

圓形轉盤式非破壞水果糖度分級機之研發¹

李汪盛²

摘 要

應用近紅外線分光光度計，配合重量式分級機，完成圓形轉盤式非破壞水果糖度分級機之研發。本系統是由分光光度計、鹵素光源、光纖、控制電腦及重量式分級機等機件組合而成，以新竹縣新埔鎮新興梨進行測試，測試結果顯示分級速度每分鐘 60 個以上，重量誤差 ± 5 g，糖度誤差 ± 1 °Brix。

關鍵詞：近紅外線分光光度計、梨、糖度

前 言

傳統水果糖度檢測方式必須破壞水果進行榨汁，然後將果汁滴入屈折計中量測水果糖度，此種測量方法，因為必須破壞水果，所以僅能進行抽測，容易因取樣誤差造成品質不均問題，無法取信於消費者。

近年來非破壞水果糖度檢測技術蓬勃發展，如日本山田（2008）及玉野（2009）分別利用近紅外線技術開發蔬果選別裝置及糖度測定裝置，中國大陸王等人（2008）利用近紅外能量光譜鑑別蘋果的褐腐病及水心病，劉等人（2010）以 LED 組合光源完成水晶梨可溶性固形物及大小的線上檢測技術；臺灣林（2001）應用近紅外光檢測技術於蓮霧及木瓜內部品質檢測，區等人（1997）、陳等人（1999）、陳（2000）及陳等人（2000）分別以近紅外光技術檢測檳柑品質、分析蓮霧糖度及葡萄糖酸度；國外方面 Irawan 等人（1995）、Tanabe 等人（1995）、McGlone 等人（1998）及 Shao 等人（2007）亦分別利用近紅外光檢測技術於奇異果、蘋果、鳳梨、芒果及月桂果等

¹ 行政院農業委員會桃園區農業改良場研究報告第 435 號。

² 桃園區農業改良場副研究員(通訊作者，wslee@tydais.gov.tw)。

水果之品質檢測，日本及韓國雖有相關的線上型檢測機種生產，惟此方面技術被視為商業機密並未對外公佈，而且售價高昂約新臺幣 4,000-5,000 萬元，非一般農會、青果社及產銷班有能力採購，不易推廣採用。

面對 WTO 的衝擊，提高作物分級檢測之品質相當重要，目前本場研發之國產化桃改一型光電水果品質檢測系統，商品化後售價雖僅新臺幣 400-600 萬元，但對產銷班農民而言受限於經濟、空間及產量等因素，無法購置全自動化機種。因此，發展低價之非破壞水果糖度及重量分級機，乃當務之急。本研究目的主要利用本場自行研發之桃改一型光電水果品質檢測系統進行改良，獨立模組化糖度檢測，並整合糖度檢測分級設備及出料系統研製成圓形轉盤式非破壞水果糖度分級機，以解決當前糖度分級機售價高昂及無法立即線上檢測分級等問題，並確保水果品質及提昇市場競爭力。

材料與方法

一、材料：

機組包含近紅外光分光光度計、重量式分級機構、分級機整合零組件及材料、整合控制軟體，試驗材料採用新興梨（*Pyrus pyrifolia*, Nakaki），果實購自新竹縣新埔鎮果農。

二、方法：

(一) 整合、設計及開發近紅外線內部品質檢測分級控制系統：

1. 近紅外光分光光度計機電整合控制、資料擷取與分級軟體之開發：分級對象為新興梨，採線上近紅外光譜資料擷取與辨別，可依糖度進行分級，具學習與線上校正功能，不同批次產品可依使用者需求設定分級標準，原設定分級標準可存檔重複使用，分級結果亦可存檔供資料統計分析用。
2. 近紅外光分光光度計安裝於分級系統之輸送帶上，進行新興梨近紅外光譜擷取。
 - (1) 以白色鐵氟龍為白板，取得反射光譜之參考值。
 - (2) 將水果置於分級機輸送帶之水果承載盤上，以動態方式進行光譜擷取，每分鐘測定水果數目約 60 個。掃描位置為梨中間部分，掃描波長範圍為 310 nm-1,100 nm。

3. 新興梨糖度（可溶性固形物）測定：將 40 個新興梨樣本先以近紅外線分光光度計掃描，然後於梨果赤道部以挖取器挖取直徑 2cm，厚度 2 cm 的果塊（含皮），放入榨汁器榨汁，並以滴管吸取梨汁液滴在屈折計上測定其糖度（°Brix）。重覆兩次，若兩次之誤差值超過 5%，再測定 1 次。取誤差值低於 5% 之分析值平均作為糖度含量。
 4. 以新興梨之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。
- (二) 近紅外光分光光度計及重量式分級機整合控制軟體之開發：整合水果糖度及重量檢測系統，經綜合等級判別後，將分級訊號輸送至分級機，進行分級。

結果與討論

一、檢測單元之軟硬體設計與開發

- (一) 本研究著重於硬體架構及控制軟體之設計與開發，整個系統是由分光光度計、鹵素光源、光纖、控制電腦及重量式分級機等機件組合而成，分述如下：
1. 分光光度計：德國 Carl Zeiss 公司 MMS1 NIR 加強型分光光度計，此型分光光度計具有 256 個矽材質之線性 CCD 元件，使用範圍 310-1,100 nm（圖 1）。

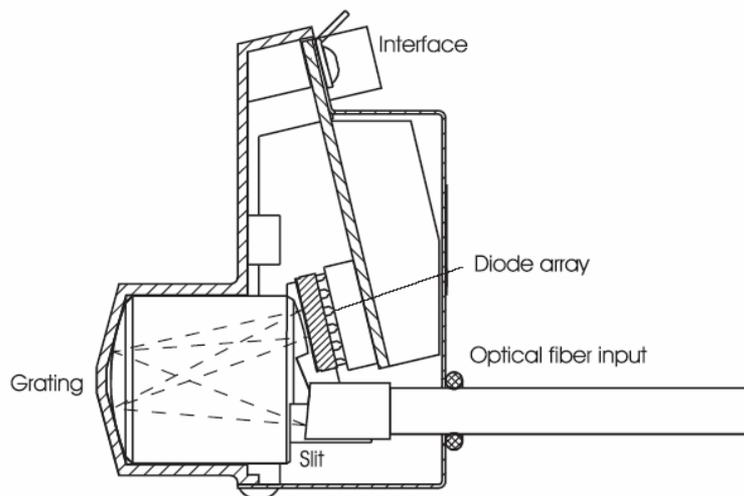


圖 1. MMS1 NIR 加強型分光光度計

Fig. 1. MMS1 NIR enhance spectrophotometer

2. 鹵素光源：美國 Ocean Optics 公司 HL-2000-HP 型鹵素光源 (Tungsten Halogen Light Source)，波長範圍 360 nm-2 μm (圖 2)。



圖 2. HL-2000-HP 型鹵素光源

Fig. 2 HL-2000-HP Halogen light source

3. 光纖：美國 Ocean Optics 公司 DTS600-2-VIS/NIR 型光纖。
 4. 近紅外線內部控制軟體：採用 Microsoft Visual Basic 程式語言自行研究開發撰寫分析軟體。
 5. 控制電腦：Pentium IV 等級工業電腦。
- (二) 重量式分級機：臺南晨嘉自動化有限公司製造，可依照整合控制電腦所輸出之水果等級訊號進行分級，控制程式採用 Microsoft Visual Basic 程式語言開發，控制電腦為 Pentium IV 等級工業電腦。
- (三) 光電水果品質檢測系統之整合、設計、開發及測試

利用上述各機件進行整合並進行控制軟體開發，完成非破壞水果糖度及重量分級機研發，其外觀如圖 3 至圖 6 所示。鹵素光源機產生之光源經由 Y 型光纖外環傳送至光纖探針頂部，光纖探針頂部與輸送鏈條上水果座之距離為 10 cm，光線照射水果表面後反射及內部擴散反射，透過光纖中心之光纖束傳至分光光度計進行分光。分級出料機構為本場自行開發並取得我國 M340118 新型專利，技術特點是可以將傳統天平式重量分級機直接改裝成電子荷重元式 (load cell) 重量分級機。荷重元式重量分級機除用於檢測水果重量外，並可感測承載座是否有水果，若有水果則觸發分光光度計進行光譜取樣。取樣光譜值與糖度校正線經過數學公式計算後所得到之值即為糖度值，再經程式運算，將糖度值區分為"微甜"、

"甜"、"特甜"等三個等級，三個等級之區分可由使用者自行設定，等級最小差距 2 °Brix，如設定 11 °Brix 以上為特甜，9-11 °Brix 之間甜，9 °Brix 以下為微甜。以新竹縣新埔鎮新興梨為測試樣本，樣本標準偏差 (SD_{ev}) 為 1.52，最小值 5.4 °Brix，最大值 10.9 °Brix，平均值 8.5 °Brix 及採用自行發展之光譜處理方法進行光譜預處理並以部分最小迴歸分析法 (Partial least square regression; PLSR) 進行迴歸分析，測試結果顯示，分級速度每分鐘 60 個以上，重量誤差 ± 5 g，梨近紅外線糖度預測值與量測值之關係圖，如圖 7 所示，校正判定係數 (r^2_{cal}) 為 0.95，校正標準偏差 (SEC) 為 0.31 °Brix，交叉驗證判定係數 (r^2_{cv}) 為 0.87，校正標準偏差 (SECV) 為 0.5 °Brix，RPD ($SD_{ev}/SECV$) 為 3，糖度預測誤差為 ± 1 °Brix。表一為梨反射光譜採用不同的光譜預處理之部分最小迴歸分析法 (Partial least square regression; PLSR) 分析結果，較佳結果為一次微分 $D_1(21,1)$ 預處理，RPD 為 2.8。

表 1. 採用不同的光譜預處理之梨果糖度 PLSR 分析結果

Table 1. PLSR performance of different pretreatment methods of spectra analysis of sugar content for intact pear fruits

光譜種類 Spectrum	r^2_{cal}	SEC	r^2_{cv}	SECV	RPD
SG ^v	0.97	0.27	0.85	0.60	2.5
$D_1(21,1)^w$	0.93	0.37	0.89	0.54	2.8
$D_1(21,2)^x$	0.94	0.36	0.86	0.58	2.6
$D_2(21,2)^y$	0.89	0.43	0.69	0.77	2.0
$D_2(21,3)^z$	0.92	0.35	0.65	0.83	1.8

v: 吸收光譜經過 Savitzky-Golay 平滑化預處理，平滑化點數為 21 點，迴歸方程式為 1 次。

Absorbance spectra by the Savitzky-Golay smoothing pretreatment method with 21 smoothing points and first degree polynomial equation.

w: 吸收光譜經過 Savitzky-Golay 一次微分預處理，平滑化點數為 21 點，迴歸方程式為 1 次。

Absorbance spectra by the Savitzky-Golay first derivative pretreatment with 21 smoothing points and first degree polynomial equation.

x: 吸收光譜經過 Savitzky-Golay 一次微分預處理，平滑化點數為 21 點，迴歸方程式為 2 次。

Absorbance spectra by the Savitzky-Golay first derivative pretreatment with 21 smoothing points and second degree polynomial equation.

y: 吸收光譜經過 Savitzky-Golay 二次微分預處理，平滑化點數為 21 點，迴歸方程式為 2 次。

Absorbance spectra by the Savitzky-Golay second derivative pretreatment with 21 smoothing points and second degree polynomial equation.

z: 吸收光譜經過 Savitzky-Golay 二次微分預處理，平滑化點數為 21 點，迴歸方程式為 3 次。

Absorbance spectra by the Savitzky-Golay second derivative pretreatment with 21 smoothing points and third degree polynomial equation.



圖 3. 圓形轉盤式非破壞水果糖度分級機全貌

Fig. 3. View of rotational nondestructive sugar content grading machine for fruits.



圖 4. 控制系統外貌

Fig. 4. View of control system.

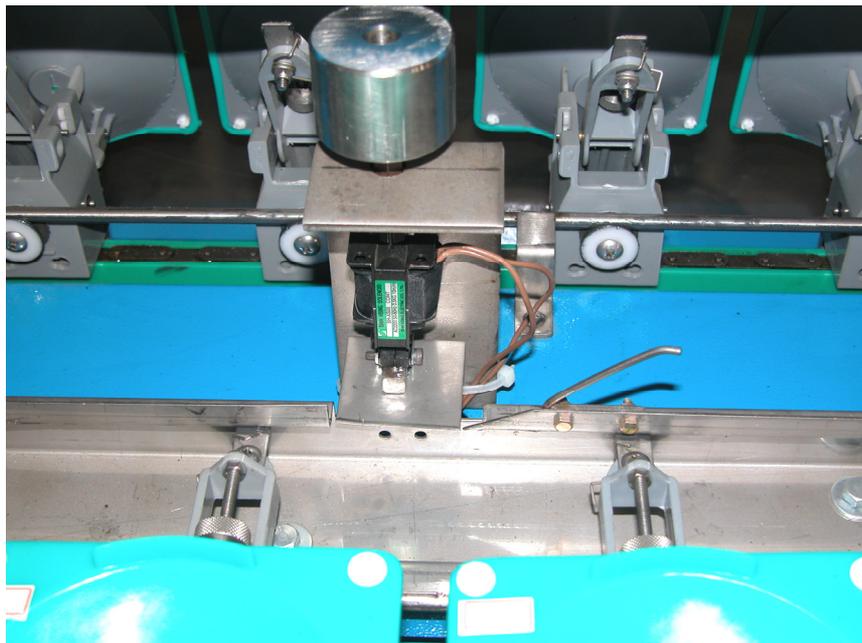


圖 5. 重量式分級機之分級機構

Fig. 5. Grading mechanism of weight grading machine.



圖 6. 重量式分級機外貌

Fig. 6. View of the weight grading machine.

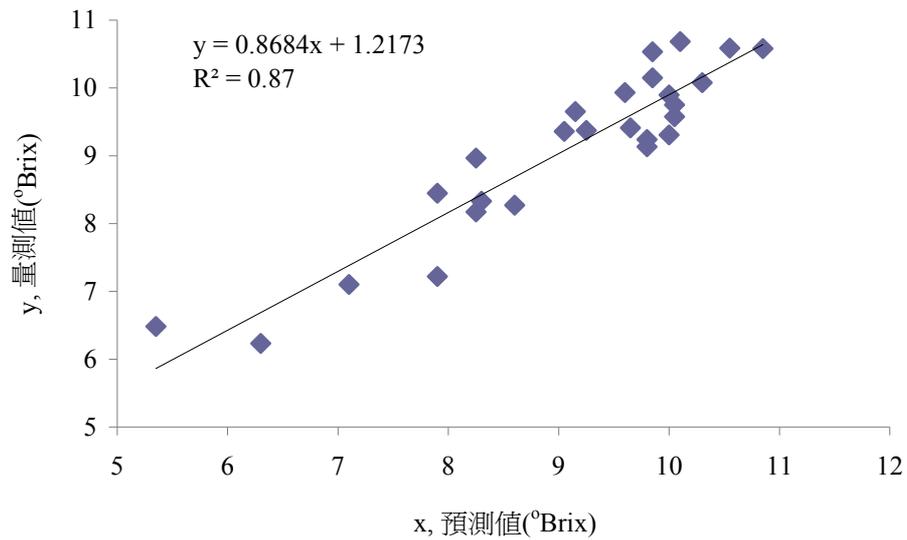


圖 7. 梨近紅外線糖度預測值與量測值之關係圖

Fig. 7. Relationship between predicted °Brix values and by laboratory-determined °Brix values for pear fruits.

結 論

應用德國 Carl Zeiss 公司 MMS1 NIR 加強型分光光度計，配合重量式分級機，完成圓形轉盤式非破壞水果糖度分級機之研發。本系統是由鹵素光源、光纖、光譜儀、控制電腦及重量式分級機等設備組合而成，以新竹縣新埔鎮所生產之新興梨進行測試，測試結果顯示分級速度每分鐘 60 個以上，重量誤差 ± 5 g，糖度誤差 ± 1 °Brix。本機完全由本場自行設計研發，關鍵技術可以完全掌控，售價約新臺幣 150 萬元，頗具市場競爭力。

參考文獻

- 王加華、孫旭東、潘璐、孫謙、韓東海。2008。基於可見近紅外能量光譜的蘋果褐腐病和水心鑒別。光譜學與光譜分析 28(9):2098-2102。
- 林育菁。2001。蓮霧及木瓜內部品質之近紅外光檢測。臺北。國立臺灣大學生物產業機電工程學研究所碩士論文。
- 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。1999。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。2000。近紅外光應用於水果糖酸度線上檢測之研究。臺北。國立臺灣大學生物產業機電工程學研究所碩士論文。
- 陳加增、陳世銘、楊宜璋、黃峻吉。2000。以近紅外光技術檢測葡萄糖酸度之研究。89 年農業機械論文發表會論文摘要集 p.113-114。國立屏東科技大學編印。
- 劉燕德、彭彥穎、高榮傑、孫旭東、郝勇。2010。基于 LED 組合光源的水晶梨可溶性固形物和大小在線檢測。農業工程學報 26(11):338-343。
- 山田久也。2008。青果物選別裝置。日本公開特許公報。特開 2008-212874A。
- 玉野河保。2009。果菜類糖度測定裝置及方法。日本公開特許公報。特開 2009-98033。
- 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.
- McGlone, V. A., and Kawano, S. 1998. Firmness, dry-matter and soluble solids assessment

of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 13:131-141.

Shao, Y. N., & He, Y. 2007. Nondestructive measurement of the internal quality of bayberry juice using Vis/NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering*. 79:1015-1019.

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*, p.109-115. Kobe. Japan.

Development of Rotational Nondestructive Sugar Content Grading Machine for Fruits¹

Wang-Sheng Li²

Abstract

This work aimed to integrate the near-infrared spectrometer combined with weight grading machine, and fulfilled a rotational nondestructive sugar content grading machine for pear fruits. This measuring device is consisted of spectrometer, light source module, detection fiber probe, industrial computer, and weight grading machine. After experimental test by using the pears produced at Sinpu county, the velocity of fruit sorting was over 60 grains per minute and measuring error for fruit weight and sugar content were, respectively, ± 5 grams and ± 1 °Brix.

Key words: near infrared spectroscopy, pear, sugar content

¹. Contribution No.435 from Taoyuan DARES, COA.

². Associate Researcher (Corresponding author, wslee@tydais.gov.tw) Taoyuan DARES, COA.