簡介農作物光譜—
利用光譜特徵估測盤固草化學組成分之可行性

◎農試所農藝組　張芳銘　楊純明

一、前言

隨著生活水準的提升，民眾對畜產品的需求大幅增加，因此農政部門對於牧草的選育及栽培也十分重視。盤固草(*Digitaria decumbens Stent.*)是臺灣地區現行主要栽培牧草之一，栽培面積近一萬公頃。北部地區的盤固草以每年的四到九月爲盛產期，冬季及早春則因溫度較低使其植株生長停滯；南部地區的盤固草雖亦以夏天生長較速，惟冬季氣溫尚容許植株繼續生長，所以在灌溉水充裕及氣候乾燥處，由於市場因素反而成爲該地區盤固草之牧草主要生產季節。一般言之，牧草的品質與營養價值受到品種、土壤肥力、氣候、降水量與成熟度的影響，而影響盤固草之牧草品質最主要的因子則爲割刈期。在盤固草植株開花前至開花後，粗蛋白質(crude protein，CP)明顯的下降，而酸洗纖維(acid detergent fiber，ADF)及中洗纖維(neutral detergent fiber， NDF)則明顯的提高。通常開花前之粗蛋白質約 8-13%，酸洗纖維約 35-38%，中洗纖維約 67-70%；開花後，粗蛋白質降至 2-7%，酸洗纖維多大於 42%，中洗纖維則大於 72%。此外，冬季生長期之牧草粗蛋白質、酸洗纖維及中洗纖維普遍較其他季節者爲高，其中酸洗纖維及中洗纖維較高之原因係由於冬季植株生長慢而達到割刈期較長所致，而粗蛋白質乃因冬季植株較爲矮小致使植體內發生氮素濃縮效應而提高其單位重量之相對濃度。由此觀之，愼選不同栽培作季之割刈期十分重要，將決定盤固草之牧草產量與品質。

相較其他栽培地區，臺灣地區生產之盤固草牧草品質普遍不佳，經調查後發現約 60%樣品其粗蛋白質介於 5-7%，酸洗纖維介於 40-43%，中洗纖維則多數介於 71-73%，顯示割刈期大多過晚，造成粗蛋白質偏低而酸洗纖維及中洗纖維偏高。目前盤固草割期多憑經驗決定，故如何以客觀而正確的方法決定不同作季適當割刈期，以提高盤固草之牧草品質，實爲現階段盤固草生產者亟待解決之重要問題。

二、盤固草化學組成分之評估

㈠動物實體消化試驗

動物實體的消化試驗是判定牧草營養價值最傳統的方法，經過餵食後，由動物吸收利用後的重量表現，評量其優劣。然此一方

作者：張助理研究員芳銘
聯絡電話：04-23302301-144

法極耗費人力、時間與金錢，因此遂發展出各種實驗室方法予以估測，但仍需以動物試驗做基礎研判。如前述，牧草的組成分受到很多因素的影響，變化甚大，而每一批牧草要完成消化試驗實有困難，甚至作實驗室的估測也不容易。此外，牧草的成分與其營養價值有關，因此常常利用成分來預估其營養價值作爲日糧平衡的參考。盤固草的營養價值亦以動物試驗最準確，但緩不濟急，而且其成分變異頗大，其中以酸洗纖維與中洗纖維的含量對營養價值的影響最大。所以，發展可靠而快速的方法來分析酸洗纖維與中洗纖維含量來作營養價值的評估，在盤固草之牧草利用上十分重要，可作爲飼養動物日糧平衡依據。而且這樣的快速檢測方法，亦可提供數據作爲評判割期的參考，據以提高收穫物的品質與價值。

㈡近紅外線反射光譜分光技術

近紅外線反射光譜分光技術(near infrared reflectance spectroscopy,簡稱 NIRS)是近年來常用於分析物質成分的物理性技術，其原理係利用近紅外線波段之光輻射照射在物質上，由於物質內分子的運動，不同官能基(如-CH，-OH, -SH)將吸收不同波長之光能，而形成各種不同的反射光譜。再配合相對應適當電腦軟體，將反射光譜與物質化學分析數據做 PLS(partial least square)及直線複迴歸分析，求出成分含量與反射值之迴歸方程式(即所謂檢量線)。檢量線建立以後，將未知成分含量之樣品送入NIRS儀器中，經由反射光譜及檢量線分析即可估測出樣品之各種成分含量。此一方法最近幾年已經被廣泛的利用，作爲包括牧草在內的品質分析工具，其優點如次：⑴可快速測定，且可同時測定多種樣品；⑵樣品處理簡單，操作簡便不需化學前處理；⑶對樣品不具破壞性，樣品可重複使用。

㈢輻射光譜層(分)析技術

輻射光譜層(分)析技術(spectroradiometry)亦爲現代化物理性技術之一，係利用偵測之物體反射光譜，首先篩檢出物體之物理或化學徵狀相關之光譜特徵，再建立光譜特徵模式作爲未來估測用途。此技術常被使用於遙感探測(remote sensing)被測物(形)體外表之光學特性，稱之爲光譜遙測(spectral remote sensing)，以評估該物(形)體外觀之徵狀或當時之狀態，可以裝置在近地面、航空及太空等不同載台。概言之，此項技術在於偵測被測物(形)體反射波長及其輻射強度(radiative intensity)之關係，獲得所謂的「反射光譜特徵曲線」。再由辨識此一曲線之光譜特徵與被測物(形)體特定外觀物理徵狀之關係及相關強度，解析被測物(形)體之外觀形象，評斷周遭環境之效應及造成之影響。由於物(形)體外觀徵狀除了反映其表面特徵之外，亦同時受到其內容物組成與進行之物理化學反應所左右，且可能受環境因子干擾隨著時空變異而改變。物體之內容物組成與進行之物理化學反應，可能改變該物體之外觀徵狀，包括體形、面積、顏色、光澤、粗細、及構造等項目，導致明顯外觀徵狀差異而影響反射光譜。在農業化學及品質分析上，如同NIRS技術，可以此一技術將與物體特定化學組成有關之光譜特徵建立迴歸關係，即該化學組成分與其光譜特徵之迴歸模式(regression model)，作爲利用光譜特徵估測該化學組成物之檢量線。當建立具有代表性與包容性的檢量線後，未來即可應用此檢量性與技術系統進

行對該物體之破壞性或非破壞性的檢測與估測，估算出此一化學組成物的數量。光譜遙測具有快速、簡單、非破壞性、大面積及大量偵測的優點，並隨著不等尺度(海拔高度)遙測平台，擴大偵測地區面積。

三、利用光譜特徵估測盤固草化學組成分之可行性

作者曾以位於臺南縣新化鎮之行政院農委會畜產試驗所之盤固草試驗農場進行試驗研究，資料取自 1999 年夏季、秋季及 2000 年春季、夏季、秋季等五個生長季調查數據，參試品系爲現行常用之A254。將近地面光譜遙測盤固草植被之高解析反射光譜與其植體粗蛋白質、中洗纖維、酸洗纖維等組成分進行分析，評估其應用於盤固草之牧草品質檢測可行性（圖一）。

首先係探討反射光譜之各波長反射比與化學組成分之關係，篩檢出與化學組成分具有高相關性之特徵波長。經由直線相關強度分析，發現反射光譜波長範圍(350-2500 nm)之各窄波段反射比與化學組成分之相關強度並不一致，且相關係數或正或負。在此三個主要化學組成分中，以中洗纖維(NDF)之相關強度較低，酸洗纖維(ADF)及粗蛋白質(CP)較高，而大致均以大於 740 nm 之紅外線(光)波段之相關程度較高。再將特定窄波段反射比與化學組成分以二次曲線進行分析，發現最大決定係數(R^2)之波長位置在 ADF、CP 及 NDF 分別爲 1038、1193 及 2385 nm，決定係數分別爲 0.229、0.363 及 0.146（如圖二）。雖然統計上達到顯著水準，但對於化學分析的要求似嫌不足，準確程度偏低，顯然以單一光譜特徵進行組成分的估測效果有其限制。

若再選取各波帶最大相關係數之光譜特徵反射比進行多變數直線複迴歸分析，經考量光譜間之共線性問題後，結果如表一所示。其中，CP 之最佳四元複迴歸模式可由 1893、1332、1731 及 1837 nm 等四窄波段之反射比估算，其 R^2=0.293 (P<0.0001)；NDF 之最佳二元複迴歸模式可由 1450 及 2385 nm 等二窄波段長之反射比估算，其 R^2=0.173 (P<0.0001)；而 ADF 之最佳二元複迴歸模式可由 1038 及 1663 nm 等二窄波段之反射比估算，其 R^2=0.484 (P<0.0001)。結果顯示以 ADF 之二元直線複迴歸程式較佳，然欲提高其估測準確度，仍需增加更多相關之特徵波長，因爲NIRS技術之多元直線複迴歸程式對 CP、ADF、NDF 之 R^2 值分別高達 0.96、0.82、0.88。倘將植被光譜範圍全部數百條窄



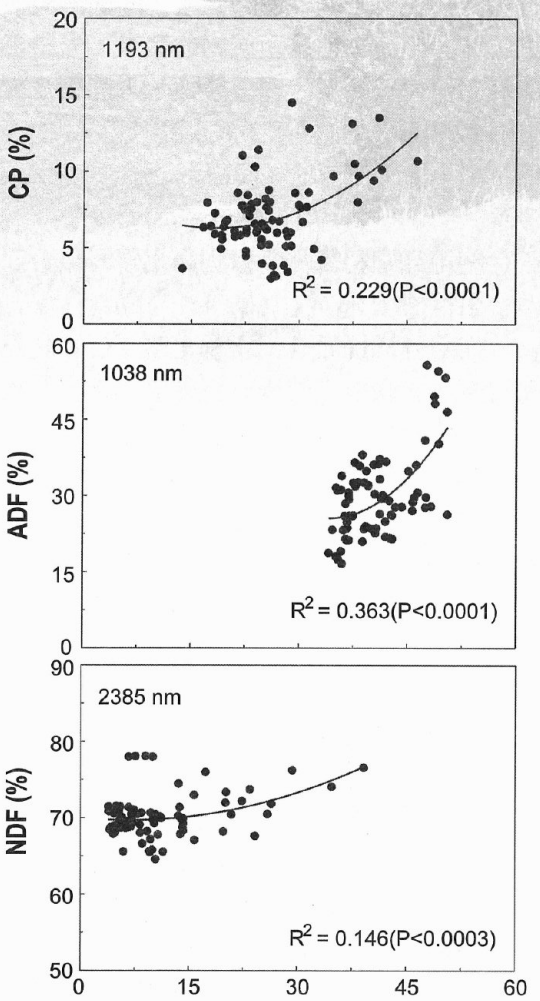
圖一、應用光譜分析遙測盤固草植體化學組成分

波段一起輸入統計分析，當可篩檢出多個相互獨立且對各別化學組成分敏感性高的特徵波段組合，構建輻射光譜層(分)析技術對盤固草組成分更佳估測結果的光譜特徵模式。另一方面，畢竟植被光譜受到植體構造及植株與族群之幾何結構影響，亦受到環境效應干擾，因此光譜特徵與化學組成之關係勢將不如NIRS之樣品偵測系統密切，預期可篩檢出的光譜特徵波段數及對化學組成分的敏感度仍將遠低於 NIRS 技術偵測結果。

四、結語

由以上分析與比較，以近紅外線反射光譜分光技術所建構光譜特徵模式對盤固草化學組成分之估測結果似優於植被反射光譜特徵所建構複迴歸模式之估值。顯然的，直接從牧草試區偵測之植被反射光譜所建立的光譜特徵模式估測值準確性，將遠低實驗室精確處理過程並採行NIRS量測所建立檢量線之估測值。此一結果是可預期的，因爲天然牧草地爲一綜合多因子交感效應之環境，盤固草植被有複雜的色澤、形態與植體結構，生長條件、生理反應及植株年齡互異，當然植體化學組成分之含量、比例與分佈各不相同，加上光源組成複雜，眾多干擾因子當然影響以植被光譜特徵建立之迴歸模式準確度。實驗室樣品經過混合、處理與篩選，顆粒大小與排列、水分含量、以及組成分濃度與分佈皆趨於均一，而且光源與環境單純、穩定，因此掃描之反射光譜直接而充分反映樣品之實際狀況，以NIRS技術建立之檢量線準確度及穩定度當然較高。

惟研究結果亦顯示利用植被光譜特徵估測盤固草化學組成分之可行性，經適當提高



圖二、盤固草植被反射光譜之特定窄波段反射比與植體主要化學組成分（粗蛋白、酸洗纖維、中洗纖維）之曲線關係

植被光譜特徵模式對組成分估測之準確度，仍能給予牧草地盤固草植株當時化學組成分合理的估值。甚且光譜遙測之快速、非破壞性、大面積及大量偵測等特點，及探知牧草割刈前之品質評估和空間變異分佈功能，較能符合實際狀況與實務需求。在以光譜遙測初步衡量牧草地之牧草產量與品質及空間分

表一、盤固草植被反射光譜之光譜特徵與植體主要化學組成分之多變數(元)直線複迴歸分析結果

成份[z]	$Y = aR_{\lambda1} + bR_{\lambda2} + cR_{\lambda3} + dR_{\lambda4} + e$					N	R^2	P
	a	b	c	d	e			
CP	0.250	-2.348	0.050	0.628	4.011	80	0.293	<0.0001
ADF	0.255	2.975			27.654	80	0.484	<0.0001
NDF	0.195	-0.200			70.240	80	0.173	<0.001

[z]CP: crude protein（粗蛋白）， λ1=1893 nm, λ2=1332 nm, λ3=1731 nm, and λ4=1837 nm。
ADF: acid detergent fiber（酸洗纖維）， λ1=1038 nm and λ2=1663 nm。
NDF: neutral detergent fiber（中洗纖維）， λ1=2385 nm and λ2=1450 nm。

佈後，吾人可據以規劃收獲流程及收獲後處理，有其經濟上的效益與意義，亦具有實用價值。

五、參考文獻

李春芳、卜瑞雄、施意敏、陳茂墻。1991。畜產研究 24：59-65.

陳嘉昇、顏素芬、王紓愍、成游貴。1997。畜產研究 30：237 249.

陳建富、謝文彰。1994。畜產研究 27(4):285-292.

葉苗田。1990。畜產研究 23(1):57-60.

楊純明。1997。中華農業氣象 41:1-10.

盧啓信、許福星。1998。畜產研究 31(1):77-85.

Abrans, S. M. 1985. Agric. Res. Serv. Agric. Hand. No.643. Maryland, USA. p.22.

Day, M. S. and F. R. B. Fean. 1982. Lab. Practice 31:350-352.

Vena, L. C., G. A. Jung, R. L. Reid and W. C. Sharp. 1984. J. Animal Sci. 59:1582.

Yang, C.-M., F.-M. Chang, K.-Y. Hong, F.-H. Hsu, Y.-M. Shy and R.-H. Buu. 2001. The Third European Conference on Precision Agriculture. Vol 1:343-348. G. Grenier and S. Blackmore, eds. Agro Montpellier, Ecole Nationale Superieur de Montpellier. Montpellier, France.