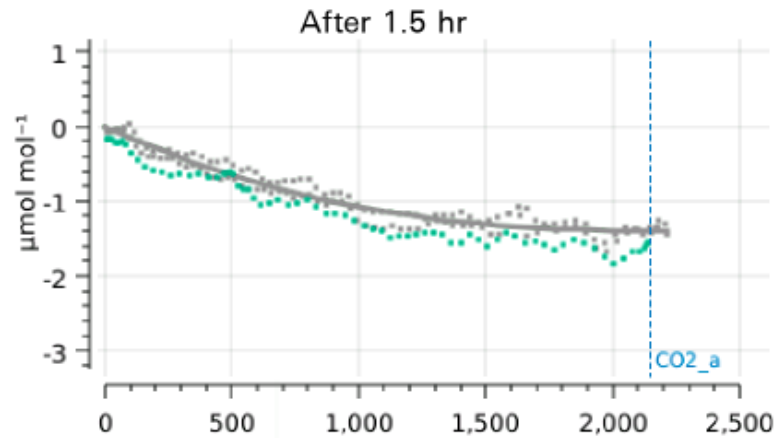
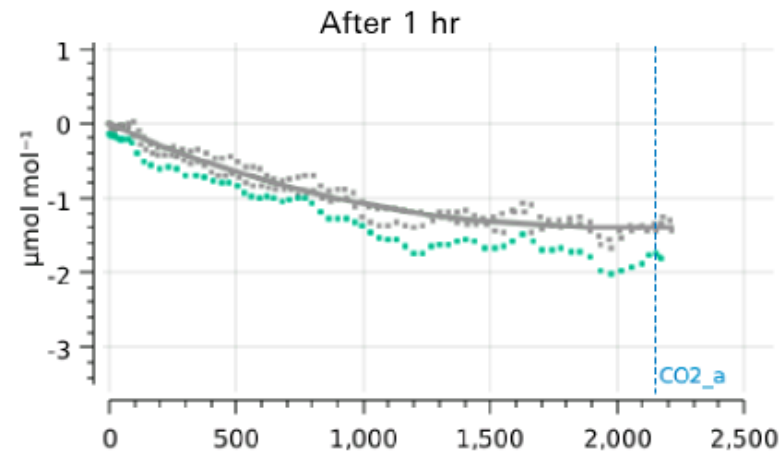
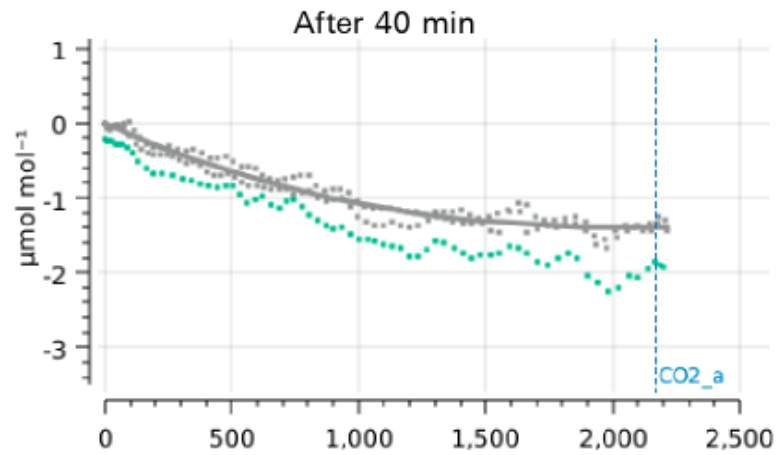
1. 如果需要调节主机的zero和span; 则需在调节后重新做一次range match;
2. Warmup: 主机预热时间的长短也会对range match data造成影响。





# Range match stability

$$\text{CO}_2 \text{ match adjust} = a + b * x + c * x^2 + d * x^3$$







# Range match stability

Start Up 3/5 Environment Constants 1/4 Stability Log Files Auto Programs **Match** Log

CO<sub>2</sub> Match Data

Match Function, Point, and Range

$a=1.291, b=-0.00124, c=-1.96e-06, d=5.81e-10$

$\sigma = 0.317$

Fit match() to:  Point  Range

Use latest point match

Fit interval:  Full  Partial

Close Matching

	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
Uncorr. Sample:	405.38	8.901
+ match():	0.51	-0.279
Sample:	405.88	8.622
- Reference:	401.13	8.004
Δ:	4.75	0.618

Finished at Mon Mar 9 13:47:35 2020

Manage Acquire Exit CO<sub>2</sub>



# 净光合速率计算公式

**A**; 净光合速率 ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ );

**F**; 流速( $\mu\text{mol}/\text{s}$ );

**Cr**: 参比室 $\text{CO}_2$ 浓度( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ );

**Cs**: 样品室 $\text{CO}_2$ 浓度( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ );

**Wr**; 参比室 $\text{H}_2\text{O}$ 浓度( $\text{mmol}/\text{mol}$ );

**Ws**; 样品室 $\text{H}_2\text{O}$ 浓度( $\text{mmol}/\text{mol}$ );

**S**; 叶片面积 ( $\text{m}^2$ )

$$A = \frac{F \left( C_r - C_s \left( \frac{1000 - W_r}{1000 - W_s} \right) \right)}{100S}$$

$\Delta \text{CO}_2$

$\text{CO}_2$ 测量结果的水汽校正

$$A = \frac{F \times \Delta \text{CO}_2 \text{水汽校正}}{S}$$



# 主要测量参数与影响因素

$$E = \frac{F(W_s - W_r)}{100S(1000 - W_s)}$$

气体流速、H<sub>2</sub>O的IRGA零点、叶面积

$$g_s = \frac{1}{\frac{1}{g_t} - \frac{K_f}{g_b}} \quad g_t = \frac{E(1000 - \frac{W_l + W_s}{2})}{W_l - W_s}$$

气体流速、H<sub>2</sub>O的IRGA零点、大气压、叶温

$$A = \frac{F(C_r - C_s(\frac{1000 - W_r}{1000 - W_s}))}{100S}$$

气体流速、CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O的IRGA零点、叶面积

$$C_i = \frac{(g_{tc} - \frac{E}{2})C_s - A}{g_{tc} + \frac{E}{2}}$$

气体流速、CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O的IRGA零点、大气压、叶温、叶面积



# 测量参数

- 净光合速率A
- 气孔导度 $g_{sw}$
- 边界层导度 $g_{bw}$
- 蒸腾速率E
- 胞间 $CO_2$ 浓度 $C_i$
- $CO_2$ 浓度和 $H_2O$ 浓度
- 光量子通量密度PPFD
- 空气温度 $T_A$ 和叶温 $T_L$
- 大气压Press
- 空气相对湿度RH
- 饱和水汽压亏缺 $VPD_{leaf}$
- 叶片饱和水汽压 $SV_{P_{leaf}}$



- 光饱和点
- 光补偿点
- 表观量子效率AQY
- $CO_2$ 补偿点 $\Gamma, \Gamma^*$
- 羧化效率 $V_c$
- 最大电子传递速率 $J_{max}$
- 磷酸丙糖利用速率 $V_{TPU}$
- 叶肉导度 $g_m$
- 气孔限制值 $L_s$
- 碳同化量子效率 $\phi_{CO_2}$
- 光呼吸速率 $R_I$
- 同化商AQ
- 呼吸速率 $R_d$
- 瞬时水分利用效率WUE
- 瞬时光能利用效率LUE



# 主要内容

- 一、测量原理
- 二、测量方法
- 三、LI-6800介绍
- 四、测量注意事项



# 测量注意事项

## 1. 进气稳定-缓冲瓶或CO<sub>2</sub>小钢瓶

缓冲瓶的要求:

- 1) **干净、干燥的无色或浅色空水桶**，塑料桶；有盖能密封，体积越大越好；野外工作考虑到携带方便性，至少4L体积，如果是室内或温室大棚，缓冲瓶需要再放置在一个大箱子内。
- 不可使用装过化学药剂的桶。

缓冲瓶的制作:

- 盖上**留有两个洞**，一个刚好将进气管**插到近桶底**，进气管的另一端连接到主机的INLET口上；另一个直径和进气管内径差不多，或者和前一个洞的直接一样，剪一截进气管（约30cm）插入该口，进气。





# 测量注意事项

## 缓冲瓶的放置：

- 所测环境之中，但**空气扰动相对小**的地方。
- 在野外测定时，缓冲瓶应放置在距离人相对较远且位于人的上风向位置，并高出地面为好（如绑在一根杆上，离地面1米左右位置），避免人为扰动和土壤呼吸的影响。
- 在**室内或温室大棚**，由于是密闭环境，人的呼吸与活动导致CO<sub>2</sub>浓度波动很大，缓冲瓶可放在一个**较大的近乎封闭的空箱子中**来确保进气稳定；

# 测量注意事项

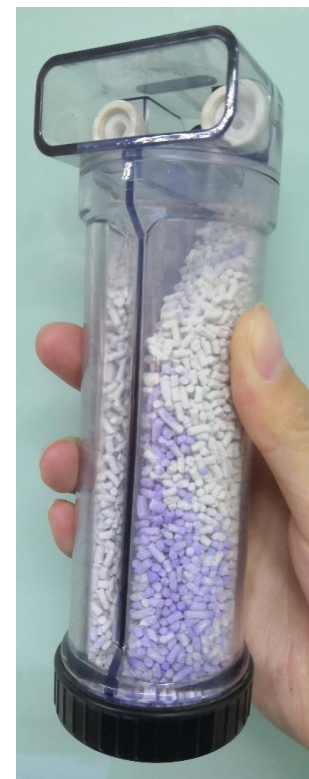
## 2. 检查药品管状态



干燥剂-硅胶珠变  
色橙变白



干燥剂变色  
蓝变粉



苏打管变色  
白变蓝





# 测量注意事项

药品管	作用	判断是否失效	解决方法
苏打管	吸收CO <sub>2</sub>	从白色变为蓝紫色，CO <sub>2</sub> 无法下降到零点附近并保持稳定	可以向苏打管中加入约10ml的水来延长使用时间，不需要直接更换药品
加湿管	对进入系统的气体进行加湿	1.颜色从轻微灰白转为纯白 2.用主机进行湿度检测，检测结果失败 3.管壁上无明显小水滴	往管中加入10-15ml的水，并轻轻摇晃，使其被颗粒均匀吸收
干燥管	去除空气中的水蒸气	颜色从蓝色转为粉色	在210°C下烘1h
		颜色从橙色转为无色/透明	在120°C下烘1h-2h

预热烘箱，在底盘上将药品铺成一层，然后烘干即可；切记：**高温短时间**或**低温长时间**都不可以！

药品更换：更换药品时，只能打开底部的盖帽。将药品填充至距管口1cm即可。

测量完成注意取下加湿管，通5分钟左右干空气，否则水汽进入主机，会腐蚀电路板，造成仪器损坏。

## 3. 测量时间的选择(仅是建议)

- 晴朗、阳光明媚的天气
- 9:00~12:00，不宜过早或过晚，避开中午植物“午休”时间。**没有标准仅供参考（北京时间）**
- 长时间阴雨天后的，不宜转晴后立即测定，应过半天或1天再测定。
- 控制环境条件测量时，要注意光诱导过程，尤其是植物从黑暗或弱光下转移到强光下时，需用测量光强照射一段时间(0.5~1 h)进行光诱导。





# 测量注意事项

## 4. 叶片选择 (仅是建议, 根据实验设计自行调整)

- 对比测定时要充分注意所测叶片的叶位、叶龄、叶取向和叶部位等要素的一致性和可比性;
- 叶片之间无相互遮阴的叶片;
- 生长状况良好的叶片, 包括无病虫害、无损伤、水分和营养状况良好;
- 测定时尽量测定叶片中部并避开叶片的主脉;如果叶片较细小无法避开主脉, 就全部夹住叶脉测定;
- 离体叶片测量时, 要在水下剪断枝条, 并将枝条插入水中以避免水分胁迫;



# 测量注意事项

## 5. 何时匹配

- 开始试验前
- 当  $\Delta \text{CO}_2$  或  $\Delta \text{H}_2\text{O}$  很小时，即光合或蒸腾速率很低时
- 当流速变化大于  $100 \mu\text{mol/s}$
- 当  $\text{CO}_2$  浓度变化超过  $100 \text{ppm}$
- 当温度变化超过  $5^\circ\text{C}$
- 每过  $20 \sim 30 \text{ min}$

# 感谢各位老师的聆听

Thank you for listening



- 北京力高泰科技有限公司      电话：010-64093960
- 传真：010-66001652      邮编：100035
- 电子邮件：info@ecotek.com.cn
- 地址：北京市西城区西直门南大街2号成铭大厦A座22F