

## Development and Study of a Sorting Machine for Melon Fruit

### 香瓜分級機之設計研究

Yu-Cheng Chen<sup>1)</sup> Yu-An Ma<sup>1)</sup> Jiunn-Ming Chen<sup>2)</sup>

陳裕勝

馬聿安

陳俊明

Feng-Jehng Wang<sup>3)</sup> Chung-Chyi Yu<sup>4)</sup>

王豐政

尤瓊琦

#### Abstract

In this study, the basic physical characteristics of melon fruit were measured by image processing at first and the result displayed that there had the high linear relation between the size and weight of melon, the coefficient of determination ( $R^2$ ) being 0.95~0.98. The four kinds of storing machines to melon, the single-rail weight sorting machine, drum hole sorting machine, and the machines made by this study, single-bell hole sorting machine and multi-bell hole sorting machine, were investigated with the grading accuracy, the processing capacity and injury rate for grading of melon fruit, respectively. The results of this study showed that the multi-

plane hole belt sorting machine had the better grading accuracy and the processing capacity than others, which were 92.3% and 4,219.3 kg/hr and the processing capacity was 2.00, 1.80 and 2.48 times respectively of single-rail weight sorting machine, drum hole sorting machine and single-bell hole sorting machine. Moreover, this study combined the cargo platform, fruit choosing platform, washing and cleaning unit, and sorting mechanism into the sequential operation system, which has high efficiency at cleaning the epidermal hairs of melon and dirt. The cost-benefit assessment showed that the sorting cost of multi-bell hole sorting machine was NT\$ 0.072/kg, the lowest in the kinds of machines. From the above, using the multi-bell hole belt sorting

- 
- 1) Graduate student, Dept. of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung Hsing University, Taiwan, R.O.C. 國立中興大學生物產業機電工程學系研究生。
  - 2) Emeritus Professor, Dept. of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung Hsing University, Taiwan, R.O.C. 國立中興大學生物產業機電工程學系退休教授。
  - 3) Associate Professor, Dept. of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung Hsing University, Taiwan, R.O.C. 國立中興大學生物產業機電工程學系副教授。
  - 4) Professor, Dept. of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung Hsing University, Taiwan, R.O.C., Corresponding Author. E-mail: ccyu@nchu.edu.tw 國立中興大學生物產業機電工程學系教授，通訊作者。

machine could be precisely, quickly gradeing melon fruit, saving tremendous labor power and processing cost as required in the grading operation of melon fruit.

**Key words:** Melon, Sorting machine, Sorting cost

## 摘要

本研究係先以影像處理技術進行香瓜基礎物性調查，獲致香瓜外形與重量具良好之線性相關性，其決定係數 ( $R^2$ ) 高達 0.95~0.98；針對香瓜單排側放式重量分級機、圓孔轉筒式分級機及本研究研製之單排圓孔皮帶式分級機與平面多排圓孔皮帶式分級機等四種分級機進行分級準確率、作業能力及損傷率之探討，結果獲致平面多排圓孔皮帶式分級機，具有良好之分級準確率與作業能力，分別達 92.3% 與每小時約 4,219.3 公斤，同時其作業能力分別為單排側放式重量分級機、圓孔轉筒式分級機、單排圓孔皮帶式分級機 2.00、1.80 及 2.48 倍；且本研究亦整合分級機構、集貨臺、選果臺及進料清洗機構為一貫化分級作業系統，亦能有效清潔香瓜表皮之細毛與髒汙；分級機之相關成本效益分析結果獲致平面多排圓孔皮帶式分級機之分級作業成本，僅為 0.072 元 / 公斤，亦為四種分級機中成本最低者，顯示其具有香瓜分級準確、快速之性能，亦可達到節省人力與成本之效果。

**關鍵詞：** 香瓜、分級機、分級成本

## 前言

根據農業統計年報<sup>(1)</sup>之資料顯示，目前香瓜全省栽培面積可達 2,434 公頃，總產量約 33,390 公噸，每公頃平均產量約為 13.723 公噸，按年平均拍賣價格，每公斤 NT\$ 29.9 元計算，總產值高達 998,361,000 元；香瓜栽培地區主要分佈於雲林縣、嘉義縣、台南縣、高雄縣及屏東縣。香瓜因皮薄光滑且脆，目前採收後之清洗、分級、裝箱等採後處理作業尚完全依靠人工，尤其分級準確率不佳，未建立一套完整之作業標準，常遭詬病，影響信譽至鉅，因此本研究即針對香瓜採後之分級機進行研發，以期能有效解決果農與業者的需求。

市面上常見之蔬果分級裝置有重量、外形尺寸、及色澤 (光電選別) 等方式。重量分級機的工作原理為利用槓桿平衡原理進行分級，游<sup>(12)</sup> 研製重量與外形選別兩種印度棗分級機，結果顯示重量式具有較佳的分級能力，其每小時可達 7,200 粒果實以上，約比人工快六倍，分級準確率可達 90%，不僅操作簡單且分級作業中不會造成果實之損傷；外形尺寸分級機的工作原理是依使用網格尺寸之大小，依次選別出果實，其有圓盤式、滾筒式、板型、滾軸式及帶式等<sup>(6, 9, 10)</sup>；色澤分級機其工作原理為果實由電子發光點前通過時，反射光被測定波長的光電管接收<sup>(4, 9)</sup>。近年來影像處理技術也應用於蔬果分級機上，Chen *et al.*<sup>(14)</sup> 由蘋果的磁振影像 (MRI) 可以偵測到蘋果內部質地，不同部位有不同強度的影像訊號，影像訊號強度的不同主要是因為果核、空隙、病蟲害與挫傷等所造成的損傷，李<sup>(3)</sup> 以影像處理量測檸檬

之幾何性質，顯示採背光方式照射檸檬進行取像，得到檸檬投影面積影像，經二值化後，利用間隙追蹤法<sup>(15)</sup>找出投影邊界影像上所含有的像素點，將像素點乘以檸檬面積解析度，即可得到檸檬投影面積；謝等人<sup>(13)</sup>利用數位影像在蔬果大小選別之應用，分別針對白蘿蔔、蕃茄及番石榴三種蔬果大小指標建立，以區域成長法及合併理論、梯度差分理論及線性回歸填佈理論等進行分析，於測試時亦需考慮樣品本身物理性質、影像擷取及選別方法，而在實際應用上則以線性回歸填佈理論最佳；張與陳<sup>(11)</sup>以機器視覺引導機器人選別水果，顯示依據攝影機所擷取之二維影像，以水果之投影面積所佔點數多寡，作為判斷大小等級的指標，而其顏色選別則以水果投影面積的平均灰度值作為判斷顏色等級的標準。

影像處理技術於近年來雖已有相當之發展，但傳統重量與外形選別機械因有較低的設備與維修成本仍普遍被農民接受，因此本研究將結合影像處理技術快速與精準的運算優勢作為分級機建置蔬果物性之方法，即是以感光耦合元件 ( Charge-Coupled Device; CCD ) 儀器配合影像處理技術，分別針對香瓜之重量、投影面積及周長等基本物性指標進行量測，並建立資料庫作為設計分級機研發之基礎資訊，且利用現有之分級機具進行測試，掌握分級準確性，作為開發香瓜分級機參考依據；同時本研究將探討四種分級機構對香瓜分級之準確率、損傷率及作業能力，即單排側放式重量分級機、圓孔轉筒式分級機、單排圓孔皮帶式分級機及平面多排圓孔皮帶式分級機，其中後兩者為本研究所開發者，並將平面多排圓孔皮帶式分級機

與相關承載台機構建置一貫化作業系統，且進一步測試此系統之作業流暢與香瓜表皮細毛去除與髒污清洗之清潔率；研究最終則針對各分級系統進行成本效益評估，以期能提供農民與相關業者選擇分級機械時之參考應用。

## 材料與方法

### 一、試驗材料

本實驗所使用之香瓜為農友公司嘉玉種，購自於嘉義縣民雄鄉產地，分別隨機挑選香瓜分為特、優及良三個等級，其中重量分佈區間等級為 450 g 以上、450~300 g 及 300 g 以下，投影外徑分佈區間隨季節變化分為 97 mm 以上、97~85 mm 及 85 mm 以下，或投影外徑分佈區間為 95 mm 以上、95~85 mm 及 85 mm 以下兩種標準，且各試驗皆取 60 顆香瓜樣本進行測試，而有關重量與外徑分別為 600 g 與 110 mm 以上之特優級未包含在本研究中則將在試驗方法中加以闡釋說明。

### 二、試驗機構組成

本研究所使用之分級機構包括單排側放式重量分級機、圓孔轉筒式分級機、單排圓孔皮帶式分級機及平面多排圓孔皮帶式分級機，前二者為普遍用於多種蔬果重量與外形分級之機構，後二者則為本研究所開發之外形選別機構，四種機構之型式與作業方式將分別分述如下：

(一) 單排側放式重量分級機為目前坊間蔬果分級作業中，最常採用之分級方式，廣泛應用於各類蔬果分級作業，係以重量選別方式來進行蔬果分級<sup>(7)</sup>，如圖 1 所示，其平台長、寬及高，分別為 3.10、0.26 及 0.93 m，分級時係以一迴轉鍊條帶動其設置之

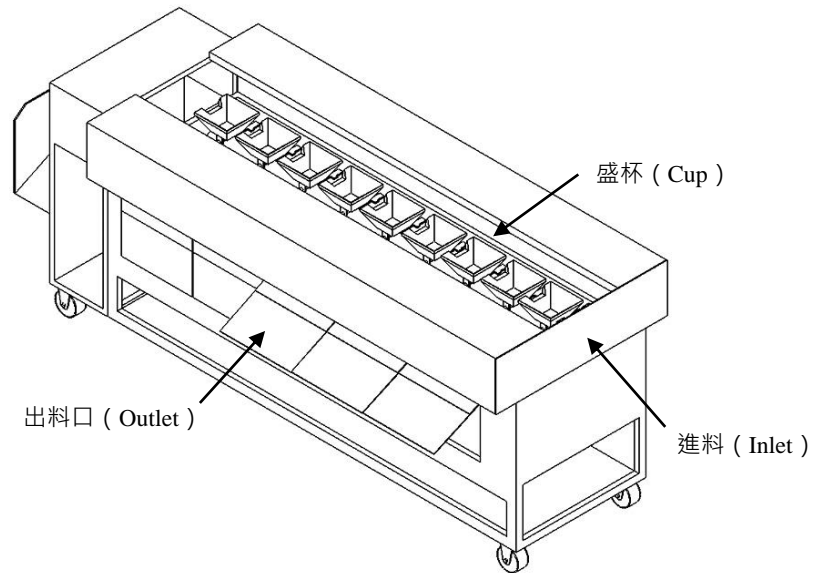


圖 1. 單排側放式重量分級機

Fig. 1. Single-rail weight sorting machine

等距 (0.2 m) 單排盛杯。盛杯則是依香瓜之型體設計其長、寬及高分別為 0.14、0.14 及 0.03 m；當分級作業開始時，以 1/2 馬力之馬達帶動鍊條牽引盛杯向分級機最小等級方向移動，分級重量分別設定為 300、400 及 600 g。當盛杯經過天平時，盛杯中之香瓜重量大於所設定之分級重量，則以側放式進行出料，反之則往下一較輕之重量級移動。

(二) 圓孔轉筒式分級機為目前坊間蔬果分級作業中，廣泛應用於柑桔、柳丁等圓型蔬果<sup>⑨</sup>，係以外形選別方式來進行蔬果分級，如圖 2 所示。圖中顯示三圓孔轉筒由小至大排列，其圓孔直徑分別為 85、97 及 110 mm。當分級作業開始時，馬達 (1/2 hp) 帶動三圓孔轉筒同時轉動，使得圓型蔬果

可掉入較其直徑大之圓孔轉筒，並由各出料口集中，而其餘圓型蔬果則在其他蔬果推送下繼續前進至下一分級圓孔轉筒進行分級。

(三) 單排圓孔皮帶式分級機為本研究開發以外形選別方式針對香瓜之分級雛形機，如圖 3 所示，其平台長、寬及高，分別為 2.20、0.55 及 0.34 m，其原理與圓孔轉筒式分級機相似，僅是以圓孔橡膠皮帶取代圓孔轉筒，並以馬達 (1/2 hp) 帶動圓孔橡膠皮帶，繞過所對應之分級盛台，選別面則有別於圓孔轉筒式分級機，是呈水平式移動；其中皮帶之圓孔直徑亦分別設計為 85、97 及 110 mm。當分級作業開始時，皮帶除提供各孔徑作為分級，亦提供蔬果向前推送，使得蔬果可掉入較其直徑大之級別，以完

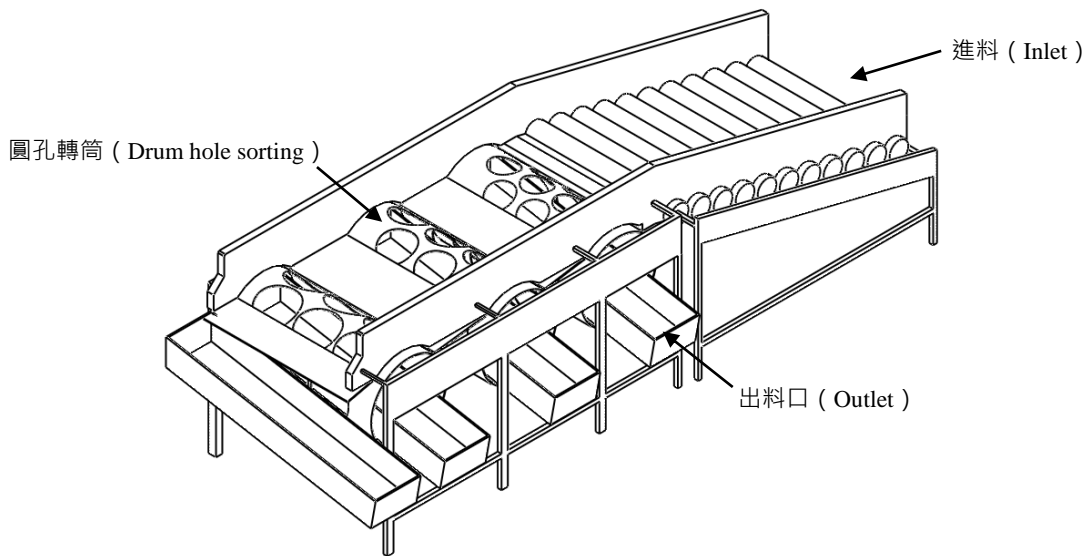


圖 2. 圓孔轉筒式分級機  
Fig. 2. Drum hole sorting machine

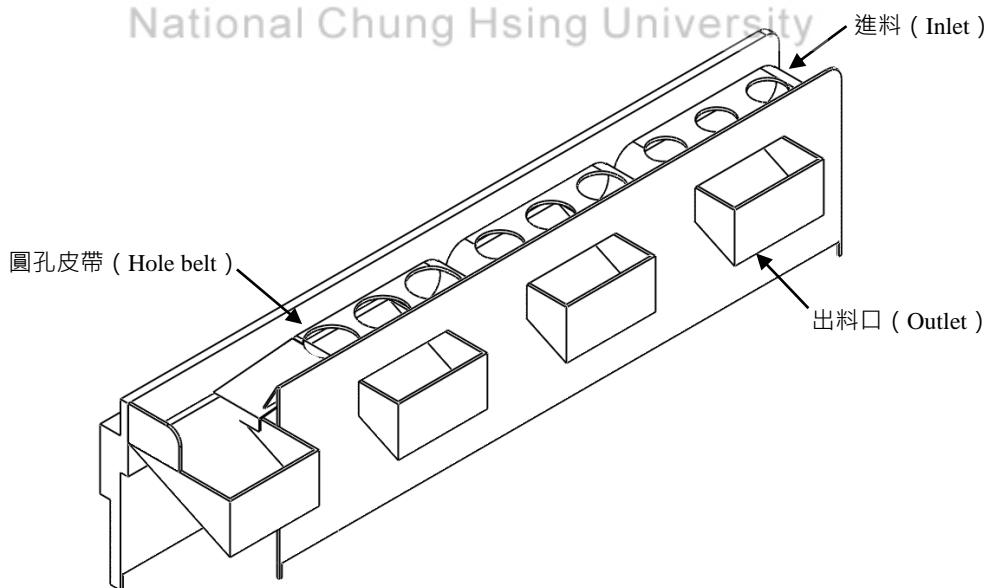


圖 3. 單排圓孔皮帶式分級機  
Fig. 3. Single-bell hole sorting machine

成選別分級之工作。

(四) 平面多排圓孔皮帶式分級機為改良前述單排圓孔皮帶式分級之作業能力與相關分級精度所建置，其機構如圖 4 所示，其平台長、寬及高，分別為 2.20、0.90 及 0.34m，圖中顯示各級別皆設有 4 組皮帶，能約有 4 倍單排圓孔皮帶式分級機之作業能力，而其皮帶之圓孔直徑則分別設計調整為 85、95 及 105 mm，以符合農民分級之所需，同時考量選別面為水平式移動時導致待分級蔬果推送效率較差，則設計調整皮帶於選別面呈 15 度上升角度，以增加蔬果推送流暢度。此外本研究亦整合分級機構、集貨臺、選果臺及進料清洗機構以建立一貫化分級作業系統，如圖 5 所示，圖中選果臺與進料清洗機構是以馬達帶動短毛毛

刷，作為香瓜推送與清潔之用，於清洗機構上方亦增設淋洗管路，藉以增加其去除表皮細毛與清洗髒汙之能力。

### 三、試驗方法

本研究首先針對所購置之美濃香瓜進行基礎物性量測分析，且為加速基礎物性之量測作業與量測精準度，參考李<sup>(3)</sup>之研究量測檸檬之幾何性質，並利用本研究室所開發之蔬果物性量測影像處理技術<sup>(5)</sup>作為量測方式，分別探討各物性間之相關性，以作為分級機分級操作條件設計規劃之參考；此外四種分級機，即單排側放式重量分級機、圓孔轉筒式分級機、單排圓孔皮帶式分級機及平面多排圓孔皮帶式分級機，亦分別進行分級準確率、損傷率及作業能力試驗，試驗結果則可作為規畫一貫化分級系統之參考，具於一貫化分級系統中則再探討其

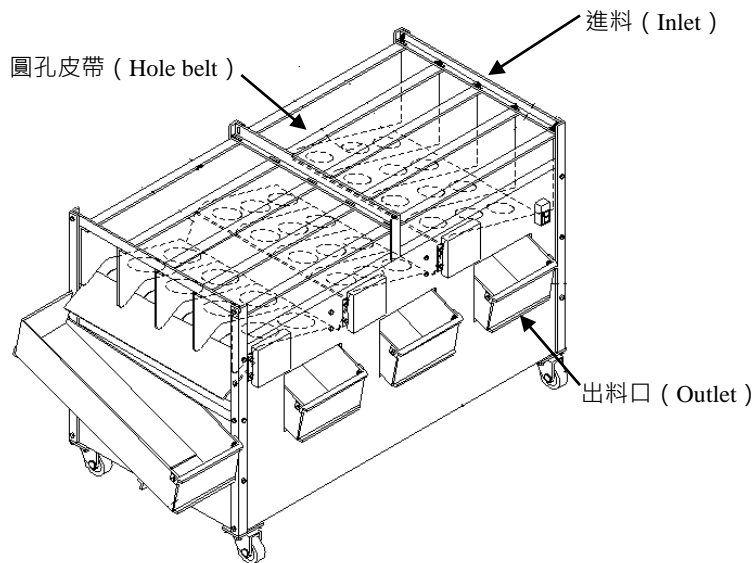


圖 4. 平面多排圓孔皮帶式分級機

Fig. 4. Multi-bell hole sorting machine

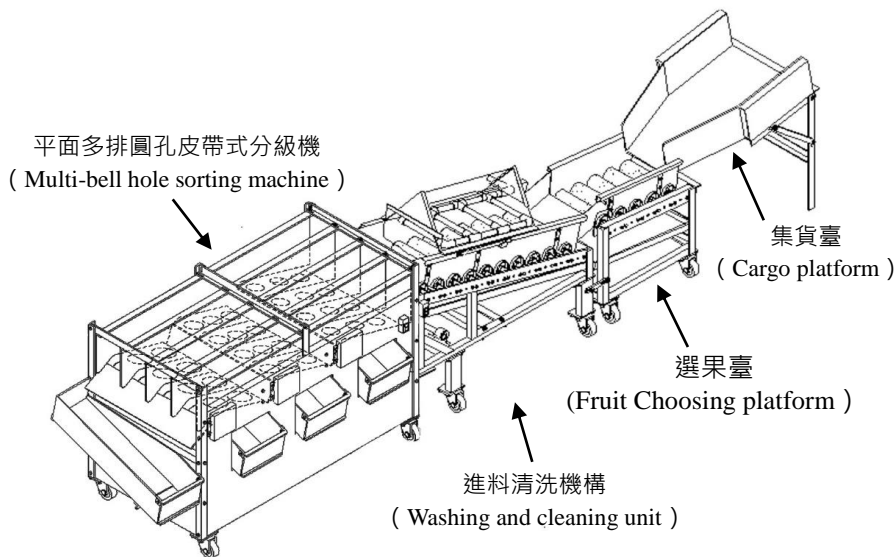


圖 5. 一貫化香瓜分級機作業系統示意圖

Fig. 5 The schematic chart of a sequential operation system for melon fruit sorting

去除香瓜表皮細毛與髒污之清潔率；試驗最終則針對四種分級機進行分級作業之成本討論與比較，以獲致最佳之分級機構，提供作為農民選擇使用之參考。

#### (一) 基礎物性量測試驗

香瓜基礎物性量測係分特優、特、優及良四個等級，其中特優等級由於數量較少，農民皆於採收時即先行予以挑選出，因此本研究將僅針對其餘三等級-特、優及良進行分級探討，測試時將依據此三級隨機各選取 60 顆，分別將香瓜針對重量、正投影面積、側投影面積、正投影周長、側投影周長等項目分為三個等級進行調查，其中重量是以電子天平 (GF-300, AND, USA) 測量待測香瓜之重量，並予以記錄，而外形測試則係以數位影像進行分析，其步驟係將待測香瓜置入圖 6 之取像系統內，利用數位

相機 (DIGITAL IXUS 860IS, Canon, Japan) 以 30 萬像素進行影像拍攝，經 LabVIEW 7.0 所開發之程式於影像處理過程中分別運用影像灰階、二值化、開運算、等化、移除邊界及影像中雜訊等方式，依序串連完成影像基礎分析，依試驗需求針對正、側投影面積與周長等基本物性條件進行量測，將所得結果輸出，並以線性迴歸法建立各物性之線性相關性，作為初步評估香瓜以外形分級之可行性與其準確性之依據。

#### (二) 分級機分級準確率與作業能力試驗

香瓜分級準確率與作業能力試驗所採用之機構係依據前述物性量測分析所獲致之結果，應用在一般常見之重量與外形選別機構，及本研究所開發之外形選別機構上，即將分別以單排側放式重量分級機、圓孔轉筒式分級機、

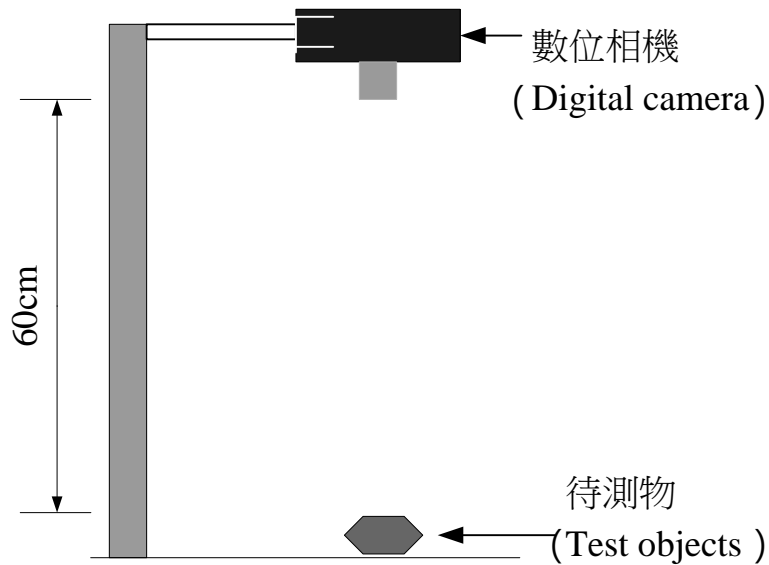


圖 6. 蔬果取像系統示意圖  
Fig. 6. The schematic chart of image capture system for vegetable and fruit

單排圓孔皮帶式分級機及平面多排圓孔皮帶式分級機進行其分級準確率與作業能力試驗。其中單排側放式重量分級機係依蔬果品質分級標準暨包裝規格手冊<sup>(2)</sup>，分別以四等級 600 g 以上、600~450 g、450~300 g 及 以下作為分級設定，而三種外形分級機則係參考基礎物性量測結果分為四等級 110 mm 以上、110~97 mm、97~85 mm 及 85 mm 以下，並將在實際田間試驗後加以調整。各分級機之作業能力則係根據行政院農業委員會 89.11.6(89) 農糧字號 890021028 號公告 - 修正之「農機性能測定要點」來進行量測，其分級作業機性能測試方法如下所述：依照蔬果分級機性能測定方法 [ 25 與 26 ]，其是測試 3 次，每次 20 分鐘，以單人供果其所處理之蔬果粒數為評判之依據，求出每小時之作業能力。分級作業準確率之試驗方

式，其中重量分級準確率試驗是在試驗進行前先行量測待測香瓜之重量並予以記錄，依前述分級標準進行調整重量分級機上之分級天平後進行分級準確性等試驗，於試驗結束後將所得之實驗結果與其經判定之重量正確位置進行樣品個數之比較，即可得到其重量的分級準確率；而外形分級準確率試驗，其分級標準由於目前並無香瓜外形大小分級標準，因此將依現有機械尺寸規劃其分級標準為 110 mm 以上、110~97 mm、97~85 mm 及 85 mm 以下等四級，此標準將應用在圓孔轉筒式分級機與單排圓孔皮帶式分級機上，後經香瓜物性分析及實際與果農進行討論結果，本研究進一步將其分級標準進行微調，所訂定之分級標準為正投影外徑分布區間分為 105 mm 以上、105~95 mm、95~85 mm 及 85 mm 以下等四級，並將應用在平面多排圓



孔皮帶式分級機之測試，同時在分級機試驗結束後將所獲致之分級結果與其經判定之重量或外徑在正確分級位置之樣本進行樣品個數之比較，藉以求得其分級準確率（正確個數 / 總樣本  $\times 100\%$ ）。

### (三) 分級損傷試驗

香瓜經各分級機分級作業後其損傷程度亦於分級試驗中進行測試，其損傷率是以霉腐劣化增加率決定，於分級前隨機選取未經任何試驗之受測水果 10 粒為損傷之對照樣本，分別針對單排式重量分級機、單排圓孔皮帶式分級機、圓孔轉筒式分級機及多排圓孔皮帶式分級機，進行 3 次分級試驗，選取經分級試驗後之水果各 10 粒為處理損傷樣本，將所有樣本置放於高溫高濕（ $30^{\circ}\text{C}$ 、 $90\%\text{RH}$  以上）之恆溫恆濕箱中 7 日，再以目視觀察其霉腐劣化情形，據以求算分級損傷率。

### (四) 一貫化分級作業系統 - 分級清潔率試驗

本試驗是以整合集貨臺、選果臺、進料清洗及分級機構作為一貫化分級作業系統（圖 5），並測試 90 顆香瓜樣本經一貫化分級作業系統後，其表面細毛與髒污之去除能力，其清潔率判定標準及計算方法是以目視檢測法判定，即若受清洗後之香瓜各部皆無肉眼可見之泥土及雜質且表皮果毛有效清除，觸摸起來無黏滯感，則判定為清潔香瓜；反之，則判定為不清潔香瓜，測試時由 2~3 人組成評定小組，依據前述之判定標準，逐一詳細檢定處理之清潔香瓜顆數，再以四捨五入法求取平均值，以計算清潔率（清潔樣本個數 / 總試驗樣本數  $\times 100\%$ ）。

### (五) 成本效益分析

本研究所開發建置之四種型式分級機，其分級成本係以每天最大作業能力（ $\text{kg/day}$ ）、操作人力、機械成本與人工成本等因子為參考依據，並取作業時間以每日工作時數 8 小時，人工費用以 1000 元 / 天，香瓜以每粒平均約 0.422 kg，單排側放式重量分級機售價為 200,000 元，圓孔轉筒式分級機售價為 65,000 元，單排圓孔皮帶式分級機為 60,000 元，平面多排圓孔皮帶式分級機為 122,000 元，假設分級機使用年限 10 年，每年使用 30 天，機械馬達馬力皆為 1/2 馬力，電價 NT\$ 3.53 kw/hr，分別求取各分級機每公斤之機械成本與人工成本，加總後以獲致分級成本，其中機械成本含分級機購買成本與使用電費，而人工成本則以操作者 2 人作為計算，並將再依據農業統計年報<sup>(1)</sup>，香瓜每公頃產量 13,723 公斤，進而計算每公頃之分級成本，作為四種機型之分級成本比較分析。

## 結果與討論

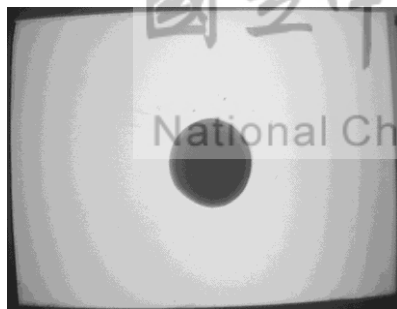
### 一、基礎物性量測試驗結果

香瓜於田間採收後，瓜農於田間即已針對果形進行初步分級與包裝，分級時果形較大之特優品級，其數量較少，多先挑選出以作為禮盒包裝來販售，且果形較小之香瓜並先行淘汰進行級外處理，如此可減少當批次之瓜果形體上之差異性，藉此於盤商收購或拍賣市場拍賣時取得較好之價格；因此於本研究中之測試 180 顆香瓜樣本中，重量之分佈多落於 70~500 g 之間，即蔬果品質分級標準暨包裝規格手冊<sup>(2)</sup>提及之特、優及良之範圍，後續相關性之分析亦針對此三等級進行探討；本試驗中香瓜基

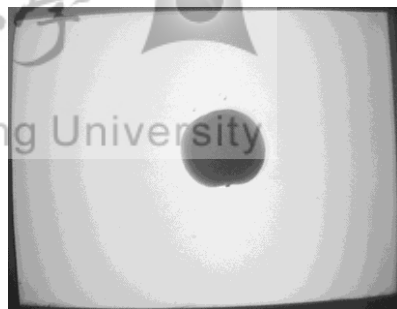
基礎物性量測試是經數位相機攝影後，分別對每一香瓜進行影像擷取，擷取後之影像則再針對其正投影面積、側投影面積、正投影周長及側投影周長進行探討；圖 7 a 與圖 7 b 分別為未經任何影像處理之香瓜正投影、側投影影像，當經影像灰階、二值化、開運算、等化、移除邊界及影像中雜訊等方式處理後，分別如圖 7 c 與圖 7 d 之影像所示，即可獲致其面積與周長，並進一步以量測結果與重量進行線性迴歸分析。

獲致之分析結果顯示所量測樣本之基礎物性-正投影面積、正投影周長、側投影面積及側投影周長，其與重量之線性迴歸以側投影面積

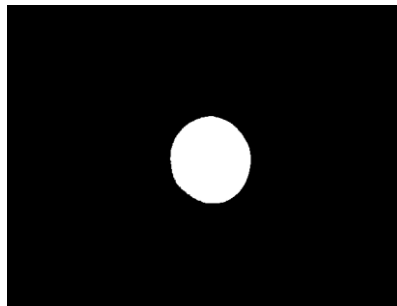
與側投影長有較高之決定係數  $R^2$  (表 1)，總樣本分別為 0.98 與 0.96，而正投影面積與正投影周長對重量之線性關係決定係數  $R^2$  結果則略差，但亦皆達 0.95；側投影與重量有較高之線性關係是香瓜之大小隨其果實內子房柄 (Gynophore) 之長度而定，因此較大之果實於側投影面積與周長對重量有佳之線性關係；表 1 中各量測級別之決定係數  $R^2$  以特與良級較高乃是因此二級之樣本含蓋範圍較優級廣所致，且仍難以直接說明較小或較大之香瓜，其正與側投影對重量有較佳之線性關係。本研究依據此試驗之結果，即正與側投影對重量之高度線性相關特性，可提供作為以外形作為香瓜分級



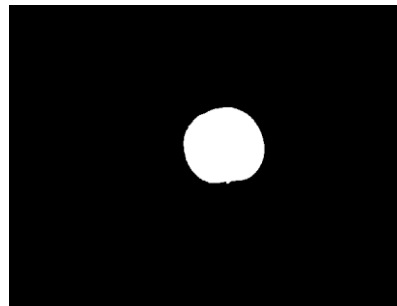
a. 香瓜正投影影像  
( The projection image of top view )



b. 香瓜側投影影像  
( the projection image of side view )



c. 香瓜正投影處理後之影像



d. 香瓜側投影處理後之影像

(the projection image of top view with image processing) (the projection image of side view with image processing)

圖 7. 香瓜影像擷取與其經處理後之影像

Fig. 7. The images of melon fruit without and with image processing

表 1. 各級別之基礎物性與重量之線性迴歸結果

Table 1. The correlation between physical characteristics and weight

	量測級別 level		決定係數 ( R <sup>2</sup> ) Coefficient of determination
		總樣本 Total samples	
正投影面積 Projection area of top view	特級 Imperial		0.76
	優級 Excellent		0.69
	良級 Good		0.72
	總樣本 Total samples		0.95
正投影周長 Projection circumference of top view	特級 Imperial		0.74
	優級 Excellent		0.69
	良級 Good		0.74
	總樣本 Total samples		0.98
側投影面積 Projection area of side view	特級 Imperial		0.90
	優級 Excellent		0.84
	良級 Good		0.96
	總樣本 Total samples		0.96
側投影周長 Projection circumference of side view	特級 Imperial		0.90
	優級 Excellent		0.85
	良級 Good		0.96
	總樣本 Total samples		0.96

表 2. 四種分級機械分級準確率與作業能力試驗結果

Table 2. The result of accuracy and processing capacity of four types of sorting machine

分級機型式 Type of sorting machine	分級準確率 ( % ) Accuracy of grading	作業能力 ( kg/hr ) processing capacity
單排側放式重量分級機 Single-rail weight sorting machine	97.8	2,112.3
圓孔轉筒式分級機 Drum hole sorting machine	82.2	2,339.6
單排圓孔皮帶式分級機 Single-bell hole sorting machine	93.3	1,698.6
平面多排圓孔皮帶式分級機 Multi-bell hole sorting machine	92.3	4,219.3

之參考。

## 二、分級機分級準確率與作業能力試驗

本試驗分別測試單排側放式重量分級機、圓孔轉筒式分級機、單排圓孔皮帶式分級機及平面多排圓孔皮帶式分級機之分級準確率與作業能力，其試驗獲致之準確率結果如表 2 所示，表中顯示傳統常見之重量分級方式有最高之分級準確率，達 97.8%，些許分級準確率誤差是來自於天平本身之機械誤差與西瓜落入盛盤上造成震動所致<sup>(7)</sup>。當探討其作業能力時，則受其分級機中之單粒化機構限制，導致其作業能力略低，僅達 2112.3 kg/hr；但相較於常見之圓孔轉筒式分級機雖不受單粒化機構限制降低其分級能力，亦僅約為 2339.6 kg/hr，且其分級準確率則為四種分級機型中最低，僅約為 82.2%，其因為圓孔轉筒式分級機之圓孔於轉筒旋轉時，前方西瓜易受後方西瓜推擠，未能正對入圓孔，而被推送至下一分級區間，此外轉筒上之圓孔製作是先平面不銹鋼材上開孔，再捲製成轉筒，使得圓孔之正投影形狀較偏向橢圓形，導致西瓜未能落入符合其果形之圓孔之中，降低其分級準確率。因此為改良上述圓孔轉筒式分級機之缺點，本研究研製以平面皮帶取代轉筒之單排圓孔皮帶式分級機，其分級準確率可達 93.3%，然其作業能力亦受限於單排分級皮帶之移動速度僅約為 1698.6 kg/hr；而在為提高其分級能力下，本研究則依據上述單排圓孔皮帶式分級機之型式，進一步研製平面多排圓孔皮帶式分級機，其是含有 4 排之皮帶式分級道，結果獲致其分級準確率與單排圓孔皮帶式分級機相似，亦達 92.3%，然其作業能力有明顯之增加達 4219.3 kg/hr，為單排圓孔皮帶式分

級機之 2.48 倍，且相較於傳統重量與圓孔轉筒式外形分級機則分別為 2.00 與 1.80 倍，顯示本研究開發之平面多排圓孔皮帶式分級機具有相較之優良性能，亦能提高農民西瓜收穫後之分級效率。

## 三、分級損傷試驗結果

本試驗是以前述經分級機分級準確率與作業能力試驗所測試之 10 顆樣本與未經任何試驗之對照組西瓜樣本，置入恆溫恆濕箱 7 日，以觀測其外表有無明顯發霉損傷。試驗結果獲致西瓜經分級機分級後，並無明顯因機械損傷造成發霉與腐爛現象，亦與對照組西瓜樣本相似，其些許樣本表皮上略有斑點，主要是西瓜在採收時本身已具有水傷，經放置在恆溫恆濕箱 7 日後，其水傷程度更加明顯所致，此結果顯示本研究使用之分級機械在考量分級準確率與作業能力之同時，亦能避免對西瓜造成進一步之損害，影響其品質。

## 四、一貫化分級機作業系統-分級清潔率試驗

一貫化分級機作業系統中清洗機構分級清潔率試驗是於西瓜採收後第一時間，任取 90 顆尚未經任何處理之西瓜，進行清潔率試驗，清潔之結果經參與試驗之農民 3 人依其經驗判定其清潔與否；三重覆試驗結果獲致本一貫化分級機作業系統中清洗機構可有效針對西瓜表皮之微細毛清理，同時表皮上之麟汗亦有明顯去除，90 顆樣本皆通過生產農民之清潔核可標準，顯示本研究建置之清洗機構具有良好之西瓜表皮清洗能力。

## 五、成本效益分析

成本效益分析分別針對單排側放式重量分級機、圓孔轉筒式分級機、單排圓孔皮帶式分

表 3 成本效益分析結果

Table 3. The cost comparison of each sorting operation

分級機型式 Type of Sorting machine	作業量 (kg/hr) Working capacity	每日作業量 <sup>a</sup> (kg/day) Working capacity per day	操作人力 (person) Operation labor power	分級成本項目 Cost items of sorting		
				機械成本 <sup>b</sup> Machine cost (NT\$/kg)	人工成本 <sup>c</sup> Labor cost (NT\$/kg)	分級成本 <sup>d</sup> Sorting cost (NT\$/ha.)
單排側放式重量分級機 Single-rail weight sorting machine	2,112.3	16,898.4	2	0.039	0.118	2,166
圓孔轉筒式分級機 Drum hole sorting machine	2,339.6	18,716.8	2	0.012	0.107	1,625
單排圓孔皮帶式分級機 Single-bell hole sorting machine	1,698.6	13,588.8	2	0.015	0.147	2,222
平面多排圓孔皮帶式分級機 Multi-bell hole sorting machine	4,219.3	33,754.4	2	0.012	0.059	978

註 (p.s.): <sup>a</sup> 作業時間以每日 8 小時計算，香瓜以每粒平均約 422 公克計算 (The operation hour and weight of each melon fruit are assumed to be 8hr per day and 422g per melon fruit, respectively).<sup>o</sup>

<sup>b</sup> 單排側放式重量分級機售價為 200,000 元，圓孔轉筒式分級機售價為 65,000 元，單排圓孔皮帶式分級機為 60,000 元，平面多排圓孔皮帶式分級機為 122,000 元，假設分級機使用年限 10 年，每年使用 30 天，操作時用電量為每小時 0.37 kW，電價以 NT\$ 3.53/kW·hr 計算 (The purchasing prices of the single-rail weight sorting machine, drum hole sorting machine, single-bell hole sorting machine and multi-bell hole sorting machine are NT\$ 200,000, NT\$ 65,000, NT\$ 60,000 and NT\$ 122,000, respectively. The life of each machine is assumed to be 10 years, and year to use is estimated to be 30 days. The power consumption per hour is 0.37 kW, and utility cost is assumed to be NT\$ 3.53 per kW·hr.)<sup>o</sup>

<sup>c</sup> 人工費用以 1000 元/天計算 (Labor cost per person per day is NT\$ 1000).<sup>o</sup>

<sup>d</sup> 根據農業統計年報<sup>(1)</sup> 香瓜每公頃產量 13,723 公斤 (According to the agricultural statistical report in 2011, the melon fruit product is 13,723 kg per hectare in Taiwan.)

級機及平面多排圓孔皮帶式分級機進行探討，在各分級機每天最大作業量(公噸/天)、操作人力、機械成本(取平均分攤)與用電成本為參考依據下，評估各型式分級機之成本效益，結果如表3所示。從表3分級成本，其為上述各成本之和，顯示平面多排圓孔皮帶式分級機的分級成本最低約介於其他三型分級機的44-60%之間，有明顯的降低，僅約0.072元/公斤，因此本研究獲致瓜農選擇分級機時，可以平面多排圓孔皮帶式分級機作為優先考量。

### 結論

本研究以影像處理進行香瓜基礎物性之量測，並進行相關物性之線性相關分析，結果獲致外形中正與側投影面積與重量皆有極高之線性相關特性，具外形分級之可行性。當進一步分別以單排側放式重量分級機、圓孔轉筒式分級機、單排圓孔皮帶式分級機及平面多排圓孔皮帶式分級機探討香瓜之分級準確率與作業能力，結果獲致本研究所開發之外形分級機-平面多排圓孔皮帶式分級機可有較高之分級準確率與作業能力，分別為達92.3%與達4219.3 kg/hr，顯示具有良好之分級性能，且不會對香瓜果實造成損傷；且當於一貫化分級機作業系統測試時，亦有良好之清潔能力，能清洗果皮上之果毛與麟汙。同時各分級機之成本效益分析，結果亦獲致本研究所開發之平面多排圓孔皮帶式分級機具有較佳之每日作業量約33754.4公斤，且其分級成本亦最低，每公頃978元，可提供予農民較佳之分級選擇方式，以提高其香瓜之分級效率與生產效益，進而增加農民收益。

### 謝誌

本研究承農委會相關計畫經費輔助下，始克完成，謹致謝忱。同時香瓜選別分級機已獲得發明專利(中華民國I366444)。

### 參考文獻

1. 行政院農業委員會。2011。100年農業統計年報。行政院農業委員會。pp.67。台北市。
2. 國立中興大學農業暨自然資源學院。2007。蔬果品質分級標準暨包裝規格手冊。行政院農業委員會農糧署。pp.142-143。南投。
3. 李芳繁。1990。以影像處理量測檸檬之幾何性質。農業工程學報 36(3): 36-42。
4. 林聖泉、藍光宏。1996。機器視覺於蕃茄大小選別作業之應用。農林學報 45(4): 111-123。
5. 郭景成、馬聿安、陳俊明、王豐政、尤瓊琦。2010。蒜球分級機之設計研究。農林學報 59(2): 181-197。
6. 徐武煥、邱澄文。2001。高效率文旦分級機。花蓮區農業專訊 36: 21-24。
7. 陳秀文。2006。高改型重量式洋蔥分級機簡介。台灣農業機械 21(5): 8-9。
8. 陳世銘、馮丁樹、洪慎德、吳春杰、呂昆忠、田秉才。1996。柑橘類水果光電選別機之研製。農業機械學刊 5(4): 33-46。
9. 陳俊明。1982。椪柑分級機械之研製。中國農業工程學報 28(3): 65-78。
10. 陸龍虎、蔡致榮、徐武煥、梁連勝、王怡玳。2006。破布子脫粒篩選機之研製。臺灣農業研究 55(4): 234-249。

11. 張文宏、陳世銘。1993。以機器視覺引導機器人選別水果。農業機械學刊 2(3): 11-24。
12. 游景昌。1997。重量式印度棗分級機之開發。高雄區農業專訊 19: 10-12。
13. 謝青霖、馮丁樹、陳世銘。1992。數位影像在蔬果大小選別之應用。農業機械學刊 1(1): 28-41。
14. Chen, P., M. J. McCarthy and R. Kauten. 1989. NMR for Internal Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. Transactions of ASAE 32(5): 1747-1753.
15. Rosenfeld, A. and A. C. Kak. 1982. Digital Picture Processing. 2nd ed, Academic Press Inc., New York, US.



Received: April 12, 2013.

Accepted: May 28, 2013. National Chung Hsing University