植物生理

紅外線熱像技術及輻射光譜層析技術應用實例
—水稻乾旱

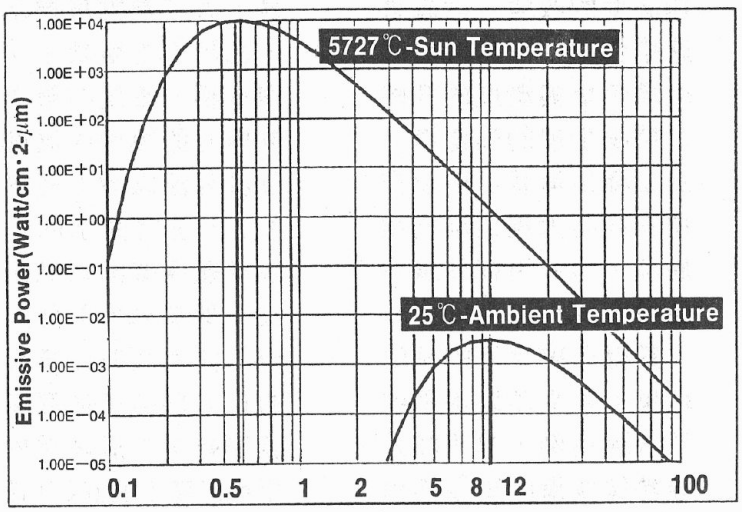
◎農試所農藝系　楊純明　蘇慕容

紅外線熱像（溫測）技術(Infrared thermal inaging technique)

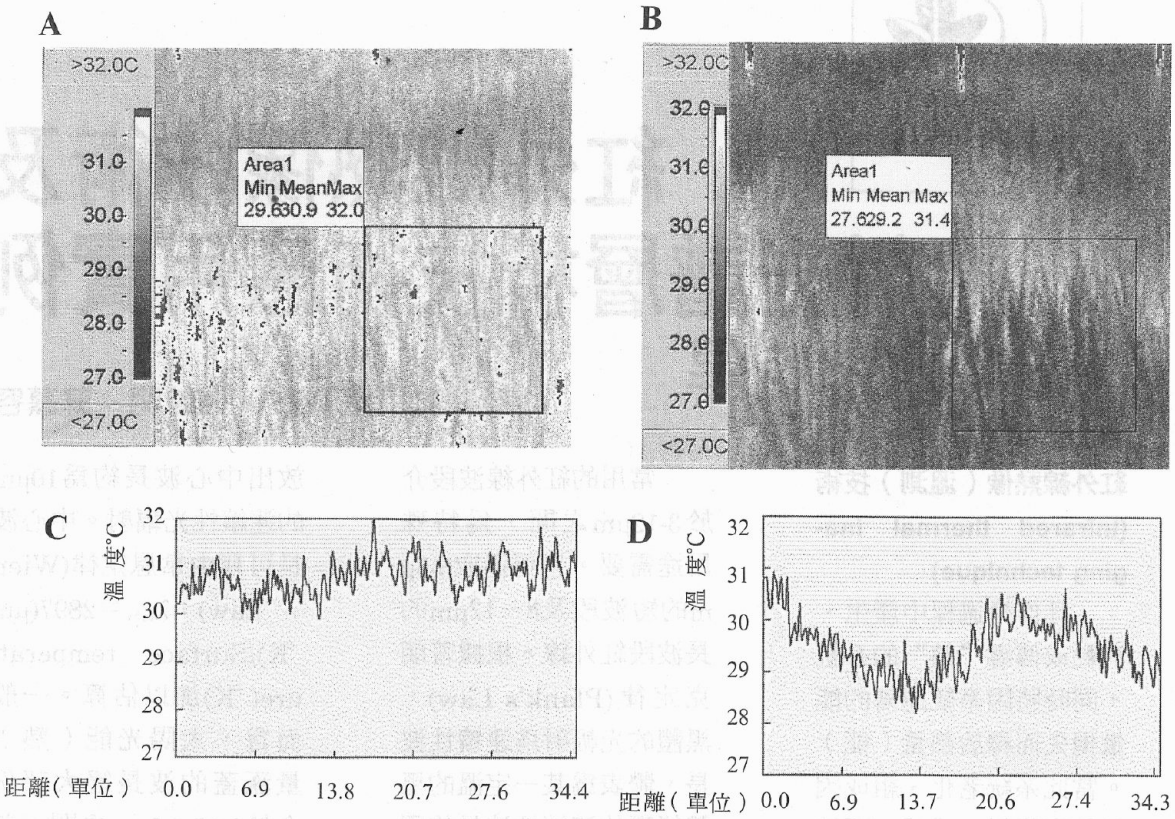
凡作業過程中產生、消耗或傳導“熱”的系統，同時將因系統運轉的能量損失而釋放熱量（能）。當此系統老化、組成因子效率降低、或受到環境干擾時，釋出的熱量將會增加，溫度也相對的升高。植物體是這類系統的一種，“活”的植物因爲代謝運轉及接受外界環境的熱源（直接或間接）而擁有“體溫”，“死”的植物（但未腐爛）則直接反射外界背景的熱源。紅外線熱像（溫測）技術即用以檢（偵）測此一系統溫度的起伏，以熱像而非點溫的方式顯示系統內各部乃至周遭環境溫度的範圍，以及溫度的趨勢變化。據以衡量系統的運轉狀況及可能發生異常的部位，因此於第一時間內予以處理。

常用的紅外線波段介於3-12μm之間，爲特殊用途需要，也可選取3-5μm的短波段及8－12μm的長波段紅外線。根據普朗克定律(Plank's Law)，黑體的光輻射爲連續性波長，體表爲某一定溫的黑體能釋放連續性波長的固定輻射能（溫度）。以圖一爲例，表面溫度爲5727°C的太陽，釋放出中心波長約爲0.5μm連續性光輻射；25°C的室溫環境則釋放出中心波長約爲10μm的連續性光輻射。中心波長可藉由韋恩定律(Wien's Law)：$\lambda_{max}=2897(\mu m\ ^{\circ}K)/Surface\ temperature(^{\circ}K)$加以估算。一般而言，太陽光能（熱）量涵蓋的波長絕大部份介於0.15-4.0μm之間，其中的50%能量以可見光波長釋出。

由此可知，無論係農學上的試驗研究或農業活動的實際應用都可



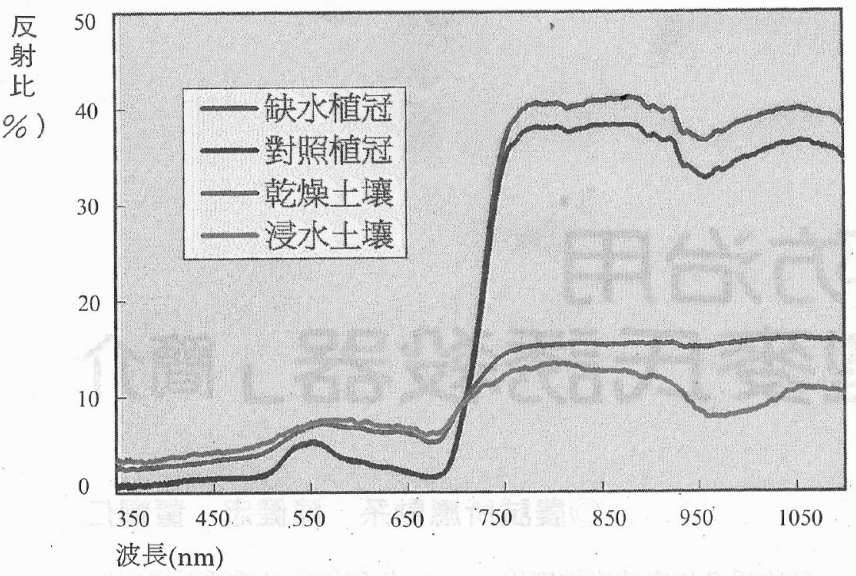
圖一、普朗克黑體輻射定律
(Plank's black body radiation law)。



圖二、利用紅外線熱像技術檢（偵）測土壤缺水對水稻植冠熱像圖譜的影響，缺水(A)及正常灌水(B)稻株植冠熱像，缺水(C)及正常灌水(D)稻株植冠熱像區域溫度剖面。

以利用紅外線熱像技術，例如乾旱造成作物植株溫度的改變、病蟲害感染作物植株後引發的組織色變與溫度的升降、植物生理的熱傳導、及某種逆境狀況引起作物族群的大規模溫度變異等，均適用紅外線熱像技術進行研究、探討，獲得非破壞性的試驗結果。本文僅以水稻乾旱試驗爲例，說明紅外線熱像技術的實際應用：由圖二顯示，在設定的27-32°C溫度範圍，面積相當的區域（以熱像最上方三熱點爲標示），乾旱（土壤缺水）處理水稻（臺農67號）族群植冠的熱像(A)溫度多位於高溫區段（高於29°C），正常灌水的水稻族群熱像(B)則以低溫區段（低於29°C）爲大部份。任意圈取面積相近的正方形區域估算後，發現乾旱方形區域內的平均溫度（32.0°C）確實高於正常方形區域者（31.4°C），其最低溫與最高溫測值亦較高（29.6°C＞27.6°C，30.9°C＞29.2°C）。再將此一方形區域做剖面溫度分析，亦可發現乾旱處理區的溫度分佈（多在30°C以上）確實較處理區溫度分佈（皆低於31°C）高。

藉此量化分析，紅外線熱像可以同時顯示作物植冠的溫度分佈及某特定區域（或點、線）的溫度分佈，也顯示了逆境處理所造成的增



圖三、利用輻射光譜層析技術檢（偵）測土壤缺水對水稻植冠反射輻射光譜的影響

溫效果。由於紅外線波長涵蓋低溫範圍，可在目視爲完全黑暗的環境中、煙霧瀰漫的空間、及明暗對比極低的狀況下“看見”物體，因此給予紅外線熱像技術極大的應用彈性及使用條件，成爲測定熱能（量）及溫度的最佳工具。

輻射光譜層析技術(Spectroradiometry technique)

輻射光譜層析技術係利用光的波長（wavelengh）與輻射能（radiation energy）性質，經由檢（偵）測、頻譜分析、及歸納等步驟，而判斷與區別物體表面的特性。在有光照（太陽光或人造光源）的環境，暴露於其間的物體都將反射環境的光照。顯示其特定的波長及輻射能。物體表面特徵（如光滑度、透明度、顏色、材質等）的不同，決定了物體反射波長圖譜及反射輻射量的差異。

此一技術在農學研究及農業活動上也具有很廣的應用空間，舉例來說，若以輻射光譜層析儀器設備在作物族群上方檢（偵）測作物族群植冠的反射光譜，比對作物圖譜資料庫後，將可估測出作物的種類、生育階段、乃至生長狀況。並可據以評估作物生長與環境間的交感表現。本文續以水稻乾旱試驗爲例，說明輻射光譜層析技術的實際應用：由圖三顯示（將土壤及水稻族群植冠各有其特定的反射比圖譜。又乾燥土壤與浸水土壤有不同的反射比圖譜，缺水處理的水稻植冠與正常灌水的水稻植冠間的反射比圖譜亦有差異存在。因此，很容易的可以據此區別土壤與水稻的不同，也能判斷出乾旱處理所造成的改變。至於處理間的差異程度，則視處理強度、時期、及環境等因素而定。

由反射比圖譜或直接測定的反射光譜比對，即可瞭解被測物的種類及狀況，輕易的獲得非破壞性檢（偵）測結果。然而，圖（光）譜資料庫的建立是應用輻射光譜層析技術必備的條件，換言之，輻射光譜層析技術的應用層面與價值乃建立於是否具備豐富的圖（光）譜資料庫。因此爲充分發揮此一技術的效用，首要之務就是進行基本的試驗來建立未來所需用的物體反射光譜，以及各種逆境狀況造成的變化。