

目 录

一、光合作用简介(PHOTOSYNTHESIS)	2
1、光合速率(PN) 定义	2
2、光合作用测定原理	3
3、测量方法	3
二、光合速率和净光合速率以及表观光合速率	7
三、水分利用率(WATER USE EFFICIENCY)	8
四、蒸腾作用(TRANSPIRATION)	8
五、阻力与导度(RESISTANCE AND CONDUCTANCE)	9
六、光呼吸 (PHOTORESPIRATION)	12
七、呼吸作用 (RESPIRATION)	13
八、PAR 光合有效辐射	14
九、技术参数	14
十、SD 卡及目录说明	16
十一、仪器简介及操作流程	16
11.1 仪器及手柄的连接	17
11.2 开机	19
11.3 测量	22
十二、附录	28
1、关于叶面积的设定	28
2、关于仪器预热	29
3、本机气路图	29
4、植物呼吸试验测量	30
5、缓冲瓶的制作	30
十六、装箱单	32

一、光合作用简介(PHOTOSYNTHESIS)

1、光合速率(Pn) 定义

光合速率以单位时间、单位光合机构（干重、面积或者叶绿素）固定的 CO_2 或者释放的 O_2 或者积累的干物质的数量，如果用 CO_2 作为衡量指标，那么光合速率的单位为： $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，在饱和光强下比较不同植物或同种作物不同品种的光合速率。但由于普通空气中 CO_2 的浓度很低， CO_2 供应不足常常是光合作用的重要限制因素，所以只有光和 CO_2 都饱和条件下的光合速率才是严格意义上的光合能力。

高等植物的光合作用

叶片的叶肉是高等植物中光合作用最活跃的组织，叶肉细胞中含有丰富的叶绿素体，而叶绿体中含有能吸收光能的绿色色素-叶绿素，在光合作用中，植物吸收光能氧化水，释放氧气，同时还原 CO_2 ，合成大量的碳化合物，主要是糖，这一系列复杂反应包括类囊体反应和碳固定反应，最终使 CO_2 还原。

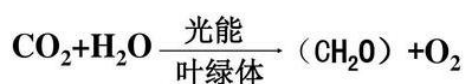
光合作用的类囊体反应发生在叶绿素特化的内膜—类囊体中，类囊体中反应的最终产物是高能化合物 ATP 和 NADPH，它们主要参与碳固定反应中糖的合成，糖的合成过程发生在叶绿体的基质中，基质是围绕类囊体的亲水性区域，类囊体反应，通常也称为光合作用中的光反应。

叶绿体通过两种不同的功能单位--即两种不同的光系统将光能转化为化学能。吸收的光能用于驱动电子在一系列电子供体和电子受体化合物之间进行传递，大部分电子将 NADP^+ 还原为 NADPH，并将 H_2O 氧化成 O_2 ，同时，光能也产生跨类囊体膜的质子动力势，用于合成 ATP。

光合作用的整个过程是一个氧化还原反应，在这个过程中一个化合物被去除电子

而被氧化,另一个化合物则被加上电子而被还原,或者说太阳光被光合生物转化成化学能,主要存储在由无机物二氧化碳和水转化成的有机碳水化合物中,同时释放氧气。

简化的光合作用总方程式如下:



CO_2 被还原,而 H_2O 被氧化

进行光合作用研究,无论是生物化学机制研究还是生理调节规律、生态适应研究,往往涉及光合速率的测定,植物光合速率的测定方法大体有两类:气体交换法和干物质积累测定。干物质积累测定主要有改良半叶法;气体交换测定分为 CO_2 吸收和 O_2 释放测定。本仪器采用植物叶片对 CO_2 的吸收来测定植物叶片的光合速率。

2、光合作用测定原理

光合作用和蒸腾作用分别是 CO_2 和水气分子通过叶片的内外交换过程,其主要通道是气孔。气体扩散的动力是叶内外气体的浓度差。按照费克扩散定律,扩散途径中气体的扩散通量与扩散途径的浓度差成正比,而与扩散阻力成反比。对于光合速率 P_n ,其关系式为:

$$P_n = \frac{\Delta C}{\sum r}$$

式中: ΔC — 扩散途径两端的 CO_2 浓度差;

$\sum r$ —— 扩散途径对于 CO_2 分子的总扩散阻力。

ΔC 指的是空气中 CO_2 浓度 C_a 与叶肉细胞间隙中 CO_2 浓度 C_i 之差。

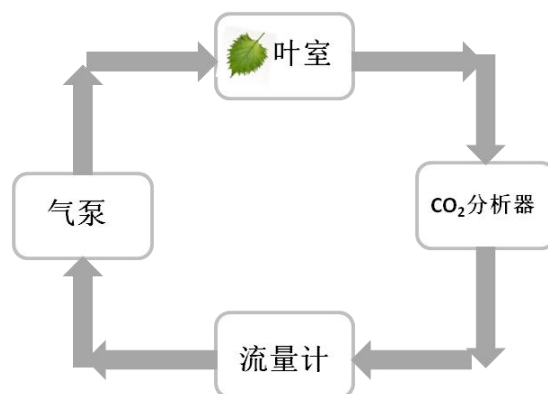
3、测量方法

CO_2 吸收法又分为闭路测量和开路测量两种测量方法。

3.1、闭路测量方法

气泵、叶室、CO₂分析器、流量计组成一个闭路循环系统，气泵抽动气体来保持气体在这个闭合回路中循环，夹住叶片后，叶片进行光合作用吸收 CO₂，在通过测量植物对 CO₂ 的消耗速率来计算光合速率。如下图：

缺点：植物自身的光合作用降低了 CO₂ 浓度，光合速率逐步下降。



闭路测量示意图

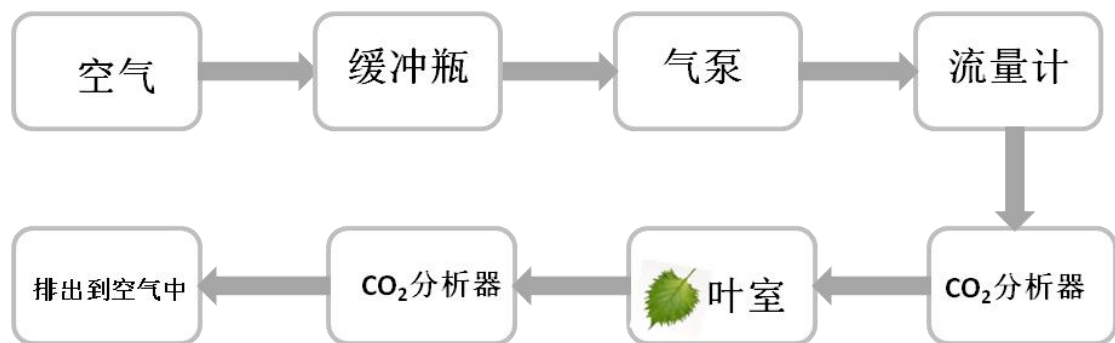
计算公式:

$$P_n = \frac{\Delta CO_2}{S \times T}$$

P_n =光合速率($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) , S 是叶片面积 , T 是时间。 ΔCO_2 为测量时间内的 CO₂ 差值

3.2、开路测量方法：

气泵抽动大气中 (为了保持气体的稳定 , 随机配备了缓冲瓶) 的空气经流量计进入 CO₂ 分析器 , 测量 CO₂ 浓度后流经叶室 , 然后流经另外一个 CO₂ 分析器 , 再次测量 CO₂ 浓度后进入大气 , 通过测量流经叶片前后的 CO₂ 差值计算光合速率。



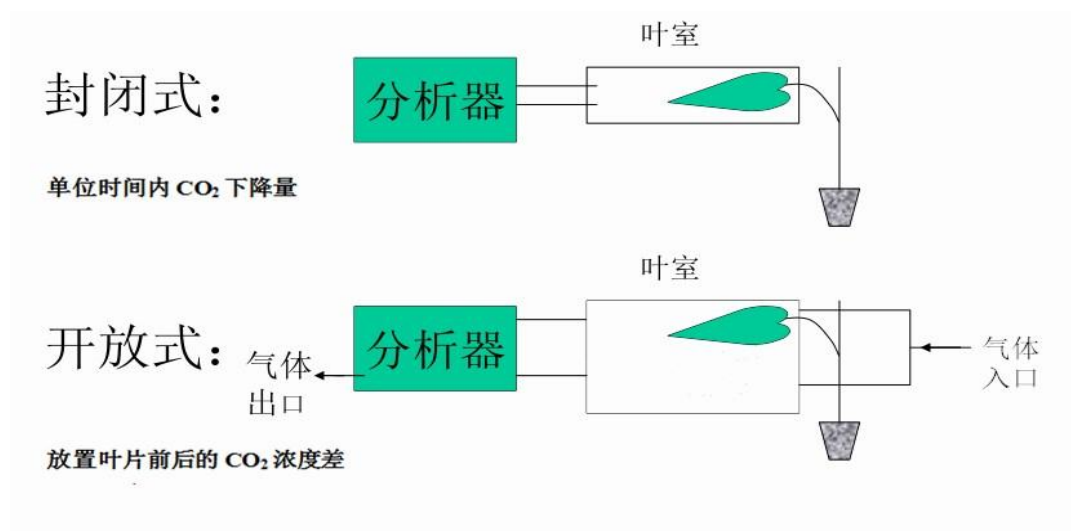
开路测量示意图

计算公式：

$$P_n = \frac{F \times \Delta CO_2}{S}$$

P_n = 光合速率 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) , S 是叶片面积 , F 是流量。 ΔCO_2 为流经叶片前后的 CO_2 差值

3.3、闭路、开路测量方法的区别



如上图所示：

封闭式测量系统也称为闭路测量： CO_2 分析器和叶室组成一个密闭的系统，系统内的气体通过气泵驱动循环，在夹叶片之前系统内部的 CO_2 浓度是一定的，夹住叶片之后，叶片进行光合作用，吸收 CO_2 ，然后整个系统内的 CO_2 浓度降低，然后根据单位时间内 CO_2 降低的量以及叶片面积来计算叶片的光合速率值。

开放式测量系统称为开路测量：外界气体由气泵驱动，先流经叶室，然后流经 CO₂ 分析器，然后流出，整个系统在不放置叶片的情况下，CO₂ 浓度是一定的，然后夹住叶片，流经叶室的 CO₂ 浓度会下降，也就是说测量光合作用是基于流经叶片前后空气中 CO₂ 的差异。

3.3.1、闭路测量的弊端

1、非恒态测定，浓度不断下降，不能长时间连续检测。由于系统密闭，随着叶片光合作用的进行，系统内部的 CO₂ 会不断下降，如果叶片的光合速率很快（比如向日葵，向日葵幼苗的光合速率能达到 $30\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ），整个系统的 CO₂ 将会下降的非常快，在一个很短的时间内就会降低很多，在这种情况下系统的 CO₂ 浓度就会成为限制叶片光合速率主要因素，导致不能测量出真实的光合速率。例如：一开始整个系统的 CO₂ 是 400ppm，夹住叶片后，有可能在 5 秒钟内就会下降到 100-200ppm，这时候 CO₂ 浓度不足，开始限制植物的光合速率，因此有的文献中说用闭路的测量方法，只能让系统的 CO₂ 浓度下降 30ppm，就要停止实验，但实际做到这一点有很大的难度，所以闭路测量方法测量植物的光合速率比开路方法操作起来更复杂和更难控制，或者说测量过程很难把控，而且不能连续测量。

2、需要精确测量系统包括同化室（叶室）的容积，由于管路以及系统体积等影响，很难精确量。

3、强光下，同化室（叶室）的温度升高过快。

4、由于系统密闭，在光合速率的测量过程中，由于蒸腾作用的进行，导致叶室中水汽浓度增加，甚至会在叶室的透明窗口形成水雾，影响光线照射叶片，进而影响光合速率。

5、气路系统容易漏气，环境 CO_2 干扰测定

3.3.2 闭路测量的优点

- 1、对 CO_2 传感器的精度要求不高
- 2、测定光合速率时，不用精确测定流量
- 3、可以测定群体光合速率

3.3.3 开放式气路系统的优点

- 1、长时间动态监测
- 2、恒态稳定；维持 CO_2 稳定值
- 4、测定 CO_2 -光合曲线：同一叶片不同 CO_2 浓度下的光合速率
- 5、测定光呼吸：不同浓度下的光合速率之差

低氧气体 (2-3% O_2 , 空气 CO_2 浓度)

与正常空气 (21% O_2 , 空气 CO_2 浓度)

二、光合速率和净光合速率以及表观光合速率

由于绿色植物每时每刻 (不管有无光照) 都在进行呼吸作用，分解有机物，消耗氧气，产生二氧化碳；而光合作用合成有机物，吸收二氧化碳，释放氧气，也就是植物在进行光合作用吸收二氧化碳的同时，还进行呼吸作用释放二氧化碳，而呼吸作用释放的部分或全部二氧化碳未出植物体又被光合作用利用。所以人们把在光照下测定的二氧化碳的吸收量 (只是光合作用从外界吸收的量，没有把呼吸作用产生的二氧化碳计算在内) 称为表观光合速率或净光合速率。

表 观 光 合 速 率 (apparent photosynthetic rate) 或 净 光 合 速 率 (net photosynthetic rate)：即一般测定光合速率时没有减去呼吸作用。如果把表观光合速率加上呼吸速率，则得到总(真正)光合速率。

实际光合速率（或真正光合速率或总光合速率）：

如果我们在测光合作用速率时，同时测其呼吸速率，把它加到表观光合速率上去，则得到真正光合速率。即：真正光合速率=表观光合速率+呼吸速率

三、水分利用率(Water Use Efficiency)

水分利用率（瞬时水分利用率）(wue)等于光合速率与蒸腾速率的比值：

$$WUE = \frac{P_n}{Tr}$$

假如 P_n 值为 $10.7 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ， Tr 值为 $4.3 \text{mmolH}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$

那么： $WUE = 10.7 \times 10^{-6} \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1} / 4.3 \times 10^{-3} \text{mmolH}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$

$$WUE = 0.0025 \text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$$

四、蒸腾作用(Transpiration)

1、蒸腾作用定义：

水分以气态形式通过植物体表面散失到体外的过程叫做蒸腾作用，与一般的蒸发不同，不同之处在于前者是通过生物体进行的水分扩散，而后者仅为简单的物理过程。蒸腾作用是一个生理过程，既受环境因素的影响也受到植物体结构和气孔行为的调节。

蒸腾速率定义：

植物在单位时间内，单位叶面积通过蒸腾作用所散失的水分的量称为蒸腾速率。

$$\text{蒸腾速率} = \frac{\text{蒸腾失水量}}{\text{单位叶面积} \times \text{单位时间}}$$

2、蒸腾的测量

光合和蒸腾分别是 CO_2 和水气分子通过叶片的内外交换过程，其主要通道是气孔。气体扩散的动力是叶片内外气体的浓度差。按照费克扩散定律，扩散途径中

气体的扩散通量与扩散途径的浓度差成正比，而与扩散阻力成反比。对于蒸腾速率 T_r ，其关系式为：

$$T_r = \frac{\Delta C}{\sum r}$$

式中： ΔC —扩散途径两端的水蒸汽浓度差；

$\sum r$ —扩散途径对水气扩散的总阻力

ΔC 指叶肉细胞间隙中的水蒸汽密度 C_i 与空气中水蒸汽密度 C_a 之差：

$$\Delta C = C_i - C_a$$

在实际应用中，常把 C_i 看作当时叶温下的饱和蒸汽密度。

由于现有光合仪基本上测量光合作用的同时也测量出蒸腾作用，所以对于蒸腾作用的测量跟光合作用测量一样，具有两种测量方式

开路测量：

$$T_r = \frac{\Delta H_2O \times FLOW}{S}$$

式中： T_r 为蒸腾速率， ΔH_2O 为流经叶室前后的水蒸气浓度差，Flow 流量， S 是叶片面积。

而对于闭路测量则按下面公式计算：

$$T_r = \frac{\Delta H_2O (\text{水汽增加量})}{S \times T}$$

式中： T_r 为蒸腾速率， ΔH_2O 叶室水蒸气增加量， S 是叶片面积， T 是时间。

五、阻力与导度(Resistance And Conductance)

按照费克扩散定律，扩散途径中气体的扩散通量与扩散途径的浓度差成正比，而与扩散阻力成反比。水分从叶片散失时（蒸腾的介绍）会遇到两个阻力：气孔阻力 R_s 和叶片界面层阻力 R_b 。

总阻力的概念因蒸腾或光合而有明显差别。处理这类问题时可用分段电路的欧姆

定律,将扩散途径按阻力的性质不同分为若干小段,每一小段的阻力可以分别考查。在同一扩散途径中,各阻力视为串联,对于不同的扩散途径,如通过气孔的扩散和通过角质层的扩散,通过两面具有气孔的叶子扩散等,可视为阻力的并联;在同一扩散途径的各小段,其扩散通量(相当于电流)是相等的。

1. 界面层阻力 r_b 和 r_b'

2. 气孔阻力 r_s 和 r_s'

3. 叶肉阻力 r_m' 主要指 CO_2 在叶肉细胞的扩散阻力,即 CO_2 由气相溶解于细胞的液体介质中向叶绿体内部扩散所遇到的阻力。气体在水中的扩散系数大约等于在空气中的万分之一,所以叶肉阻力应显著大于气相中的阻力。但由于这一段扩散途径较短,因而实际阻力不像设想的那样大。

羧化阻力 Rubisco 羧化部位因羧化反应速率的限制而产生的阻力(其倒数称羧化效率)。但实际应用中尚缺乏相应的技术将各段阻力分别测定,故仍笼统地将以上阻力之和称为叶肉阻力。(荧光技术的应用)

根据以上原则,分别将蒸腾与光合的阻力表达式写为:

$$T_r = \frac{C_i - C_a}{r_b + r_s} \quad P_n = \frac{C_a' - C_i'}{r_b' + r_s'} = \frac{C_a' - C_{chl}'}{r_b' + r_s' + r_m'}$$

式中: C_{chl}' ——叶绿体中羧化部位的 CO_2 浓度。

根据以上分析,可以用仪器测量几个关键的参数,并据此计算各阻力值。

根据蒸腾的计算式,水气扩散的气孔阻力可以表示为:

$$r_s = \frac{C_i - C_a}{T_r} - r_b$$

式中: C_a 为空气中的水气密度,可用湿度计测出, C_i 为在叶温下的饱和水气密

度，可测出叶温，按公式计算。Tr 为蒸腾速率，可用相应仪器直接测出，以每平方米叶面积每秒蒸腾散失的水量($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)表示。rb 为界面层阻力，可用模拟方法测出，以浸湿的滤纸代替叶片，其水分散失相当于完全没有表皮细胞的裸露叶肉细胞，可视为 $r_s=0$ ，这种情况下，按照公式：

$$Tr = \frac{\Delta C}{r_b}$$

则可求出：

$$r_b = \frac{\Delta C}{Tr}$$

近年来，学者们更多用导度(g)来代替阻力(r)，两者关系与电导和电阻的关系相同，即互为倒数：

气孔导度：

$$G_s = \frac{1}{r_s}$$

叶肉导度：

$$G_m = \frac{1}{r_m}$$

优点是导度与通量成正比直线关系，容易进行数据处理。而阻力与通量则呈双曲线关系，数据处理常有不便。

以上是对水气分子扩散阻力的计算。对 CO_2 分子的阻力，不可用以上方法直接算出，因为叶肉细胞间隙中的 CO_2 浓度 C_i' 无法估计直接测量难度也很大。只有一个间接计算方法最为方便。因为气体分子扩散系数的大小与其分子量的平方根成反比，由于 CO_2 分子与 H_2O 分子同样经过气孔扩散不考虑角质层途径， CO_2 受到的扩散阻力就相当于水分子阻力的 1.56 倍。

$$\frac{D_{H_2O}}{D_{CO_2}} = \frac{\sqrt{44}}{\sqrt{18}} = 1.56$$

由于 CO₂ 分子进入气孔的同时还有 H₂O 分子从气孔向外扩散,因而使 CO₂ 进入的阻力更大些,据 Cowan 的试验结果将此值修正为 1.6,即:

$$rs' = 1.6 rs$$

在界面层,此系数为 1.37,因为界面层内的扩散不仅依赖于分子本身的大小,而且还和气体分子的湍流传输有关。

$$rb' = 1.37rb$$

于是,CO₂ 在气相介质中扩散的总阻力为:

$$\sum r' = 1.6rs + 1.37 rb$$

明确了以上关系,即可间接计算出 Ci':

由

$$P_n = \frac{Ca' - Ci'}{\sum r'}$$

$$Ci' = Ca - Pn \sum r' \text{ 或 } Ci' = Ca - Pn / \sum g'$$

水蒸气的总导度为:

$$Gs = \frac{Tr \text{ (蒸腾速率)}}{Wi - Ws \text{ (水汽浓度梯度)}}$$

六、光呼吸 (Photorespiration)

光呼吸:植物的绿色细胞在光照下有吸收氧气,释放 CO₂ 的反应。

1920 年 Warburg 在用小球藻做实验时发现,O₂ 对光合作用有抑制作用,这种现象被称为瓦伯格效应(Warburg effect)。这实际上是氧促进光呼吸的缘故。在许多 C₃ 植物中,当氧浓度加倍时,其光光合作用降低 50%;后来德克尔(J.P.Decher)用红外线 CO₂ 气体分析仪测定烟草光合速率时,观察到对正在进行

光合作用的叶片突然停止光照的短时间内，叶片大量释放 CO₂，即 CO₂ 猝发 (CO₂ outburst)现象。这些试验结果导致光呼吸现象的发生。即植物含有叶绿体的细胞在光照下不但进行 CO₂ 的同化，而且存在依赖光的消耗 O₂ 释放 CO₂ 的反应，成为光呼吸，也称为光呼吸碳氧化循环 (photorespiratory carbon oxidation cycle PCO cycle)

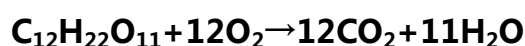
光呼吸测量方法：

- 1、测定断光瞬间的 CO₂ 猝发量
- 2、测定光下不含 CO₂ 的空气中 CO₂ 的释放量
- 3、测定 2% O₂ 和 21% O₂ 浓度下光合速率的差值

七、呼吸作用 (Respiration)

呼吸作用是在所有生物体中进行的基本生理过程。呼吸作用是生物氧化的过程，生物体将细胞内的有机物通过有控制的步骤逐步氧化分解，并释放能量的过程。呼吸作用的首要作用是提供生物体各种生命活动所需要的能量。在光合作用中，植物把光能转化为化学能并储存在还原态的碳水化合物中，这可以认为是所有生物的生命活动的能量来源。但是光合作用所生产的碳水化合物通常并不能直接为生物提供生理活动所需要的能量，而必须通过呼吸作用将其逐步氧化，释放出自由能并以 ATP 的形式供应生物体各种代谢的需要。呼吸作用一般以葡萄糖的氧化表示，然而，在大多数高等植物细胞中，呼吸作用所用的还原碳来自光合作用产生的蔗糖、丙糖磷酸、有机酸等，以及脂和蛋白质降解的代谢物。从化学角度来看，植物呼吸过程可表述为 C₁₂ 分子蔗糖的氧化和 12 分子氧的还原。

净反应式如下：



对比光合作用的表达式，这一过程可视为光合作用的逆过程。

呼吸作用的另一个重要的作用是提供合成其他有机物所需要的原料。在呼吸代谢的过程中，碳水化合物的氧化是通过呼吸代谢途径逐步进行的。在逐步降解的过程会产生一系列的中间产物，因而提供了生产各种其他有机化合物所需要的原料，并将各种代谢过程联系起来。因此，呼吸代谢可以看做植物代谢的中心环节。

呼吸速率 (respiration rate)

又称呼吸强度：是指单位重量或单位面积的呼吸材料，在单位时间内进行呼吸所消耗的 O_2 或释放的 CO_2 数量。

测量方法：同光合速率的测量方法一样，不过叶室需要遮光。

八、PAR 光合有效辐射

植物用于光合作用的特定波长范围 (400-700nm) 的辐射称作光合有效辐射

英文：Photosynthetic Active Radiation 简称：PAR (本机中显示为光强)

九、技术参数

光合作用测定仪是通过测量植物叶片一定时间内 CO_2 吸收 (释放) 的量，并同时测量空气温湿度，叶片温度，光照强度以及同化 CO_2 的叶片面积等要素，就可以直接计算出植物的光合速率、蒸腾速率、细胞间 CO_2 浓度和气孔导度等光合作用指标。该仪器具有灵敏度高、反应迅速，抗干扰性强，操作方便，可以进行活体的、连续的测定等突出优点，因而被广泛应用于植物生理学、植物生物化学、生态环境、农业科学等多个领域。

测量方式：本机采用开路测量方式。

光合测量技术参数：

测定项目	类别	测定量程	精度
Rni(进气湿度)	湿敏电容	0-100%	<2%
Rout(出气湿度)	湿敏电容	0-100%	<2%
RHc(湿度差)	出气湿度与进气湿度的差值		
Flow	气体流量	0.3-1.2L/min	±0.005L
CO ₂	非扩散红外分析器	0-3000 ppm	±3 ppm
PARin (选配)	叶室内光合有效辐射	2500μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	
PARout	外置光合有效辐射	2500μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	
TC(空气温度)	热敏电阻	-20-80℃	<0.2%
TL(叶片温度)	热敏电阻	-20-60℃	<0.2%
RH 叶室湿度	湿敏电容	0-100%	<2%
P 大气压力		150 ~ 1150hPa	±1.5%
Pn(光合速率)	根据测量项目得出的数据通过公式计算得出		
Tr(蒸腾速率)	根据测量项目得出的数据通过公式计算得出		
WUE(水分利用率)	根据测量项目得出的数据通过公式计算得出		
Gs(气孔导度)	根据测量项目得出的数据通过公式计算得出		
Ci(胞间 CO ₂)	根据测量项目得出的数据通过公式计算得出		

十、SD 卡及目录说明

系统使用内置 SD 卡进行数据存储，SD 卡在插入卡槽前需要将文件系统格式化为 FAT32，且最大支持不超过 32G 容量的卡片。SD 卡在系统启动后将在根目录创建三个文件夹，分别为“Configs”、“TestReport”、“TestReportExcel”，这三个文件夹属于系统正常工作所必须的，因此任何情况下不可以删除。

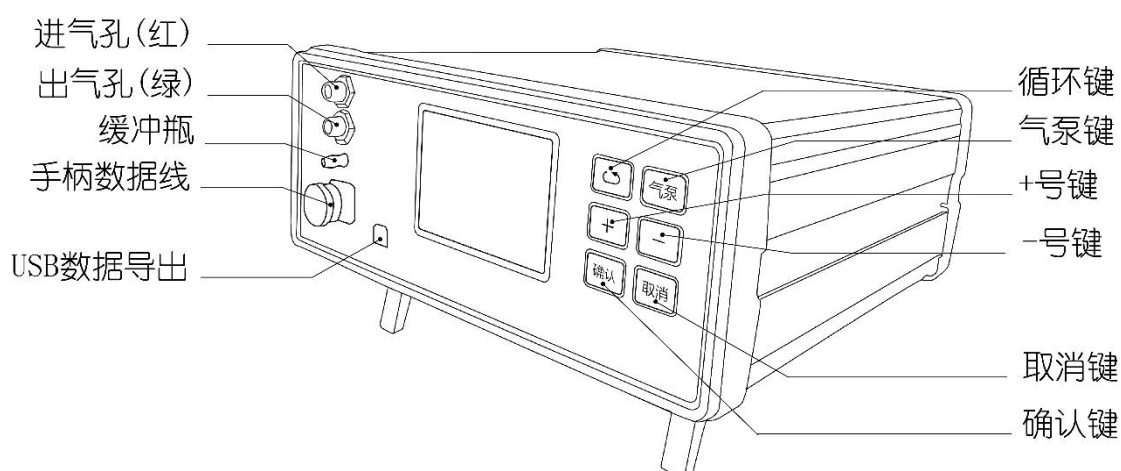
在“Configs”文件夹中保存系统运行所必须的参数，分别为“test_params.bin”、“system_params.bin”两个文件。其中“test_params.bin”中存储测试默认参数，“system_params.bin”中存储系统运行参数。

在“TestReport”中存储历史测试记录文件，存储格式为二进制文件，用于计算机软件进行读取、分析。

在“TestReportExcel”中存储历史测试记录文件，存储格式为“*.CSV”，此格式文件可以使用 Excel 直接打开进行查看。

十一、仪器简介及操作流程

主机示意图



 : 循环键，左右移动光标

+号键：数字加，文件名设定时向下移动光标

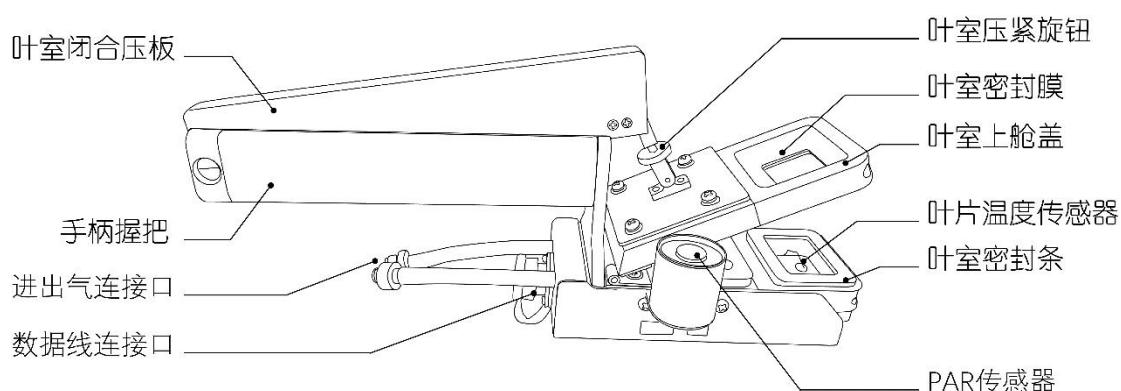
-号键：数字减

确认键：保存设置

取消键：返回上一级

气泵键：关闭气泵（气泵会随检测自动启停，工作中尽量不要按此键）

叶室示意图



注意事项：

- ① 叶室密封膜一层高透光塑料薄膜，禁止用手触摸，使用叶室时注意不要让树枝能尖锐物刺破密封膜
- ② 在出厂时会将**叶室压紧旋钮**调松，是为了防止叶室密封条长时间受到挤压而导致密封不严。第一次使用时**需要调整旋钮**，调整到感受到阻力即可，如果调整的太紧也会导致测量时叶片压力过大，对叶片产生伤害。（使用后还需要调松）

11.1 仪器及手柄的连接

(1) 将连接线中带有红色标志的气管连接头，插入仪器面板左上侧的进气孔(红色字体标注)，插入后旋紧螺母。

(2) 将连接线中带有绿色标志的气管接头，插入仪器左侧中上部位的出气孔
(绿色字体标注)，插入后旋紧螺母。

(3) 观察连接线中的数据线接头，会发现数据线接头上有个红点，将红点对准
主机下部的数据线接口上的红点后，推入即可 (插好时会明显感觉到卡扣弹动)

(4) 将连接线另一端的气管接头，按照正反扣分别连接到手柄的气管接口，
数据线连接和仪器部分连接相同，红点对准后推入即可。

(5) 把缓冲瓶上长的管子插入仪器前面板上的缓冲瓶气嘴上。(注 : 如果使用者
自己制作缓冲瓶，体积尽量大)

(6) 如果配置了光源，用随机配备的电源线将光源和仪器后面板的光源插口连
接起来，电源线插头的红点对准光源和仪器后面板插孔的红点连接。

(7) 管路和数据线连接好后，打开仪器后面板的电源开关开机。(注 : **仪器充电
时是不能开机的**)

11.2 开机

11.2.1 开机界面及主菜单界面



11.2.2 系统设置



在系统界面设置系统时间、日期、休眠时间等。系统语言可选择英文。将光标移动到中文菜单，然后按减号按键，系统语言将改为英文。

设备类型是出厂调试时使用的，不用设置

11.2.3 界面顶部信息栏



界面顶部信息栏中部显示操作界面名称、顶端左侧显示当前系统内存使用率、顶端右侧显示电量、USB 状态、SD 卡状态。

电量显示为 5 格指示，电池电量充满时显示 ，电量即将耗尽时显示 ，此时设备需要进行充电，否则电池电量将会出现损伤，造成电池寿命缩短。由于仪器出厂时电池为新电池，需充好电再使用，为了保护仪器电池，**请使用随机配备的充电器。**（由于仪器需要在野外试验，本仪器采用的是内置的可充电电池组供电，**充电时仪器不能开机试验。**）USB 状态图标显示为  时表示在 USB 数据

线连接设备和计算机成功，显示为  时表示设备与计算机未通过 USB 数据线连接或与计算机连接失败。SD 卡状态显示为  时表示 SD 卡已经插入卡槽且初始化成功，显示为  时表示 SD 卡未插入卡槽或 SD 卡初始化错误，SD 卡不能正常使用。

11.2.4 底部信息栏



未连接 GPS 时底部信息栏



连接 GPS 时底部信息栏

界面底部信息栏左侧显示 GPS 信息【选择功能,非标准配置】，右侧显示当前系统时间。

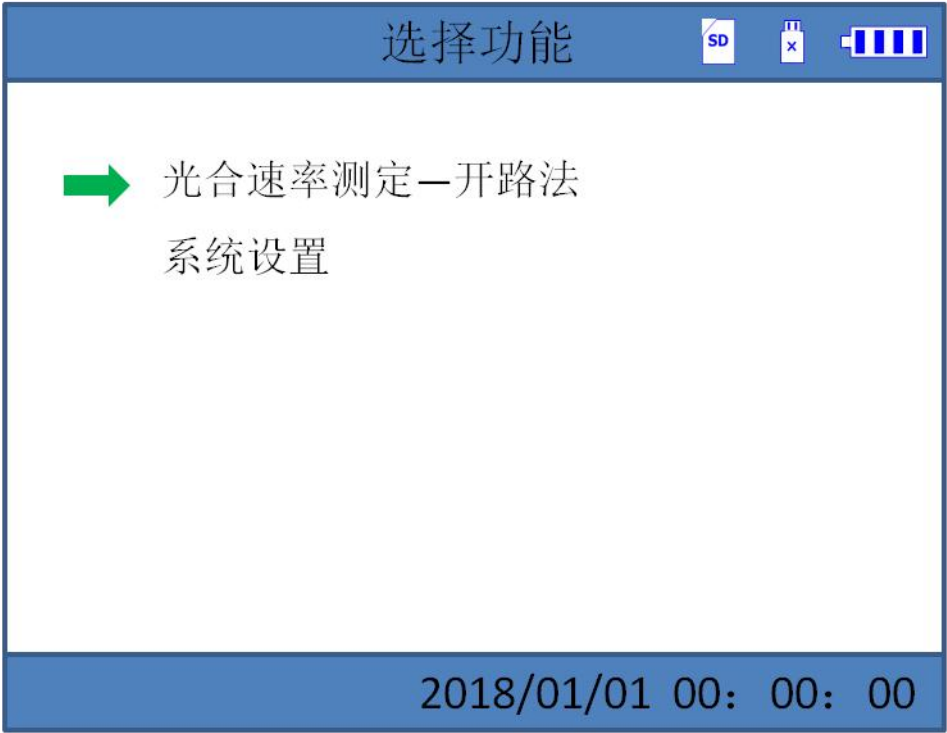
GPS 信息仅在 GPS 模块连接成功后进行显示，否则仅显示当前系统时间。

如果使用 GPS，只需要将 GPS 天线插入仪器后面的 GPS 插口即可。

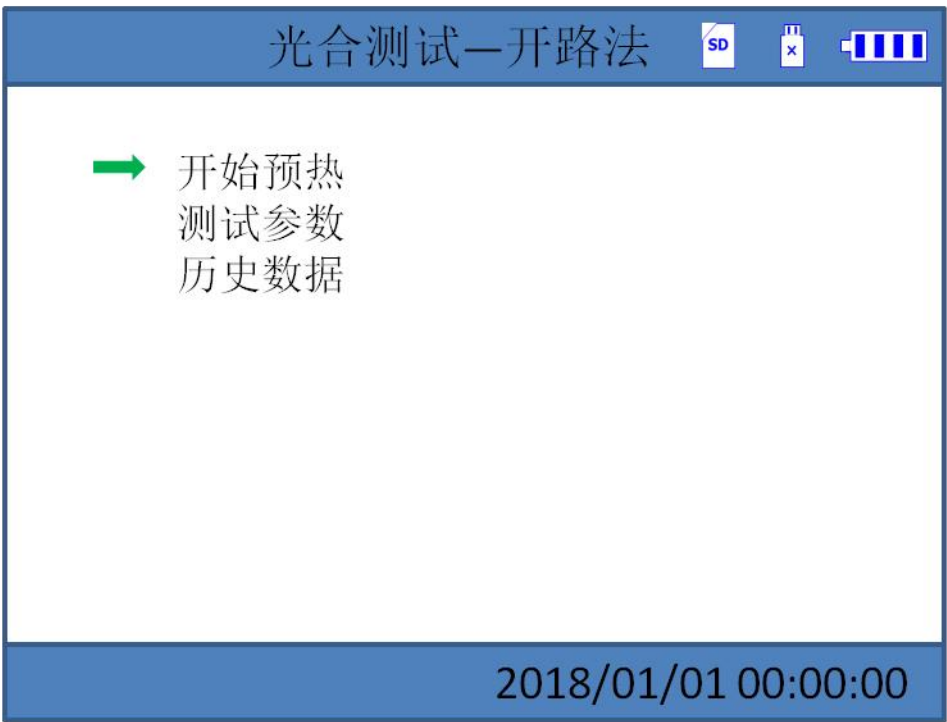
11.3 测量

11.3.1 参数设定

仪器开机后会自动进入选择功能界面，如下图



按循环键选择光合速率测定—开路法，然后按确认按键进入下面界面



在此界面先进入“测试参数”界面设定测试参数，如下图：



记录间隔：指的是测量过程中每隔多长时间记录一次数据。

记录数量：指的是记录几次。

叶片面积：如果叶片能占满叶室的整个透明窗口部分，正好是 6cm^2 ，如果没有占满叶室就根据所占透明窗口的比例来估算叶面积然后输入。

气泵流量：指的是气体流动的速度，可以在 $300\text{-}1200\text{mL/min}$ 内设定。

气孔比：是叶片上下表面气孔的比例。（可查阅相关文献设定此参数）

光强度：指的是红蓝光源的光照强度。如果没有配置红蓝光源，不用设置。如果配置了红蓝光源，按**加号**按键设定光强。如下图

默认测试参数

SD

x

记录间隔: 0005 S

记录数量: 0005

叶片面积: 006.00 cm²

气泵流量: 0800mL/min

光强度: 800μmol·m⁻²·s⁻¹

气孔比: 0.50

选择
(↻)

调整
(十一)

保存
(确认)

退出
(取消)

2018/01/01 00:00:00

设定好后，按确认键保存，然后按取消键返回到光合测试-开路法界面。

11.3.2 开始预热

按确认键进入“开始预热”界面，如下图：

文本输入

SD

x

测试编号:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

q w e r t y u I o p

a s d f g h j k l

z x c v b n m - _

大写

退格

清空

确认

取消

2018/01/01 00:00:00

在此界面输入此次测量文件名称，“循环键”左右移动光标，“+号”上下移动光

标，确认键保存设置。

设定好文件名后进入准备测试界面 如下图：

018% 准备测试

测试编号: 111 叶片面积: 006.00 cm²

Flow: 0800mL/min TL: 18.2°C Rin: 030.0%

CO₂: 0658.2ppm TC: 17.8°C Rout: 030.8%

PARin : 0000 μmol·m⁻²·s⁻¹ RHc: 0000.8%

PARout: 0018 μmol·m⁻²·s⁻¹ P: 1013.8mbar

开始 (确认) 退出 (取消)

2018/01/01 00: 00: 00

进入准备测试界面后，气泵会自动打开

测试编号: 即输入的文件名 叶片面积: 叶室夹住的叶片的面积

Flow: 实时的气体流量 TL: 叶片的温度 Rin: 进气湿度

CO₂: 二氧化碳浓度 TC: 叶室的温度 Rout: 出气湿度

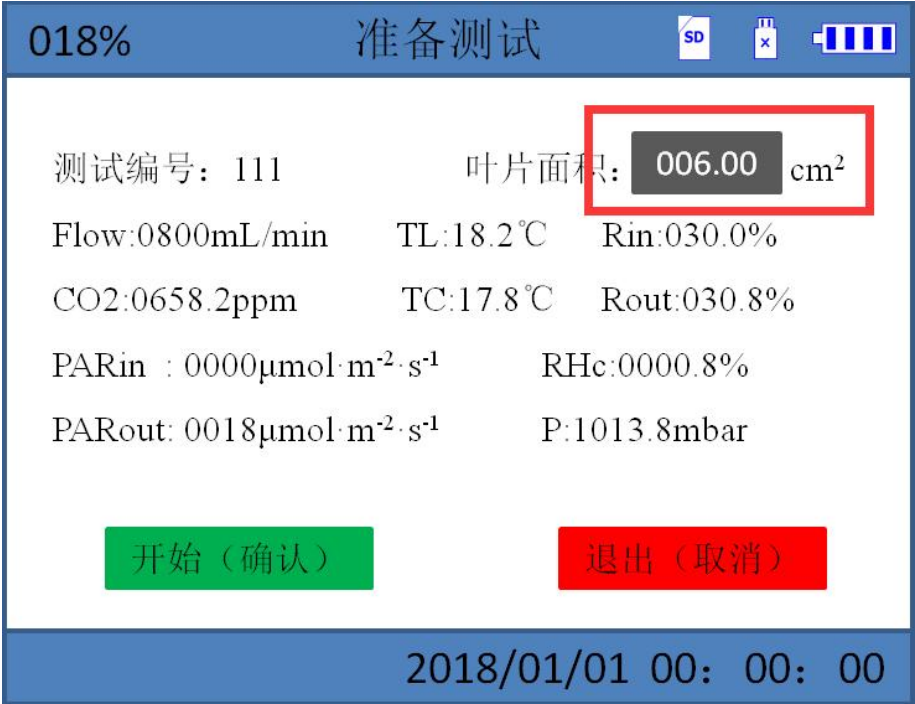
PARin: 内置光合有效辐射 (选配) RHc: 进气出气湿度差

PARout: 外置光合有效辐射 P: 大气压力

开机后仪器需要预热 5-10 分钟，如果环境温度低于 20℃，需适当延长预热时间至 15-20 分钟左右。仪器预热时可进入准备测试界面观察二氧化碳的变化，当二氧化碳数值稳定后，预热完成。

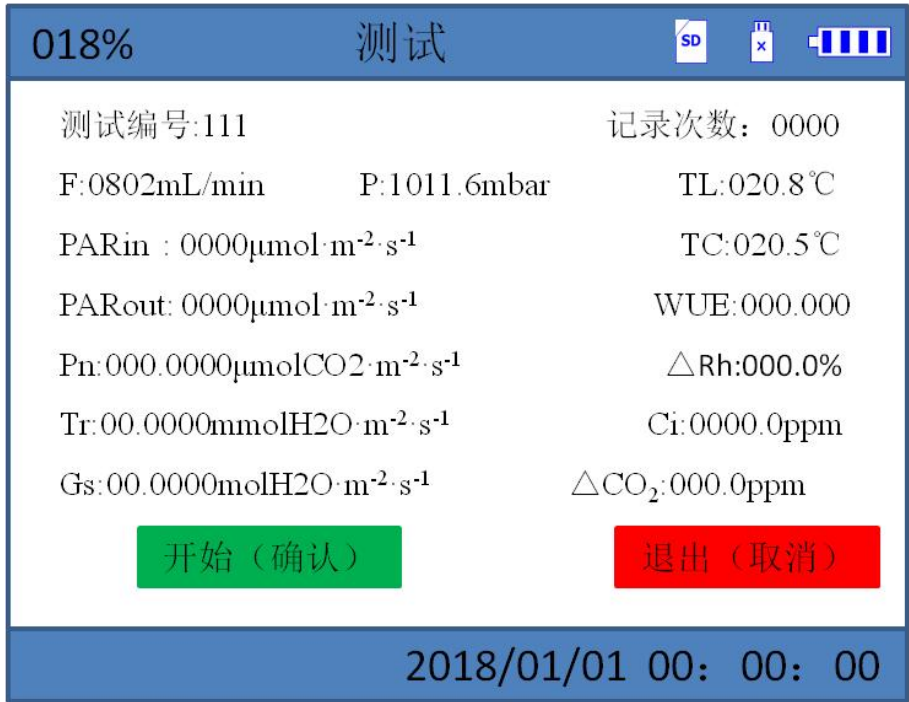
仪器预热时将缓冲瓶放到距离测试地点尽量远的地方（上风向），以进入缓冲瓶的气体不受实验者呼吸影响为好，尽量放到高处。

叶面积修改：仪器预热时，用叶室夹住叶片，如果叶片占满了整个透明窗口，则不用修改叶面积，如果没有占满透明窗口，则需要根据叶室所占透明窗口的比例来估算叶面积，叶面积修改在准备测试界面的右上角。如下图



11.3.3 开始测量

仪器预热完成后，然后按下确认键进入测试界面，如下图：



在此界面观察 Pn 值，当 Pn 值稳定后，按下确认键开始记录数据。如下图

018%

测试



测试编号:111

记录次数: 0001

F:0802mL/min

P:1011.6mbar

TL:020.8℃

PARin : 0000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

TC:020.5℃

PARout: 0000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

WUE:000.000

Pn:000.0000 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

ΔRh :000.0%

Tr:00.0000 $\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

CI:0000.0ppm

Gs:00.0000 $\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

ΔCO_2 :000.0ppm

退出（取消）

2018/01/01 00: 00: 00

当记录的数据达到设定的次数后 ,试验结束 ,仪器自动停止并进入测试结果界面 ,
如下图：

018%

测试结果



测试编号:111

记录次数: 0001

F:0802mL/min

P:1011.6mbar

TL:020.8℃

PARin : 0000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

TC:020.5℃

PARout: 0000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

WUE:000.000

Pn:000.0000 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

ΔRh :000.0%

Tr:00.0000 $\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

CI:0000.0ppm

Gs:00.0000 $\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

ΔCO_2 :000.0ppm

保存（确认）

退出（取消）

2018/01/01 00: 00: 00

如果保存数据按确认键，不保存数据按取消键返回开路测量主界面。

测量过程中注意事项：

- 1.在预热阶段，注意观察屏幕的 CO_2 数值的变化，一定要在数值进入相对稳定的状态以后再用叶室夹住叶片，进行下一步操作；
- 2.在夹住叶片并按下确认键以后，注意观察 Pn 值变化，当数值趋于比较稳定的状态时再按开始键记录数值，此等待过程时间不宜过长。不要在 Pn 值刚开始变化就记录，因为张开和闭合叶室后，管路里的二氧化碳需要有一个循环的时间，在此阶段记录的数值不能真实反映叶片的光合速率。
- 3.在测量过程中，注意观察叶室是否有被遮挡或是否处于阳光直射状态，当阳光不能完全照射在叶室内的叶片上时，叶室内的叶片会出现光合作用和呼吸作用同时进行的情况，就会导致最终计算结果出现偏差。
- 4.在测量过程中，如果 ΔCO_2 为正值，则 Pn 为光合速率，试验过程中如果操作不当， ΔCO_2 也可能是负值，需要找出操作不当的地方改正。如果测量呼吸速率， ΔCO_2 为负值，暗呼吸速率可以通过将叶室透明窗口部分用黑色的包住测量或者晚上测量。 -PN 值则为暗呼吸速率。

保存的测量数据可以在历史记录中查看。

十二、附录

1、关于叶面积的设定

光合速率是指以单位时间、单位光合机构（干重、面积或者叶绿素）固定的 CO_2 或者释放的 O_2 或者积累的干物质的数量（例如： $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ），所以叶面积输入的是否准确对计算结果有直接的影响，由于本仪器实时显示测量数据，并且没有回算（再次计算）结果的功能，因此在测量之前，需要输入一个准确的叶面积值，并且测量的时候保证叶室夹住的叶面积等于输入的叶面积。本仪器可选

配三种尺寸的叶室，分别是：30*20mm(6cm²)、30*10mm(3cm²)；30*30mm (9cm²)，假如您选择的是30*20mm的叶室，并且测量时叶片占满了整个叶室的透明部分，那叶面积正好是6 cm²，如果叶片没有占满叶室的透明部分，就需要根据叶片所占叶室的比例来估算叶面积。

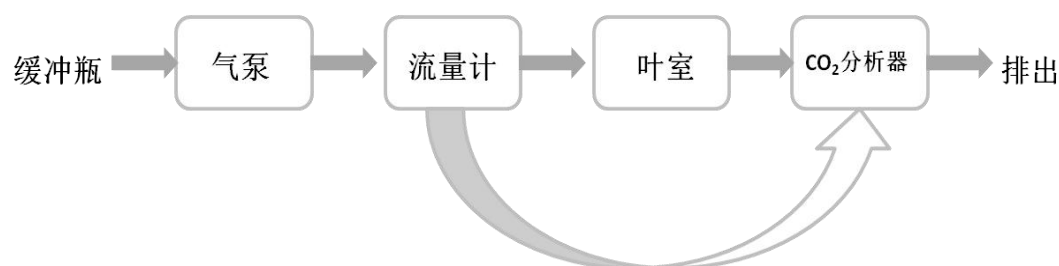
2、关于仪器预热

每次仪器开机时都需要预热。开机后仪器需要预热5-10分钟，如果环境温度低于20℃，需适当延长预热时间至20分钟左右。仪器预热时观察二氧化碳的变化，当二氧化碳数值稳定后，预热完成。一般室外二氧化碳的浓度在400-500ppm左右。由于二氧化碳受温度、室内人员多少及通风状态的影响而变化，所以根据具体情况看仪器是否预热完成。另外如果在室外预热仪器的话，室外的二氧化碳浓度会低于室内二氧化碳浓度。（由于CO₂的特性以及管路密封性的问题和胶管管路或多或少的释放或吸收CO₂，所以CO₂很难稳定在某一个数值不变，而是在一个很小的范围之内波动，这时我们认为CO₂就稳定了）

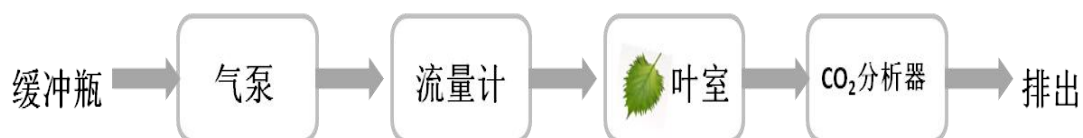
一般第一次开机需要预热5-10分钟，等第一次试验完毕，进行第二次试验时，预热三两分钟让气体数值稳定即可，不需要再进行长时间的预热。

3、本机气路图

3.1 预热时气路图



3.2 测量时的气路图



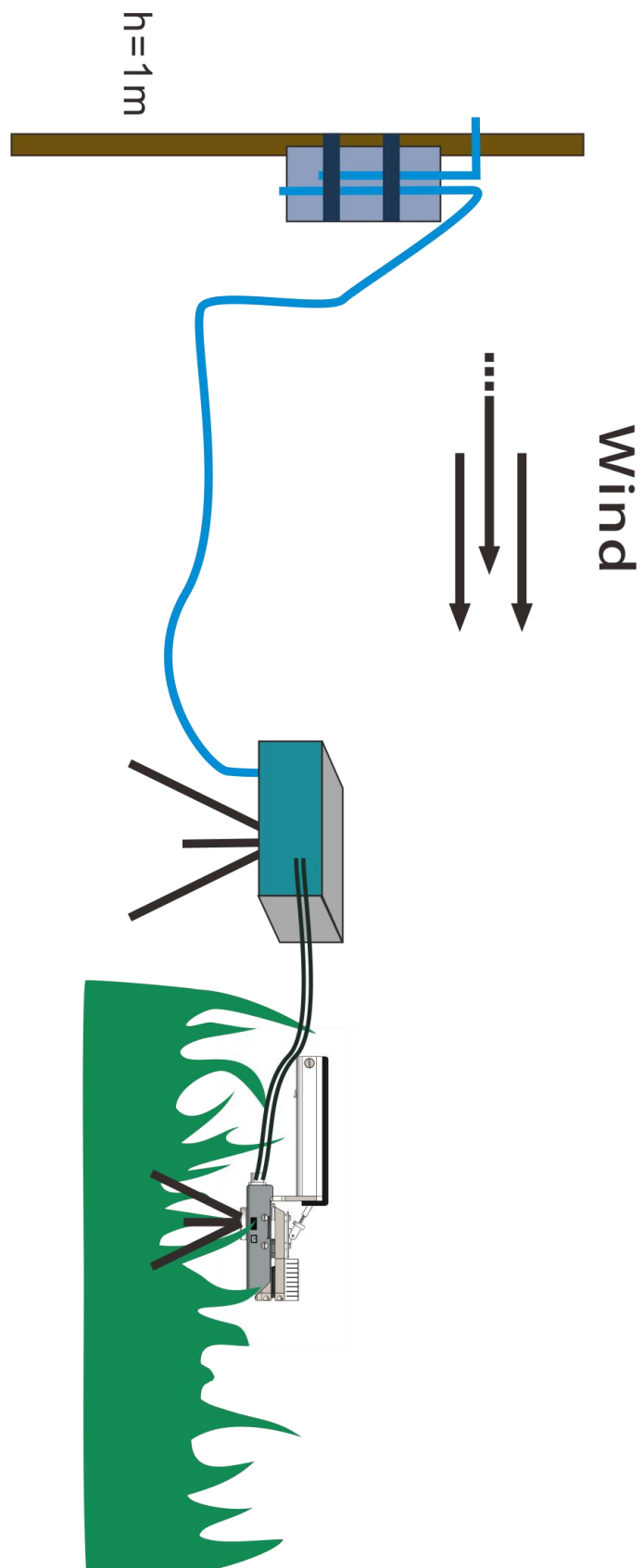
仪器预热时气体经气泵抽送，从缓冲瓶直接进入流量计，经电磁阀切换绕过叶室直接进入 CO₂ 分析器，然后排出。此时流经 CO₂ 分析器的气体没有经过叶室，也就是气体中的 CO₂ 没有被叶片吸收，此时流经 CO₂ 分析器的数值是恒定的（CO₂ 分析器自身的漂移和环境 CO₂ 变化忽略不计）测量时经电磁阀切换气体开始流经叶室，叶片吸收气体中的 CO₂，因此，流经叶室前和流经叶室后的气体中的 CO₂ 会产生差值，此差值用来计算叶片的光合速率。

4、植物呼吸试验测量

由于呼吸跟光合是两个相反的过程，光合是叶片吸收二氧化碳，而呼吸是叶片释放二氧化碳，也就是说光合作用测量的是二氧化碳的减少量，呼吸测量的是二氧化碳的增加量，所以呼吸试验的操作步骤跟光合试验操作步骤一样，如果白天测量呼吸，可用黑色的布给叶室遮光或者晚上测量。Pn 代表光合速率，-Pn 代表呼吸速率。

5、缓冲瓶的制作

为了让进入仪器的气体湿度稳定，避免实验者的呼吸和风等因素的影响，建议使用缓冲瓶。缓冲瓶可用较大的饮料瓶子或者水桶制作，在瓶盖出开两个孔，一个进气孔，一个出气孔，本机随机带了 10 米管子，可剪下一段当做缓冲瓶的进气管（30-50 厘米，根据缓冲瓶的大小要长度适当），另一段当做缓冲瓶的出气管连接缓冲瓶和主机，做为仪器的进气管。缓冲瓶的放置如下图



十六、装箱单

光合作用测定仪装箱单

序号	配件名称	单位	数 量
1	光合作用测定仪主机	台	1
2	手柄、叶室（一体）	个	1
3	充电器	个	1
4	数据线（气管）	套	1
5	方口 USB 线	条	1
6	缓冲瓶及气管	条	1
7	三脚架	个	1
8	铝箱	个	1
9	背包	个	1
10	说明书	份	1
11	合格证	份	1
12	装箱单	份	1