

品牌水果線上品質檢測、貼標籤及 分級自動化系統之研發

李汪盛

摘 要

本研究主要目的在結合近紅外線、影像及機電整合等技術，開發出品牌水果線上品質檢測、貼標籤及分級自動化系統以，應用於水果品質之分級。本系統適用於果皮厚度在 0.3 cm 以下之水果，如寄接梨等水果均可進行線上分級，並黏貼標籤，分級速度每分鐘可達 90 個以上，且選別品質與實際品質相關係數高達 0.84。本系統可應用於國內多種水果之品質分級，其機能性優於日本進口之機種，而售價僅為日本進口售價的八分之一。

關鍵詞：近紅外線分光光度計、影像、分級。

前 言

國外有關水果非破壞性線上檢測之應用系統方面研究，以日本為主，惟非破壞性線上檢測之相關技術報告被視為機密資料並未對外公佈。近幾年來，國內雖有引進日本製造之相關機種，但是售價太高（4,000-5,000 萬元）及實用性方面受到限制（品質檢測方程式掌控於日本），而且國內部分水果具地域性，日本無樣本可應用於建立品質檢測方程式，推廣不易；韓國自 1998 年起投入大量人力與物力進行水果非破壞性線上檢測系統研發。另外，其他國家如比利時、義大利等歐美各國亦積極投入相關研究。目前在有關應用於蘋果方面線上檢測系統已接近實用階段。至於國內有關此技術之研究，仍僅限於破壞方式或靜態方面整粒樣本分析研究較多，至於動態方面研究則有待加強。因此，如何加強開發屬於國產水果品質檢測之非破壞性應用系統，有其必要性。

傳統上之分級方式侷限於顏色、大小、重量、外觀有無瑕疵等外部品質，至於影響農產品品質之內部品質如質地、糖度及酸度等成分含量則未予分析。利用人工檢視農產品外部品質以決定等級與售價，不但費時、費力，成本高，而且無法對蔬果內部品質如糖度等進行判別，容易造成等級與實際品質差異過大。因此，本計畫將整合近紅外光、近紅外光雷射、螢光激發、影像及機電整合技術，開發國產優良品牌厚皮及薄皮類蔬果線上非破壞性品質檢測系統，並與國內目前現有之分級及包裝設備進行整合，完成一貫作業自動化品質檢測、分級及包裝系統，以確保產品品質，提升優質農業，建立與塑造品牌蔬果形象，增加農民收益。

材料與方法

一、試驗設備

(一) 近紅外光內部品質檢測系統之試驗設備包括光譜儀、鹵素光源、光纖、控制電腦、非接觸式紅外線溫度計及感測器等設備組合而成，如圖 1。

(二) 影像外部品質檢測系統之試驗設備

影像外部品質檢測系統是由數位相機、影像處理卡、光源、控制電腦等設備組合而成，分述如下：

1. 數位相機 (Charge couple device; CCD)：其功能是將實際物體的光能量轉換類比的電壓訊號，可輸出 RGB 訊號或 NTSC 複合彩色視訊。此機型感光元件的解析度為 768×494 。
2. 影像處理卡：影像處理卡主要扮演攝影機與電腦間影像訊號的轉換與傳輸，將攝影機所擷取的影像轉換並將每個像素點的灰階儲存於相對應的記憶體內再由電腦做影像處理。
3. 控制電腦：PⅢ等級個人電腦。



圖 1. 光電水果品質檢測系統全貌

Fig. 1. View of the photoelectric quality inspecting system for fruits.

(三) 分級機及貼標籤機

台南晨嘉自動化有限公司製造，可依照水果品質整合電腦所輸出之水果等級訊號行分級及選擇性貼標籤，控制程式採用 Microsoft Visual Basic 程式語言開發，控制電腦為 PⅢ等級個人電腦。

二、實務檢測應用

(一) 材料

2002 年 7 月以新竹縣新埔鎮所生產之 120 個新興梨 (*Pyrus serotina* Rehd. cv. 'Sinse') 及梨山地區所生產之 56 個豐水梨 (*Pyrus serotina* Rehd. cv. 'Hosui')，共計 176 個，進行系統測試。

(二) 水果品質檢測與分級過程

1. 近紅外光內部品質檢測系統之開發

- (1) 近紅外光內部品質檢測系統之設計：採川流式線上近紅外光譜訊息擷取與糖度辨別，建立果皮厚度 0.3 cm 以下之水果糖度校正線，進行糖度檢測，使用者可依實際需求設定分級標準，所設定之分級標準可存檔重複使用，分級結果亦可存檔備查。
- (2) 近紅外光分光光度計安裝訊息擷取以白色鐵氟龍為白板，取得反射光譜之參考值，並將檢測之水果置於分級機輸送帶之承載盤上，輸送至近紅外光分光光度計前進行光譜掃描並擷取反射光譜訊息判定糖度，掃描位置為梨中間部分，掃描波長範圍為 800–1,280 nm，積分時間 (integration time) 為 0.1 sec。
- (3) 寄接梨糖度 (可溶性固形物) 測定：將近紅外線分光光度計掃描過之樣品，以榨汁機榨汁，以滴管取一滴寄接梨汁滴在屈折計上測定其糖度 ($^{\circ}\text{Brix}$)。進行兩重複。若兩次之誤差值超過 5%，則再進行一次分析。分析值取較接近值的平均值為糖度含量。
- (4) 結合待測水果樣本近紅外光譜及糖度值，利用統計分析方法建立糖度非破壞線上品質檢測校正方程式。

2. 數位影像外部品質檢測分級系統開發：將檢測之水果置於分級機輸送帶之承載盤上，輸送至數位影像設備前進行影像擷取，建立水果外觀、顏色及大小之影像分級標準，使用者可依實際需求設定分級等級，所設定之分級標準可存檔重複使用，分級結果亦可存檔備查。

3. 近紅外光分光光度計及影像整合控制軟體之開發：整合內、外部品質檢測系統，經綜合等級判別後，可將分級訊號輸送至分級機及自動貼標籤機，進行分級與自動貼標籤。

結果與討論

一、影像外部品質控制系統之整合、設計及開發

影像外部品質檢測系統主要包括數位相機、影像處理卡、光源、控制電腦等設備組合而成，可進行水果之大小及顏色各三級選別，共可區分水果為九級，大小及顏色等級的分級標準可以由使用者自行選擇設定。

梨果大小分級標準部分，係由式 (1) 及式 (2) 之梨果大小左值及右值決定，若梨果大小尺寸小於左值就判定大小等級為小，大於右值就判定大小等級為大，而介於兩者之間就判定為大小等級為中。設定過程為：(1) 直接輸入大、中、小等級標準值，輸入標準值以 mm 為單位。(2) 透過人工選出大、中、小等級之寄接梨直接置於本系統進行影像擷取以獲得三個等級之分級標準值。實驗結果顯示，應用影像處理進行寄接梨大小分級與人工利用游標尺實際量測之分級結果正確率為 98%，且水果放置位置與數位相機中心點改變量在 ± 2 cm 以內時，待測物直徑量測誤差可忽略不計。

$$\text{左值} = Dm - 0.5 \times (Dm - Ds) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{右值} = Dm + 0.5 \times (Db - Dm) \dots\dots\dots (2)$$

其中 Ds: 小型梨果尺寸 (mm)

Dm: 中型梨果尺寸 (mm)

Db: 大型梨果尺寸 (mm)

梨果顏色分級標準部分係採用 HSB (Hue, Saturation, Brightness) 表色系統 (楊等, 1994; 柯等, 1999), 設定過程為: (1) 直接由色票上以滑鼠選取 r 色、m 色和 g 色等級標準值。(2) 透過人工選出 r 色、m 色和 g 色等級之梨果直接置於本系統進行影像擷取以獲得三個等級之分級標準值。梨果顏色分級標準, 由式 (3) 及式 (4) 之梨果顏色分級左值及右值決定。分級時, 若梨果顏色小於左值就判定顏色等級為 r 色, 大於右值就判定顏色等級為 g 色, 而介於兩者之間就判定為顏色等級為 m 色。實驗結果顯示, 應用影像處理進行寄接梨顏色分級與人工分級結果正確率為 96%。

$$\text{左值} = Cm - 0.5 \times (Cm - Cr) \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{右值} = Cm + 0.5 \times (Cg - Cm) \dots\dots\dots (4)$$

其中 Cr: r 色梨果的色相值

Cm: m 色梨果的色相值

Cg: g 色梨果的色相值

二、光電水果品質檢測系統之整合、設計及分級過程

利用上述各零件進行整合, 近紅外線水果糖度檢測系統控制軟體, 影像水果色澤與果徑檢測及果品等級判別系統開發。本影像水果色澤與果徑檢測系統其水果大小及顏色等級的分級標準可以由使用者自行選擇設定。其分級過程為: 將水果置於輸送帶上之水果承載盤上, 經輸送帶傳送至紅外線檢測系統、影像辨別系統進行偵測, 偵測之訊號經過綜合研判決定水果等級及是否貼標籤, 並將等級及貼標籤訊號送至分級機及貼標籤機進行下料及貼標籤, 達成線上分級之目的。

三、應用近紅外光內部品質檢測系統檢測寄接梨糖度

寄接梨校正樣本糖度化學分析相關統計資料, 如表 1。糖度分佈範圍在 8.4–12.5°Brix 之間, 平均值為 11.096°Brix, 標準偏差為 0.653°Brix。

表 1. 寄接梨校正樣本糖度化學分析之相關統計資料

Table 1. Results from calibration set for sugar content in pear juice by reference analyses.

	糖度 Sugar (°Brix)
平均值 Average	11.092
標準差 STD	0.653
最小值 Minimum	8.4
最大值 Maximum	12.5
樣本數 Sample size	176

寄接梨樣本糖度 PLSR 模式校正結果，如圖 2、圖 3 所示。由圖 2 可發現模式之交叉驗證可被解釋變異 (explained variance) 隨著使用之因子數增加而增加，然而超過某一因子數之後即發生增加減緩或減少趨勢，由圖 3 亦可發現模式之 RMSECV 亦有類似情況發生。根據 Unscrambler 軟體之建議，針對寄接梨樣本糖度之 PLSR 校正線分別為 4 個因子之校正線。寄接梨 4 個因子之校正線之校正及驗證結果如表 2。圖 4 為寄接梨近紅外線預測值與化學分析值之誤差圖。圖 5 為寄接梨近紅外線預測值與化學分析值之關係圖，使用模式為 4 個因子之 PLSR 校正線。176 個光譜所建立之 4 個因子之糖度 PLSR 校正線之判定係數及交叉驗證標準偏差 (SECV) 分別為 0.71、0.35°Brix，RPD 為 1.87。

本研究結果與其他文獻糖度校正線性能之比較如表 3。Irawa etc. (1995) 富士蘋果糖度校正線， r^2_{val} 為 0.74、SEP 為 1.64°Brix。邱等 (1999) 芒果汁糖度校正線， r^2_{val} 為 0.99、SEP 為 0.32°Brix，惟屬破壞性。陳等 (2000) 整粒樣本芒果糖度校正線， r^2_{val} 為 0.82、SEP 為 0.65°Brix。Tanabe etc. (1995) 芒果汁糖度校正線， r^2_{val} 為 0.88、SEP 為 1.16°Brix，鳳梨汁糖度校正線， r^2_{val} 為 0.88，SEP 為 1.02°Brix。陳等 (1999) 整粒樣本梨糖度校正線， r^2_{val} 為 0.85、SEP 為 0.49°Brix。區等 (1997) 整粒樣本椪柑糖度校正線， r^2_{val} 為 0.74，SEP 為 0.45°Brix。陳等 (1999) 蓮霧整粒樣本糖度校正線， r^2_{val} 為 0.92、SEP 為 0.48°Brix。上述相關研究有關破壞性糖度檢測 (果汁) 判定係數約為 0.88–0.99，非破壞性糖度檢測模式判定係數約為 0.74–0.92。本研究針對寄接梨以線上非破壞性方式，利用 PLSR 模式建立之糖度校正線， r^2_{cv} 為 0.71，SECV 為 0.35°Brix，本研究結果與其他文獻相較並不遜於其他文獻之研究結果，惟本研究使用之近紅外線設備具有模組化、質輕及價廉等優點，具有推廣潛力。

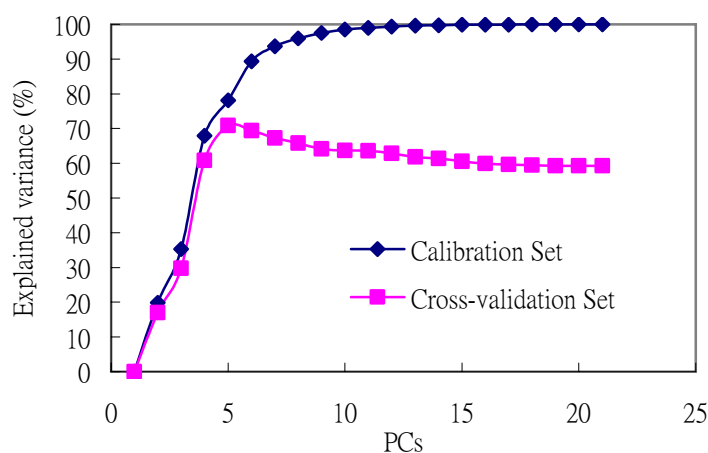


圖 2. 寄接梨糖度校正線分析中校正樣本可被解釋之變異百分比與主成分間之關係圖

Fig. 2. Percentage of explained variance for sugar content of pear fruits as a function of the number of principal components (PCs) in the calibration models.

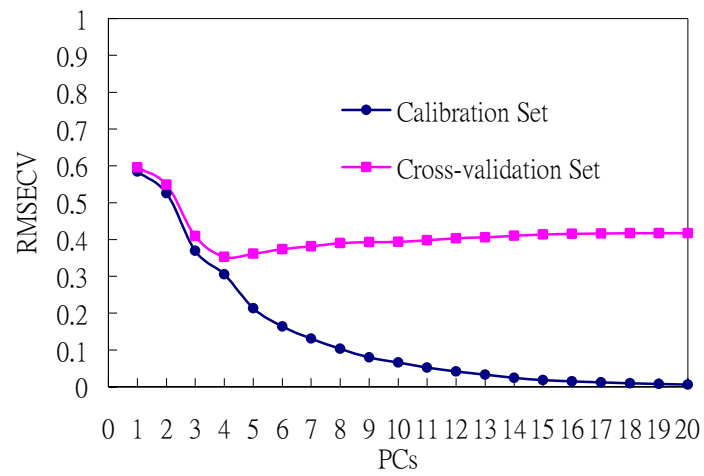


圖 3. 寄接梨糖度校正線分析中校正樣本交叉驗證之均方根誤差（root mean square error of cross validation; RMSECV）與主成分間之關係圖。

Fig. 3. Estimated predictive root mean square error of cross validation (RMSECV) for sugar content of pear fruits as a function of the number of principal components (PCs) in the calibration models.

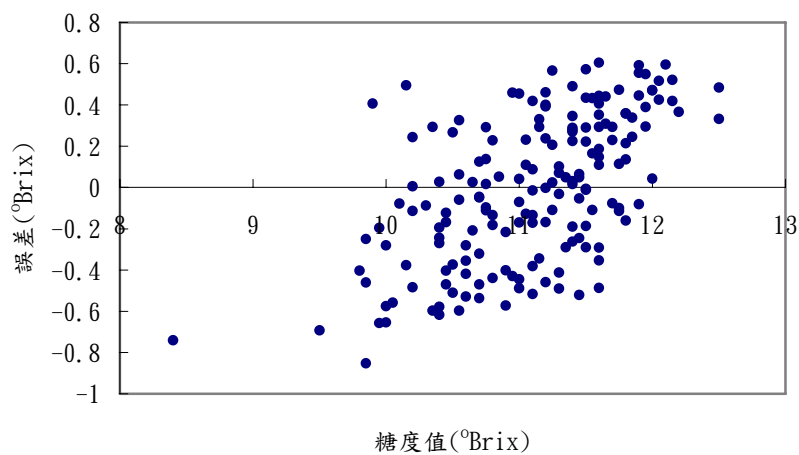


圖 4. 寄接梨近紅外線預測值與化學分析值之誤差圖

Fig. 4. Residual values of NIR predicted values minus Refractometer measured values.

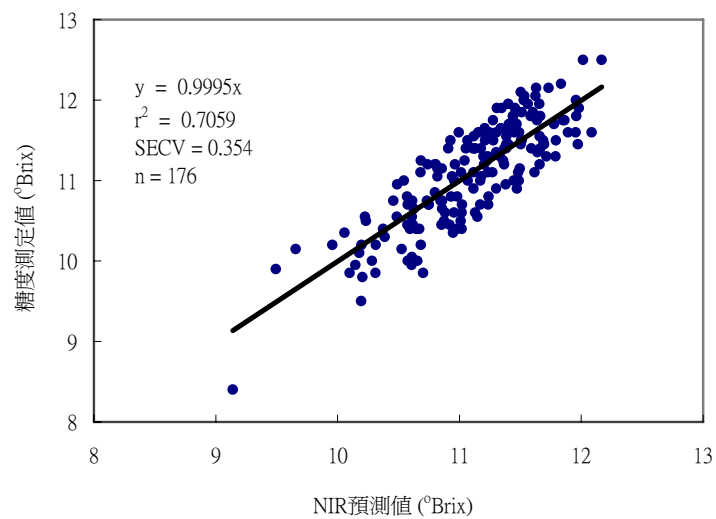


圖 5. 寄接梨近紅外線預測值與化學分析值之關係圖，使用模式為 4 個因子之 PLSR 校正線

Fig. 5. Relationship between NIR-calculated °Brix values and by laboratory-determined °Brix values employing a 4-PC PLSR mode for pear fruits.

表 2. 線上型近紅外線分光光度計之寄接梨糖度校正線性能之相關統計資料

Table 2. PLSR model performances for sugar in fruit by an on-line near-infrared spectrophotometer.

成分 Attribute	樣本數 Size	因子數 PCs	r_{cal}	r_{cal}^2	SEC	r_{cv}	r_{cv}^2	SECV	RPD
糖度 Sugar	176	4	0.89	0.79	0.30	0.84	0.71	0.35	1.87

表 3. 線上型近紅外線分光光度計與其他文獻偵測水果糖度校正線性能之比較

Table 3. Comparison of different calibration performance for sugar content of fruits by an on-line near-infrared spectrophotometer with those of other's calibration results.

水果 Fruit	成分 Attribute	狀態 Status	r_{val}^2	r_{cv}^2	SEP	SECV	作者 Authors
蘋果 Apple	糖度 Sugar	整粒 Intact	0.74		1.64		Irawan etc., 1995
梨 Pear	糖度 Sugar	整粒 Intact		0.71		0.35	This study
芒果 Mongo	糖度 Sugar	果汁 Juice	0.99		0.32		邱等, 1999
芒果 Mongo	糖度 Sugar	整粒 Intact	0.82		0.65		陳等, 2000
芒果 Mongo	糖度 Sugar	果汁 Juice	0.88		1.16		Tanabe etc., 1995
鳳梨 Mongo	糖度 Sugar	果汁 Juice	0.88		1.02		Tanabe etc., 1995
梨 Pear	糖度 Sugar	整粒 Intact	0.85		0.49		陳等, 1999
椪柑 Ponkang	糖度 Sugar	整粒 Intact	0.74		0.45		區等, 1997
蓮霧 Wax apple	糖度 Sugar	整粒 Intact	0.92		0.48		陳等, 1999

SEP: Standard error of Prediction.

r_{val}^2 : Determination of Validation.

SECV: Standard error of cross validation.

r_{cv}^2 : Determination of cross validation.

結 論

應用二極體陣列式近紅外線分光光度計，配合影像系統、分級及自動貼標籤機系統，完成國產化光電水果選別系統之開發，糖度、顏色及大小等級選定可依實際需求由使用者自行設定，分級速度每分鐘可達 90 個以上，相關係數 0.84。整合控制電腦分級訊號目前已經完成與自動貼標籤及分級機連線並進行測試，測試結果顯示性能符合需求，自動貼標籤機可以根據使用者設定等級進行選擇性貼標。本研究成果技術可以完全掌控，不受制於日本，且售價約日本進口售價八分之一。

參考文獻

- 邱鶴園、陳世銘、林宗賢。1999。近紅外光應用於芒果內部品質分析之研究。88 年農業機械論文發表會論文摘要集 p. 71-72。國立嘉義技術學院編印。
- 柯健全、黃膺仁、艾群。1999。應用影像處理檢測荔枝果皮顏色之變化。農業機械學刊 8(1):59-68。
- 區少梅、林聖敦、林添立、吳松杰、田美純。1997。近紅外線光譜技術分析椪柑品質相關成分之研究。中國農業化學會誌 35(4):462-474。
- 陳文誠、謝俊夫、謝欽城。以近紅外光線光譜分析蓮霧之糖度。88 年農業機械論文發表會論文摘要集 p. 105-106。國立嘉義技術學院編印。
- 陳加增、陳世銘、黃峻吉、楊宜璋。2000。近紅外光應用於芒果內部品質分析之研究。89 年農業機械論文發表會論文摘要集 p. 111-112。國立屏東科技大學編印。
- 陳致平、蕭介宗。1999。以手提式近紅外線分光光度計偵測梨的糖度及酸度。農業機械學刊 8(1):49-57。
- 楊清富、李芳藩。1994。應用機械視覺進行番茄顏色分級之研究。農業機械學刊 3(1):15-29。
- Irawan, R. S., Y. Ikeda, and T. Nishizu, 1995. Determination of individual sugars and acid content in apple by NIRS. In: Proceedings of ARBIP95, Kobe, Japan. p. 103-108.
- Tanabe, T., Y. Kohda, and T. Akinaga. 1995. Fundamental studies on NIR technique for measurement of internal quality of pineapple and mangoes grown on Okinawa. In: Proceedings of ARBIP95, Kobe, Japan. p. 109-115.

Development of On-line Quality Inspecting, Labeling and Grading System for Fruits

Wang-Sheng Li

Summary

This work aimed to integrate the near-infrared spectrophotometer, image process, and mechatronics techniques and develop an on-line nondestructive photoelectric grading machine for fruits. This system was applicable to grade and label pear fruits with below 3-cm rinds. The grading capacity was 90 grains per minute and the coefficients of determination between the real and predicted quality was 0.84. This new grading machine was versatile. The price of commercialized model of this system was estimated one eightieth of imported sale price.

Key words: Near-infrared spectroscopy, imaging, grading.