

非破壞果實品質測定儀測定不同品種酪梨之
乾物質含量初報

Nondestructive Evaluation of Avocado Fruit Dry
Matter Content Using Near Infrared Spectroscopy

劉惠菱、徐錦木、李婕瑜

Huei-ling Liu, Ching-Mu Hsu and Chieh-Yu Li

抽印自臺中區農業改良場研究彙報 161: 73-89 (2023)

農業部臺中區農業改良場

非破壞果實品質測定儀測定不同品種酪梨之乾物質含量初報¹

劉惠菱、徐錦木、李婕瑜²

摘 要

在臺灣酪梨為新興果樹，其果實品質與成熟度息息相關，以往破壞性測量曠日廢時，近年以近紅外線光譜進行非破壞測量技術十分先進，可快速檢測可溶性固形物含量、乾物質含量等與果實品質相關之性狀。本試驗以近紅外線光譜之非破壞果實品質測定儀，測量早、中、晚熟品種酪梨之乾物質含量，並建立預測模型，期能提供酪梨採收成熟度判斷依據。預測模型準確度的判斷上，‘露拉’(‘Lula’)不論在殘值預測偏差(Residual prediction deviation, RPD)、預測殘值平方和(Predicted residual sum of squares, PRESS)、均方根誤差(Root mean square error, RMSE)及交叉驗證的均方根誤差(Root mean square error of cross validation, RMSECV)值在 2021 年、2022 年及上述 2 年綜合數據結果皆較佳，因此綜合考量 6 個試驗品種中‘露拉’(‘Lula’)以非破壞果實品質測定儀(F-750 Produce Quality Meter)測量所得之乾物質含量預測模型較其他參試品種準確；然此預測模型以殘值預測偏差(Residual prediction deviation, RPD)值判斷預測模型之可行性卻為不可信任預測模型，加上大部分果實測量易有光線洩漏影響吸收數值，進而影響預測模型之建立，因此試驗所使用之非破壞果實品質測定儀(F-750 Produce Quality Meter)實際應用於酪梨採收成熟度判斷上仍待精準化。

關鍵字：酪梨、非破壞果實品質測定儀、乾物質含量、近紅外線光譜

前 言

酪梨(*Persea americana* Mill)近五年(2018-2022)在臺灣種植面積快速增加，由 733 ha 增加至 1,588 ha，產業成長快速。酪梨果實的食用品質取決於質地和風味，食用質地則受成熟度影響甚大(Hofman *et al.*, 2013)。其中果實硬度及含油量多寡與果肉奶油感和平滑感相關；風味受栽培及品種影響，然而若藉由外觀表現判斷酪梨採收成熟度上有其難度(Lee, 1981)。判斷酪梨採收成熟度的方法有許多種，如酪梨含油量、依果實大小決定採收日期、乾物質含量、果實比重、種皮厚度、可溶

¹ 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1075 號

² 農業部臺中區農業改良場研究助理、助理研究員及助理工

性固形物含量、成熟天數與後熟過程中果實重量減少比例等(Lee, 1981)。商業上較常使用之方法為酪梨含油量或乾物質含量。

酪梨隨著果實發育油脂含量逐漸增加，因此測量酪梨含油量可做為採收成熟度標準，如‘哈斯’(‘Hass’)含油量在 8% 以上即達採收成熟度，此採收成熟度標準並非依據口感決定，且品種間油脂含量差異度大(Christie, 1939; Christie, 1945)，部分品種如 Calavo Growers 公司在加州栽培之‘佛也得’在未達成熟時油脂含量已超過 8%(Hodgkin, 1928)；且研究指出大部分‘佛也得’在油脂含量 8% 時具有劣質洗衣皂的味道(Roche, 1937)。然因油脂分析曠日費時，需相關設備才能分析，因此近年來部分商業採收上不採用含油量做為採收成熟度依據。

酪梨乾物質含量隨著成熟度增加而上升，乾物質含量增加之主要原因為油脂含量增加，研究指出酪梨果肉油脂含量及乾物質含量呈正相關(Parodi *et al.*, 2007)；在澳洲規定乾物質含量需在 21% 以上為採收成熟度最低標準(Morris & O'Brien 1980)。因此乾物質含量可以做為採收成熟度重要指標，然破壞性測量需要時間，如‘佛也得’(‘Fuerte’)品種採用烘箱作乾物質含量測量至少需要 105°C 3 小時(Mizrach *et al.*, 1999)，且由於測量批次差異，容易導致品質不一，進而影響消費者購買意願(Ozdemir & Topuz, 2004)。提供品質穩定、成熟度可預測且均勻之酪梨，使用客觀、快速、無損的非破壞檢測技術將成為未來主流(Magwaza & Samson, 2015)。非破壞檢測技術可分為許多種，如超音波、聲波、力脈衝反應及近紅外線光譜測量；其中近紅外線光譜測量為近年廣泛應用之方法，此分析方法為含氫基團(O-H、C-H、N-H、S-H、P-H)暴露在近紅外線下產生共振，含氫基團由基態激發至激發態，光能量被部分吸收，近紅外線光譜藉由測量光吸收獲得之光譜代表物質之性質(Tan *et al.*, 2022)。本試驗以測量近紅外線光譜之非破壞果實品質測定儀，測量早、中、晚熟品種酪梨之乾物質含量，建立預測模型，期能提供酪梨採收成熟度判斷依據。

材料與方法

一、試驗及調查方法：

(一)試驗材料

2021 及 2022 年於彰化縣大村鄉農業部臺中區農業改良場(簡稱本場)試驗果園進行試驗，以露天栽培 6 年生具開花結實能力之‘佛也得’(‘Fuerte’)、‘厚兒’(‘Hall’)、‘露拉’(‘Lula’)、‘清進 2 號’(‘Qing Jin No.2’)、‘嘉選 3 號’(‘Jiaxuan No.3’)、‘嘉選 4 號’(‘Jiaxuan No.4’)酪梨依適當採收期採收之果實作為試驗材料。

(二)調查方法：

1.非破壞果實品質測定儀測量：

於上述酪梨品種之果實預計成熟日前開始採收，採收後標定果實柱頭端測量位置以非破壞果實品質測定儀(F-750 Produce Quality Meter, Felix Instruments, Camas, WA, USA)測量乾物質含量預測

值之光譜，每樣品測量 1 次。

表一、各參試品種不同年度調查數量

Table 1. Harvested numbers of experiment variety in 2021 and 2022

Variety	2021 (No.)	2022(No.)
Fuerte	10	27
Hall	17	39
Lula	15	42
Qing Jin No.2	35	29
Jiaxuan No.3	35	20
Jiaxuan No.4	8	25

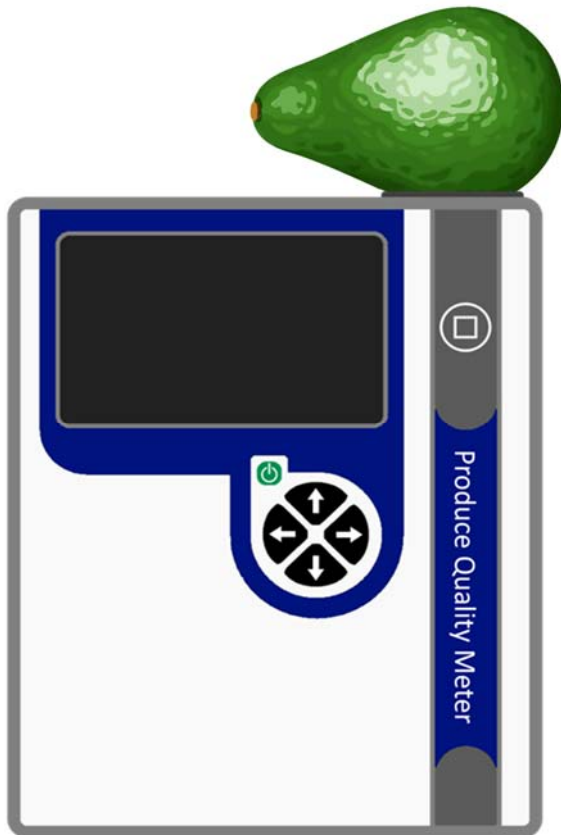
2. 果實乾物質含量測量：

將經非破壞果測量之酪梨果實柱頭端位置果肉切除以烘箱(UNB100 Oven, Memert, USA)105 °C 4hr 測量乾物質實際含量值(Mizrach *et al.*, 1999)。

3. 數據分析：

使用非破壞果實品質測定儀提供之相關計算軟體，繪製光譜分布圖，並應用偏最小平方迴歸(Partial least squares method)完成預測模型之建立，計算乾物質實際及預測含量之標準差(Standard deviation, SD)；乾物質實際與預測含量差之變異係數(Coefficient of variation, C.V.)、交叉驗證的均方根誤差(Root mean square error of cross validation, RMSECV)、殘值預測偏差(Residual prediction deviation, RPD)、均方根誤差(Root mean square error, RMSE)及預測殘值平方和(Predicted residual sum of squares, PRESS)；乾物質實際及預測含量之相關係數(R^2 square)，比較預測模型之準確性。

好的預測模型需具備高相關係數值及RPD值，及越趨近於零的RMSECV值(Alvarez-Guerra *et al.*, 2010)；除此之外RPD值為標準差與交叉驗證標準差的比值(Williams & Sobering, 1993)，其值經過標準化處理較交叉驗證標準差客觀，可提供優於單獨使用交叉驗證標準差做為判斷預測模型優劣依據(李與蕭，2002)。RPD值小於1.5表示預測模型為不可信任；1.5-2.0為可接受或粗糙預測模型；2.0-2.5為適合定量測量之預測模型；2.5-3.0可視為優良預測模型；大於3.0則為滿意之預測模型(Olarewajua *et al.*, 2016)。RMSE值則為預測值和實測值之間均方誤差值，一個好的預測模型RMSE值越接近零(Parodi *et al.*, 2007; Singla *et al.*, 2022)。PRESS值為迴歸分析中使用的一種交叉驗證形式，用於提供預測模型與實測樣本適合度的方法，PRESS最小值可做為最佳預測模式選擇之標準(Tarpey, 2000)。



圖一、非破壞果實測定儀測量部位示意圖

Fig. 1. Schematic diagram of the measuring site by F-750 Produce quality meter.

結 果

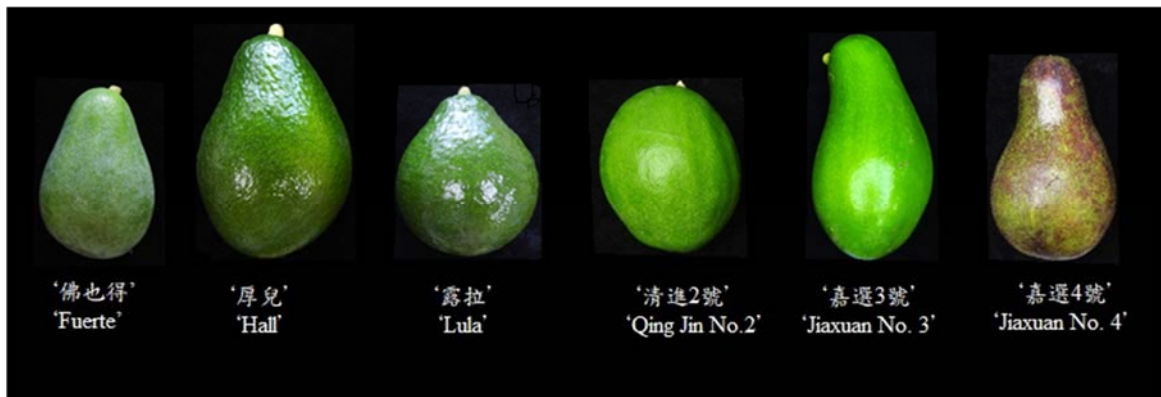
酪梨品種照片如圖二所示，‘露拉’及‘清進 2 號’果型偏向圓形，其餘品種果型皆為長橢圓形。由紅外線吸收光譜結果可得知不同品種在 790 nm-975 nm 具有特徵峰(圖三)。在比較不同酪梨品種 2 個年度之乾物質含量預測模型線性表現(表二)，乾物質實際含量值與預測含量值於單一年度數據之平均值各品種皆有所差異，然 2021-2022 年兩年數據混合之平均值則各品種實際含量值與預測含量值差異極小；且單一年度數據 2021 及 2022 年度除了‘嘉選 4 號’以外，其餘品種在不同年度乾物質含量差異較大。

標準差結果乾物質實際含量值之標準差低於 2 之組別分別為‘佛也得’ 2022 年數據計算結果為 1.56；‘嘉選 3 號’ 2021 年數據計算結果為 1.96、2022 年數據計算結果為 1.77、2021-2022 年兩年混

合數據計算結果為 1.99；‘嘉選 4 號’2022 年數據計算結果為 1.68、2021-2022 年兩年混合數據計算結果為 1.88；乾物質含量預測值之標準差低於 2 之組別分別為‘佛也得’2022 年數據計算結果為 1.42；‘厚兒’2022 年數據計算結果為 1.90；‘嘉選 3 號’2021 年數據計算結果為 1.65、2022 年數據計算結果為 1.26、2021-2022 年兩年混合數據計算結果為 1.58；‘嘉選 4 號’2021 年數據計算結果為 1.85、2022 年數據計算結果為 1.35、2021-2022 年兩年混合數據計算結果為 1.46；其餘組別標準差不論乾物質實際含量值或預測含量值數據計算結果皆高於 2。此結果顯示標準差越低之組別其乾物質含量較一致，成熟度較均勻。

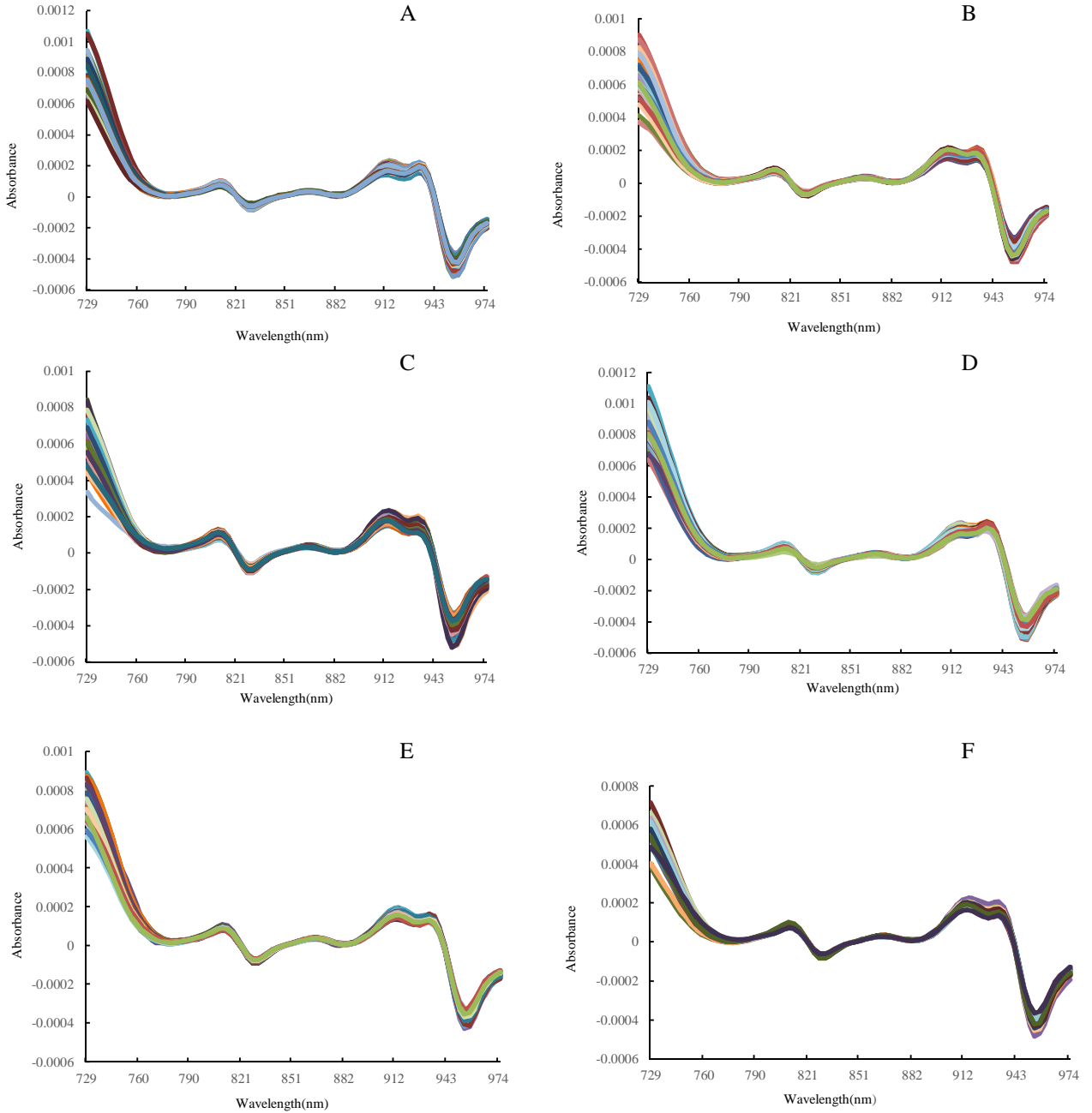
變異係數結果可分為 3 組，‘佛也得 2021 年’、‘厚兒’2022 年數據、‘露拉’ 2022 年、‘清進 2 號’ 2021 年及‘嘉選 4 號’2021 年數據計算結果皆在 80% 以上；‘佛也得’2022 年、2021-2022 年兩年綜合；‘露拉’ 2021-2022 年兩年綜合；‘清進 2 號’2022 年、2021-2022 年兩年綜合；‘嘉選 3 號’2022 年數據計算結果在 70-80%；其餘在 50-70%。

RMSECV 值較低之組別為‘佛也得’2021 年數據計算結果 2.90；‘露拉’ 2021 年數據計算結果 2.72 及‘嘉選 4 號’2021 年數據計算結果之 2.43；其餘組別 RMSECV 值高，以‘清進 2 號’2021-2022 年兩年綜合數據計算結果最高 8.04。RPD 值差異不大，‘佛也得’2021 年數據及‘厚兒’2021-2022 年兩年綜合數據計算 0.66 最高，‘露拉’ 2021 年數據計算 0.47 最低。



圖二、參試品種酪梨外觀照片

Fig. 2. Experimental avocado varieties exterior photo.



圖三、2021-2022 年不同品種酪梨乾物質含量吸收光譜分布圖(A)'佛也得'(B)'厚兒'(C)'露拉'(D)'清進 2 號'(E)'嘉選 3 號'(F)'嘉選 4 號'

Fig. 3. Spectral scattering for dry matter content in 2021-2022 avocados by F-750 Produce quality meter. (A)'Fuerte'(B)'Hall'(C)'Lula'(D)'Qing Jin No.2'(E)'Jiaxuan No.3'(F)'Jiaxuan No.4'.

表二、2021-2022 年非破壞果實測定儀測量不同品種酪梨乾物質含量預測模型線性準確性之相關統計資料

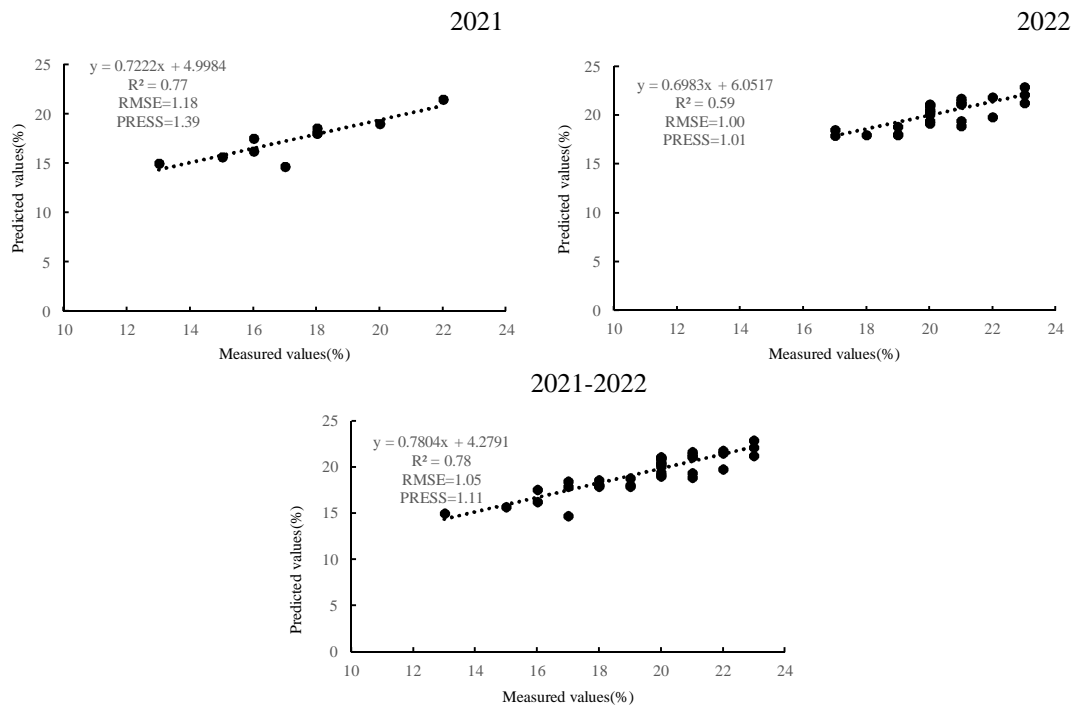
Table 2. Accuracy of predicted model for dry matter content in 2021-2022 avocados by F-750 Produce quality meter

Variety	Season	Measured values		Predicted values		C.V. ² %	RMSECV ³	RPD ⁴
		Mean	SD ¹	Mean	SD			
Fuerte	2021	17.30	2.54	17.49	2.09	85.42	2.90	0.66
	2022	20.30	1.56	20.22	1.42	75.14	4.20	0.60
	2021-2022	19.49	2.28	19.49	2.01	77.55	5.09	0.62
Hall	2021	19.41	3.28	19.05	2.86	85.27	5.57	0.66
	2022	16.46	2.09	16.62	1.90	82.95	5.53	0.64
	2021-2022	17.36	2.83	17.36	2.48	87.39	7.68	0.66
Lula	2021	21.27	4.11	21.13	3.84	52.41	2.72	0.47
	2022	19.40	3.83	19.45	3.81	81.72	4.50	0.63
	2021-2022	19.89	3.95	19.89	3.86	74.75	5.26	0.63
Qing Jin No.2	2021	15.83	2.98	15.77	2.66	81.71	6.47	0.64
	2022	16.48	2.64	16.55	2.30	73.85	4.83	0.60
	2021-2022	16.13	2.83	16.13	2.51	79.37	8.04	0.62
Jiaxuan No.3	2021	17.86	1.96	18.02	1.65	59.75	6.04	0.51
	2022	19.25	1.77	18.95	1.26	78.17	4.49	0.62
	2021-2022	18.36	1.99	18.36	1.58	66.18	7.53	0.55
Jiaxuan No.4	2021	16.13	2.53	16.11	1.85	81.68	2.43	0.65
	2022	16.40	1.68	16.41	1.35	63.08	5.11	0.54
	2021-2022	16.33	1.88	16.33	1.46	66.31	5.64	0.56

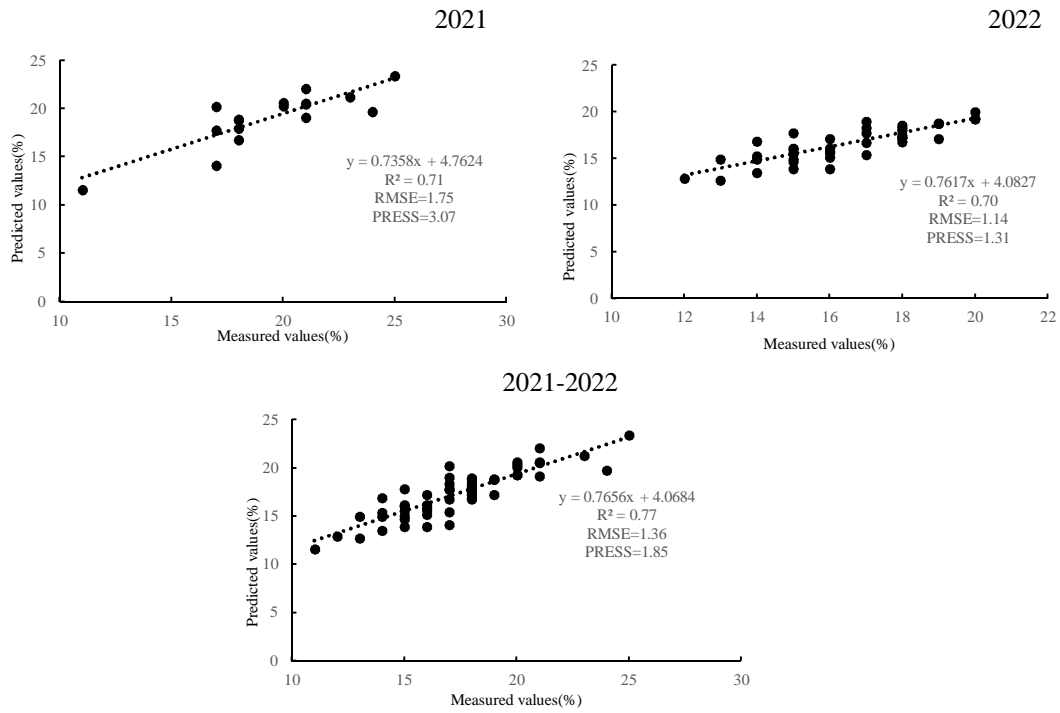
¹SD: Standard deviation.²CV.: Coefficient of variation.³RMSECV: Root mean square error of cross validation.⁴RPD: Residual prediction deviation.

圖四至圖九為不同品種乾物質實際含量值與預測含量值之相關係數圖，相關係數 0.9 以上者有‘露拉’2021 年數據、2022 年數據及 2021-2022 年兩年綜合數據；0.8 以上者有‘清進 2 號’2022 數據年及‘嘉選 4 號’2021 年數據；其餘皆低 0.8。RMSE 值低於 1 之組別為‘佛也得’的 2022 年數據及‘露拉’的 2021 年數據、2022 年數據及 2021-2022 年兩年綜合數據；其餘組別皆高於 1。‘露拉’在 PRESS 值 2021 年數據、2022 年數據及 2021-2022 年兩年綜合數據皆低於 1，分別為 0.62、0.80 及 0.75。

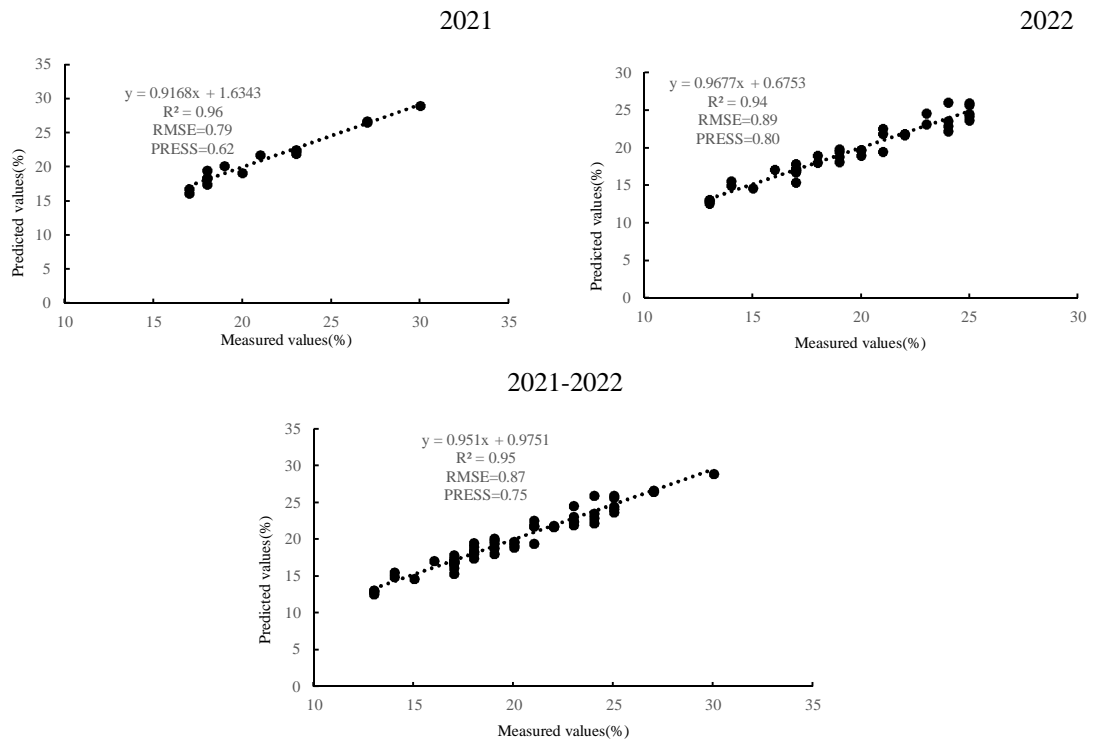
在預測模型準確性的判斷上可依據 RMSE、RMSECV、 R^2 、PRD 數值確定其準確性，在 RMSE 值結果‘佛也得’2022 年數據及‘露拉’2021 年數據、2022 年數據及 2021-2022 年兩年綜合數據較其他組別佳；RMSECV 值結果‘佛也得’2021 年數據、‘露拉’2021 年數據及‘嘉選 4 號’2021 年數據較其他組別佳； R^2 值‘露拉’2021 年數據、2022 年數據及 2021-2022 年兩年綜合數據較其他組別佳；RPD 值則是‘佛也得’2021 年數據及‘厚兒’2021-2022 年兩年綜合數據較其他組別佳。綜合考量酪梨乾物質實際含量值與預測含量值之統計結果，本試驗 6 個試驗品種中‘露拉’不論是單年度數據或兩年度綜合數據所製作之預測模型較其他試驗品種數據準確。



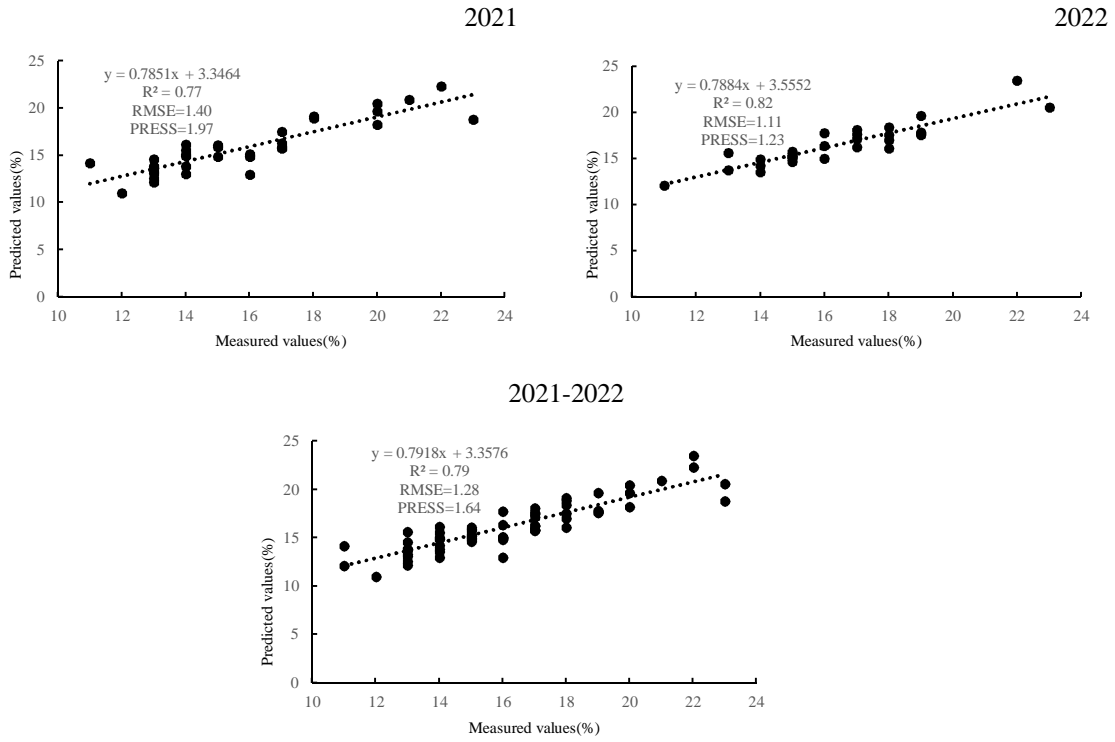
圖四、酪梨‘佛也得’非破壞果實品質測定儀測量乾物質預測含量值與乾物質實際含量值相關性
Fig. 4. Scatter plots of F-750 Produce quality meter for avocado ‘Fuerte’ dry matter content correlation between predicted values and measured values.



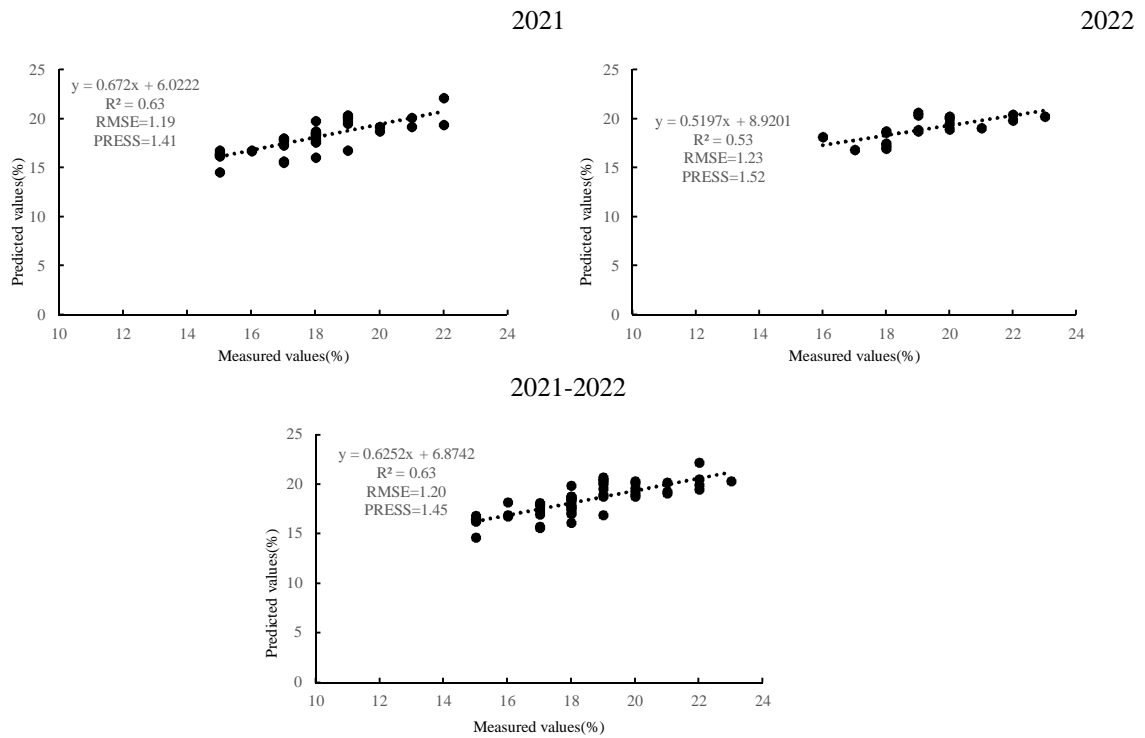
圖五、酪梨‘厚兒’非破壞果實品質測定儀測量乾物質預測含量值與乾物質實際含量值相關性
Fig. 5. Scatter plots of F-750 Produce quality meter for avocado ‘Hall’ dry matter content correlation between predicted values and measured values.



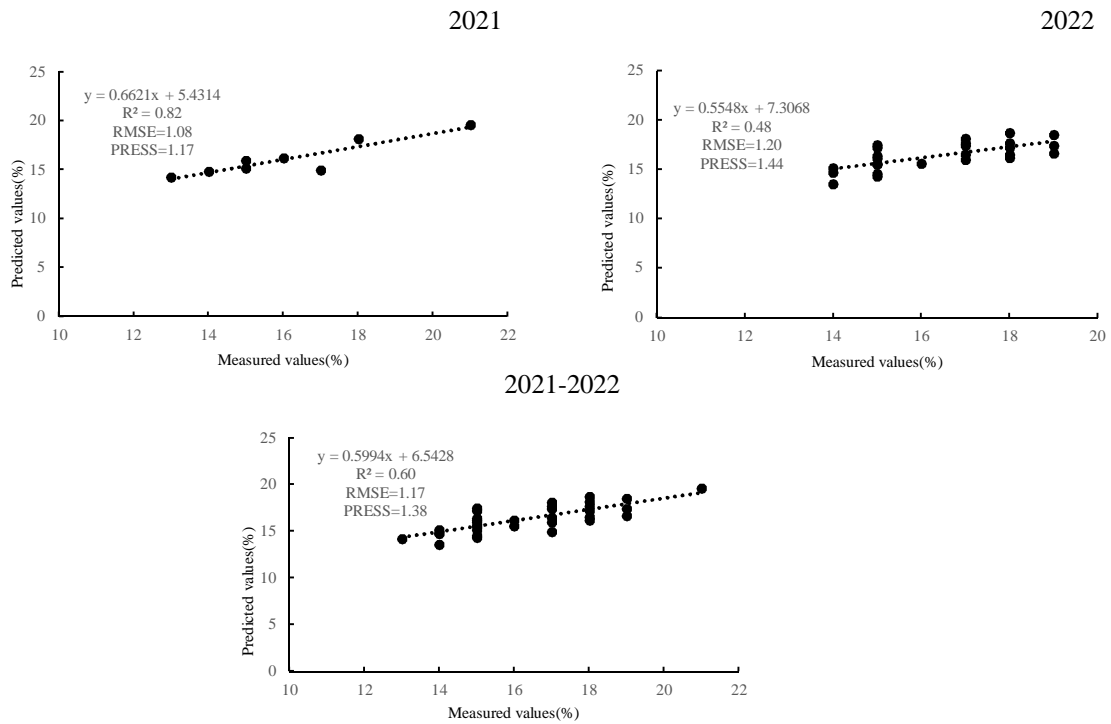
圖六、酪梨‘露拉’非破壞果實品質測定儀測量乾物質預測含量值與乾物質實際含量值相關性
 Fig. 6. Scatter plots of F-750 Produce quality meter for avocado ‘Lula’ dry matter content correlation between predicted values and measured values.



圖七、酪梨‘清進 2 號’ 非破壞果實品質測定儀測量乾物質預測含量值與乾物質實際含量值相關性
 Fig. 7. Scatter plots of F-750 Produce quality meter for avocado ‘Qing Jin No.2’ dry matter content correlation between predicted values and measured values.



圖八、酪梨‘嘉選3號’非破壞果實品質測定儀測量乾物質預測含量值與乾物質實際含量值相關性
 Fig. 8. Scatter plots of F-750 Produce quality meter for avocado ‘Jiaxuan No.3’ dry matter content correlation between predicted values and measured values.



圖九、酪梨‘嘉選 4 號’非破壞果實品質測定儀測量乾物質預測含量值與乾物質實際含量值相關性
 Fig. 9. Scatter plots of F-750 Produce quality meter for avocado ‘Jiaxuan No.4’ dry matter content correlation between predicted values and measured values.

討 論

試驗利用非破壞性且快速檢測酪梨乾物質含量，協助判斷酪梨成熟度之方法，試驗結果不同酪梨品種乾物質紅外線吸收光譜雖然在 790-975 nm 皆具有其特徵峰，然不同品種間特徵峰值強度仍有些微差異。影響近紅外線吸收光譜特性有許多原因，如表面溫度影響紅外線對含氫基團(O-H、C-H、N-H、S-H、P-H)之吸收；表面顏色因缺陷與深色之間相似性，影響整體光吸收；測量物品的球面效應導致紅外線吸收光譜變性及預測模型的複雜度，降低預測模型的普通性、實用性及準確性；其他因素如採收年度、樹齡或採收成熟度等等(Zhang *et al.*, 2018)。

Olarewajua 等人(2016)的研究指出‘哈斯’水分、乾物質及油脂含量有效光譜在 800-2400 nm；而對光譜波段的反應與果實成分有一定的專一性，如 970 和 1200 nm 的峰值與水 H-OH 收縮模式密切相關(Clément *et al.*, 2008; Lee, 1981)；900-920 nm、930 nm、1200 nm、1750 nm、2200-2400 nm 之

間的峰值與油脂相關的 C-H₂ 伸縮和組合有關(Clark *et al.*, 2003; Guthrie *et al.*, 2004; Osborne & Künnemeyer, 1999)；900-920 nm 的波段峰值對於測定乾物質含量與可溶性固型物至關重要，且此波段不受自然主導水果光譜的吸水峰的掩蔽干擾(Clark *et al.*, 2003)。本試驗於 801-821 nm、821-839 nm、889-925 nm、925-937 nm 和 937-975 nm 附近皆有波峰值，且紅外線吸收光譜結果與前人研究結果相似。

但在預測模型精準度方面，Mireei 等人(2010)認為若欲使預測模型更為準確，可利用主成分分析(principal components analysis, PCA)分析 NIR 之特徵峰波段，進而提升測量模型準確性。McGlone 與 Kawano(1998)認為由於光譜共線性，使得使用近紅外線光譜測量所建立之各種果實成分相關預測模型具有挑戰性，由於特定校準模型中可獲得的信息可能由多個波長的匯集效應承載，每個波長對模型貢獻的信息相當少，並且不一定由幾個獨立的波長承載(McGlone & Kawano, 1998)。因此在預測模型開發過程中使用整個 NIR 區域，而不是只使用幾個部分或各個波長位置的 NIR，可獲得更好的預測模型(Ozaki & Christy, 2007)。

試驗結果在同品種不同年度預測模型準確性有所不同，如‘佛也得’、‘厚兒’及‘嘉選4號’。預測模型整體準確度在6個試驗品中以‘露拉’較佳，推測可能與果實形狀有關，‘露拉’果型呈近球形，近年來分析儀器對於球型物品測量之光度分布不均勻可利用球型強度變換(Spherical intensity transformation method, SITM)進行強度均勻性校正，並改善電腦演算及視覺，提升預測模型準確度，可使得球型果實預測模型準確度增加(Huang *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2014)。而試驗中其他品種果實果型大多為橢圓形，除了在儀器檢測上易有光線吸收不均勻之問題，實際測量操作上因測量孔直徑為3 cm平面，大部分果實為曲面，較難符合測量孔大小，因此有光線洩漏之問題，而光線洩漏將影響儀器吸收值，易造成數據不穩定，需日後檢測儀器改進以增加預測模型準確度。且試驗結果在整體預測模型準確性具最佳表現為‘露拉’，但若以‘露拉’RPD值最高之2021年數據判斷預測模型之可行性為不可信任預測模型，此結果表示以試驗使用之非破壞果實品質測定儀實際應用於酪梨採收成熟度判斷上仍有進步空間。

參考文獻

1. 李汪盛、蕭介宗。2002。線上型近紅外光梨果糖度分級系統之開發。桃園區農業改良場研究彙報，51，26-37。
2. Alvarez-Guerra, Ballabio, M., D., Amigo, J. M., Bro, R., Viguri, J. R. 2010. Development of models for predicting toxicity from sediment chemistry by partial least squares-discriminant analysis and counter-propagation artificial neural networks. *Environ. Pollut.* 158, 607-614.
3. Christie, A. W. 1939. The importance of maturity in avocados. *Calif. Avocado Assoc. Yearbook*, 24, 73.

4. Christie, A. W. 1945. Some fundamentals of picking, packing, and marketing. Calif. Avocado Soc. Yearbook, 30, 55.
5. Clark, C. J., McGlone, V. A., Requejo, C., White, A., Woolf, A. B. 2003. Dry matter determination in 'hass' avocado by nir spectroscopy. Postharvest Biol. Technol. 29, 300-307.
6. Clément, A., Dorais, M., Vernon, M. 2008. Nondestructive measurement of fresh tomato lycopene content and other physicochemical characteristics using visible-NIR spectroscopy. J. Agric. Food Chem. 56, 9813-9818.
7. Guthrie, J., Greensill, C., Bowden, R., Walsh, K. 2004. Assessment of quality defects in macadamia kernels using NIR spectroscopy. Austr. J. Agric. Res. 55, 471-476.
8. Hodgkin, G. B. 1928. Oil testing of avocados and its significance. Calif. Avocado Assoc. Yearbook, 13, 68.
9. Hofman, P. J., Bower, J., Woolf, A. 2013. Harvesting, packing, postharvest technology, transport and processing. In" S. Schaffer, B. N. Wolstenholme, & A. W. Whiley" ,eds. The Avocado: Botany, Production and Uses. pp. 489-540. CAB International: Oxfordshire, Oxford.
10. Huang, W., Li, J., Zhang, C., Li, B., Chen, L., Zhang, B. 2012. Detection of surface defects on fruits using spherical intensity transformation. Nongye Jixie Xuebao/Trans. Chin. Soc. Agric. Mach. 43(12), 187-191.
11. Lee, S. K. 1981. A review and background of the avocado maturity standard. california avocado society 1981 Yearbook - Volume 65,101-109.
12. Lestander, T. A., Geladi, P. 2005. NIR spectral information used to predict water content of pine seeds from multivariate calibration. Can. J. For. Res. 35, 1139-1148.
13. Magwaza, L. S., Samson, Z. T. 2015. A review of destructive and non-destructive methods for determining avocado fruit maturity. Food Bioprocess Technol. DOI 10.1007/s11947-015-1568-y
14. McGlone, V. A., Kawano, S. 1998. Firmness, dry-matter and soluble solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. Postharvest Biol. Technol. 13, 131-141.
15. Mireei, S. A., Mohtasebi, S. S., Massudi, R., Rafiee, S., Arabanian, A. S. 2010. Feasibility of near infrared spectroscopy for analysis of date fruits. Int. Agrophysics. 24, 351-356.
16. Mizrach, A., Flitsanov, U., El-Batsri, R., Degani, C. 1999. Determination of avocado maturity by ultrasonic attenuation measurements. Sci. Hort. 80, 173-180.
17. Morris, R., O'Brien, K. 1980. Testing avocados for maturity. Agri. Gazette of New South Wales 42, 44.
18. Olarewajua, O. O., Bertlinga, I., Magwaza, L. S. 2016. Non-destructive evaluation of avocado fruit maturity using near infrared spectroscopy and PLS regression models. Sci. Hort. 199, 229-236.

19. Osborne, S. D., Künnemeyer, R. A. 1999. Low-cost system for the grading of kiwifruit. *J. Near Infrared Spect.* 7, 9-15.
20. Ozaki, Y., Christy, A. A. 2007. Latent-variable analysis in multivariate data in infrared spectrometry. In" Ozaki, Y., McClure, W. F., Christy, A.A.", eds. *Near-infrared spectroscopy in food science and technology*. pp. 145-162. New Jersey: United States.
21. Ozdemir, F., Topuz, A. 2004. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chem.* 86, 79-83.
22. Parodi, G., Sanchez, M., Daga, W. 2007. Correlation of oil content, dry matter and pulp moisture as harvest indicators in Hass avocado fruit (*Persea americana* Mill) grown under two conditions of orchards In" Chinchá-Peru. *Proceedings VI World Avocado Congress*", eds. pp. 12-16. Chile.
23. Roche, H. W. 1937. Regulations for marketing avocados in California. *Calif. Avocado Assoc. Yearbook*, 22, 88.
24. Singla, P., Duhan, M., Saroha, S. 2022. Different normalization techniques as data preprocessing for one step ahead forecasting of solar global horizontal irradiance. *AIRES*. 209-230. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90396-7.00004-3> (Aug. 30, 2023)
25. Tan, B., You, W., Huang, C., Xiao, T., Tian, S., Luo, L., Xiong, N. 2022. An intelligent near-infrared diffuse reflectance spectroscopy scheme for the non-destructive testing of the sugar content in cherry tomato fruit. *Electronics* 11, 3504. <https://doi.org/10.3390/electronics11213504> (Sep. 01, 2023)
26. Tarpey, T. 2000. A note on the prediction sum of squares statistic for restricted least squares. *The American Statistician*. 54(2), 116–118.
27. Williams, P. C., Sobering, D. C. 1993. Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds. *J. Near Infrared Spectrosc.* 1, 25-32.
28. Zhang, B., Dai, D., Huang, J., Zhou, J., Gui, Q., Dai, F. 2018. Influence of physical and biological variability and solution methods in fruit and vegetable quality nondestructive inspection by using imaging and near-infrared spectroscopy techniques: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 58, 2099-2118.
29. Zhang, B., Huang, W., Liang, G., Li, J., Zhao, C., Liu, C., Huang, D. 2015. Computer vision detection of defective apples using automatic lightness correction and weighted RVM classifier. *J. Food Eng.* 146, 143-151.
30. Zhang, B., Huang, W., Li, J., Zhao, C., Fan, S., Wu, J., Liu, C. 2014. Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. *Food Res. Intl.* 62, 326-343.

Nondestructive Evaluation of Avocado Fruit Dry Matter Content Using Near Infrared Spectroscopy¹

Huei-ling Liu ², Ching-Mu Hsu ² and Chieh-Yu Li ²

ABSTRACT

Avocado was a new fruit industry in Taiwan, that fruit quality was closely related to maturity. In the past, destructive measurement was spent too much time. In recent years, nondestructive measurement technology used near-infrared spectroscopy(NIF) was very advanced, which could quickly detect traits related to fruit quality, such as soluble solids content or matter content, etc. In this experiment, the dry matter content of different avocado varieties was analyzed with a nondestructive evaluation by near infrared spectroscopy, and establishes a prediction model which could provide a basis for prediction the avocado maturity of harvest. In terms of determine the accuracy of the prediction model, 'Lula' has better Residual prediction deviation (RPD), Predicted residual sum of squares (PRESS), Root mean square error (RMSE) and Root mean square error of cross validation (RMSECV) values in 2021, 2022 and the comprehensive data results of the above two years. Therefore, 'Lula' was comprehensively considered among the 6 test varieties. The dry matter content prediction model measured by F-750 produce quality meter. is more accurate; however, the feasibility of the prediction model was determined by the RPD value as an untrustworthy prediction model. In addition, most fruit measurements are prone to light leakage that affects the determine of absorption values, thereby affecting the establishment of predictive models. This result indicates the F-750 produce quality meter used in avocado harvest maturity was still needs to be accurate.

Keywords: avocado, nondestructive evaluation, dry matter content, near infrared spectroscopy.

¹Contribution No.1075 from Taichung DARES, MOA.

²Research Assistant, Assistant Research and Project Assistant of DARES, MOA.