

# 植物光合作用速率量測

◎國立中興大學生物系統工程研究室·陳加忠(ccchen@dragon.nchu.edu.tw)

光合作用代表植物自陽光獲得能源，將水分與二氧化碳轉換為葡萄糖，並且釋放出氧氣。光合作用速率的量測可用以評估此植物之生物質量生產效率，也可以比較此植物受到環境應力或化學品傷害的程度。

為了量測光合作用速率，學術界已提許多方法。主要的方法介紹如下：

## 1. 乾物重累積法

以一定的時間週期，自植物體上取下樣本進行乾物重量測。此方法為非破壞性技術，對於植物本體一定有所影響。其抽樣代表性與乾燥方法都是另一種誤差來源。

## 2. 螢光技術

植物體本身接受光源之後，一部分吸收為光合作用之能源，一部分釋出。釋出之光能量在螢光波長之部份加以量測，此稱為螢光技術，最常使用為葉綠素螢光。

## 3. 氣體交換方法

氣體交換方法是目前最常使用之方法，也已經有許多商業化設備。可用量測單一葉片，整株植物，葉冠部分，甚至數株樹木。將受測植物之樣本加以隔離，量測此隔離空間內的氣體濃度變化。主要量測氧氣(O<sub>2</sub>)與二氧化碳濃度(CO<sub>2</sub>)。氣體量測法主要區分成兩型：(1)完全密閉型；(2)開放型。

(1)完全密閉型：樣本放置於密閉容器之內，不與外界空氣接觸。

(2)開放型：空氣自外界進入，通過樣本後在流出至外界。

進行氣體量測最常用之設備稱為遠紅外線氣體分析感測器(Infrared sensors for gas

analysis, IRGA)。此感測器之作用原理為利用一段特定光譜，其波長與二氧化碳官能基具有共振效果。以此波長之光源通過空氣，與二氧化碳分子產生共振，因此發射光能量與接收光能量有所變化，可以以吸收率( $\alpha$ )或是反射率(R)表示。 $\alpha$ 與R與二氧化碳具有函數關係。由於作用光能量為特定波長，空氣中其他氣體如氮氣，氧氣，水蒸氣等影響力相對微小。

在上述密閉型量測設備即是將IRGA放入樣本容器之內，紀錄在一段時間前後二氧化碳濃度變化。目前商用設備例如：以色列Phytech公司之PTM-48M即是此型。開放型量測可直接量測空氣進入容器之前與送出容器之外之二氧化碳變化。因此量測速度比密閉型更快，但是需要兩具IRGA。目前商用設備例如：美國LI-COR公司，LI-COR 6400XT型。

開放型光合作用設備往往設計成攜帶型，搭配各種環控設備，可用以量測不同溫度，相對濕度與光量下植物之光合作用速率。例如設定以30°C，50%RH之氣體通過樣本容器，再以此量測此植物葉片在此環境下之光合作用速率。此方式做法簡易，以一套設備即可進行完整實驗設計下之研究。但是此方法最大之爭議是平衡時間與植物之平衡反應。例如以玉米葉片為例，如果於田間葉片溫度為35°C，以25°C之空氣通過葉片，需要多久才到達平衡？一個葉片有一部分放置於樣本空間，其他部分暴露大氣環境，兩者之交互影響有多大？臺灣學界曾以此方法量測蝴蝶蘭之葉片之光合作用速率，發現誤差值極大。

以完整植株放置於容器之中，進行開放式

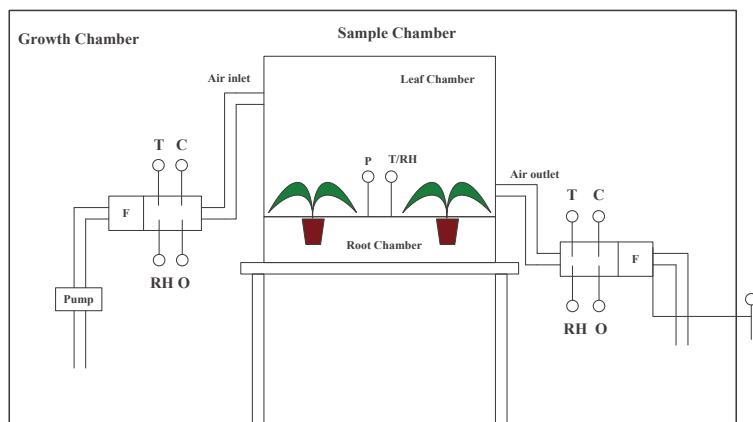


圖1 光合作用速率量測系統示意圖，F, 空氣流量計；T, 溫度計；C, 二氧化碳濃度計；O, 氧氣濃度計；P, 光量計；RH, 相對濕度計。

量測，此方式比較合理。但是要調整環境因子以進行不同因子之影響試驗，研究人員必需建構具有空調能力之溫室，再量測通風入口與出口之氣體濃度。此種技術試驗成本十分高昂。

為了進行植物光合作用速率研究，中興大學生物系統工程研究室以臺灣光電工業提供之感測元件，製作光合作用速率量測同化箱一套系統，其示意圖如圖1。其應用原理為如下公式

$$A_1 = \frac{u(C_e - C_i)}{\text{area}} \quad (1)$$

$$A_2 = \frac{u(C_e - C_i)}{\text{area}} \times \frac{(1 - W_i)}{(1 - W_e)} \quad (2)$$

$$R_1 = \frac{u(O_i - O_e)}{\text{area}} \quad (3)$$

$$u = M' \times G_{\text{mol}} \quad (4)$$

在此 $A_1$ 與 $A_2$ 為二氧化碳釋出率， $R_1$ 為氧氣吸收率。 $u$ 為空氣流量， $C_e$ 與 $C_i$ 為送出與進入同化箱之空氣內二氧化碳濃度， $O_e$ 與 $O_i$ 為送出與進入同化箱內之空氣氧氣之濃度， $W_i$ 與 $W_e$ 為送出與進入同化箱之空氣絕對濕度， $\text{area}$ 為樣本葉面積， $M'$ 為空氣流量， $G_{\text{mol}}$ 為空器內氧氣或二氧化碳莫耳數。

此量測方法之特點如下：

1. 樣本容器設置於生長箱或是人工氣象室之內，藉由外界設備以調節試驗之溫度、相對溫度、光量與光質等環境。
2. 空氣之入口與出口位置經由計算與試驗，確實使得進入之空氣在樣本空間內充分混合，因此可以確保流動的空氣都能通過植物。
3. 所有的感測器，包括流量計(F)，溫度計(T)，相對溫度計(RH)，二氧化碳感測器(C)，光量計(P)與氧氣感測器(O)等均經過校正，以確保其準確性。

以不同開啟閥(by-pass)可設定空氣流向，分別量測地上部與地下部之光合作用能力。此技術於蘭花氣生根研究特別重要。因為由此研究證實蝴蝶蘭氣生根具有光合作用能力，臺灣蝴蝶蘭栽培盆器因此設計成為透明容器。

空氣流量之控制特別重要。流量太低，空氣與葉片之交換接觸不足，同化箱內產生溫室效應，干擾光合作用。流量太高，氣體變化量被稀釋，量測數據準確性不足。

中興大學生物系統工程研究室以此完成臺灣重要蘭花之光合作用速率研究。目前正與林業試驗所蓮華池研究中心合作，進行大小油茶樹之光合作用速率研究。☼