



☒ 公開
☐ 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：0402020200

農業部苗栗區農業改良場114年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**建立甘藷非破壞式品質分析 (第1年/全程4年)**
(英文名稱) **Establishing non-destructive quality analysis of sweet potato**

計畫編號：114農科-4.2.2-苗-02

全程計畫期間：自 114年1月1日 至 117年12月31日
本年計畫期間：自 114年1月1日 至 114年12月31日

計畫主持人：王志瑄
執行機關：農業部苗栗區農業改良場



1141290



建立甘藷非破壞式品質分析

王志瑄

行政院農業委員會苗栗區農業改良場

摘 要

本報告目的在探討甘藷之光譜特徵與其水分含量間之關聯性。實驗採用 XHR-1024i 高解析度地物光譜儀，針對180顆正常甘藷樣本進行非破壞性檢測，蒐集涵蓋可見光至短波紅外光（350 nm 至 2500 nm）之全波段光譜數據，並經輻射校正獲取目標輻射亮度與光譜反射率。研究首先利用獨立樣本t檢定分析全波段光譜數據，初步結果顯示在廣域波段下，輻射亮度與光譜反射率與水分含量之 p 值均大於0.05，未達統計顯著水準。為進一步挖掘光譜數據之潛在價值，本研究導入機器學習回歸模型進行訓練與特徵重要性分析（Shapley Importance）。模型預測結果顯示RMSE為5.8385，並識別出900 nm至1350 nm及2000 nm附近波段具有高度預測貢獻。基於機器學習篩選結果，本研究針對900 nm至1350 nm區間之細分波段重新進行獨立樣本t檢定。分析證實，該區段內46組細分波段與水分含量之 p 值均遠小於0.001，顯示出極高度的統計顯著性。本研究結果指出，雖然大範圍平均光譜特徵與水分關聯薄弱，但透過機器學習演算法篩選出之特定近紅外光波段（特別是900-1350 nm），能有效反映甘藷水分含量，證實了高光譜技術在農產品水分檢測上之應用潛力。

關鍵字：大豆、育種、耐淹水

前 言

甘藷為台灣重要栽培的雜糧作物，適應台灣氣候，112 年台灣栽培面積達 8,513 公頃，產量達 198,499 公噸(農情資源網, 20241123)，主要產區嘉南地區其次為中部地區。而甘藷的品質檢測對於控管產品品質管控至關重要，尤其對於加工業者收購或農民端的分級。透過有效的檢測，可以確保甘藷的品質穩定，提高產品價值。甘藷品質項目包含食味品評、質地、乾物質含量、粗纖維含量、澱粉含量、水分含量以及總糖含量等(利與陳, 2005)。而傳統品質分析常有主觀性強、檢測項目多樣耗時及檢測成本高，且皆屬於破壞性檢測，並無法針對個別甘藷數塊進行分析。

非破壞式檢測技術 (Non-destructive methods) 是品質控制的一部分，是指在不進行侵入性或取樣性方式對水果和蔬菜的外觀和品質進行表面檢測。非破壞式檢測技術提供有關食品特性的數據，例如外觀、結構、機械、物理和化學特性(El-Mesery et al., 2019)。目前非破壞式檢測技術原理以光學、動力學及電磁學三大種，其中光學包括影像分析、反射、吸收、穿透光譜及雷射，動力學以聲波、超聲波，而電磁學則有電腦斷層、核磁共振等方法(Alander et al., 2013; Lorente et al., 2012; Nelson et al., 2006)。非破壞式檢測具有多種優勢包含快速、高效、非破壞性、客觀性、多參數檢測等特性，相較於傳統的檢測技術，非破壞式檢測技術能快速處理大量的樣品，檢測過程中不會對蔬果造成損傷，使用量化參數且可多品項一次完成，可提升檢測效率、減少產品損耗、減少了人為因素





在各式研究也開發多種農產品的非破壞式檢測技術，其中也包含影像、光譜學及核磁共振等方式，其中又以光譜的技術應用最為廣泛，包括可見光/近紅外光譜 (VIS/NIR)、拉曼光譜 (RS) 和磁共振光譜(MRS)等(Ruiz-Altisent et al., 2010)。在甘藷與馬鈴薯中，非破壞式檢測技術根據所進行的樣品類型而有所不同，塊莖原料、塊莖切片或加工成品等，同時抽樣大小也根據測量的品質屬性而有所不同。

於各式研究中就儀器和化學分析的適用性而言，光譜學對農產品的檢測格外中重要。文獻指出，在生甘藷和馬鈴薯塊莖上各種內部和外部品質評估的多種應用，包含品種鑑別 (Hyperspectral imaging & infrared spectroscopy, $R^2=0.893$)、糖含量 (Near-Infrared, NIR, $R^2=0.99$)、甘藷黑斑病(Vis-NIR, 98.56%)、水分含量 (Hyperspectral imaging, $R^2=0.979$)、類胡蘿蔔素含量(Raman spectroscopy, $R^2=0.88$)等等(Su et al., 2019; Rady and Guyer, 2015; Lopez-Maestresalas et al., 2016; Su and Sun, 2016; Sebbem et al., 2018)。高光譜及 NIR 因高光譜分辨率與豐富的光譜信息，可進行物質的化學成分、物理性質、甚至生物特性等分析，雖有部分環境影響性仍具有極大的研究應用潛力。非破壞式檢測技術具有諸多優勢，但受限於成本及數據處理的複雜性，如能運用進行小型化及多參數融合，未來發展可期。

材料與方法

一、甘藷塊根不同收穫期成分分析：

於春作定植甘藷(台農 57 號)以慣行栽培進行病蟲害及肥培管理。於藷塊充實期間進行收穫取樣(定植後 30、60、90、120 及 150 天)，單一處理組至少進行 20 組分析，分析項目包含水分含量特性分析，相關測定方法參考利與陳(2005)及李等(2019)。最後一次收穫期另取樣 20 組同樣行化學分析。

二、甘藷不同收穫期塊根高光譜資料庫與模式建立：

不同收穫期取樣之藷塊於化學分析前進行高光譜資料(手持式光譜儀 XHR-1024i, SVC)蒐集，同樣單一處理組至少進行 20 組分析，高光譜檢測系統示意圖如圖一。並進行高光譜資料與化學分析數據的模式建立，相關模式與國立中興大學生物機電產業工程學系朱玟霖助理教授共同建立，最後一次收穫期另取樣數據，進行模式預測能力測試。

結果與討論

甘藷水分含量高光譜檢測結果：

本次以 180 個不同生育期之甘藷塊根建立高光譜結果，甘藷塊根直徑為 18.4~66.5 mm，區間頻度如圖二。180 個甘藷樣品水分含量檢測範圍為 59.4~85.9%，而澱粉含量檢測範圍為 12.72~70.89%，區間頻度如圖三。

光譜反射率與水分含量特徵差異檢定針對正常甘藷($n=180$)水分含量與光譜反射率進行獨立樣本 t 檢定，分析結果如表一所示。表一分析結果顯示在全部的波段 p 值均大於 0.05，在 500 nm 至 900 nm 處 p 值大於 0.7，1900 nm 至 2500 nm 之間 p 值皆大於 0.5。因此，獨立樣本 t 檢定顯示甘藷之光譜反射率大範圍與含水量並沒有顯著性關係，顯示大範圍可能稀釋特徵差異波段。由於 t 檢定的效力有限，未能顯著驗證兩者之間的關聯





因此改採用 Matlab R2025b Regression 工具箱中的 Cubic SVM 模型，針對 300 – 2500 nm 波段的水分數據進行訓練。模型預測結果(如圖四)顯示 RMSE 為 5.8385。運用 Shapley Importance 排序(見圖四)發現，1000、2500、2000、1200 與 1500 nm 等波段對預測影響最大。結果大致與相關文獻相符，僅有 1500 nm 以上波段缺乏佐證，但這可能是因為文獻中的儀器設備並未涵蓋該波段，其餘結果則均獲得文獻支持(Heo et al., 2021; Sun et al., 2016; Zou et al., 2022)。然經機器學習模型之特徵重要性分析後，發現部分特定光譜區段仍具預測意義。基於此，進一步選取 900 至 1350 nm 之波段，以獨立樣本 t 檢定方式深入分析，並細分為約每 10 nm 一組的 46 個波段，分別為：900、910.5、919.8、930.1、940.4、949.6、959.8、970、980.3、989.4、1001.3、1008.9、1020.4、1031.8、1039.5、1050.9、1062.3、1069.9、1081.4、1089、1100.4、1111.8、1119.3、1130.7、1138.3、1149.6、1161、1168.5、1179.9、1191.2、1198.7、1221.3、1228.8、1300.1、1311.3、1318.8、1329.9、1341.1、1352.3(單位均為 nm)。上述 46 個細分波段皆與水分含量進行獨立樣本 t 檢定，所得 p 值均遠小於 0.001(詳見圖五)，顯示各波段與水分含量之間具有高度顯著性。

在討論水分的影響時，961.12、1065.50、1083.93、1173.23 與 1233.89 nm 這些波長具有較為明顯的作用(Heo et al., 2021)。在 920-1000 nm 波長範圍內，甘藷的相對強度會隨著含水量的降低而增加(Sun et al., 2016)。由於馬鈴薯與甘藷的物理特性相似(高水分、富含澱粉的塊莖)，其光譜特徵具有高度參考價值。在脫水處理前，馬鈴薯樣本的光譜反射率顯著高於脫水後，於近紅外光波段(約 930 nm)出現一明顯反射率峰值，而在 940 至 980 nm 之間則形成一低谷，顯示該波段反射率明顯下降(Zou et al., 2022)。在波長約 960 nm 附近，反射率值的降低主要歸因於該波段受水分強吸收帶主導，並受到 C-H 鍵伸展及其第一諧波之影響。光譜反射率曲線的差異顯示，高光譜成像技術可用於估算馬鈴薯的水分含量(Zou et al., 2022)。對於植物而言，有研究顯示 1450 nm 和 1940 nm 波段對於水含量的影響具有較強的關係(Wang et al., 2009)。其中，特別的是水分含量與直徑間具有相關性。

誌 謝

感謝本場工作同仁於試驗期間的辛苦付出，以及感謝國立中興大學生物產業機電工程學系朱玟霖副教授協助資料分析。

引用文獻

- 利幸貞、陳一心。2005。甘藷台農 72 號烤藷品質之研究。台灣農業研究，54(2): 83-92。
- 李翰宇、馮淑慧、劉景平、侯金日。2019。儲藏溫度與時間對不同品種甘藷塊根化學組成含量的影響。嘉大農林學報，16(1)，1-27。
- Alander, J.T., Bochko, V., Martinkauppi, B., Saranwong, S., & Mantere, T. 2013. A review of optical nondestructive visual and near-infrared methods for food quality and safety. International Journal of Spectroscopy 2013, 341402.
- El-Mesery, H. S., Mao, H., & Abomohra, A. E. 2019. Applications of non-destructive technologies for agricultural and food products quality inspection. Sensors 19, 846.
- Heo, S., Choi, J. Y., Kim, J., & Moon, K. D. (2021). Prediction of moisture content in steamed and dried purple sweet potato using hyperspectral imaging analysis. Food Science and Technology

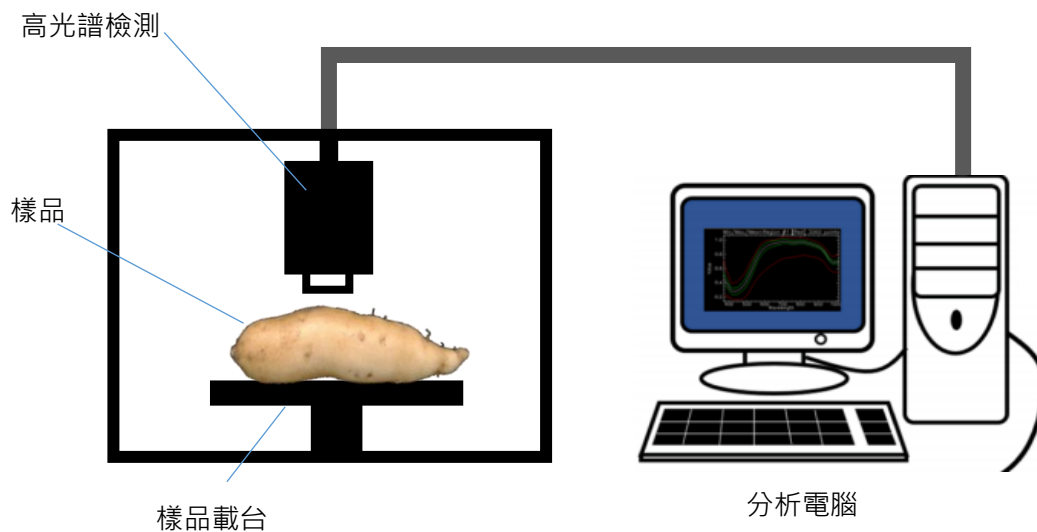


1141290

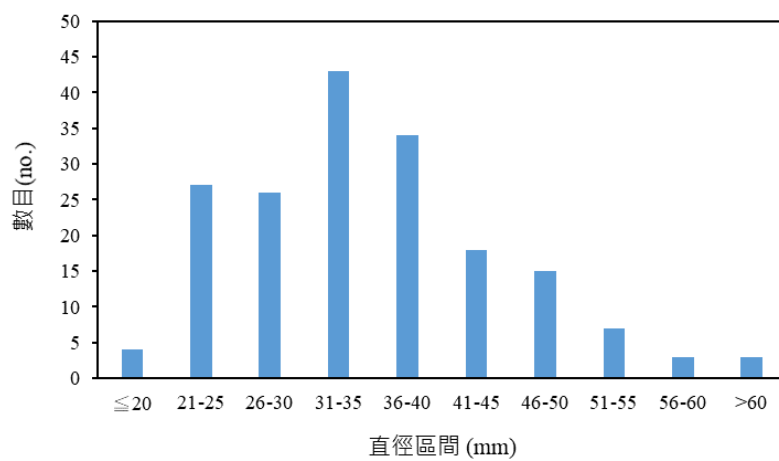


- Biotechnology, 30(6), 783-791.
- López-Maestresalas, A., Keresztes, J. C., Goodarzi, M., Arazuri, S., Jarén, C., & Saeys, W. 2016. Non-destructive detection of blackspot in potatoes by Vis-NIR and SWIR hyperspectral imaging. *Food Control* 70,229-241.
- Lorente, D., Aleixos, N., Gómez-Sanchis, J., Cubero, S., GarcíaNavarrete, O. L., & Blasco, J. 2012. Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. *Food and Bioprocess Technology* 5, 1121-1142.
- Nelson, S., Trabelsi, S., & Kays, S. 2006. Dielectric spectroscopy of honeydew melons from 10 MHz to 1.8 GHz for quality sensing. *Trans. ASABE* 2006 49, 1977-1981.
- Rady, A. M., & Guyer, D. E. 2015. Rapid and/or nondestructive quality evaluation methods for potatoes: A review, *Computers and Electronics in Agriculture* 117, 31-48.
- Ruiz-Altisent, M., Ruiz-Garcia, L., Moreda, G. P., Lu, R., Hernandez-Sanchez, N., Correa, E. C., Diezma, B. B., & García-Ramos, N. J. 2010. Sensors for product characterization and quality of specialty crops-A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 74(2), 176-194.
- Sebben, J. A., da Silveira, E. J., Ranzan, L., Fernandes, de M. N., Trierweiler, L. F., & Trierweiler, J. O. 2018. Development of a quantitative approach using Raman spectroscopy for carotenoids determination in processed sweet potato. *Food Chemistry* 245, 1224-1231.
- Su, W., & Sun, D. 2016. Potential of hyperspectral imaging for visual authentication of sliced organic potatoes from potato and sweet potato tubers and rapid grading of the tubers according to moisture proportion. *Computers and Electronics in Agriculture* 125, 113-124.
- Su, W., Bakalis, S., & Sun, D. 2019. Chemometrics in tandem with near infrared (NIR) hyperspectral imaging and Fourier transform mid infrared (FT-MIR) microspectroscopy for variety identification and cooking loss determination of sweet potato. *Biosystems Engineering* 180, 70-86.
- Sun, Y., Liu, Y., Yu, H., Xie, A., Li, X., Yin, Y., & Duan, X. (2017). Non-destructive prediction of moisture content and freezable water content of purple-fleshed sweet potato slices during drying process using hyperspectral imaging technique. *Food Analytical Methods*, 10(5), 1535-1546.
- Wang, J., Xu, R., & Yang, S. (2009). Estimation of plant water content by spectral absorption features centered at 1,450 nm and 1,940 nm regions. *Environmental monitoring and assessment*, 157(1), 459-469.
- Zou, Z., Wu, Q., Chen, J., Long, T., Wang, J., Zhou, M., ... & Xu, L. (2022). Rapid determination of water content in potato tubers based on hyperspectral images and machine learning algorithms. *Food Science and Technology*, 42, e46522.

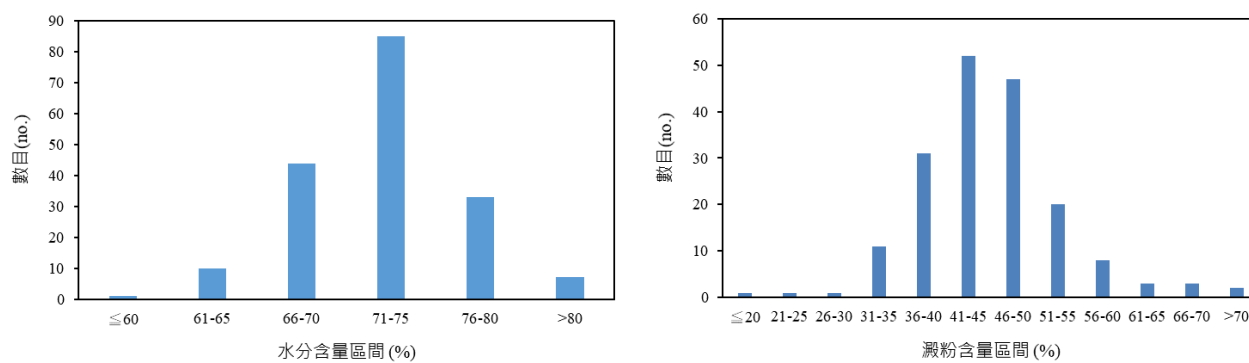




圖一、高光譜檢測系統示意圖



圖二、甘藷塊根直徑分布圖



圖三、甘藷塊根水分與澱粉含量分布圖



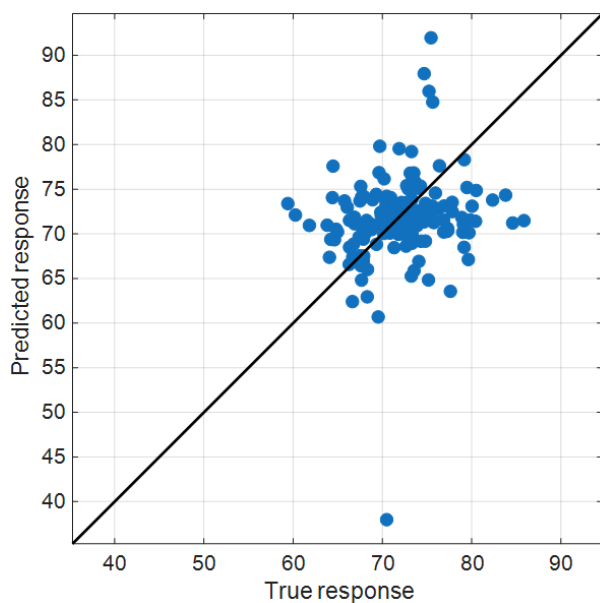


表一、輻射亮度與甘藷水分含量的獨立樣本 t 檢定

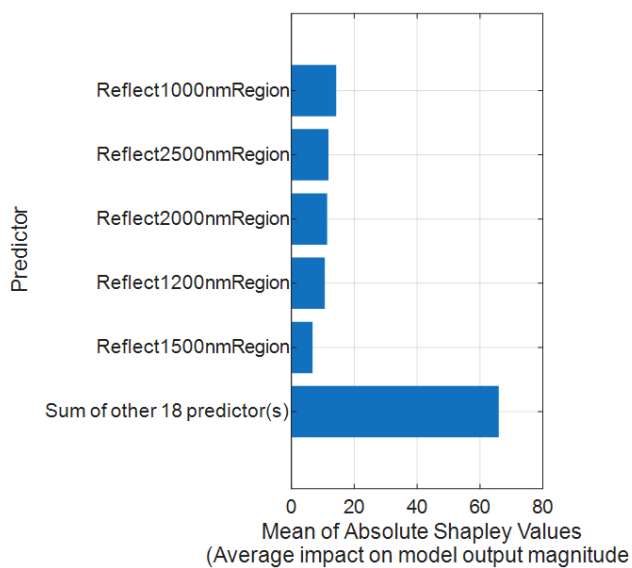
光譜反射率 (nm)	<i>p</i> 值
300	0.5472
400	0.5727
500	0.7432
600	0.8447
700	0.8010
800	0.7730
900	0.7473
1000	0.6469
1100	0.5846
1200	0.5381
1300	0.4514
1400	0.4709
1500	0.4297
1600	0.4211
1700	0.4276
1800	0.4339
1900	0.5031
2000	0.5348
2100	0.5273
2200	0.5381
2300	0.5697
2400	0.5670
2500	0.5503

$p < 0.05^*$; $p < 0.01^{**}$; $p < 0.001^{***}$

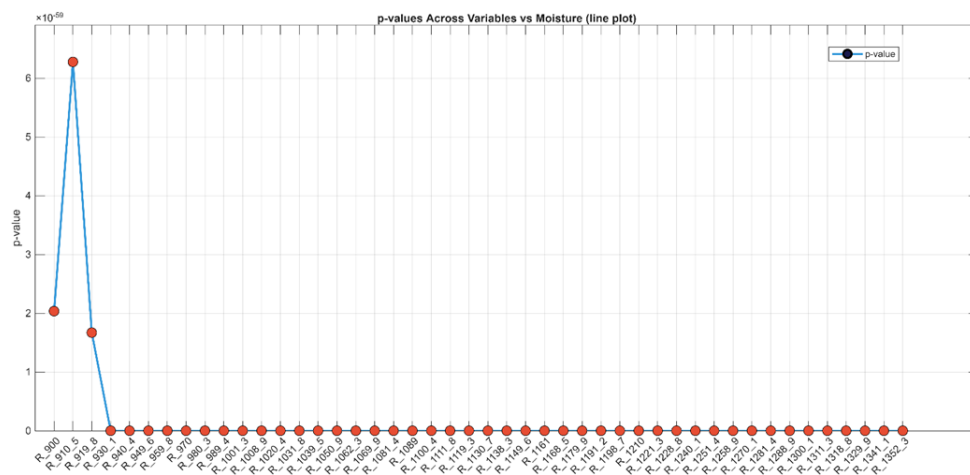




圖四、Cubic SVM 模型驗證與預測結果



圖五、Shapley Importance 排列



圖六、小範圍光譜反射率與含水率的獨立樣本 t 檢定結果

