

利用植被反射光譜特徵估測盤固草之化學組成分¹

張芳銘² 楊純明^{2,4} 許福星³ 洪國源³

摘要：本研究旨在利用近地面光譜遙測技術偵測植被反射光譜，探討盤固草 (*Digitaria decumbens* Stent.) 植被光譜特徵與粗蛋白質、中洗纖維、酸洗纖維間之關係，並試以建立估測迴歸模式以評估應用於牧草品質檢測之可行性。根據相關強度分析結果，發現反射光譜之各波長反射比與化學組成分(粗蛋白質、酸洗纖維及中洗纖維)之相關並不一致，而大致均以大於 740 nm 之紅外線(光)波段之相關程度較高。據此各化學組成分分別篩檢出近紅外線波段 8 條波帶，進行多元直線複迴歸分析。顯示粗蛋白質可由 1893、1332、1731 及 1837 nm 等波長之反射比構成之四元直線複迴歸程式估算，其 $R^2=0.293$ ($P<0.0001$)；酸洗纖維可由 1038 及 1663 nm 等波長構成之二元直線複迴歸程式估算，其 $R^2=0.484$ ($P<0.0001$)；而中洗纖維則可由 1450 及 2385 nm 等波長構成之二元直線複迴歸程式估算，其 $R^2=0.173$ ($P<0.0001$)。這些複迴歸模式之估測值與化學分析之實測值顯示近似於 1:1 的驗證結果，可據以利用於提供粗略估測或追蹤盤固草植被之化學組成分及其變異等用途。

關鍵詞：植被反射光譜、光譜特徵、盤固草、多元直線複迴歸分析、化學組成分。

前 言

盤固草(*Digitaria decumbens* Stent.)是日前臺灣地區主要栽培牧草之一⁽¹⁾，北部地區的盤固草以每年的四到九月為盛產期，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為該地區盤固草之牧草主要生產季節^(1,7)。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⁽³⁾，而影響盤固草之牧草品質最主要的因子為割刈期^(2,4,5)。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為高，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為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。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⁽³⁾。因此，如何以

1. 行政院農委會農業試驗所研究報告第 2116 號。接受日期：91 年 7 月 3 日。

2. 本所農藝組助理研究員、研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

3. 行政院農委會畜產試驗所飼作組研究員兼組長、副研究員。臺灣省 臺南縣 新化鎮。

4. 通訊作者，電子郵件：cmyang@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23396057。

客觀而正確的方法決定適當刈刈期，以提高盤固草之牧草品質，實為現階段盤固草生產者亟待解決之重要問題。

動物活體的消化試驗是判定牧草營養價值最傳統的方法，然此一方法極耗費人力、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，牧草的成分受很多因素的影響，變化甚大，而每一批牧草要完成消化試驗實在有困難，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為日糧平衡的參考⁽²⁾。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，惟以酸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含量來作營養價值的預估，在盤固草之牧草利用上十分重要，可作為日糧平衡之依據⁽⁸⁾。

近紅外線反射光譜分光儀(near infrared reflectance spectroscopy,簡稱 NIRS)是近年來常用於分析物質成分之主要儀器之一，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，將光譜與物質化學分析數據做複迴歸，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，經由反射光譜分析即可估測出樣品之各種成分含量⁽⁸⁾。此一方法最近幾年已經被廣泛的利用，作為包括牧草在內的品質分析工具，其優點如次：(1)可快速測定，且可同時測定多種樣品；(2)樣品處理簡單，操作簡便不需化學前處理；(3)對樣品不具破壞性，樣品可重複使用⁽¹¹⁾，其缺點係無法在田間進行大面積非破壞檢測。

輻射光譜層(分)析技術(spectroradiometry)乃現代化物理性技術之一，亦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為未來估測用途。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，稱之為光譜遙測(spectral remote sensing)，以評估該物(形)體外觀之徵狀或當時之狀態。進一步言之，即從所偵測物(形)體因物理結構及化學組成對光輻射之吸收、穿透與反射等特性，來瞭解該物(形)體形諸於外之物理徵狀，進而研判其當時所處之狀態與周遭景況。在光學特性之中，以反射(reflection)性質之偵測與分析較為簡易可行，無論係雙向主動或單向被動的量測，均可輕易的利用感測元件偵測到反射波長(wavelength)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化反應所左右，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化反應，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⁽⁶⁾。在農業化學及品質分析上，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)，作為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，並隨著不等空間遙測平台，擴大偵測地區面積。

本文研究在於利用近地面光譜遙測偵測盤固草植被反射光譜，配合實驗室近紅外線反射光譜分光儀之量測與分析，探討盤固草植被光譜特徵與粗蛋白質、中洗纖維、酸洗纖維間之關係，建立估測迴歸模式，評估其應用於盤固草之牧草品質檢測可行性。

材料與方法

田間試驗

本項田間試驗選擇位於臺南縣新化鎮之行政院農委會畜產試驗所 (23°04'N, 120°26'E, 海拔高度 31 m) 之試驗農場進行, 包括 1999 年夏季、秋季及 2000 年春季、夏季、秋季等五個生長季。參試盤固草品系為現行常用之 A254, 新化之盤固草牧草地已栽培達十年, 土壤質地是砂質壤土。試區土壤酸鹼值約 pH 4.8, 屬於酸性土壤。試驗場地被規劃成四個重覆試區, 每一重複試區是 1.2 ha。

試驗期間之施肥方法係依照當地長期使用之作法, 在進行本項試驗之前於前期割刈後施用臺肥一號複合肥料(N:P₂O₅:K₂O=20%:5%:10%, 臺灣肥料公司, 高雄市) 200 kg ha⁻¹ 當基肥, 以後於每一次生長季節割刈後施用尿素(臺灣肥料公司, 高雄市)200 kg ha⁻¹, 每二次生長季節割刈後施用磷肥(P₂O₅) 50 kg ha⁻¹ 及鉀肥(K₂O) 75 kg ha⁻¹。除了天然降水外, 試驗期間牧草試區並未實施人工灌溉, 且不施用農藥。在割刈後之植株生長初期, 若發現雜草影響測點, 即用手拔除以減少雜草對盤固草生長及植被光譜偵測之干擾。

植被光譜之偵測

近地面盤固草植被反射光譜偵測係自前季刈取後開始, 約間隔二週偵測一次, 直至達到割刈期為止, 如此為一生育期循環。偵測時, 避免土壤背景效應對植被光譜之干擾, 並於上午十時至下午一時期間選擇晴朗或近於無雲時段進行。將田間攜帶式高解析輻射光譜層析儀 (spectroradiometer, model GER-2600, Geophysical & Environmental Research Corp., New York, USA) 置於盤固草植被上方水平約 1.5 m 處進行波長範圍 350-2500 nm 之反射光譜掃描⁽²³⁾。此儀器具有 10 度視角(FOV), 在 300-1050 nm 範圍頻譜間距 1.5 nm, 1050-2500 nm 範圍頻距約 11.5 nm。每一重複試區至少偵測 12 測點, 每一測點取連續掃描三次之平均值, 取所有測點之均值光譜曲線為試區代表值。此光譜儀量測入射光之光輻射, 以盤固草植被反射光輻射及標準白板 ('Spectralon', Labsphere, Inc., North Sutton, NH, USA) 反射光輻射計算反射比, 獲得盤固草植被之反射比光譜。

將反射光譜波長範圍內各波長反射比與各天取樣量測化學組成分(粗蛋白質、中洗纖維、酸洗纖維)進行簡單直線相關強度分析(correlation intensity analysis), 以瞭解各波長反射比與化學組成分之關係, 並篩檢相關性高之特徵波長。再將各波段特徵波長與化學組成分進行多變數(元)直線複迴歸分析(multiple linear regression analysis), 以篩檢與各化學組成分高相關之主要光譜特徵, 並建立迴歸模式。統計分析係利用 SAS 統計軟體, 主要包括直線複迴歸分析及 t 測驗分析(t-test)。

近紅外線反射光譜分光儀(NIRS)測定

每一生長季配合盤固草植被光譜之偵測, 採取測點盤固草植株青割樣品, 樣品經 95°C 烘乾後, 先磨成 2 mm 左右之顆粒, 再以 Cyclon mill 附 1 mm 之篩網再研磨一次, 以獲得小於 1 mm 顆粒之大小均一分析樣品。在利用 NIRS (Technicon Infra Analyzer model 450, BRAN and RUBE Corp., USA) 掃描前, 先以 80°C 烘乾 12 小時, 以求樣品水分均一, 冷卻後即以 NIRS 進行掃描。NIRS 掃描後即以其所附電腦軟體分析粗蛋白質、中洗纖維及酸洗纖維含量。

結果與討論

欲利用植被光譜特徵估測盤固草地上部植體(牧草)之化學組成, 首先需要瞭解反射光譜之各波長反射比與化學組成分之關係, 找出與化學組成分相關之特徵波長, 本研究乃進行盤固草植被反射光譜與其牧草品質有關之三主要化學組成分(粗蛋白質、酸洗纖維、中洗纖維)之相關強度分析。根據分析結果(圖 1), 發現反射光譜波長範圍之各波長(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。平均而言，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。其中，ADF 與植被反射光譜之 1224 nm 波長反射比具有最大線性相關($r=0.661^{**}$)，CP 與植被反射光譜之 1837 nm 波長反射比具有最大線性相關($r=0.461^{**}$)，而 NDF 則與植被反射光譜之 2385 nm 波長反射比具有最大線性相關($r=0.305^{**}$)。若以二次曲線進行分析，則與各化學組成分關係最高之波長位置稍有改變，最大決定係數(R^2)之波長在 ADF、CP 及 NDF 分別為 1038、1193 及 2385 nm(圖 2)。

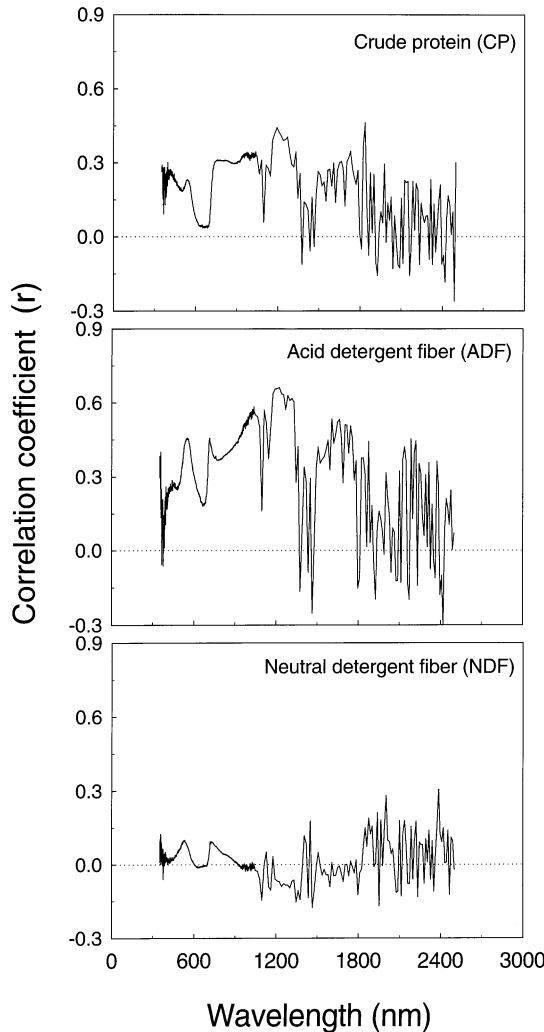


圖 1. 盤固草植被反射光譜之各窄波段反射比與植體主要化學組成分(粗蛋白、酸洗纖維、中洗纖維)之相關強度分析。

Fig.1. The correlation intensity analyses of spectral reflectance to chemical components in forage of pangolagrass grown in the experimental field at Hsinhua headquarters of Taiwan Livestock Research Institute in the growing seasons of 1999 and 2000.

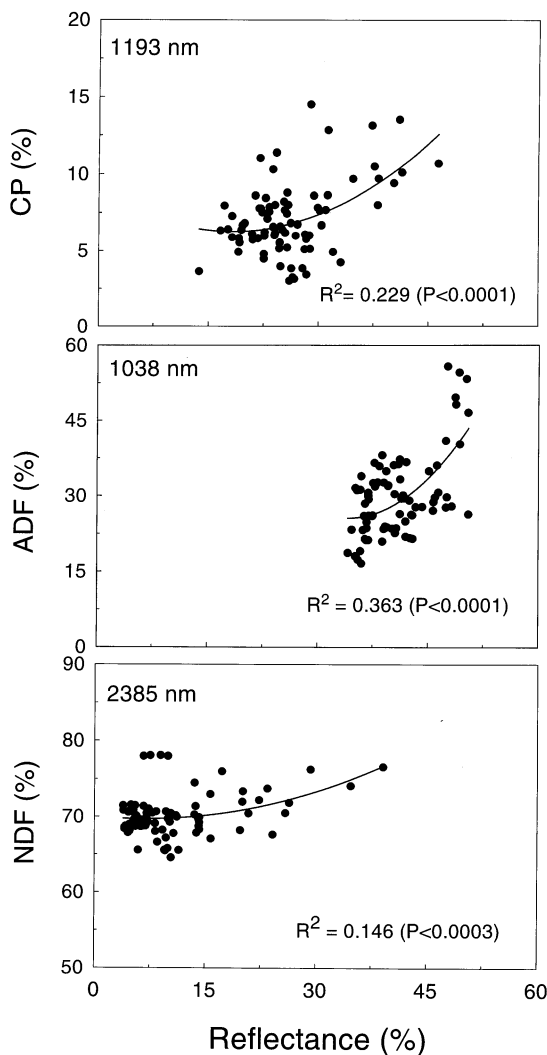


圖 2. 盤固草植被反射光譜之特定窄波段反射比與植體主要化學組成分(粗蛋白、酸洗纖維、中洗纖維)之曲線關係。

Fig. 2. The relationships between chemical components of pangolagrass and spectral reflectance of the selected wavelengths from canopy reflectance spectra. CP: crude protein, ADF: acid detergent fiber, and NDF: neutral detergent fiber.

又根據圖 1，各分別篩檢出近紅外線波段 8 條波帶(表 1)，以模擬盧及許(1998)以近紅外線反射光譜分光技術利用多條近紅外線波長反射比對盤固草化學組成分之測定。由植被光譜中主觀篩選出紅外光波段(740-2500 nm)較高相關係數之若干特定窄波段，如表 1，以進行多變數直線迴歸分析。其中，CP 及 ADF 和盤固草植被反射光譜約 1000-1850 nm 波段區域之反射比具有較大的線性相關強度，NDF 則和反射光譜約 1450~2400 nm 波段區域之反射比有較大的線性相關強度，經多變數直線複相關分析

結果如表 2。由表 2，CP 之最佳四元直線迴歸模式包括 1893、1332、1731 及 1837 nm 等四窄波段，其等之反射比構成之四元直線複程式之決定係數 R^2 為 0.293 ($P < 0.0001$)；ADF 可由 1038 及 1663 nm 等二窄波段之反射比構成之最佳二元直線複迴歸程式估算，其 R^2 為 0.484 ($P < 0.0001$)；而 NDF 可由 1450 及 2385 nm 等二窄波段之反射比構成之最佳二元直線複迴歸程式估算，其 R^2 為 0.173 ($P < 0.0001$)。利用表 2 之多元直線複迴歸程式，可將特徵波長(窄波段)之反射比透過迴歸程式估測盤固草植被之化學組成成分 CP、ADF 及 NDF，或追蹤化學組成成分之變異，提供參考。雖然增加變數，但結果顯示並未明顯增加決定係數(資料未列出)。

為瞭解化學組成成分之估測值與實測值之關係，再以直線複迴歸模式之估測值與化學分析之實測值進行模型圖形比較(圖 3)。由圖 3 顯示近似於 1 : 1 的驗證結果，又繼續進行估測值與實測值之 t 測驗分析，結果如表 3A、3B 及 3C。t 測驗分析所示，估測值與實測值之間並無顯著性差異。因此，經由直線複迴歸模式計算之估測值確能代表本項試驗之化學分析得到之化學組成成分測值。

本研究以近地面遙測盤固草植被反射光譜所篩檢之紅外線波段光譜特徵，經統計分析得到之化學組成成分(CP、ADF 及 NDF)直線複迴歸模式之決定係數(分別為 0.293、0.484 及 0.173)，皆小於盧及許⁽⁸⁾

表 1. 從盤固草植被反射光譜中主觀篩選之光譜特徵，以進行植體主要化學組成成分之多變數(元)直線迴歸分析

Table 1. The selected characteristic wavelengths from the reflectance spectrum of pangolagrass for multiple linear regression analysis with the chemical components of the plant

CP ²	r	ADF	r	NDF	r
1038 nm	0.343	1038 nm	0.583	1450 nm	0.178
1193 nm	0.442	1113 nm	0.563	1876 nm	0.188
1286 nm	0.342	1224 nm	0.661	1940 nm	0.211
1332 nm	0.345	1316 nm	0.617	1965 nm	0.180
1607 nm	0.299	1607 nm	0.533	2003 nm	0.281
1663 nm	0.309	1663 nm	0.532	2101 nm	0.179
1731 nm	0.346	1704 nm	0.510	2138 nm	0.178
1837 nm	0.461	1744 nm	0.504	2385 nm	0.305

² CP: crude protein ; ADF: acid detergent fiber ; NDF: neutral detergent fiber.

表 2. 盤固草植被反射光譜之光譜特徵與植體主要化學組成成分(粗蛋白、酸洗纖維、中洗纖維)之多變數(元)直線迴歸分析結果

Table 2. Summary of multiple linear regression analysis for relationships between forage chemical components (Y: crude protein, acid detergent fiber and neutral detergent fiber) of the plant and spectral reflectance of pangolagrass in the near infrared region

Component ²	Y=aX _{λ1} +bX _{λ2} +cX _{λ3} +dX _{λ4} +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

² CP: crude protein, λ 1=1893 nm, λ 2=1332 nm, λ 3=1731 nm, and λ 4=1837 nm ; ADF: acid detergent fiber, λ 1 =1038 nm and λ 2=1663 nm ; NDF: neutral detergent fiber, λ 1=2385 nm and λ 2=1450 nm.

以 NIRS 獲得迴歸模式之決定係數(分別為 0.96、0.82、0.88)。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，天然牧草地為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，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，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 建立之檢量線準確度及穩定度當然較高。

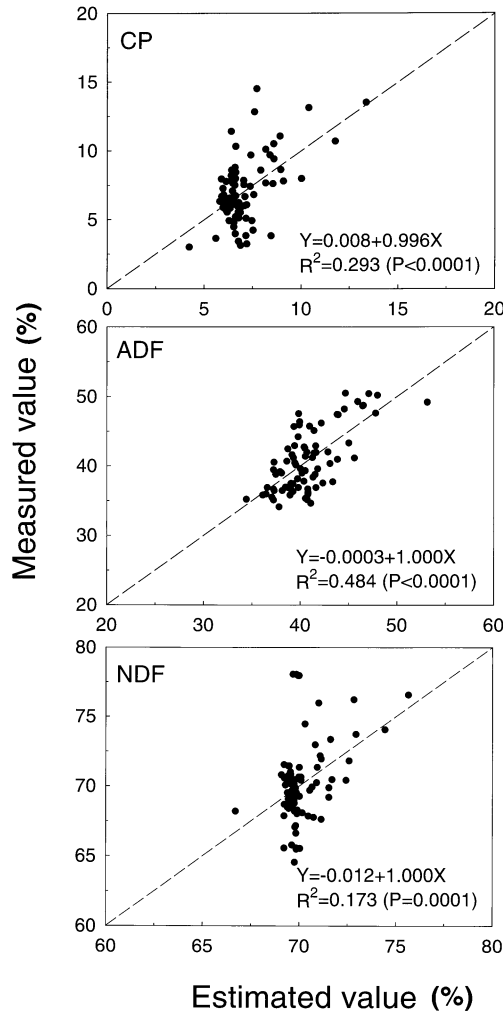


圖 3. 盤固草植體主要化學組成分(粗蛋白、酸洗纖維、中洗纖維)之量測值與估測值之相關。

Fig. 3. Correlation between the measured and the estimated values of chemical components (CP: crude protein; ADF: acid detergent fiber; NDF: neutral detergent fiber) of pangolagrass grown in the experimental field at Hsinhua headquarters of Taiwan Livestock Research Institute in the growing seasons of 1999 and 2000.

表 3A. 盤固草植體粗蛋白之量測值與估測值之 t-檢定分析結果

Table 3A. The results of t-test for comparing the measured and the estimated values of crude protein (CP) contents in the plant of pangolagrass

Item	Measured value	Estimated value
Mean	7.0681	7.0625
Variance	5.8047	0.0120
N	80	80
df	79	
t-test	0.0811	
P(T<=t) one tailed	0.4678	
$t_{0.05,80}$	1.6644	
P(T<=t) two tailed	0.9356	
$t_{0.05/2,80}$	1.990	

表 3B. 盤固草植體酸洗纖維之量測值與估測值之 t-檢定分析結果

Table 3B. The results of t-test for comparing the measure and the estimated values of acid detergent fiber (ADF) content in the plant of pangolagrass

Item	Measured value	Estimated value
Mean	40.7782	40.7782
Variance	20.4757	9.9078
N	80	80
Df	79	
t-test	0.000012	
P(T<=t) one tailed	0.49995	
$t_{0.05,80}$	1.6644	
P(T<=t) two tailed	0.99999	
$t_{0.05/2,80}$	1.99045	

表 3C. 盤固草植體中洗纖維之量測值與估測值之 t-檢定分析結果

Table 3C. The results of t-test for comparing the measured and the estimated values of neutral detergent fiber (NDF) content in the plant of pangolagrass

Item	Measured value	Estimated value
Mean	70.1755	70.1748
Variance	8.6917	1.5556
N	80	80
df	79	
t-test	0.002563	
P(T<=t) one tailed	0.49898	
$t_{0.05,80}$	1.6644	
P(T<=t) two tailed	0.99796	
$t_{0.05/2,80}$	1.99045	

惟本研究結果顯示，植被光譜特徵模式仍能合理的估測當時植體內化學組成分的含量，提供估測值。因此，光譜遙測所建立之光譜特徵模式仍有其適用性，尤其快速、非破壞性、大面積及大量偵測等特點，在探知牧草割刈前之品質評估和空間變異分佈上，符合實務需求。由於決定牧草收穫品質良瘠的因素有基因型、環境、栽培管理、成熟度等^(10,15,16,21)，乃至於收穫後之調製方式、儲存條件及時間等^(12,13,14,20,22)。利用光譜遙測初步衡量牧草品質後，吾人可予牧草地大略分級割取，再藉由適當的調製方法提高收穫物品質，增進生產牧草之品質與收益。

Abrans (1985)說明取樣技術及樣品代表性是造成 NIRS 分析誤差的二大因素，在光譜遙測亦是相同。在未來的牧草生產與化學組成分估測研究上，建議可以再收集更多的光譜資料與化學分析數據，並試以區分生長階段或縮小擬估測時期，如此將可以增進模式估測之準確度。因為植體之化學組成分及其相互比例，在一天中的不同時段或者生長季節中的不同生長階段可能有相當的差異，混合全生育期的資料合併分析試圖獲得普遍原則，然恐將拉大變異區間而減少準確度。又反射光譜的分析，可以分從更多角度與選擇不同方法進行，但必須符合生物物理(biophysical rationale)現象解釋與推演，方可更清楚闡述光譜特徵被篩選之原因及所建立光譜特徵模式之架構與邏輯。Montgomery and Peck (1982)、Newell and Lee (1981)和 Neter et al. (1996)等均指出，利用近紅外線分析稻米品質，經由逐步迴歸建立檢量線的統計方法，其所選出對化學值重要的波長之間常存在嚴重的多元共線性(multi-collinearity)問題，因此易導致迴歸係數估計上的不穩定。由於變數間高度相關，雖不會影響化學值估測的準確度，惟確會使得迴歸係數的標準機差過度膨脹，造成迴歸係數估值不穩定情況，導致無法得知真實迴歸係數的精確訊息。進行光譜遙測篩選光譜特徵再進行統計分析，亦有相同狀況發生，故尋求最適的統計分析方法以獲得最佳且最適的波長組合模式，應予再檢討。

誌 謝

本文研究承行政院農委會農業試驗所經費補助(90 農科-4.1.1-農-C1)，特以致謝。

引用文獻

1. 卜瑞雄。1996。土壤水分含量對盤固草產量與成分之影響。畜產研究 29 (2) : 123-128.
2. 李春芳、卜瑞雄、施意敏、陳茂墻。1991。盤固草 A254 (*Digitaria decumbens*, A254) 不同生育期之營養價值。畜產研究 24 : 59-65.
3. 陳嘉昇、顏素芬、王紓愨、成游貴。1997。盤固草酸洗纖維中洗纖維及粗蛋白質影響因素之探討：季節、地區與基因型之相對效應。畜產研究 30 : 237-249.
4. 陳建富、謝文彰。1994。收刈頻度對於盤固草生長及土壤性質的影響。畜產研究 27 (4) : 285-292.
5. 葉苗田。1990。不同割其對盤固草品系產量及品質的影響。畜產研究 23 (1) : 57-60.
6. 楊純明。1997。輻射光譜及紅外線熱像技術在農作物生產上之應用。中華農業氣象 41:1-10.
7. 許福星、洪國源、鄭俊哲。1996。氣象因子及灌溉對盤固草生產力及乾草品質之影響。中華農業氣象 3 (4) : 209-215.
8. 盧啓信、許福星。1998。以近紅外光分析儀 (NIRS) 測定盤固草之粗蛋白質、酸洗纖維及粗纖維。畜產研究 31 (1) : 77-85.
9. Abrans, S. M. 1985. Analysis procedure : Sampling. p.22. Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) : Analysis of Forage Quality. Edited by G. C. Martun et al., USDA. Agric. Res. Serv. Agric. Hand. No.643. Maryland, USA.

10. Alexander, R. A., J. F. Hentges, Jr., J. T. McCall, H. W. Lundy, N. Gammon, Jr., and W. G. Blue. 1961. The nutritive value of fall harvested Coastal Bermuda grass hays as affected by rate of nitrogen fertilization and stage of maturity. *J. Animal Sci.* 20 : 93.
11. Day, M. S. and F. R. B. Fean. 1982. Near infrared reflectance as an analytical technique. Part I History and development. *Labo. Practice* 31 : 350-352.
12. Deinum, B., A. J. H. van Es, and P. J. van Soest. 1968. The influence of light density, temperature and nitrogen on in vivo digestibility of grass and the prediction of these effects from some chemical product. *Netherlands J. Agric. Sci.* 16 : 217
13. Gustavsson, A. M., J. F. Angus, and B. W. R. Trossell. 1995. An integrated model for growth and nutritional value of timothy. *Agric. Syst.* 47 : 93-105.
14. Hirata, M. 1993. Response of bahiagrass sward to cutting height. *J. Japan. Grassl. Sci.* 183-195.
15. Lippke, H. 1980. Forage characteristics related to intake, digestibility and gain by ruminants. *J. Ani. Sci.* 50 : 952.
16. Lloyd, L. E., H.0000000 F. M. Jeffers, E. Donefer, and E. W. Crampton, 1961. Effect of four maturity stages of Timothy hay on its chemical composition, nutrient digestibility and nutritive value index. *J. Ani. Sci.* 20 : 468.
17. Montgomery, D. C. and E. A. Peck. 1982. Multicollinearity. p.287-346. In: *Introduction to linear regression analysis.* Wiley Interscience, New York, U.S.A.
18. Newell, G. J. and B. Lee. 1981 Ridge regression: an alternative to multiple linear regression for highly correlated data. *J. Food Sci.* 46 : 968-969
19. Neter, J., M. G. Kutner, C. J. Nachtsheim, and W. Wasserman. 1996. *Applied Linear Statistical Models.* 4th ed. IRWIN, U.S.A.
20. Sanderson, M. A. and W. F. Wedin. 1988. Cell wall composition of alfalfa stems at similar morphological stages and chronological age during spring growth and summer regrowth. *Crop Sci.* 28 : 342-347.
21. Vena, L. C., G. A. Jung, R. L. Reid, and W. C. Sharp, 1984. Nutritive value of Warm-season grass hays for beef cattle and sheep : digestibility, intake and mineral utilization. *J. Animal Sci.* 59 : 1582.
22. Van Soest, P. J., D. R. Mertens, and B. Deinum. 1978. Preharvest factors in factors influencing quality of conserved forage. *J. Animal Sci.* 47 : 712-720.
23. Yang, C.-M., F.-M. Chang, K.-Y. Hong, F.-H. Hsu, Y.-M. Shy, and R.-H. Buu. 2001. Estimation of *Digitaria decumbens* Stent. Growth from spectral characteristics and vegetation index. p.343-348. *The Third European Conference on Precision Agriculture.* Vol.1. G. Grenier and S. Blackmore, eds. Agro Montpellier, Ecole Nationale Superieur de Montpellier. Montpellier, France.

Estimation of Chemical Components of Pangolagrass Forage from Canopy Spectral Characteristics¹

Fang-Ming Chang², Chwen-Ming Yang^{2,4}, Fu-Hsing Hsu³ and
Kuo-Yuan Hong³

Summary

Ground-based remotely sensed canopy spectral data of hyperspectral resolution were acquired at the experimental field of Taiwan Livestock Research Institute, Hsinhua, to study the spectral characteristics of pangolagrass (*Digitaria decumbens* Stent) in associated with chemical components (crude protein, acid detergent fiber and neutral detergent fiber). From the results of correlation intensity analyses, there were varied correlation coefficients between spectral reflectance and content of chemical components along the measured wavelength domain (350-2500 nm). In general, reflectance of wavelengths greater than 740 nm in the infrared region had higher correlation with chemical components. Eight wavebands in the infrared were selected for each component to run the multiple linear regression analyses. It indicated that contents of crude protein (CP) may be expressed as a function of reflectance at 1893, 1332, 1731 and 1837 nm with coefficient of determination (R^2) of 0.293 ($P < 0.0001$). The contents of acid detergent fiber (ADF) and neutral detergent fiber (NDF) may be expressed as functions of reflectance at 1038 and 1663 nm and at 1450 and 2385 nm, with R^2 of 0.484 ($P < 0.0001$) and 0.173 ($P < 0.0001$), respectively. It is suggested that the changes of chemical components of pangolagrass may be estimated and monitored by these regression models.

Key words: Canopy reflectance spectrum, Spectral characteristics, Pangolagrass, Multiple linear regression analysis, Chemical component.

-
1. Contribution No.2116 from Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted: July 3, 2002.
 2. Assistant Researcher and senior agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan, ROC.
 3. Research fellow and department head, and associate research fellow, Department of Forage Crops, Taiwan Livestock Research Institute, Tainan Hsien, Taiwan, ROC.
 4. Corresponding author, E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw ; Fax:(04)23396057.