

以手提式近紅外線分光光度計非破壞性 偵測蘋果內部品質

李汪盛、蕭介宗¹⁾

摘 要

利用化學分析方法分析蘋果化學組成，可以用來評估蘋果品質，但是費時且容易造成環境污染。本研究研發之手提式近紅外線分光光度計包括光纖探針、二極體陣列式光譜儀(範圍 925-1716 nm)及手提電腦等設備，可應用於快速偵測蘋果糖度、酸度含量及糖酸比。經由一階差分(糖度、酸度)或二階差分(糖酸比)轉換處理後之光譜，再利用部分最小平方法分析，分析結果顯示，利用 14、11 及 5 個因子之部分最小平方法所建立之蘋果糖度、酸度含量及糖酸比校正線，交叉驗證之判定係數 (r^2_{cv}) 分別為 0.878、0.912 及 0.845，交叉證標準偏差 (SECV) 分別為 0.433 °Brix、0.027 g/100g 及 5.390 °Brix 100g/g。

關鍵詞：蘋果、近紅外線分光光度計、糖度、酸度、糖酸比。

前 言

新鮮水果是我們日常生活上不可缺少的食品，近年來對於水果之每人平均消費量顯著增加。依據行政院農業委員會統計室之統計，在 1998 年台灣地區主要水果產量與產值，蘋果的產量為 9,781 公噸，產值達 381,459 千元，每公斤平均價格為 39 元。

一般而言，口感甜度是消費者對蘋果品質好壞的主要判斷標準之一，而蘋果的甜度在於其含糖量之高低。若是蘋果夠甜消費者自然願意以較高的價格來購買。另外，含酸量對於品質關係也很大，因為蘋果的糖酸比往往是決定其食味的重要因素。水果當中含糖量高達 20 °Brix 者，一般在口中感覺很甜，含酸量多寡對甜味感覺的影響不大。但蘋果的含糖量一般皆不到 20 °Brix，所以其糖酸比特別重要。糖酸比太低，則只有感到酸而不覺其甜；糖酸比適中，則風味好。但若酸味太低或完全無酸，則此果實又缺少風味，甜而無香。所以糖度與酸度皆是蘋果品質分析之重要指標⁽⁹⁾。

目前，國內外對於糖度之近紅外線分析研究甚多且性能佳^(1,2,4,5,7,8,10,13,15)；但對於酸度及糖酸比之非破壞性檢測分析研究則相對缺乏且性能有待提昇^(2,6,7,13)。故發展一套快速、無污染、即時的非破壞性檢測蘋果酸度及糖酸比之技術，做為分級及標價的指標是相當重要的課題。此一品質檢測技術之重點，在於利用近紅外線分光光度計取得蘋果之反射光譜，配合水果內部之糖度與酸度化學分析，利用數學模式分析及統計迴歸方法，建立蘋果內部品質與近紅外線反射式光譜之關係及模式，以達到檢測蘋果糖度與酸度及糖酸比，進而提供其分級標準的目的。此一分級標準建立後，配合低價手提式之近紅外線分光光度計，可提供給產銷班果農做快速及非破壞性在產地立即偵測蘋果之品質，以做為分級

¹⁾台灣大學生物產業機電工程學系教授

及標價之指標，並減少蘋果搬運到集貨場之運費及運輸過程之損傷。

材料與方法

一、材料

2000 年 1 月梨山地區生產之蜜蘋果，學名 *Malus pumila*，品種為惠，校正樣本數目為 35 個，樣品置於 5℃ 冷藏庫冷藏備用，實驗前取出置於室溫下 8 小時以上與室溫達到平衡，然後進行試驗。

二、手提式近紅外線分光光度計反射光譜之取得

1. 以白色鐵氟龍為白板，取得反射光譜之參考值。
2. 將光纖探針置於小型光罩內並予以固定，光纖探針端部與光罩底部距離為 1.5 cm。掃描時以左手固定蘋果體，右手持小型光罩輕觸蘋果表面，以避免因外在光線的雜訊和探頭與果皮距離的不同，而造成光譜資料取得的誤差，掃描位置為蘋果中間部分，掃描波長範圍為 925.115-1716.03 nm，使用所有吸光二極體(256 個)，波長間隔約為 3.19 nm，於掃描時同時進行 9 點 Savitsky-Golay 平滑化處理。每一點掃描 16 次，積分時間(integration time) 為 0.1 秒，取 16 次之平均光譜為此樣本之光譜。原始光譜經預處理後之光譜截取波長範圍一階差分為 947-1691 nm，二階差分為 950-1688 nm。另外，為了減少雜訊干擾，波長 1650 nm 以上之波長不使用。故實際用於分析之波長範圍，一階差分為 947-1650 nm，二階差分為 950-1650 nm。
3. 將果實沿赤道轉約 180°進行第二次掃描，即將一個樣品之赤道部取 2 處進行光譜之取得。
4. 近紅外線分光光度計所取得之光譜透過 RS232 埠與電腦連線，原始光譜可立即傳入電腦顯示並儲存，儲存格式為 CDI Spectrograph (Control Development Inc., USA) 軟體之 Save Trace 格式。
5. 利用近紅外線分光光度計專用之光譜分析軟體 Grams 386 軟體 File 下之 Import/Export 工具並選擇轉檔名稱 (Converter Name)之格式為 ORL_RUN2，將光譜資料的格式轉換為 SPC 檔案格式，再利用 Grams 386 軟體之 mfufiles.ab 程式將各個單一光譜合成為一複合檔案(multifile)，將此複合檔案直接轉成 JDX 檔或將此複合檔案經過 SNV 轉換後，再將複合檔案轉成 JDX 檔輸入 Usrambler 軟體進行處理及分析，轉檔名稱為 J-CAMP，分析前先將每個樣本所取得之兩處光譜資料，分別先經過一階差分、二階差分或其他處理後再予以平均，以減小因基線飄移所造成之誤差，然後再進行迴歸分析。

三、化學分析方法

1. 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，以電動榨汁機榨汁，以滴管取一滴蘋果汁滴在手持屈折計上測定其糖度(°Brix)。進行二重覆。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。
2. 酸度之測定：取 10 g 樣本果汁，加上 40 ml 之蒸餾水待用。以已知 pH 之緩衝液校正電位計，樣品以電磁攪拌器攪拌之，然後以 0.1N 之 NaOH 滴度，記錄 pH 值為 8.1 時所需之 NaOH 體積，採二重複試驗。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酸度含量。依國家標準 CNS (12570)⁽¹¹⁾計算法如下：

$$\text{酸度(g/100g)} = (0.1\text{N NaOH ml 數}) * f * k / \text{樣品(g)} * 100$$

式中 f 為力價 ($f = N \text{ NaOH} / 0.1\text{N NaOH}$)，上式若以檸檬酸(citric acid)表示 k 為 0.0064，如以蘋果酸表示 k 為 0.0067。蘋果所含之酸主要為蘋果酸(malic acid)，蘋果酸為白色結晶或粉末，微帶刺激性，酸味度為檸檬酸之 1.2 倍。其分子量 134，比重 1.601，融點 131-132℃，試驗果汁的取樣量，習慣上取重量而非容積數，酸度表示法為 g/100g，其中分子為蘋果酸的重量(g)，分母為果汁重量(g)⁽³⁾。

四、有關建立校正線之相關理論

有關建立校正線之基本相關理論如部分最小平方迴歸分析(Partial Least-Squares Regression; PLSR)及 PLSR 模式選擇最佳因子的方法，請參考 Marten 及 Naes⁽¹⁴⁾研究，Haaland 及 Thomas⁽¹²⁾研究。

五、試驗設備與分析軟體

本研究中所用到之主要設備為美國 Optical Solution 公司 PS-1 型手提式近紅外線分光光度計，如圖 1。用於測定蘋果之反射光譜，解析度為 3.125 nm，訊號雜訊比為 16000 : 1。

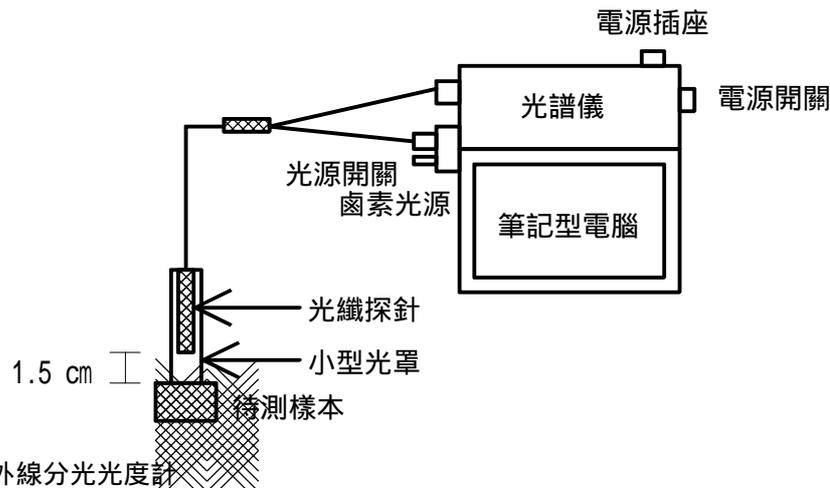


圖 1. 手提式近紅外線分光光度計

Fig. 1. Schematic diagrams of the portable near-infrared reflectancespectrophotometer.

六、分析軟體

本研究中所用到之分析軟體為 Spectrograph Application Software Version 2.3、GRAMS/386 及 Uscrambler 6.1 版光譜分析軟體，分述如下：

1. Spectrograph Application Software Version 2.3：由美國 Control Development 公司所提供之軟體，可對樣本做光譜之收集及 Savitsky-Golay 平滑化處理。
2. GRAMS/386 軟體：由美國 Galactic 公司所提供之分析軟體，主要用來作不同光譜資料格式之轉換及 SNV 前處理。
3. Uscrambler 6.1 軟體：挪威 CAMO 公司所提供之統計軟體，用於光譜資料之處理與迴歸分析。

七、有關性能評估的相關統計定義

下列有關性能評估的相關統計符號說明如下：Y 為校正組之實驗室化學成分分析值， \hat{Y} 為校正線預測值， \bar{Y}_c 為校正組之實驗室化學成分分析值之平均值， \bar{Y}_p 為校正線預測值之平均值， n_{cal} 為校正樣本數目，A 為 PLSR 校正線使用之因子數目。

1. 校正標準偏差(SEC)：

$$SEC = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_{cal}} (Y - \hat{Y})^2}{(n_{cal} - A - 1)} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

2. 交叉證標準偏差(SECV)：

$$SECV = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_{cal}} (Y - \hat{Y})^2}{(n_{cal} - A - 1)} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

3. 相關係數(r)：

$$r = \left[\frac{\sum (\hat{Y} - \bar{Y}_p)^2}{\sum (Y - \bar{Y}_c)^2} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

4. 判定係數為 r^2

5. 校正之均方根誤差(Root mean square error of calibration ; RMSEC) :

$$RMSEC = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_{cal}} (Y - \hat{Y})^2}{n_{cal}} \right)^{0.5} \dots\dots\dots (6)$$

6. 界外值之剔除 :

$$(Y - \hat{Y}) > \left(3 \times RMSEC \times \sqrt{\frac{n_{cal} - 1 - A}{n_{cal}}} \right) \dots\dots\dots (7)$$

七、符號說明

1. Dw(left,right,polynomial):

D 表示差分法，w 表示差分法之階次，小刮號內之 left 代表欲進行差分處理之點左邊使用之點數，right 代表欲進行差分處理之點右邊使用之點數，polynomial 代表使用之迴歸曲線次數，迴歸區間內參與迴歸之點數為 (left+right+1) 點，如 D₁(2,2,2)表示為 5 點 Savitsky-Golay 一階差分，使用之迴歸多項式為 2 次曲線。

結果與討論

一、蘋果之糖度、酸度及糖酸比化學分析結果

蘋果校正樣本糖度、酸度及糖酸比化學分析相關統計資料，如表 1。糖度分佈範圍在 8.4-15.8 °Brix 之間，平均值為 13.06 °Brix，標準偏差為 1.41 °Brix。酸度分佈範圍在 0.087-0.469 g/100g 之間，平均值為 0.262 g/100g，標準偏差為 0.082 g/100g。糖酸比分佈範圍在 26.91-133.18 °Brix 100g/g 之間，平均值為 54.7 °Brix 100g/g，標準偏差為 17.49 °Brix 100g/g。

表 1. 蘋果校正樣本糖度、酸度及糖酸比化學分析之相關統計資料

Table 1. Results from calibration set for sugar content, acid content, and ratio of sugar content to acid content in apple juice by reference analyses.

| | 糖度 Sugar content | 酸度 Acid content | 糖酸比 Sugar/Acid |
|---------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| 平均值 Mean | 13.06 | 0.262 | 54.70 |
| 標準差 Standard deviation | 1.41 | 0.082 | 17.49 |
| 最小值 Minimum | 8.4 | 0.087 | 26.91 |
| 最大值 Maximum | 15.8 | 0.469 | 133.18 |
| 樣本數 Sample size | 35 | 35 | 35 |

二、蘋果糖度、酸度及糖酸比校正線之取得

將近紅外線分光光度計所取得之光譜資料與化學分析資料，以部分最小平方迴歸法 (PLSR) 建立糖度、酸度及糖酸比校正線。同時為了節省化學分析所需時間與經費及增加校正樣本數目，驗證部分捨棄一般認為較佳之不同樣本之驗證方式而採用原校正樣本進行驗證，驗證方法為交叉驗證，將所有校正樣本以隨機方式分為 20 個群

組，然後進行驗證。

因為利用 Optical Solutions 公司 PS-1 型之手提式近紅外線分光光度計在測量蘋果之反射光譜時基線偏移現象相當明顯，如圖 2。另外由圖 3 原始光譜所有校正樣本各個波長吸收值之標準差曲線圖中亦可發現基線偏移現象，故原始光譜資料之分析不列入考慮。另外由圖 2 中可發現當波長大於 1650 nm 時，雜訊干擾相當明顯，應捨棄大於 1650 nm 之波長以減少雜訊之影響。原始光譜資料利用一階差分或二階差分可以有效克服儀器因為光程差異及表面粗糙度不同引起之基線偏移現象，如圖 4 為進行一階差分 $D_1(2,2,2)$ 處理後各個波長吸收值曲線圖，由圖中可發現基線偏移現象已被去除。圖 5 為校正樣本一階差分 $D_1(2,2,2)$ 吸收光譜各個波長吸收值之標準差曲線圖，由圖中觀察得知，波長範圍 1288-1436 nm 及 1132-1194 nm 標準差較大，表示此波段包含較大光譜吸收值變化。蘋果糖度、酸度及糖酸比較正線不同分析方法性能之相關統計資料，列於表 2。利用一階差分 $D_1(2,2,2)$ 或二階差分 $D_2(3,3,2)$ 處理所建立之糖度校正線之判定係數及交叉證標準偏差分別 (SECV) 分別為 0.88、0.43 °Brix 及 0.81、0.50 °Brix；酸度校正線之判定係數及 SECV 分別為 0.91、0.027 g/100g 及 0.88、0.025 g/100g；糖酸比較正線之判定係數及 SECV 分別為 0.71、5.48 °Brix 100g/g 及 0.85、5.39 °Brix 100g/g。

本研究結果與其他文獻糖度、酸度及糖酸比較正線性能之比較，如表 3。Irawan 等⁽¹³⁾富士蘋果糖度校正線， r^2_{val} 為 0.74、SEP 為 1.64 °Brix；酸度校正線， r^2_{val} 為 0.55、SEP 為 0.09 g/100g。陳等⁽⁶⁾整粒樣本葡萄酸度校正線， r^2_{val} 為 0.80、SEP 為 0.05 g/100g，使用儀器為 On-Line NIRS 6500 型近紅外線分光光度計。邱等⁽¹⁾ 芒果汁糖度校正線， r^2_{val} 為 0.99、SEP 為 0.32 °Brix；酸度校正線， r^2_{val} 為 0.88、SEP 為 0.08 g/100g，惟屬破壞性。陳等⁽⁵⁾整粒樣本芒果糖度校正線， r^2_{val} 為 0.82、SEP 為 0.65 °Brix；酸度校正線， r^2_{val} 為 0.56、SEP 為 0.03 g/100g。Tanabe⁽¹⁵⁾等芒果汁糖度校正線， r^2_{val} 為 0.88、SEP 為 1.16 °Brix；酸度校正線， r^2_{val} 為 0.86、SEP 為 0.08 g/100g，鳳梨汁糖度校正線， r^2_{val} 為 0.88、SEP 為 1.02 °Brix；酸度校正線， r^2_{val} 為 0.76、SEP 為 0.01 g/100g。陳等⁽⁷⁾整粒樣本梨糖度校正線， r^2_{val} 為 0.85、SEP 為 0.49 °Brix；酸度校正線， r^2_{val} 為 0.19、SEP 為 0.04 g/100g，無實用性。區等⁽²⁾整粒樣本椪柑糖度校正線， r^2_{val} 為 0.74，SEP 為 0.45 °Brix，酸度校正線， r^2_{val} 為 0.53、SEP 為 0.27 g/100g。陳等⁽⁴⁾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；破壞性酸度檢測判定係數約為 0.76-0.88，非破壞性酸度檢測模式判定係數約為 0.19-0.80，本研究針對蘋果以非破壞性 PLSR 模式建立之糖度、酸度及糖酸比較正線， r^2_{cv} 分別為 0.88、0.91 及 0.85，SEP 分別為 0.43 °Brix、0.027 g/100g 及 5.39 °Brix 100g/g，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質輕及價廉等優點，具有推廣潛力。

表 2. 手提式近紅外線分光光度計之蘋果糖度、酸度及糖酸比較正線性能之相關統計資料

Table 2. PLSR model performances for sugar, acid content, and ratio of sugar content to acid content in apple by a portable near-infrared spectrophotometer.

| 成分 Attribute | 處理方法 Treatment | 樣本數 ^z Size | 因子數 PCs | r_{cal} | r^2_{cal} | SEC | r_{cv} | r^2_{cv} | SECV |
|-------------------|-------------------|--------------------------|------------|-----------|-------------|-------|----------|------------|-------|
| 糖度 Sugar | $D_1(2,2,2)$ | 31 | 14 | 1.00 | 1.00 | 0.04 | 0.94 | 0.88 | 0.43 |
| | $D_2(3,3,2)$ | 30 | 4 | 0.96 | 0.92 | 0.33 | 0.90 | 0.81 | 0.50 |
| 酸度 Acid | $D_1(2,2,2)$ | 31 | 8 | 0.99 | 0.98 | 0.010 | 0.94 | 0.91 | 0.027 |
| | $D_2(3,3,2)$ | 32 | 6 | 0.98 | 0.96 | 0.014 | 0.94 | 0.88 | 0.025 |
| 糖酸比 Sugar/Acid | $D_1(2,2,2)$ | 33 | 10 | 0.99 | 0.97 | 1.67 | 0.84 | 0.71 | 5.48 |
| | $D_2(3,3,2)$ | 33 | 15 | 1.00 | 1.00 | 0.36 | 0.92 | 0.85 | 5.39 |

z) The outliers had been deleted by equation seven.

表 3. 手提式近紅外線分光光度計與其他文獻偵測水果糖度、酸度及糖酸比較正線性能之比較

Table 3. Comparison of different calibration performance for sugar, acid content, and ratio of sugar content to acid content of fruits by a portable near-infrared spectrophotometer with those of other's calibration results.

| 水果 Fruits | 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. ⁽¹³⁾ |
| | 酸度 Acid | 整粒 Intact | 0.55 | | 0.09 | | |
| 蘋果 Apple | 糖度 Sugar | 整粒 Intact | | 0.88 | | 0.43 | This study |
| | 酸度 Acid | 整粒 Intact | | 0.91 | | 0.027 | |
| | 糖酸比 Sugar/Acid | 整粒 Intact | | 0.85 | | 5.39 | |
| 葡萄 Grape | 酸度 Acid | 整粒 Intact | 0.80 | | 0.05 | | Chen etc. ⁽⁶⁾ |
| 芒果 Mangoes | 糖度 Sugar | 果汁 Juice | 0.99 | | 0.32 | | Chou etc. ⁽¹⁾ |
| | 酸度 Acid | 果汁 Juice | 0.88 | | 0.08 | | |
| 芒果 Mangoes | 糖度 Sugar | 整粒 Intact | 0.82 | | 0.65 | | Chen etc. ⁽⁵⁾ |
| | 酸度 Acid | 整粒 Intact | 0.56 | | 0.03 | | |
| 芒果 Mangoes | 糖度 Sugar | 果汁 Juice | 0.88 | | 1.16 | | Tanabe etc. ⁽¹⁵⁾ |
| | 酸度 Acid | 果汁 Juice | 0.86 | | 0.08 | | |
| 鳳梨 Pineapple | 糖度 Sugar | 果汁 Juice | 0.88 | | 1.02 | | |
| | 酸度 Acid | 果汁 Juice | 0.76 | | 0.01 | | |
| 梨 Pear | 糖度 Sugar | 整粒 Intact | 0.85 | | 0.49 | | Chen etc. ⁽⁷⁾ |
| | 酸度 Acid | 整粒 Intact | 0.19 | | 0.04 | | |
| 碰柑 Ponkang | 糖度 Sugar | 整粒 Intact | 0.74 | | 0.45 | | Ou etc. ⁽²⁾ |
| | 酸度 Acid | 整粒 Intact | 0.53 | | 0.27 | | |
| 蓮霧 Wax apple | 糖度 Sugar | 整粒 Intact | 0.92 | | 0.48 | | Chen etc. ⁽⁴⁾ |

SEP: Standard error of prediction.; SECV: Standard error of cross validation.; r_{val}^2 : Determination of validation.; r_{cv}^2 : Determination of cross validation.

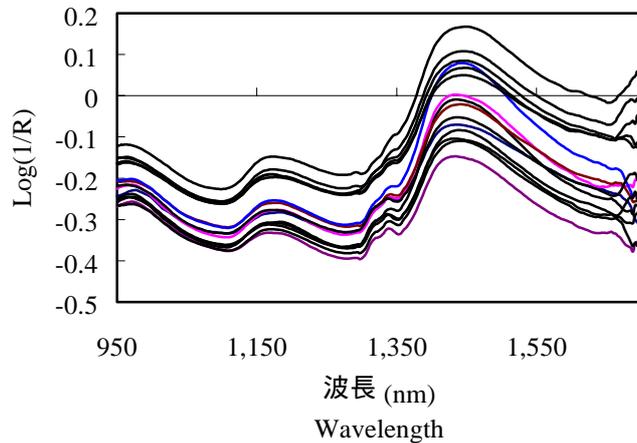


圖 2. 蘋果校正樣本之手提式近紅外線分光光度計原始吸收光譜圖

Fig. 2. Original absorbance spectra of calibration set of apple by a portable near-infrared reflectance spectrophotometer.

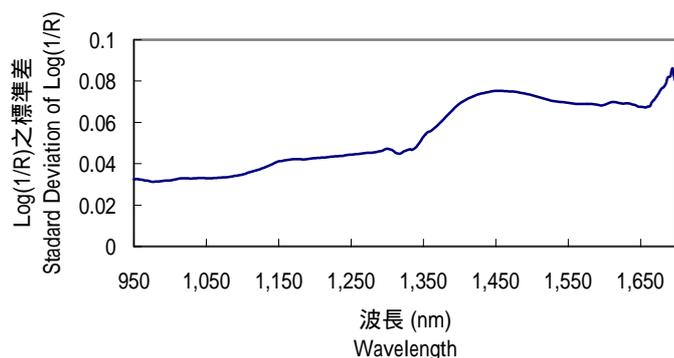


圖 3. 蘋果校正樣本之手提式近紅外線分光光度計原始吸收光譜圖各個波長吸收值之標準差圖

Fig. 3. Standard deviation of absorbance of original spectra in each wavelength for calibration set of apple by a portable near-infrared reflectance spectrophotometer.

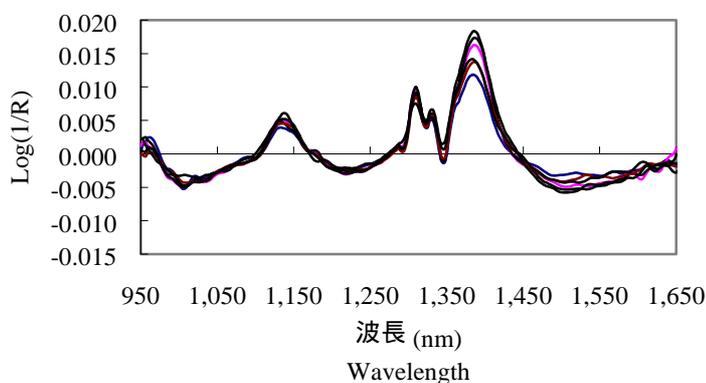


圖 4. 蘋果校正樣本之手提式近紅外線分光光度計一階差分 $D_1(2,2,2)$ 吸收光譜圖

Fig. 4. First derivative $D_1(2,2,2)$ absorbance spectra of calibration set of apple by a portable near-infrared reflectance spectrophotometer.

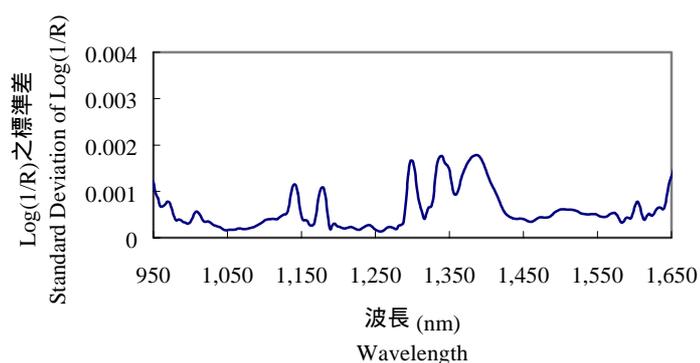


圖 5. 蘋果校正樣本之手提式近紅外線分光光度計一階差分吸收光譜圖各個波長吸收值之標準差圖

Fig. 5. Standard deviation of absorbance of first derivative spectra in each wavelength for calibration set of apple by a portable near-infrared reflectance spectrophotometer.

結 論

利用近紅外線分光光度計偵測 2000 年梨山地區所產之蜜蘋果，並利用化學方法分析樣本的糖度及酸度，並進行

PLSR 模式分析，實驗結果顯示，經由一階差分(糖度、酸度)或二階差分(糖酸比)轉換處理後之光譜，再利用部分最小平方方法分析，分析結果顯示，利用 14、11 及 5 個因子之部分最小平方方法所建立之蘋果糖度、酸度含量及糖酸比較正線，交叉驗證之判定係數分別為 0.88、0.91 及 0.85，交叉證標準偏差分別為 0.43 °Brix、0.027 g/100g 及 5.39 °Brix 100g/g。

誌 謝

本研究進行期間承蒙本場葉助理研究員俊巖提供相關化學分析設備，林金隆先生、陳國元先生及呂宛儒小姐協助進行化學分析試驗，謹此致謝。

參考文獻

1. 邱鶴圍、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。
2. 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極柑品質相關成分之研究。中國農業化學會誌 35(4): 462-474。
3. 葉正茂。1993。果蔬汁加工學，p.281-284, 325-330。台北。瑩圃。
4. 陳文誠、謝俊夫、謝欽城。以近紅外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。
5. 陳加增、陳世銘、黃峻吉、楊宜璋。2000。近紅外線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。
6. 陳加增、陳世銘、楊宜璋、黃峻吉。2000。以近紅外線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。
7. 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。
8. 蔡兆胤、謝俊夫、謝欽城。以近紅外線光譜分析預測小蕃茄之糖度。88 年農業機械論文發表會論文摘要集 p.107-108。國立嘉義技術學院編印。
9. 劉富文。1994。園產品採後處理及貯藏技術。臺灣省青果運銷合作社。1(6): 168-169。
10. 鍾允睿。1998。以可攜式近紅外線分光光度計偵測鳳梨果實糖度。台北。國立台灣大學農業機械工程學研究所碩士論文 96 pp。
11. 經濟部中央標準局。1989。CNS(12570)中國國家標準酸度測定。經濟部中央標準局。
12. Haaland, D. M. and E. V. Thomas. 1988. Partial least-squares methods for spectral analyses. Anal. Chem. 60: 1193-1202.
13. 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.
14. Marten, H. and T. Naes. 1989. Methods for calibration. In: Multivariate calibration. New York: John Wiley & Sons.
15. 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.

Nondestructive Determination of Internal Quality in Apple by a Portable Near-Infrared Reflectance Spectrophotometer

Wang-Sheng Li and Jai-Tsung Shaw

Summary

Measuring the chemical compositions of apple by wet chemical methods can be used for evaluating the apple quality, but they are time-consuming, and polluting. A portable near-infrared reflectance spectrophotometer system which includes an optical fiber probe, a diode array spectrophotometer, ranging from 925 nm to 1716 nm, together with a portable computer were developed to calibrate sugar content, acid content and ratio of sugar content to acid content in apple for a quick evaluation of apple quality. With first derivative pretreatment for sugar and acid content's analysis and with second derivative pretreatment for ratio of acid content to sugar content's analysis of each original absorbance spectrum and then analyses by partial least-squares regression, the calibration curve of sugar content, acid content and ratio of acid content to sugar content by employing 14, 11, 15 principal-component PLSR models had r-squared of cross validation 0.878, 0.912 and 0.845 and standard error of cross validation (SECV) 0.433 °Brix, 0.027 g/100g, and 5.390 °Brix 100g/g, respectively.

Key words: apple, portable near-infrared reflectance spectrophotometer, sugar content, acid content, ratio of sugar content to acid content.