

香蕉成熟度與其光學反射性質之探討

Ripeness Evaluation of Bananas by Optical Reflectance

國立臺灣大學農機系教授

國立臺灣大學農工所機械組碩士

陳 世 銘

邱 宗 榮

Suming Chen

Tsung-Jung Chiu

摘 要

臺灣位居亞熱帶氣候區，是世界香蕉的重要產地。在內外銷市場逐漸建立品質分級觀念及面對其他國家的競爭下，香蕉成熟度的判斷方法必須有所改善，方能符合市場之要求。本研究即在探討以非破壞性之光學偵測技術，建立一套香蕉成熟度之判斷方法。

本研究係以色差計測量香蕉表皮之顏色；以化學分析法檢定果肉的還原糖含量；以分光光度計測定其反射或透射性質。光學偵測以反射方式為主，分析黃、綠香蕉之成熟度差異，將反射率或不同波長的反射率組合設為品質指標，並以統計分析所得的馬氏距離作為判斷其品質指標優劣的標準。結果顯示單波長型之品質指標以 R680 為最佳（馬氏距離 $D^2=31.08$ ），而雙波長型以 $(R480-R680)/R680$ 為最佳組合（ $D^2=121.4$ ）。

關鍵詞：香蕉、成熟度、光學、反射

ABSTRACT

Taiwan, located in the subtropical area, is one of the most important places that produce bananas in the world. Due to the importance of quality grading and the competition from other countries, the method of judging banana's ripeness must be improved in order to meet the requirements of markets. The objective of this research is to develop an electro-optical method for non-destructive measurements of banana's ripeness. In this study, the color of banana's peel was measured by the color difference meter, the reducing sugar content of pulp by chemical analyses, and the optical properties of reflectance and transmittance by spectrophotometer. In discriminating the sugar content of yellow from green bananas, the reflectance measurements by the 5° spectral reflectance device were emphasized. The quality indices (Q. I.) were chosen from either the single wavelength reflectances or the combinations of two wavelengths' such that Mahalanobis distance (D^2) was large enough. Results indicate that the best Q. I. for the single wavelength type is R680 ($D^2=31.08$), and that for the dual-wavelength type is $(R480-R680)/R680$ ($D^2=121.4$).

Key Words: Banana, Ripeness, Optical, Reflectance

一、前言

臺灣香蕉成熟度的判定，以往一直延用六分、七分、八分等劃分法，通常是由蕉農或專家，依據香蕉的直徑大小、果實發育、日期、果皮顏色及飽滿度等因素來判斷，但因香蕉在各季節的發育日期及果實重量不一致，故難免會有人為上的誤差產生，而迄今仍然沒有一套較客觀標準，能準確判斷成熟度的方法被發展出來。

近年來，由於積體電路及材料科學的進步，促使光電技術和自動控制的長足發展，將其結合，應用在果蔬選別判斷上，可提昇品質分級的水準，確保農產品的價格。為了達成上述目標，品質指標的選定，為光學技術應用於品質選別作業中最重要的關鍵，如 Chen (1978) 所討論的農產品各種品質因素之光學品質指標、陳與謝 (1988) 針對番茄顏色的選別以及陳與田 (1989) 之椪柑顏色選別。

一般對香蕉品質研究的探討，目前的文獻還算充足，不過大多針對其化學性質的分析，及普通物理性質的描述，如 Charles 與 Tung (1973)，曾經對香蕉在成熟過程中，儲藏溫度對香蕉的成熟速率之影響作過研究；但文獻上較少有對其光學性質作深入的探討，僅 Chuma et al. (1980) 曾經以延遲光 (DLE) 的方式，對香蕉品質作判斷，探討香蕉的延遲光特性。本研究乃利用分光光度計裝置和統計分析，從事香蕉成熟度和其光學性質的相關性探討，以作為設計光電選別及品質偵測機構的參考。

本論文之研究目的乃在探討黃、綠香蕉之反射光學性質與其顏色 (外觀) 和糖分 (內在性質) 之相關性，並建立品質指標。

二、研究方法

品質指標選定的步驟為對農產品在不同波長的光學特性先做研究，找出與品質因素有關連的波長值，再利用統計分析的方法，定義品質指標為單波長的光學測量值或多波長的光學測量值之組合

Powers et al. (1953) 曾發展一套利用檸檬表面反射性質的顏色選別機，其將品質指標分為四種方法：

(1)第一種方法為單一波長的反射測量值，

$$I\lambda = S * R\lambda \quad (1)$$

其中 $I\lambda$ 為品質指標，在此為光電流， $R\lambda$ 為農產品被波長 λ 之光照射時的反射率， S 為測量系統的敏感度。

(2)第二種方法為不同的兩波長反射光電流之差值，

$$I\lambda = S * (R\lambda_1 - R\lambda_2) \quad (2)$$

(3)第三種方法為不同的兩波長反射光電流之比值，

$$I\lambda = R\lambda_1 / R\lambda_2 \quad (3)$$

將系統之敏感度因素予以消除。

(4)第四種方法為前三種方法的組合，

$$I\lambda = S * (R\lambda_1 - R\lambda_2) / (S * R\lambda_2) \\ = (R\lambda_1 / R\lambda_2) - 1 \quad (4)$$

此即為 IVR (Index of Variance in Reflectance)；在顏色差異很小時，應用 IVR 指標較之其他指標為靈敏。

在一般的量測系統，受系統的誤差或被測物其他物理量的影響，可能會有基線飄移的現象，如魚住純 (1984) 所討論，可利用微分方式，將此現象消除，提高準確度；另外 Birth (1979) 引述 O'Haver and Green (1975) 之推導，說明使用微分的再處理方式可改善直接使用光譜資料時，因基線飄移所造成的誤差。由 Lambert Law,

$$T = e^{-Kt} \quad (5)$$

T ：穿透率

K ：吸收係數

t ：透射距離

微分得

$$dT/d\lambda = -te^{-Kt}(dK/d\lambda) \quad (6)$$

再除以式(5)得

$$\frac{dT/d\lambda}{T} = \frac{-te^{-Kt}(dK/d\lambda)}{e^{-Kt}} \\ = -t (dK/d\lambda) \quad (7)$$

$$dK/d\lambda = -\frac{dT/d\lambda}{t * T} \quad (8)$$

在穿透量測上，可利用直接微分及式(8)的處理，而在反射量測上，除了 t (即厚度) 因素不考慮外，亦可利用相同處理方式來除消基線飄移。

當單色光通過含有吸收物質的樣品時，光束的輻射功率遞減，功率的減少視吸收液濃度和光束行經的路徑長度而定，這些關係可以比爾定律(Beer law) 描述。假設有一吸收物質的方塊，一束功率

Po 的平行單色光垂直打在這方塊表面上，通過長度 t 的物質後，功率因被吸收的結果而減為 P，其關係如下：

$$\log (Po/P)=\epsilon tC=A=OD \tag{9}$$

ε 為比例常數，亦為莫耳吸光度 (Molar Absorptivity)，C 為莫耳濃度，A 表吸光度 (Absorbance)，亦為光密度值 (OD, Optical Density)。因為 OD 之定義為 $\log(I/T)$ ，若厚度固定，對於相同的材料，由(9)式可知 $\log(I/T)$ 與濃度成正比。

表 1. 光學品質指標變數之分類表

方法	波長種類	模 式	統計方法
5 度角反射	單 波 長	R、R'、R'/R	求 D ² 一黃、綠族羣之馬氏距離
	雙 波 長	$\frac{R1-R2}{R1}$ 、 $\frac{R1+R2}{R2}$	
積分球反射 (單)		RI	
積分球透射 (單)		TI、IOD/t	

由上述的討論，對於反射方式之品質指標，由 Powers et al. 的方法，我們可以設定直接由反射光譜取得的反射率為單波長 R 型，而兩個不同波長的反射率經處理，可得雙波長 $\frac{R1-R2}{R1}$ 、 $\frac{R1+R2}{R2}$ ，另外加入 $\frac{R1+R2}{R1}$ 。至於 $\frac{R1+R2}{R1}$ 在統計上相似於 $\frac{R1-R2}{R1}$ ，因祇是族羣的平均數移動，兩者的平均值差及標準差皆不變，以在後文提到的馬氏距離計算，其值是相同的； $\frac{R1+R2}{R2}$ 和 $\frac{R1-R2}{R2}$ 亦為同樣的道理，故僅須計算 $\frac{R1-R2}{R1}$ 及 $\frac{R1-R2}{R2}$ 。為了消除基線飄移的影響，我們加入單波長之微分 R'、R'/R，故反射方式共有 7 個變數型態，這些反射方式是利用分光光度計的 5° 角裝置測得，在區別黃、綠香蕉族羣的分析上，主要是以 5° 角反射 (7 個變數型態) 為主。此外尚有積分球裝置，可作反射及透射量測，因此另以下列 3 個變數型態進行分析：(1) RI，直接由積分球反射光譜資料取用，(2) TI，直接取用積分球透射光譜資料，(3) IOD/t，為 TI 轉換成光密度值，再除以厚度所得。綜合上述的說明，將實驗資料分析方法

歸納於表 1。
陳與田 (1989) 指出，在統計分析上，如果區分兩個不同族羣的差異程度，可以由其平均數及變異數，找出檢定值 D² (馬氏距離, Mahalanoib Distance)，D² 值越大，表示這兩族羣的差異性越大，即表示此型態中波長變數——品質指標，對於區分黃、綠香蕉兩個族羣，有較佳的分離效果。D² 計算公式如下：

$$D^2 = (X_1 - X_2)^2 / Sp^2 \tag{10}$$

其中 X₁, X₂ 為各別族羣對該變數的平均值
Sp² 為合併變異數 (Pooled Variance)
 $Sp^2 = [(N_1 - 1) * S_1^2 + (N_2 - 1) * S_2^2] / (N_1 + N_2 - 2)$ (11)

其中 N₁、N₂ 為各別族羣的樣本數
S₁²、S₂² 為各別族羣對該變數的變異數

三、實驗設備與方法

1. 香蕉光學性質的測量

(1) 光譜的測量

使用分光光度計 (Spectrophotometer, HITACHI U-3410) 進行分析，圖 1 為此儀器和其配備。分光光度計為光學分析上，極為重要的儀器，可應用於不同的領域，包括光學、化學及材料科學等。本實驗使用到 HITACHI U-3410 的許多配件，茲說明如下：

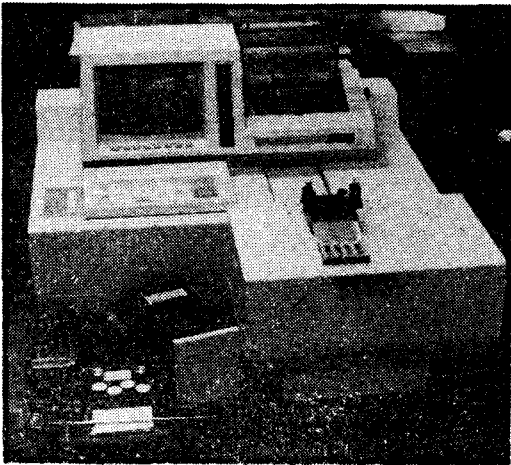


圖 1. 日立牌 U-3410 分光光度計及其配備

(a) 5 度角單向反射裝置

入射光和反射面之法線成 5° ，樣本的承放孔直徑為 25mm，標準白板材料為氧化鋁 (Al_2O_3)，感測器的使用，在波長190至 850nm 為光倍增管 (Photomultiplier, PMT)，850 至 2500nm 為硫化鉛光敏電池 (PbS Cell)。

(b) 積分球

積分球內部塗上硫化鋇 (BaS)，大小為直徑 60mm，標準白板材料為氧化鋁，測量的波長為 250 至 800nm，使用的感測器為光倍增管。開口面積為積分球內部面積的 7.8%，由改變樣本和標準白板的位置，可使用反射和透射兩種量測方法。

(c) 液槽裝置

測量使用的光譜範圍和 5 度角裝置相同，亦使用相同的測量室，容器截面積大小為 10mm×10mm，高為 4.5cm，有玻璃和石英兩種材料，主要測量液體內分子的吸光性質，利用 Beer law 可測量其濃度（若照射光的波長為紫外線，則使用石英管，因玻璃對紫外線有吸收作用）。

(2) 顏色的測量

顏色之測量使用色差計（日本電色工業株式會社，ND-101DP）。色差計內部的基本元件，有三組分離的電路、濾鏡和光感測器，用以量測 ICI (International Commission for Illumination) 顏色系統之 X、Y、Z 值，由內部電路之計算，亦可轉換為 HUNTER 之 L、a、b 顏色系統，而本實驗採用 HUNTER 系統。L 值 ~100 代表黑~白，a 值 -100~+100 代表綠~紅，b 值 -70~70 代表藍~黃，實驗校正所用的標準白板其 L 值為 97.6，a 值為 -0.2，b 值為 -0.4。

2. 香蕉果肉糖分的檢定

此乃採用 DNS 法 (Mukker, 1959)

(1) 化學試劑

a. 二硝基鄰經基苯酸 (Dinitrosalicylic Acid，簡稱 DNS, $(\text{O}_2\text{N})_2\text{C}_6\text{H}_2\text{-2-(OH)CO}_2\text{H}$)；Sigma 化學藥品公司。

b. 酒石酸鉀鈉 ($\text{COOKCH}(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{COONa} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)、氫氧化鈉 (NaOH)、鹽酸 (HCl)、氯化鐵 ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)；林純藥株式會社。

c. 乙醇 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)；藥用酒精，公賣局。

d. 果糖 ($\beta\text{-D} \leftrightarrow \text{Fructose}$, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)；Sigma 化學藥品公司。

e. 葡萄糖 ($\alpha\text{-D} \leftrightarrow \text{Glucose}$, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)；片山化學株式會社。

(2) 方法

(a) DNS 試劑的製備：

在室溫下取 1g DNS，溶解於 20ml 之 NaOH (濃度 2N) 和 50ml 水中，加入 30g 酒石酸鉀鈉，調整體積至 100ml (保存時勿與 CO_2 接觸)。

(b) 標準還原糖曲線之設定：

取還原糖濃度的範圍 0.1~0.2(g/100ml, H_2O) 的樣品 2ml，加入 DNS 試劑 2ml，在沸水中反應 5 分鐘，冷卻後，加水調節總體積至 10ml，測 540nm 之吸光 (測吸光度時，以水加 DNS 試劑當作校正及參考液 (blank))，將不同濃度及所測得之對應 OD 值，作迴歸分析，可得校正方程式，製成曲線，作為標準還原糖校正曲線。圖 2 為其流程。還原糖包括果糖、葡萄糖、乳糖及麥芽糖等，實驗樣本以果糖和葡萄糖代表還原糖。

測 還 原 糖

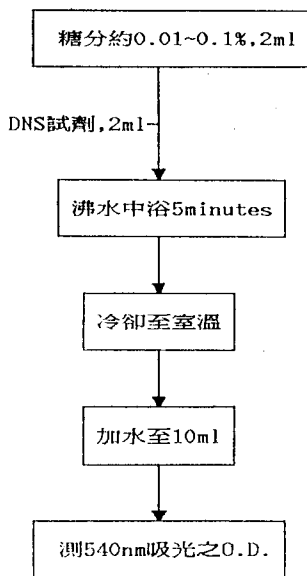


圖 2. 糖分濃度測量流程

(c) 香蕉果肉之還原糖含量測量：

取香蕉果肉 10g，研磨至漿狀，加 100ml 水溶解，以真空邦浦加快此溶解液通過濾紙過濾速度，將過濾液加水稀釋至利用 DNS 法配合分光光度計所能感測之濃度範圍，測 OD 值，由標準校正曲線，可讀得其對應濃度，將此值乘以稀釋倍數，可得還原糖濃度。

3. 實驗步驟

(1) 樣品的取得

本省早期之香蕉品種有北蕉、仙人蕉、矮腳蕉、粉蕉等十餘種，近年來由於農政有關單位之不斷由國外引種，已擁有品種約 100 餘種，大都保存在相關研究單位中，如香蕉研究所、臺灣省農業試驗所等。一般蕉農栽培之主要經濟及外銷品種，則以北蕉 (Giant Cavendish) 及仙人蕉 (Robusta) 為主，均屬 Cavendish，仙人蕉係自北蕉芽變而來，兩者外觀不易區別，目前一般蕉園除建園之初以組織培養苗種植外，其他絕大部份蕉園，均係兩品種混合種植，並未純化。樣品的取得，黃香蕉為由市場購得，由 Color Index 表判斷，屬於第六階段，顏色全部為黃色，另綠香蕉則由青果合作社臺北分社所提供，為未經催熟的第零或第一階段之綠香蕉。

(2) 光學性質及還原糖含量測量步驟

區別黃、綠香蕉，主要以香蕉的外部性質作判斷，故以反射方式為主。在儀器裝置的選定上，使用 5° 角反射裝置，其能掃描的波長範圍較大且在實際選別裝置設計上，一般反射大都採取此方式，雖然分光光度計尚有積分球反射方式，但因掃描的波長範圍較小，故在實驗中加入祇是作比較之用，另外加入積分球透射亦是作比較之用。雖然黃、綠香蕉可由外部性質判斷，實驗亦加入其還原糖含量之測量，以作為和外部性質比較之用。樣本為黃香蕉、綠香蕉各 4 把，每把取 5 根，故每一族羣各有 20 個樣本。

(a) 顏色 L, a, b 值：利用色差計量取香蕉表皮不同的六個位置之 L, a, b 值，分別求其平均值。

(b) 5° 角反射：限於裝置的空間限制，取香蕉的果實（果皮和果肉）切片，如圖 3，掃描其表皮，範圍 200–2400nm。得到的光譜為連續的曲線，為減少處理資料的龐雜及保持資料的完整性，因此每 10nm 取一筆資料，由 RS-232C 傳送至 PC 相容之個人電腦，進行分析。因此對於每一樣本，有 221 個波長反射值。

(c) 積分球的反射及透射：亦限於裝置的空間限制，取香蕉表皮，進行反射掃描，範圍為 400–800 nm（範圍最大可至 250–800nm，取此範圍在於此範圍內黃、綠香蕉的差異大，易與 5° 角作比較，透射亦是相同原因），每 5nm 取一筆，共有 81 個

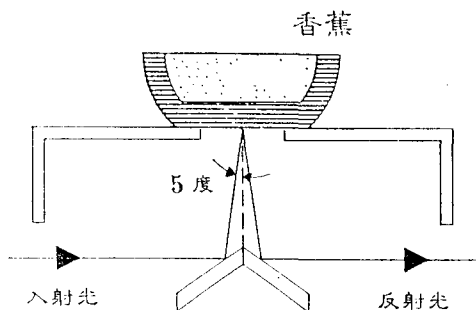


圖 3. 5° 度角反射之示意圖

波長變數。透射因徑向的透射率甚小，為了能分析其差異，故取香蕉果實一半厚度（亦如圖 3 所取的樣本）進行掃描，範圍為 500–800nm（因黃、綠香蕉透射光譜中，400–500nm 範圍之圖形一致，為簡化處理，故祇取此範圍），每 5nm 取一筆透射值，共有 61 個變數。

(d) 還原糖含量：還原糖使用果糖或葡萄糖當作標準校正樣本，其濃度分別為 0.01、0.02、0.04、0.06、0.08、0.10g/(100ml, H₂O)，依兩者測得的 OD 值計算還原糖的校正方程式。香蕉樣本取果肉 10 克，由水萃取糖分，（詳細步驟列於上節三、2-(2)-(C) 內）測吸光度時，取二次實驗值之平均。

(3) 資料處理及分析

(a) 由於分光光度計對所掃描存入記憶體的資料，存取或處理的速度過慢，而且沒有其他統計軟體應用於作業系統，為能獲得 PC 個人電腦強大的軟體支援及處理速度，故藉由兩者的通訊介面，將資料傳至 PC。而其 RS-232C 之傳輸界面參數，U-3410 由硬體開關作選擇，而 PC 則以軟體作設定，其參數為 1200 鮑得率 (Baud Rate，傳遞速度)、7 個資料位元、1 個停止位元及奇同位檢查。所得的資料處理如下：單波長的 R 型，直接使用 RS-232C 傳得之反射率資料，R' 和 R'/R 則使用數值法的中間微分法 (Central Difference)，將反射率之數值作轉換。RI 及 TI 亦使用由 RS-232C 接收到的原始數據，IOD/t 則將 TI 取 $\log(1/TI)$ ，再除以厚度 t 而得。

(b) 利用統計套裝軟體 BMDP 之 P7M 程式，計算出的黃、綠香蕉族羣在不同的波長或波長組合下之變數的平均值及變異數，利用 (10) 及 (11) 式求得各變數對區別兩族羣判別能力——馬氏距離 (D^2)

值)。

(c)雙波長型的變數，如果是任意兩個單波長組合，變數的處理勢必變得相當龐大，因此考慮雙波長形式時，其中之一的波長乃採用單波長之值測時，代表族羣的特性最顯著者，其他波長之加入祇是更提高其準確性。故實驗中，由單波長的R型中找出最大的 D^2 值之波長，代表黃、綠香蕉在此波長的反射值最有顯著差異，為主效應，再和其它反射波長配合，可得雙波長型之 $R1+R2$ 、 $R1-R2$ 、 $(R1-R2)/R1$ 和 $(R1-R2)/R2$ 之變數型態，同法求其 D^2 值。此計算亦利用 BMDP 之 P7M 程式，祇不過在使用前，先作資料轉換，將波長的反射率組合起來。

(d)由上面所得之各型，各找出最大 D^2 之波長或波長組合之品質指標值，和香蕉之還原糖含量、顏色值，作簡相關 (Simple Correlation) 分析，使用的軟體為 BMDP 之線性迴歸程式 P1R，可求得變數的相關矩陣，藉此比較品質指標間的關係。

四、結果與討論

1. 還原糖及色差計之實驗數據

還原糖及顏色 L、a、b 值的平均值及標準差，列於表 2。在統計上，平均值加減一個標準差，觀測值落在此區域機率為 68.28%；加減二個標準差，觀察值落在此範圍的機率則為 95.44%，若為三個標準差，機率提高為 99.72%。在表 2 中可發現，黃、綠香蕉的還原糖和顏色的平均值分別加減一個標準差，其形成的範圍，沒有發生重疊的現象；但加減二個標準差，除了顏色 L 值發生重疊，其他沒有重疊到，故區別黃、綠香蕉族羣，如取用還原糖及顏色 a、b 值當作標準，都比 L 值來得明顯

表 2. 黃、綠香蕉還原糖及顏色之實驗值

樣本	統計值	還原糖 (%)	顏 色		
			L	a	b
綠香蕉	平均值	0.232	52.979	-11.222	21.582
	標準差	0.093	2.725	1.130	0.916
黃香蕉	平均值	9.580	57.823	2.824	26.158
	標準差	1.118	1.873	2.149	1.004

。在實驗中光學檢驗黃、綠香蕉的差異，主要還是以還原糖為主，其他測量值為輔。

2. 5°角反射

典型之黃、綠香蕉由5°角反射所測得的光譜曲線，繪於圖 4；各波長經計算的之 D^2 值，列於圖 5。圖 4 可看出在波長 680nm 附近，綠香蕉反射率有明顯下降，此為葉綠素吸收帶，因此黃、綠香蕉在此波段有明顯的差距；另外在圖 5 可看出，求得的區別黃、綠香蕉族羣的馬氏距離，在 680nm 附近時為最大，680nm 處其馬氏距離 $D^2=31.08$ ，故使用可見光的分辨能力比紫外線 (D^2 在 1.21 以下) 及近紅外線 (D^2 在 7.64 以下) 來得強。

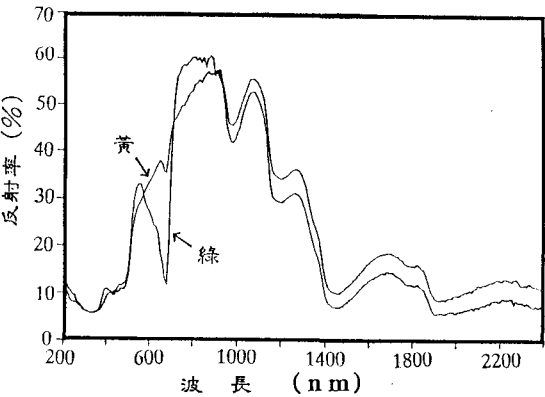


圖 4. 黃色和綠色香蕉的 5 度角反射光譜

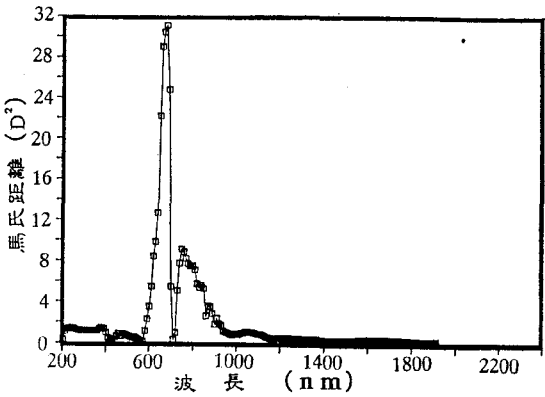


圖 5. 以 5 度角反射區別黃、綠香蕉差異，各波長馬氏距離分佈圖

3. 積分球反射及透射

典型之黃、綠香蕉由積分球反射及透射所測得的光譜曲線，繪於圖 6、圖 7，將其 D^2 值最大之前五名列於表 3。前述的5°角反射是單向反射，入射光和反射光與法線成一定的角度 (5°)，而積分

球反射是收集香蕉投射面的反射光，故圖4和圖6在400-800nm之波長範圍，圖形特徵雖相似，但略有差異，此乃由於香蕉表皮物理性質所造成。表3可看出積分球反射最大馬氏距離的波長在655nm ($D^2=25.56$)，而葉綠素吸收帶(680nm附近的波長)也在前五名內。對透射圖7而言，因香蕉組織較緊密(表皮硬且厚)，故穿透路徑僅取用香蕉之一半厚度，其穿透率較小，在1.5%以下；同時在光譜圖上(圖7)，因香蕉內部性質，光的穿透率隨著波長的增加而上升，但由於表皮葉綠素的吸收，在其吸收帶透射率有些下降。在表3中，穿透率TI的最大馬氏距離在波長690nm ($D^2=3.086$)，如果將穿透率轉換成OD，除以厚度變因，其區別能力值有提高的現象($D^2=13.74$)，顯示厚度在透射上的影響力。

4. 基線飄移的改善

在表3中，單波長之微分型 R' 及 R'/R 都比單波長R型的馬氏距離明顯地大得多(最大 $D^2=110.7$)，其最大者之波長分別都在640nm；圖8為 R' 型之圖形，一般的吸收波長在此圖中為零

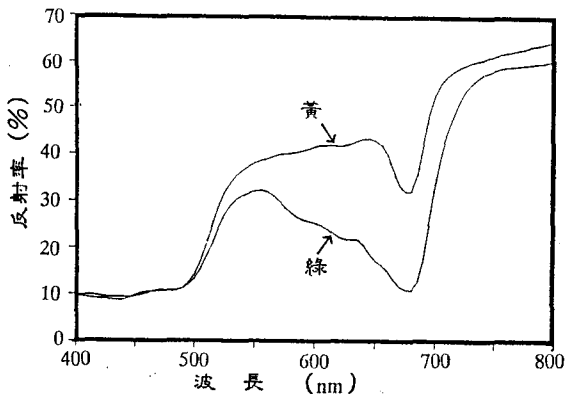


圖6. 黃色和綠色香蕉的積分球反射光譜

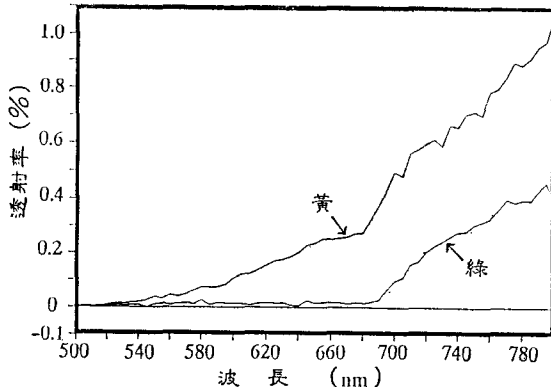


圖7. 黃色和綠色香蕉的積分球透射光譜

因為為峰谷)，可由其交於X軸的座標看出，在波長640nm之黃、綠香蕉其相對值分別為正負值，有明顯的差距，另外亦可比較圖4在640nm之斜率；故以微分處理，可以消除系統的誤差。

5. 雙波長型之品質指標

由5°角反射光譜，求得單波長型的最大馬氏距離之波長為680nm(圖5，以其和另一波長組成的雙波長型之品質指標，其馬氏距離較大的前五個列於表3。和單波長R型之馬氏距離作比較，都有明顯提高，證實 Powers et al. 的方法，可消除系統的靈敏度，提高偵測能力。雙波長型之品質指標中，以 $(R1-R2)/R2$ 型(IVR)之波長480nm和680nm所搭配之品質指標的馬氏距離為最大($D^2=121.4$)。

6. 光學品質指標之討論

表3各品質指標之最大 D^2 值的波長(nm)，分別為R:680、 R' :640、 R'/R :640、 $R1-R2$: (730,680)、 $R1+R2$: (660,680)、 $(R1-R2)/R1$: (720,680)、 $(R1-R2)/R2$: (480,680)、 RI : 655、 TI : 690及 IOD/t : 690。

(1)在分離黃、綠香蕉族羣，如果使用單一波長的光源，偵測光和香蕉表面成5°角入射和反射，則選擇波長為680nm的光源；若入射和反射為積分球方式，則選擇波長為655nm。如果為透射方式，則使用光源為690nm。

(2)考慮基線飄移，使用5°反射微分方式的單波長型之波長640nm有較佳的效果。實際應用上，兩個波長可選擇極接近640nm的光源；在偵測上，將兩個光源分別照射樣本，求得各波長的反射量，其差值乃代表微分處理。

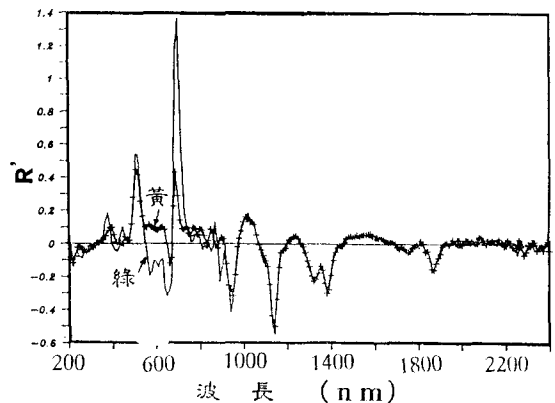


圖8. 黃色和綠色香蕉的5°角反射光譜之一階微分圖形

(3)在雙波長型的組合中，若使用5°角反射方式則以 IVR 型較佳，其中如選擇 480nm和680nm之組合，其分辨黃、綠香蕉族羣的能力最佳 ($D^2=121.4$)。另外從表 3 中，可看出有最佳分離效果的光源，其波長大都落在可見光的範圍。

(4)因單波長 R、R'、R'/R 及雙波長R1-R2、R1+R2、(R1-R2)/R1、(R1-R2)/R2 的資料處理上，都取用相同之5°角的反射光譜資料，故品質

指標可以馬氏距離作比較，其中以 IVR 型最好，R'型次之，而R型最差，故資料若經轉換（不同的品質指標），可改善選別效果。另外馬氏距離界分區別效果，可由品質指標的平均值加減標準差之範圍來說明，表 4 顯示黃、綠香蕉各型最大 D^2 值之品質指標的平均值及標準差，表中黃、綠香蕉的光學品質指標平均值加減三個標準差之範圍，R'、R'/R、R1-R2、(R1-R2)/R1及 (R1-R2)/R2 均

表 3. 區別黃、綠香蕉差異，各型及各種測量前五名馬氏距離 (D^2) 及其相對波長 (nm)

5 度 角 反 射 之 單 波 長 型 式								
R			R'		R'/R			
	波 長	D^2	波 長	D^2	波 長	D^2		
1	680	31.08	640	110.7	640	103.9		
2	670	30.41	610	104.9	610	62.98		
3	660	29.01	600	103.2	650	61.52		
4	690	24.73	700	91.60	600	60.58		
5	650	22.16	580	89.61	630	47.29		

5 度角反射之雙波長型式 (R2 之波長為 680nm，R1 之波長列於下)								
R1-R2		R1+R2		(R1-R2)/R1		(R1-R2)/R2		
	波 長	D^2	波 長	D^2	波 長	D^2	波 長	D^2
1	730	66.92	660	31.46	720	46.52	480	121.4
2	740	63.31	670	30.85	730	45.98	490	113.4
1	720	62.69	650	29.22	740	44.72	460	111.4
4	750	60.34	690	28.94	710	44.36	470	107.4
5	770	59.85	640	23.54	770	43.77	500	104.4

積分球	反 射		透 射		射			
	RI		TI		IOD/t			
	波 長	D^2	波 長	D^2	波 長	D^2		
1	655	25.56	690	3.086	690	13.74		
2	660	25.27	685	2.932	685	13.17		
3	650	23.37	670	2.923	680	12.77		
4	665	22.62	695	2.823	665	12.44		
5	690	21.44	675	2.807	675	11.82		

沒有發生重疊現象，顯示品質指標的效果良好，可驗證上述結論，而5°反射之R型加減三個標準差才發生重疊，顯示區別效果，5°反射比積分球反射及透射好。

7. 相關性分析
表5 顯示各型最大D^a值之品質指標和還原糖、

顏色L、a、b作相關分析，求得各變數間之相關係數。由表中可以看出各變數之間的關係，除了L、TI、IOD/t外 ($|r| < 0.87$)，香蕉的還原糖量和反射方式及其他波長組合和顏色a、b值，有較好的相關性 ($|r| > 0.92$)，表示黃、綠香蕉之還原糖含量，可以外部測量值表示 (L值表明暗度，

表 4. 黃、綠香蕉品質指標之平均值各加減標準差之範圍

光 學 品 質 指 標	馬 氏 距 離	香 蕉 類 別	黃、綠平均值各加減數個標準差是否重疊				
			平 均 值	標 準 差	一 個	二 個	三 個
R (680)	31.08	綠	14.0318	4.7110	否	否	是
		黃	41.8283	5.2460			
R' (640)	110.7	綠	- 0.2272	0.0319	否	否	否
		黃	0.0970	0.0296			
R'/R (640)	103.9	綠	- 0.0882	0.0152	否	否	否
		黃	0.0235	0.0078			
R1-R2 (730,680)	66.92	綠	-45.337	2.4696	否	否	否
		黃	- 9.7877	5.6282			
R1+R2 (660,680)	31.46	綠	32.1436	10.1549	否	否	是
		黃	84.0653	8.2609			
(R1-R2)/R1 (720,680)	46.52	綠	- 0.7468	0.0614	否	否	否
		黃	- 0.1796	0.1039			
(R1-R2)/R2 (480,680)	121.4	綠	- 0.0207	0.0535	否	否	否
		黃	0.7277	0.0761			
RI (655)	25.56	綠	17.6763	3.6503	否	否	是
		黃	41.9095	4.7116			
TI (690)	3.086	綠	0.0095	0.0061	否	是	是
		黃	0.1238	0.1019			
IOD/t (690)	13.74	綠	2.0276	0.2710	否	是	是
		黃	0.9270	0.4246			

表 5. 區別黃、綠香蕉差異，各變數之間的相關係數(r)矩陣

	SUGAR	L	a	b	R	RI	TI	IOD/t	R'	R'/R	R1-R2	R1+R2	R1R2R1	R1R2R1
SUGAR	1.00													
L	0.73	1.00												
a	0.95	0.67	1.00											
b	0.92	0.87	0.86	1.00										
R	0.92	0.69	0.96	0.86	1.00									
RI	0.92	0.75	0.94	0.91	0.94	1.00								
TI	0.64	0.35	0.71	0.53	0.67	0.61	1.00							
IOD/t	-0.86	-0.66	-0.89	-0.80	-0.87	-0.84	-0.84	1.00						
R'	0.96	0.66	0.97	0.87	0.93	0.92	0.68	-0.88	1.00					
R'/R	0.96	0.71	0.97	0.89	0.97	0.94	0.67	-0.90	0.97	1.00				
R1-R2	-0.95	-0.67	-0.99	-0.88	-0.97	-0.95	-0.68	0.88	-0.97	-0.97	1.00			
R1+R2	0.92	0.71	0.96	0.87	0.99	0.93	0.66	-0.87	0.92	0.97	-0.96	1.00		
R1R2R1	-0.94	-0.68	-0.98	-0.87	-0.99	-0.95	-0.68	0.88	-0.96	-0.98	0.99	-0.98	1.00	
R1R2R2	-0.96	-0.72	-0.98	-0.91	-0.96	-0.96	-0.68	0.89	-0.97	-0.98	0.99	-0.96	0.98	1.00

註：1.上述變數 SUGAR 表還原糖，R1R2R1 表 $(R1-R2)/R1$ ，R1R2R2 表 $(R1-R2)/R2$ 。

2.光學品質指標變數的波長 (nm)，分別為 R:680、RI:655、TI:690、IOD/t:690、R':640、R'/R:640、R1-R2:730,680、R1+R2:660,680、 $(R1-R2)/R1$:720,680、 $(R1-R2)/R2$:480,680。

和糖度的相關較低)。另外由反射率及反射率的轉換變數(雙波長型式)可看出,其和顏色的相關性,以代表紅綠程度的a值最佳($|r|>0.94$),故以反射方式取代色差計量測,區分族羣亦有良好的效果;而R型和雙波長的光學品質指標之相關性,以和R1+R2型最高($r=0.9979$)而和其他各型,亦有好的相關性($|r|>0.96$),表示單波長品質指標中能顯現顯著差異的波長(如680nm),加入雙波長中組成雙波長型式品質指標,造成的族羣區別能力亦是顯著。

五、結 論

(一)光學反射偵測方式可以取代黃、綠香蕉之色差計之顏色量測及化學方法之還原糖含量檢定。

(二)單波長型式品質指標中以680nm之5°角反射在區別黃、綠香蕉,具有最好的品質指標。

(三)單波長的微分型,明顯地比直接使用單波長反射率較能提高對黃、綠香蕉的區別能力,因此能改善實驗時受基線飄移現象的影響。

(四)雙波長的組合比起單波長對於品質的檢定有較高的效應,尤其以IVR型為最好,其組合方式以(R480-R680)/R680為最佳。

(五)使用5°角反射和積分球反射因被測物表面的粗糙度,其最佳的單波長品質指標,有所不同。故雖同為反射方式,但因偵測的方式不同,故品質指標亦有所變動。

六、誌 謝

研究期間承蒙臺大農化系李敏雄教授、中興大學農機系盛中德教授、青果合作社黃恩雄先生及郭錦富、古國隆、張家禎、田秉才、邱奕志等同學協助,特此誌謝。

七、參考資料

1. 邱宗榮。1989。香蕉的成熟度與其光學性質之探討。碩士論文,國立臺灣大學農機系,臺北。
2. 陳世銘、謝廣文。1988。番茄顏色之光電選別。中國農業工程學報34(2): 49—54, 臺北。
3. 陳世銘、田秉才。1989。柑桔顏色之選別指標。國立臺灣大學農學院研究報告29(1): 168—177。
4. 魚住純。1984。近紅外線分析與日本食品飼料工業品質管制自動化。食品工業16(11): 12—25。
5. 黃恩雄、吳昭其。1988。臺灣地區蔬果收穫後處理概況及現存問題。農產及食品加工機械研討會專集,臺大農機系,臺北。
6. 謝廣文、陳世銘。1988。番茄顏色之光電選別室設計。中國農業工程學報34(4): 39—46, 臺北。
7. Birth, G. S. 1979. Radiometric measurement of food quality—a review. Journal of Food Science. Vol(44): 949—953, 957.
8. Charles R. J. and M. A. Tung. 1973. Physical, rheological and chemical properties of bananas during ripening. Journal of Food Science Vol (38): 456—459.
9. Chen, P. 1978. Use of optical properties of food materials in quality evaluation and materials sorting. Journal of Food Process Engineering Vol (2): 307—322.
10. Chuma, Y., K. Nakaji and M. Ohura. 1980. Maturity evaluation of bananas by delayed light emission. Trans. ASAE 23(4): 1043—1047.
11. Instruction manual for Hitachi model U-3410 recording spectrophotometer. 1987. Hitachi, Ltd.
12. Mukker, G. L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chem Vol(31): 3.
13. O'Brien, M. and S. C. Sarkar. 1974. System for optical transmission characteristics for computerized grading tomatoes. Trans. ASAE 17(2): 193—194.
14. O'haver, T. C. and G. L. Green. 1975. Derivative spectroscopy. American Laboratory 7(3): 15.
15. Powers, J. B., J. T. Gunn and F. C. Jacob. 1953. Electronic color sorting of fruits and vegetables. Agricultural Engineering 34(2): 149—154, 158.
16. Southgate, D. A. T. 1976. Determination of food carbohydrates. Applied Science Publishers LTD. LONDON, P109—110.

收稿日期: 民國78年10月14日

接受日期: 民國79年2月1日