

檸檬顏色選別裝置之研製

Development of Color Sorter for Lemons

國立臺灣大學農工所碩士

國立臺灣大學農機系副教授

國立臺灣大學農機系教授

田 秉 才

陳 世 銘

馮 丁 樹

Biing-Tsair Tien

Suming Chen

Din-Sue Fon

摘 要

本研究已成功設計完成進料機構及顏色選別室，其中進料機構具有單粒進料之功能，而選別室採用旋轉式多點偵測，使水果整個表面皆能被偵測到，因此選別結果較具有正確性。整個選別過程以 Z-80 微處理機，做準確的時間及動作的控制。靜態實驗結果指出水果旋轉偵測之必要性，而動態實驗則求出在不同轉速下水果顏色之分級值，作為自動選別裝置之分級依據。以 (R880/Rw880)-(R650/Rw650) 做為檸檬的顏色品質指標時，黃色及黃綠色檸檬之分級值為0.13，黃綠色及綠色檸檬之分級值為0.61。自動選別實驗，在旋轉輪轉速 3 RPS 的轉速下，水果進料延遲兩秒鐘後開始偵測，自動選別的精確度可達95%，每分鐘的處理能量為22個水果。

關鍵詞：檸檬、顏色選別、光電技術

ABSTRACT

The feeding mechanism and color sorting unit were designed and developed successfully. The feeding mechanism singulates fruits and conveys them to the sorting unit. The color sorting unit detects the whole surface of fruit, which is driven rotatively, so that its sorting results can be more accurate. The Z-80 micro-processor was employed to control the timing and action of sorting operations. Studies on static detection tests confirmed the necessity of the rotatively detecting method. Rotative detection tests were then conducted to provide fruit's grading criteria, which were adopted as the default setting for automatically sorting unit. Taking (R880/Rw880)-(R650/Rw650) as a quality index for lemons, the grading criteria for seperating yellow from turning lemons is 0.13; while for turning from green lemons is 0.61. Automatically sorting tests indicated a 95% accuracy with a speed of 22 fruits per minute under the conditions of 3 RPS rotation speed for rotary wheels, and of 2 seconds detection delay after fruit entering the sorting unit.

Key words:Lemons, Color Sorting, Electro-Optical

一、前言

蔬果之成熟度與其表皮之顏色甚為相關，以光電技術來進行農產品之顏色選別具有客觀、快速、確實、非破壞性偵測等優點，但品質指標的選定，則是最為重要的關鍵。陳與謝(1988)曾對番茄顏色之選別作過探討，陳與田(1989)亦曾研究椪柑顏色之選別指標，並探討發展泛用型果實顏色選別機之可行性。據陳與田(1989)研究，椪柑顏色的選別指標，在可見光及近紅外光的波長範圍內(400nm至1200nm)，發現以(R780-R650)做為顏色品質指標時，對於黃色及綠色椪柑有最佳的分辨效果。Powers等人(1953)曾研製檸檬顏色選別機，以兩段波長的光源，用IVR的方式組合成(R720-R678)/R678為兩品質指標，並以滾輪輸送檸檬。檸檬最後以自由落下的方式，通過四個對稱排列的光電管所形成的暗室。實驗結果顯示，該選別機能夠成功地分選出由黃色變化至深綠色的檸檬。但其方法由於以自由落體方式進料，水果容易受傷。謝與陳(1988)以發光二極體為光源，光二極體為接收器，配合Z-80微電腦設計番茄之顏色選別機構。但其設計中偵測範圍僅為番茄最大直徑之 $\frac{1}{4}$ ，因此若顏色分佈不均勻，則選別精度將會受影響。因此本研究乃採用旋轉式之多點偵測，以減少選別誤差。

顏色選別裝置基本上具備進料、選別及出料等功能。農產品在進行選別工作之前，通常以無秩序的狀態混合在一起。然而進行顏色選別時，却僅能接受整齊排序的物料。因此，如何將欲處理的物料，先完成單粒化進料，則是首要的工作。Shawver及Henderson(1973)曾研究一種具有波浪狀表面的傳動袋(Traveling Pockets)，能夠順利將物料單粒化。Furman及Henderson(1983)改良迴轉式的單粒化機構，利用Passive wall將前後排列的物料予以分開，並以可調的擋板將並排的物料分離而完成單粒化動作。

另外，選別機構為避免外界光源的干擾，通常設計在暗室內偵測。又因為果實表面顏色的分布並不均勻，量測單一部分的面積或某一區域的反射率，並不能完全代表此水果的全部表面顏色特徵。而多點偵測的方式，則可偵測較大的表面積，其方式分移動偵測器以偵測水果或使水果移動被偵測兩種方式。歷來之研究文獻顯示，均採用水果移動被偵

測的方式。Rehkugler及Throop(1976)以主峰值在900nm的紅外線LED為光源，利用一組具有六個光接收器的偵測頭，來偵測蘋果的瘀傷。該系統的迴轉偵測機構能夠將置於承杯中的水果予以旋轉外，並利用上下方的一對斜板(作用如平面凸輪)與頂桿之組合，將水果由上下兩面頂住並將之旋轉，供偵測器偵測。Rehkugler及Throop(1986)利用上述同樣的旋轉機構，改用64pixel線掃描的相機，做為蘋果瘀傷的偵測器，並以影像處理其瘀傷部分所呈現的灰度反應，作為判斷的依據。

本研究利用農產品的光反射特性，針對檸檬進行顏色選別。以發光二極體(LED)為選別室之光源，配合靈敏的光接收器及放大電路，設計旋轉偵測的選別暗室。在偵測果實的表面顏色時，採用使水果旋轉的偵測方式，並結合Z-80微處理器之控制，期能發展出速度快，精確度高且具非破壞性的自動化檸檬顏色選別裝置。

二、裝置之設計

本研究所設計之選別裝置如圖1所示，可分為進料機構、選別室、光電偵測裝置及微電腦控制部。茲將各個部分敘述如下：

(一)進料機構

進料機構之設計必須具有三個功能，一是存放水果，二是將水果整向並順序排列，三是將水果單粒化並送入選別室。因此，本研究之進料機構的設計包括擺動式儲料槽、無段變速機構、單粒化機構、提升裝置及紅外線感測裝置等部份，進料機構的實體外形如圖1之A與B。

進料機構之動力為 $\frac{1}{4}$ 馬力的馬達，經內部10

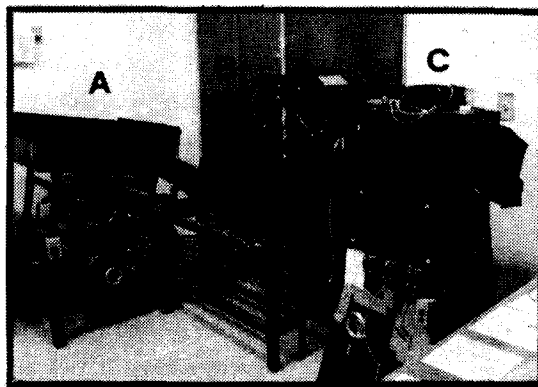
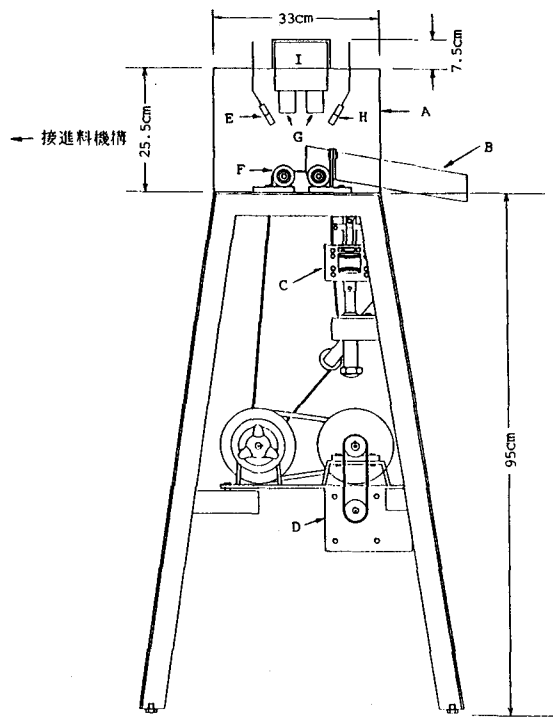


圖1 顏色選別裝置實體圖



- A. 選別暗室
- B. 出料槽道
- C. 電磁鐵
- D. 馬達
- E. 紅光 LED (650nm)
- F. 旋轉輪
- G. S1336光二極體
- H. 近紅外光 LED (880nm)
- I. 放大電路

圖4 選別室

並以穿透式光遮斷器來計數轉速計圓盤通過的溝口次數，並產生脈衝訊號給微電腦控制部，用以計算旋轉輪的轉速。

(2)出料裝置：在電磁鐵頂端以連桿聯結頂出桿，並以多絞鐵線聯結出料擋板，頂出桿的頭端黏以海棉墊，避免頂出時損傷水果。當電磁鐵導通時，電磁鐵頂端向下縮入而拉動連桿，將頂出桿的底端拉下，頂出桿的頭端上昇，而將水果頂出。同時多絞鐵線亦拉下出料擋板，使水果能順利離開選別室。

(3)暗室：為使選別過程不受外界光源的干擾，以 3mm 厚的黑色壓克力板製成暗室，並在壓克力板上噴以平光的黑色噴漆（噴漆色號為 109A），以減少反光。在暗室的進、出料口，黏貼黑色塑膠

布做為阻光隔離。

(三)光電偵測裝置

(1)光源：本實驗所用的光源為二個直徑 5mm 的發光二極體 LED，依初步研究結果（田，1989）乃採用光波主峰值分別為 880nm（代號為 IR）及 650nm（代號為 RED）的 LED 為光源。近紅外光 (880nm) LED 為 EVERLIGHT 牌 SIR333 型，紅光 (650nm) LED 為日本 ST-ANLEY 牌 H-3000 型。LED 亮與滅之控制，由微電腦控制部來執行。並在 LED 的頭端加裝直徑 5mm 的電木套管，使 LED 的聚光性及方向性效果更佳。

(2)光接收器及放大電器：光接收器採用日本 HAMAMATSU 公司所生產的 S1336 型光二極體，其感應主峰值在 $920 \pm 50\text{nm}$ 。本實驗所用的兩個光接收器均是 S1336 光二極體，兩個光接收器置於兩個光源之間，分別接收 880nm 近紅外光 LED（光接收器代號為 S1336-1）及 650nm 紅光 LED（光接收器代號為 S1336-2）照射在水果表面的反射光，再經放大電路將光電流訊號予以放大。放大電路部分，沿用謝（1988）之「番茄顏色之光電選別室設計」所採用的放大電路。該放大電路是由三個具有高輸入阻抗及低偏移電流的運算放大器（Operation Amplifier 簡稱 OP）所組成。第一個 OP (LF356) 將 S1336 所接收到的反射光電流，轉換並放大為負電壓，此負電壓再經第二個 OP (OP07-1) 以 1:1 反相為等值的正電壓，最後再以第三個 OP (OP07-2) 將此電壓做 1:1 非反相放大，即當做緩衝器使用，旨在穩定放大後的輸出訊號，避免受到外界電流的干擾。放大電路放置於獨立的方盒中，可用螺絲將之固定於暗室上，以便於拆換及調整接收器之高度。

(3)類比數位轉換電路：由兩顆類比數位轉換器 ADC 0804 所組成，可分別將光偵測器 S1336-1 及 S1336-2 經放大電路放大的類比電壓訊號，轉換為八位元的數位訊號，經由微電腦的輸出入裝置 PIO，送給 Z-80 CPU 處理。

(四)微電腦控制部

本控制部由微電腦控制板、轉接板及信號板所組成。微電腦控制板是控制部最主要的部分，以 Z-80 為中央處理單元 (CPU)，可透過輸出入週邊元件，將控制訊號或資料送出至轉接板，再由轉接板以 20 線排線，將控制訊號送達信號板，或由信

號板送回資料，再轉送至微電腦控制板處理。

(1)微電腦控制板：使用 Zilog 公司的八位元 Z80A 為 CPU，處理組合語言寫成的控制程式，系統所使用的時脈為 2.4576MHz。記憶體則採用記憶容量為 8K Byte 的 2764 EPROM (Erasable Programable ROM) 及 8K Byte 的 6264 SRAM (Static RAM)，可暫時將 CPU 處理程式的資料存入該 IC 的記憶區。輸出入裝置使用三個並聯輸出入界面控制器 (Parallel Input/Output Interface Controller, 簡稱 PIO) 及一個 8255A 可程式週邊界面 (8255A Programmable Peripheral Interface, 簡稱 PPI)。系統之計數計時裝置使用一個 8253 可程式計數計時晶片 (8253 Programable Counter/Timer Chip, 簡稱 8253) 及一個設計專為 Z-80 使用的計數計時晶片 (Counter Timer Chip, 簡稱 CTC)。

本系統利用 8253 的第一個 16 位元計數器將 Z-80 的系統時脈 2.4576MHz 加以除頻以產生 0.5ms 的單位時間供 CTC 使用。而 CTC 的四個頻道均做計數器使用，由於單位時間為 0.5ms，故只需 CTC 的計數次數乘以 0.5ms，即可獲得計時的功能。

本實驗設計當水果通過進料槽道的第一對紅外線感測裝置時，若 DET1 偵測出水果已通過，便由 PIO 啟動進料延遲的訊號，並利用 CTC 開始計時一秒鐘及計數此一秒內光遮斷器的脈衝次數，以便計算旋轉輪的轉速。假設水果與滾輪之間的旋轉作用沒有滑動現象，又若水果直徑為旋轉輪直徑的兩倍，則讓水果旋轉一圈所需的時間應為旋轉輪轉兩圈的時間。本研究將光偵測的方式設計為不論轉速的快慢，在水果旋轉一圈的時間內，均對其固定取樣 100 次 (即以 ADC0804 將光接收器所偵測的反射光量進行 100 次的類比數位轉換)。

(2)轉接板：主要功能是聯接並傳送微電腦控制板與信號板之間的資料及控制訊號。板上同時具備顯示選別結果的 LED 指示燈。

(3)信號板：CPU 的控制訊號透過轉接板，以 20 線的排線送至信號板以控制 LED (IR, RED 及 EM1) 的亮與滅以及電磁鐵的作動，而各感測器偵測而得的訊號，亦透過排線送至 CPU 處理。

三、裝置之測試

本實驗分成五個階段進行，第一階段乃品質指標的建立，用以找出可適用的光源及最佳的顏色品質指標之型式。第二階段為靜態試驗，旨在了解旋轉多點偵測是否有其必要。第三階段為旋轉試驗，目的在找出分級的品質指標值。第四階段為分級指標值之建立，第五階段為自動選別的試驗。茲分述如下：

(一)檸檬的顏色品質指標之建立

陳與田 (1989) 研究柑類顏色的選別指標，發現在 400nm 至 1200nm 的波長範圍內，(R780-R650) 為品質指標時，對於黃色及綠色柑類有最佳的分辨效果。又基於檸檬與柑類同為柑橘類水果，以日立牌 U-3410 分光光度計量測得到檸檬的反射光譜 (圖 5) 與柑類的反射光譜 (陳與田, 1989) 相似，故本研究嘗試以柑類的品質指標 (R780-R650) 做為檸檬顏色選別的參考品質指標。但市面上已商品化的 LED 光源並沒有 780nm 波長的 LED，而可購得的且較為普遍使用的近紅外光 LED 波長則有 880nm 及 940nm 兩種。今同樣以柑類顏色的選別指標 (陳與田, 1989) 中所用之馬氏距離的檢定方法，檢定波長 880nm 及 940nm 分別與 650nm 之組合，計有 (R880±R650), (R880±R650)/R880, (R880±R650)/R650, (R940±R650), (R940±R650)/R940, (R940±R650)/R650 等 12 種組合型式的品質指標，以找出何種型式的品質指標對於黃色及綠色檸檬具有最佳的分辨能力。

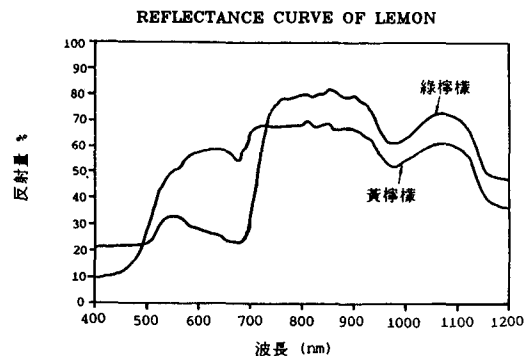


圖 5 檸檬的反射光譜

(二)靜態測試

本實驗之目的為探討水果之不同量測位置及不同水果對品質指標值之影響。事先選定黃、黃綠及綠色檸檬各十顆，分別將試驗樣本予以編號。然後將每個檸檬腰部四個量測部位（即位置一至位置四，為檸檬果身部位以順時針方向90度間隔之位置）朝上，依序將每個樣本放入選別暗室內的旋轉位置上，但不使其旋轉，同時讓近紅外光 LED 及紅光 LED 照射，以光接收器 S1336-1 及 S1336-2 分別量測其反射光量一秒鐘。另外在本實驗中採用的標準白球是以直徑 7.2公分的白色保麗龍球做為校正基準，亦以上述同樣的方式測得其反射量，並代入品質指標公式，求出每個檸檬樣本的品質指標值。

(三)旋轉測試

本試驗之目的在測試不同的轉速，是否對品質指標值有影響，並以所得結果作為自動選別時訂定分級指標之依據。旋轉輪各以 2,3,4RPS 的轉速旋轉，並對30個水果樣本（黃、黃綠及綠色檸檬各10個）及標準白球進行旋轉偵測，並記錄其旋轉一圈的反射光量。

(四)分級指標值之建立

依上節之旋轉測試，可以換算得到三種顏色的水果在不同的轉速下之品質指標值。但分別這三種顏色族羣的分級值應訂在什麼位置，方能有最效地區別這三種顏色族羣呢？

Peleg (1981) 曾探討如何訂定選別作業的分級指標值，得到分離族羣的最佳分級指標值 X_s 為

$$X_s = A \pm [A^2 - B]^{0.5} \quad [1]$$

其中

$$A = \frac{\mu_2 \sigma_1^2 - \mu_1 \sigma_2^2}{\sigma_1^2 - \sigma_2^2}$$
$$B = \frac{\mu_2^2 \sigma_1^2 - \mu_1^2 \sigma_2^2 - 2\sigma_1^2 \sigma_2^2 \ln(\sigma_1/\sigma_2)}{\sigma_1^2 - \sigma_2^2}$$

μ_1, μ_2 分別為族羣 1,2的平均值

σ_1, σ_2 分別為族羣 1,2的標準差。

該公式 [1] 中±符號的選擇，必需滿足 $\mu_1 \leq X_s \leq \mu_2$ 的條件。因此將上節（旋轉測試）量測所得的三種顏色族羣的品質指標值代入公式 [1]，便可得到在每一種轉速下，分離兩種顏色族羣的分級值，以作為設計顏色自動選別之分級參考。

(五)自動選別試驗

本實驗用公式 [1] 計算所得的分級值，作為判斷黃、黃綠及綠色檸檬的標準，並將自動選別的

控制程式存入 EPROM 中，由微電腦控制板的 CPU 依據控制程式，進行自動控制及計算反射率，並以預定的分級值，來判斷檸檬的顏色。自動選別流程之示意圖如圖 6 所示。

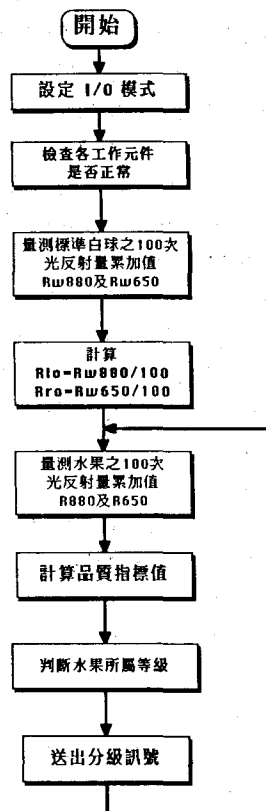


圖 6 自動選別流程圖

選別開始時，先檢查各偵測元件的動作是否正常，之後才開始量測標準白球的反射光量，並將之存於某一特定的記憶位址中，然後再連續進行檸檬的顏色選別，由於檸檬通過第一對紅外線感測器後，滾入暗室的旋轉位置尚需一段時間，以便使水果能夠在旋轉位置穩定旋轉。初步設計，以水果通過 DET1 後延遲一秒鐘才開始偵測，但發現此一秒鐘的時間過短，部份水果尚未達穩定旋轉便開始偵測，為避免影響到選別效果，故在本試驗中，當水果通過 DEE1 後，設計以延遲二秒及三秒兩種方式來實驗。

本試驗樣本共有22個檸檬，其中黃色檸檬有5個，黃綠色檸檬有9個，綠色檸檬有8個，在旋轉輪轉速為 2、3、4RPS 下，每個樣本重覆實驗五次，偵測水果旋轉一圈的表面光反射量，然後計算三種顏色的檸檬之判斷正確率，並取其平均值做為

自動選別的精確度。選別精確度之定義如下：

$$\text{選別精確度} = \frac{\text{判斷正確之樣本數}}{\text{同一種顏色之總實驗樣本數}} * 100\%$$

四、結果與討論

(一) 檸檬的顏色品質指標

經馬氏距離檢定後，獲得分辨黃、綠檸檬最佳的顏色品質指標為 (R 880-R 650)，茲將檢定的結果列於表 1。馬氏距離可量測出兩組族群的分離程度，換言之，亦即某一指標的馬氏距離愈大，則表示其區別族群的能力愈大。故在本研究中，乃採用 (R 880-R 650) 做為檸檬顏色選別的品質指標。

表 1 檸檬之顏色品質指標區別能力比較

區別能力	品質指標	馬氏距離 (D ²)
1	R880-R650	180.6
2	R940-R650	142.2
3	(R880-R650)/R880	131.7
4	(R940-R650)/R940	126.3
5	R880-R660	119.0
6	R940-R660	97.3
7	(R880-R660)/R880	87.3
8	(R940-R660)/R940	84.1
9	(R940-R650)/R650	27.3
10	(R940-R660)/R660	27.3
11	(R880-R660)/R880	25.2
12	(R880-R650)/R880	25.0

(二) 靜態實驗結果與分析

將所測得各檸檬腰部四個位置的反射光量及校正用標準白球的反射光量量測值，代入本實驗的品質指標公式

$$QI = \frac{(R880/Rw880) - (R650/Rw650)}{[2]}$$

以求得品質指標值。其中 R880 及 R650 為檸檬樣本分別對光源波長 880nm 及 650nm 的反射光電壓值；Rw880 及 Rw650 為標準白球對光源波長 880nm 及 650nm 的反射光電壓值。經統計方法採完全逢機區集試驗設計 RCBD (Randomized Completely Block Design) 之檢定，

以不同位置之變因當做處理 (Treatment)，不同水果之變因當做區集 (Block)，經檢定後所得的變異數分析列於表 2。在 5% 的顯著水準下，不同位置對黃綠色的檸檬樣本有顯著的影響，而對黃色或綠色檸檬樣本則無顯著影響，而不同水果之顯著影響效果則恰相反。

表 2 靜態測試，以 RCBD 測試檸檬之不同位置 (TREATMENT) 及不同水果 (BLOCK) 對品質指標值之影響

變因	自由度	F 值	F 檢定
黃 不同位置	3	0.5736	NS
色 不同水果	9	9.2216	S
黃 不同位置	3	6.8087	S
綠 不同水果	9	1.2376	NS
綠 不同位置	3	0.4941	NS
色 不同水果	9	2.3263	S

註：QI = (R880/Rw880) - (R650/Rw650)
 F(3,27; .05) = 2.96 F(9,27; .05) = 2.25
 S：顯著 NS：不顯著

由於黃色及綠色檸檬顏色分布較為一致，在選別時較無困難；但如何將不同程度的黃綠色檸檬從黃色或綠色檸檬中選別出來，則是本研究的重點所在。經靜態實驗後，以 RCBD 檢定可以發現，以靜態方式量測黃綠色檸檬的某單一區域面積時，其量果結測較不具代表性，故本研究設計以旋轉偵測的方式，對水果的表面進行多點取樣的偵測，使其量測結果能較具客觀性及代表性。

(三) 旋轉實驗結果與分析

本旋轉實驗量測水果在 2、3、4 RPS 旋轉輪轉速下之光反射量，圖 7-(a)、(b)、(c) 僅列出檸檬樣本 (編號為 Y1, GY1, G1 之黃、黃綠及綠色檸檬) 在 3RPS 轉速下之反射曲線圖。由圖 7-(c) 可以發現綠色檸檬對近紅外光 (880nm) 及紅光 (650nm) 的反射量變化較小，顯示綠色檸檬的表面顏色變化小而且均勻，並且其對近紅外光的反射光量大於對紅光的反射光量。由圖 7-(a) 發現，黃色檸檬則對紅光的反射光量大於對近紅外光的反射光量，但兩者之反射光量相差不多。黃綠色檸檬則由於表面顏色的不均勻分布，故其反射曲線的波動現象明顯。綜合圖上之資料，可以發現檸檬綠色表

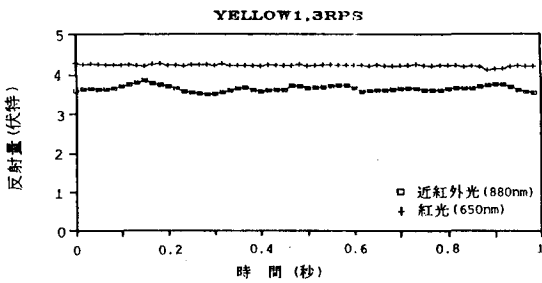


圖 7—(a) 在旋轉輪 3RPS 轉速下，黃色檸檬 1 之反射曲線

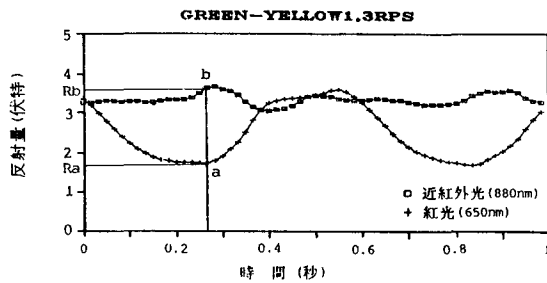


圖 7—(b) 在旋轉輪 3RPS 轉速下，黃綠色檸檬 1 之反射曲線

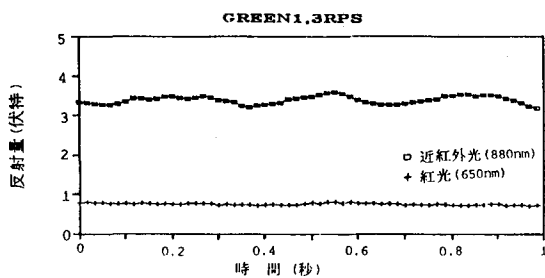


圖 7—(c) 在旋轉輪 3RPS 轉速下，黃綠色檸檬 1 之反射曲線

面的反射光量對近紅外光較靈敏，黃色表面的反射光量則對紅光較靈敏。由圖 7—(b)亦發現圖上的兩條曲線呈現互補的現象（即兩條反射曲線 Ra 與 Rb 相加之值約為一常數）。因此採用近紅外光與紅光反射量的差值（即 Ra-Rb 或 Rb-Ra）做為品質指標時，則兩條曲線的分離效果會更好。由此互補現象亦可驗證品質指標之型式 (R880-R650) 的分辨效果之所以優於 (R880+R650)。

將每個檸檬樣本旋轉一圈的近紅外光反射光量 R880 及紅光反射光量 R650，分別除以標準白球的近紅外光反射光量 R_w880 及紅光的反射光量 R_w650，代入品質指標公式 [2] $QI = (R880/R_{w880}) - (R650/R_{w650})$ ，計算出每個檸檬樣本的品質指標值。表 3 列出在 3RPS 轉速下，三種顏色的檸檬品質指標平均值，並將其品質指標平均值加減一個標準差繪成如圖 8 所示 (2,4rps 之結果詳見田, 1989)。由圖上可見三種顏色檸檬的品質指標值之分布範圍並無重覆之區域，顯示型式為 $(R880/R_{w880}) - (R650/R_{w650})$ 的品質指標可以有效地選別檸檬的顏色。

表 3 在 3RPS 旋轉輪轉速下黃、黃綠及綠色檸檬之品質指標值 (QI)

檸檬顏色	平均值	標準差
黃色檸檬	-0.06	0.04
黃綠色檸檬	0.37	0.13
綠色檸檬	0.66	0.05

註： $QI = (R880/R_{w880}) - (R650/R_{w650})$

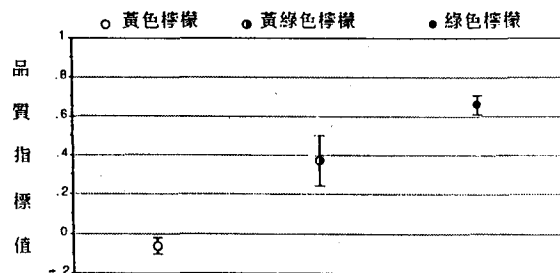


圖 8 旋轉輪轉速為 3RPS 時檸檬之品質指標值

四分級指標值

表 4 列出在不同轉速下，依公式 [1] 計算而得的品質指標最佳分離值，並以其平均值做為自動選別時之分級依據。分離黃色及黃綠色檸檬的平均分級值為 0.13，分離黃綠色及綠色檸檬的平均分級值為 0.61。

(四) 自動選別試驗結果

在本實驗中所用的檸檬之果身直徑平均約為

表4 在不同的旋轉輪轉速下，品質指標的最佳分離值

	2 RPS	3 RPS	4 RPS	平均值
X1	0.1838	0.0548	0.1495	0.1294
X2	0.6270	0.5595	0.6436	0.6100

註： $QI = (R880/Rw880) - (R650/Rw650)$

X1 表黃色及黃綠色檸檬的分離值

X2 表黃綠色及綠色檸檬的分離值

6.4公分，而旋轉輪之直徑為3.2公分。假設水果在旋轉輪上旋轉而不打滑的情況下，在偵測時，旋轉輪旋轉兩圈，則水果旋轉一圈。因此，在取樣次數為100次/圈時，水果腰部位置之取樣精度約為：

$$\begin{aligned} & \text{水果腰部之圓周長} / 100 \text{次取樣} \\ & = 6.4 \text{公分} * \pi / 100 \text{次取樣} \\ & = 0.2 \text{公分} / 1 \text{次取樣} \end{aligned}$$

表5列出水果通過DET1後，延遲二秒及三秒才開始偵測之自動選別精確度的試驗結果。

由表5可看出，黃色檸檬之判斷正確率達100%，綠色檸檬達96%以上，黃綠色檸檬則偏低，但亦達87%以上。結果顯示，黃綠色檸檬均誤判為綠色檸檬，而發生誤判之原因可能有三：一是該檸檬的黃色部份面積過小，或黃色部份位於水果長軸的兩端，超出腰部位置的偵測範圍，因而造成誤判。

表5 自動選別精確度，%

進料 延遲	檸檬 顏色	滾輪轉速			
		2 RPS	3 RPS	4 RPS	平均
二 秒 鐘	黃色	100	100	100	100
	黃綠色	80	91.1	91.1	87.4
	綠色	100	97.5	95	97.5
	平均	93.3	96.2	95.4	95.0
三 秒 鐘	黃色	100	100	100	100
	黃綠色	80	96	91.4	89.1
	綠色	97.5	94.3	98	96.6
	平均	92.5	96.8	96.5	95.3

其二是本次自動選別試驗所用的檸檬與上次動態試驗所用的檸檬非為同一批樣本，故其分級值會有變動，因而造成誤判。其三是部份長橢圓形的檸檬，在自由滾入暗室的旋轉位置後，於兩秒或三秒的延遲時間內，仍未達穩定的旋轉，而造成誤判。而綠色檸檬誤判為黃綠色檸檬的原因，則可能與上述第二項理由相同。又由本試驗結果發現，延遲三秒後才開始偵測的平均選別精確度(95.3%)僅較延遲二秒後才開始偵測的平均選別精確度(95.0%)僅提高0.3%，若基於選別速率的要求時，則可考慮延遲兩秒即可。

從本試驗結果得知，若採用旋轉輪轉速為3 RPS及延遲兩秒才偵測的組合，其平均選別精確度可達95%，而每個水果從進入暗室至選別結束約需2.7秒的時間，換算為處理能量，則每分鐘約可處理22個水果。

五、結 論

(一)以 $(R880/Rw880) - (R650/Rw650)$ 為檸檬的顏色品質指標，能夠順利分辨出黃、黃綠及綠色檸檬。其中，黃色及黃綠色檸檬的分級值為0.13；黃綠色及綠色檸檬的分級值為0.61。

(二)已成功設計及完成進料機構，並能使水果單粒進料。

(三)完成檸檬自動選別室之設計，以發光二極體為光源，光二極體為光接收器，配合放大電路，類比數位轉換電路及其他週邊設備，由Z-80微處理器控制其動作及時間，計算與判斷。

(四)水果表面顏色不均勻時，旋轉的偵測方式優於靜態的偵測。

(五)本檸檬顏色選別裝置在旋轉輪3 RPS轉速下，且水果進入選別暗室後，延遲二秒使水果穩定旋轉後才開始偵測水果的反射量，其自動選別精確度可達95%，處理能量為每分鐘22個水果。

六、誌 謝

1. 本研究承農委會78農建-7.1-糧-45(2)計畫之經費補助，謹誌謝意。
2. 研究期間，承蒙李廣武教授之指導及陳俊傑、雲成田、王貴民工程師，及邱宗榮、楊棧雲同學以及研究助理張家禎之協助，特此致謝。

七、參考文獻

1. 田秉才。1989。柑橘類水果之顏色選別。國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文，臺北。
2. 陳世銘、田秉才。1989。極柑顏色之選別指標。國立臺灣大學農學院研究報告 29 (1) : 168-177，臺北。
3. 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。
4. 陳金迫。1988。Z 80硬體及應用，松崗圖書電腦公司，臺北。
5. 陳金迫。1988。Z 80軟體設計。松崗圖書電腦公司，臺北。
6. 謝廣文。1988。番茄顏色之光電選別室設計，國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文，臺北。
7. 謝廣文、陳世銘。1988。番茄顏色之光電選別室設計。中國農工學報34(4) : 39-46，臺北。
8. Afifi, A. A. and V. Clark. 1984. Computer-aided multivariate analysis. pp. 246-286. Lifetime Learning Publication, Belmont, California.
9. Furman, B. J. and J. M. Henderson. 1983. An improved rotary singulator. TRANSACTIONS of the ASAE 26(3): 955-960.
10. Peleg, K. 1981. Quality criteria of sorting operation. TRANSACTIONS of the ASAE 24(6): 1459-1465.
11. Powers, J. B., J. T. Gunn and F. C. Jacob. 1953. Electronic color sorting of fruits and vegetables. Agric. Eng. 34: 149-154, 158.
12. Rehkugler, G. E. and J. A. Throop. 1976. Optical-mechanical bruised apple sorters. ASAE Publication 1-76, Quality Detection in Foods, pp. 185-188, 192. St. Joseph, Michigan.
13. Rehkugler, G. E. and J. A. Throop. 1986. Apple sorting with machine vision. TRANSACTIONS of the ASAE 25(9): 1388-1397.
14. Shaver, B. M. and J. M. Henderson 1973. Undulating-surface singulator. TRANSACTIONS of the ASAE 16 (3): 934-935.

曾 順 發

地 址：雲林縣水林鄉山脚村 9 號