

農作物生長的量測與追蹤

農試所作物組 楊純明

一、前言

吾人對植物的認知包括了如樹木、灌木、藤類、青草、蕨類、地衣及綠藻等熟悉的生物，或進一步分類為種子植物、苔蘚植物、蕨類植物和擬蕨類等不同類群，然而無論何種看法與定義，一般大眾心目中共同的印象大概是指不移動的生物群。事實上相較於動物的個體活動力，植物的移動能力及範圍確實顯得保守許多，相對也較為細緻與複雜。如果加以仔細觀察，在特定空間的植被外觀變化是因時因地而異的，隨著時間的變化反應在每日的形態異動(如葉片動向因太陽、缺水而變異)或是季節的生育進展，其隨地點的改變，則因為氣候與地表因素而造成。

在規律的情境之下，植物(或植被)外觀變化有脈絡可循，處於混沌或不規則的狀況時，則可能出現出乎意料的表現。前者例如每週或每月產生的生長、開花、老化、落葉等季節韻律變化現象，通常經過一個季節或一個年度完成一次循環。後者例如旱季、雨季、寒潮、颱風等異常天氣或氣候型態，導致顯現出不正常的植物(或植被)形態。因此，針對植物(或植被)生長的量測與追蹤，必須採行正確而有效的方法，才能對植物(或植被)生長作出適當的評估。植物經過有計畫有系統的經濟性栽培之後，即可稱為作物，而對作物生產的估測或預測，一般也需要定期評估作物的生長狀態，俾及時改進管理流程以獲得良好的作物生產。

作　　者：楊研究員純明
連絡電話：04-23302301-7117

二、植被與植冠

不同於一般植物生態系泰半由多種植物群落混雜而成，具有經濟規模的農作物栽培田間，大多數均為單一植被，亦即由單一作物甚至單一品種(系)所形成的植冠(canopy)覆蓋。此種栽培方式乃人類農藝操作經驗累積得來，因為單一作物田區之栽植、管理與收穫流程較為單純、容易，在利用農業機械作業下並可因此增進操作效率、降低生產成本及減少非必要人力與資材支出。雖然可能增加遭致大面積病、蟲草害發生與流行的機會(率)，不如混作或間作的低風險，惟在經濟考量前提下，仍然是現行農耕制度的主流。

植冠的覆蓋與結構反映了該作物族群的發展歷程，以及和環境之間的交感結果。許多環境因子皆可影響作物植株的生長、發育，造就出特定的植被，也因此改變了獨特的植冠覆蓋程度與結構內容，諸如溫度(熱能)、光照(光能)、水分(濕度)、風(風速與風向)及土壤、營養元素等都是吾人所熟知的環境因子。另一方面，生物性因子亦會帶來深遠影響，透過對自然資源的競爭，產生病害、蟲害，抑或直接、間接取之為食物，均將影響植被的發展。

三、植被構造及葉片光學性質

田間作物族群之植冠對於入射光輻射(光照)產生的反射、穿透及散射等現象，受到植被構造及葉片光學性質的影響。植被構造係指植被的立體結構，此種由葉片、莖桿、分枝等組成的三維空間結構，有助於葉片對入射光的攔截，將光能利用於光合作用及熱能的轉換，當然也左右光線的運動、方向及光能的衰降。葉片的光學性質是指光輻射“打擊”至葉片時表現的反射比、穿透比及吸收比，此一性質端視葉片的內部構造、化學組成、植物色素及外觀形態而異。這些關鍵因素的交感(交互作用)同時決定了植冠的光譜特性，以及所量測的光譜特徵，亦影響地表的光譜表現。因此，當以遙感探測技術量測植冠或地表的光譜時，經由光譜的辨識、比較，即可發現植冠或地表結構的變異與差異，並可進一步篩檢出不同的光譜特徵，建立評估植冠或地表狀態的光譜模式(組)。

四、對作物植被生長狀態的量測與追蹤

對田間作物植被生長的描述可有許多方式與方法，包括以人為計數、器具檢視及儀器量測諸如植冠覆蓋率、植冠層次、植被持續期間、或植被(或植株)生長量等性狀。這些描述植被生長狀態的指標或參數，也可視為量(估)測植被或植株生長量的指標，用以描繪作物的生長輪廓與所處的狀態。吾人可經由量測及追蹤上述植被(株)的生長指標，來評估作物生長狀態的良、瘠、優、劣，因為這些生長指標也反映出植被的光輻射能截取情況、熱能與水分傳導、光合成容量及呼吸消耗量，乃至於植被所處的周遭情境。

在相同條件下，通常分佈蓬勃興旺的植被，代表豐沛的生長活力及優良的生長狀態，當然有利於最終的生產。追蹤合適的植被(株)生長指標，除了能夠逐時評估生長狀態之外，並得以估測生長及預測產量。再藉由人為的栽培管理，適度的改進生長環境、改良生長條件，即可減輕或避免生產過程中環境變化帶來的不利影響。本文將介紹三種常用的生長指標，葉面積指數(leaf area index; LAI)、植被覆蓋及生質量(biomass)的量測方法，並特別強調光譜遙測技術的利用，提供讀者參採。

(一)對葉面積指數(LAI)的量測

葉面積指數(LAI)可定義為單位土地面積(m^2)上累加之所有單面葉片的面積總和(m^2)，因此單位為m^2m^{-2}。舉例而言，當稻田量測之LAI為3時，代表在1m^2農地面積上覆蓋3m^2面積之水稻葉片。當然這些稻葉或為具有活力之綠色葉片，或為已邁入或已老化之枯黃葉片，或為介於中間的老化中葉片，或為分具不等比率之混雜葉片。因此，通常所量測的葉面積指數多指綠色葉片之葉面積，排除不具活力的枯黃葉片面積，俾用以描繪作物當時的生長狀態及生長活力。

1. 刈取法

由於植冠蘊涵之葉片數量決定了植冠所能截取入射光輻射的能量總額，繼而控制光合作用速率及光合產物的生成，因此葉面積(或LAI)大小也相當程度代表了作物植被的生長容量。雖然LAI變異範圍視植被種類而異，可從小於1至高達6-8，但是同一植被LAI的變化同時反映了生長表現及生育進展，可供吾人利用於作物的生產管理。有許多方法可以量測LAI，對草本作物或多葉性作物(不含林木)而言，最直接的方法是直接刈取

單位農地面積上的植株所有葉片，再以面積儀(參閱圖一)或計算面積的數學方法(如以長、寬及面積轉換比來估算)來量測這些葉片的總面積。本項破壞性取樣方法的缺點是必須以人力刈(割)取葉片，既摧毀取樣植株又耗費人力，因此樣株不宜高大、株數不宜過多。

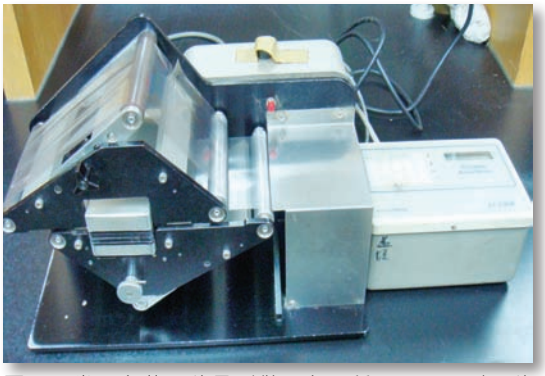
2. 冠層空隙光學量測法

近年來發展出的植冠分析儀(參閱圖二)亦甚簡易，惟前提是必先購買儀器且熟知量測法。該法主要在量測植冠上表及內層的光輻射量，利用光輻射穿透冠層衰降所造成輻射量之間的差異，先估算出空隙百分比，在轉換成LAI數值。通常LAI愈大時，冠層內的空隙將愈少，光輻射衰降比率則愈大，因此測得之輻射量及空隙百分比就愈小。由預建的空隙百分比與LAI關係校正曲線，將當時冠層內測得之空隙百分比轉換為LAI數值。此一植冠空隙之光學量測方法甚為快捷，可以不斷地重複觀測，又不至於嚴重干擾植被當時狀態，惟有冠層內葉片呈現空間分佈之假設。然而因為光學量測無法區分葉片、枝條或其他部位造成的空隙比例，亦無以辨識活葉、枯葉、死葉等形成之空隙差異，測值與實際值之間潛藏相當變異。

3. 光譜遙測方法

遙測技術可利用於探討植被及地表之季節性變化，透過比對同年度多次連續時間點擷取之影像及光譜資料，即可呈現植被及地表在不同季節的改變及差異，並藉以進行植被及地表覆蓋物件的分類。對於植物生態系而言，不僅可依據影像及光譜特徵加以分門別類，亦可追蹤特定或重要作(植)物的變遷歷程。而對於影響農作物生產力的周遭環境及干擾因子，也能夠予以定性與定量，評估其等之效應與效力。

前述二種量測方法均適用於少量樣本及小面積取樣，且消耗相當時間，因此不適合大面積之LAI估算。此時光譜遙測方法提供了解決之道，能夠對大面積農田進行持續而重複的量測，配合遙測影像及地理資訊系統將整塊農田的LAI完整的描繪陳列出來，讓吾人清楚瞭解農田各個位置點、區塊或網格的LAI估值。在時間序列資料的融合之下，更能完整而清晰的呈現每日的、每季的、或每年的變化，展現視窗內任一位置LAI歷史變異。遙測方法通常必須建立光譜特徵(spectral characteristics; SCs)或光譜指數(spectral indices; SIs)與地面實際量測LAI之間的關係模式(組)，再將即時測得之光譜資料代入模式(組)中轉換為LAI估值。這些篩檢出的光譜特徵以紅光及近紅外



圖一、常用之葉面積量測儀器之一種(LI-3000型面積儀)。



圖二、常用之冠層分析量測儀器之一種(LAI-2000型冠層分析儀)。

光波段為主要，其中紅光密切相關於綠色植被(葉片)之光合作用，近紅外光則與植被覆蓋率、膨壓及水分含量緊密關聯，而利用此兩特徵波段反射比測值建立的光譜指數即可應用於區分綠色植物或植被，進而連結LAI延廣於估測植被及地表不同植被之LAI數值。

但是，仍然有許多因子會影響光譜測值，因此也造成LAI估值的變異及不準確度，限制了光譜遙測技術的使用。當LAI數值高至某一臨界值後，由於葉片之間相互遮蔽、交纏或重疊，即使LAI仍然增加，卻未能反應在光譜測值及光譜指數變化。所以不同作物必須建立專用的LAI-SIs或LAI-SCs關係模式，並釐清飽和臨界值，避免在SI或SC值達飽和之後繼續再估測LAI。

(二)對植被覆蓋的量測

植被覆蓋是指地表植被覆蓋的百分比，亦為植被覆蓋地表的程度。如同LAI，植被覆蓋代表植冠可截取或吸收光輻射於光合作用的容量，另一方面也顯示植被可以攔截降水(雨)的容許量，減少降水直接落入地面逕流損失。

量測植被覆蓋的方法一如LAI冠層空隙光學量測法，先測得植被下表之空隙百分比，再以1減去空隙百分比即得植被覆蓋百分比(fractional canopy coverage; FCC)。相較於對LAI的量測，對植被覆蓋的量測無須假設葉片在冠層內呈現空間分佈，通常可以冠層密度計進行量測。該測計具有感應遮陰的弧形鏡面，鏡面上佈滿網格，只須計算平置於植被(冠層)下方測計鏡面上的植冠倒影覆蓋網格數，除以鏡面網格總數後即可計算出植被覆蓋百分比。

光譜遙測方法對植被覆蓋的量測雷同於對LAI的量測，僅須改建立專用的FCC-SIs或FCC-SCs關係模式，並釐清光譜測值之飽和臨界值，避免在SI或SC值達飽和之後繼續再估測FCC。

(三)對生質量的量測

生質量係指單位面積上生活物質之質量或重量，常用單位為gm^{-2}、$kgha^{-1}$、$Mgha^{-1}$等。不同植被有不等範圍之生質量變異，而且隨著植被生長狀況而改變，生長良好之植被生質量落於變異範圍之上(高)端。從作物碳平衡的角度，生質量乃為儲存於作物植體中碳量(所有碳水化合物的總和)直接而重要的指標。在一植物生態系中，生質量多寡代表呼吸量的容量大小。在考量生態系的碳平衡或碳移動時，包括光合作用及呼吸作用都是必須估算的重要參數。

農田生質量的量測方法部分與量測LAI近似，例如牧草地、稻田之生質量的量測即採用刈取單位面積土表上的植體，經乾燥後稱重予以估算。同樣的，光譜遙測方法對植被生質量的量測，亦必須建立各作物專用的biomass-SIs或biomass-SCs關係模式，同時避免SI或SC達到飽和臨界值後再繼續估測生質量。對於草本及多葉性作物，生質量以葉片佔絕大多數，因此LAI與生質量密切相關，可逕利用兩者之關係模式由LAI測(估)值推估生質量。為此一作法不適用木本作物及林木，其等之生質量以莖桿及分枝佔較高之比例。

五、結語

本文概要介紹農作物生長的量測方法，除了量測方法本身之外，尤希望有助於讀者瞭解作物生長的含意，以及量測生長的意義。對於專業的研究人員而言，採用正確的量測方法來獲得準確的生長估值，更是研究是否成功的要件。