

聲音響應技術

在判斷水果品質上的研究與應用

文 / 圖 張芳魁

前言

人們判斷水果品質的好壞，除用眼睛看、鼻子聞、手按壓，也能以耳朵聽。種植鳳梨的農民以敲擊果實聽聲音的方式來判斷果實內部的狀態：肉聲果，代表果實成熟度偏高、水分多、甜度高、不耐久放；鼓聲果，代表果肉水分較少，肉質細緻可儲放較久，適合貯運及外銷用。區分鼓聲果和肉聲果有助於果品分級，進而提升果品的價值，果品敲擊及音頻判斷，若能以機械取代人力，可提升效率，也能降低誤差率。

近年來，非破壞式檢測農產品品質的研究不斷在發展，其中一項便是聲音響應技術(acoustic impulse-response technique)。許多研究證實，透過敲擊果實響應的聲音，可以判斷果實內部的狀態及品質，包括硬度、內部瑕疵、病變或是儲架壽命等。本篇將介紹聲音的特性與聲音響應技術，並簡介國內利用聲音判斷水果品質的研究，及本場應用聲音響應技術，在判斷鳳梨釋迦後熟程度上的初步結果。

聲音的特性與聲音響應技術

聲音是振動產生的聲波在空氣中傳播，能被人聽覺所感知的波動現象。聲音的強弱程度(即音量的大小)稱為響度，聲波振幅越大，聲音

越強。響度的單位為分貝(dB)，每增加10分貝，聲音強度增強10倍，增加20分貝，聲音則增強100倍。聲音的高低稱為音調，音調高低由聲波的振動頻率決定，振動越快(即頻率越大)，音調越高，頻率的單位為赫茲(Hz)，代表每秒振動的次數，20Hz至20,000Hz是一般人耳可聽得到的頻率範圍。

當物體受到敲擊時，會產生短暫聲響，我們透過儀器能將一個聲音的主要頻率分析出來。聲音訊號在示波器上以波動形式呈現，經過訊號轉換，聲音能以不同頻率分布的情形顯示，這種聲音訊號稱為頻域訊號，該訊號的圖形稱為頻譜(spectrum)(圖1)。頻譜中的波峰代表聲音的頻率位置，波峰越右邊代表聲

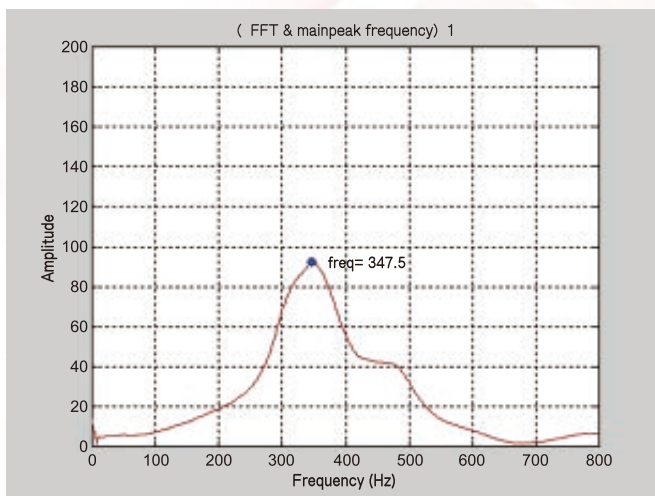


圖1. 敲擊水果在頻譜分析儀顯示出的頻域訊號



音的頻率越高。研究發現，聲音響應的頻率高低與物體的堅硬度有顯著的相關性，即物體越堅實，敲擊產生的音頻越高。將其應用在水果上，聲音頻率便能反映出果實的軟硬程度，或是其他內部狀態，因此這種可評估果實成熟度、果肉質地等果實品質，又不破壞果實的聲音響應技術相繼地被研究與應用。

音頻與水果品質之相關研究

目前國內研究聲音響應技術的水果品項有鳳梨、番石榴、西瓜、洋香瓜、梨及蘋果等，以下列舉鳳梨、西瓜及番石榴等三項說明。

一、鳳梨：

為開發鳳梨品質自動分級系統，林昇蒼(2004)設計一套鳳梨品質自動檢測方法，應用聲音響應技術分析鳳梨肉聲果及鼓聲果的聲音特性。結果顯示肉聲果的音頻在315Hz以上，鼓聲果則在315Hz以下，因此可以用315Hz作為判斷鳳梨肉聲果及鼓聲果之音頻標準。

二、番石榴：

為即時監控蔬果品質，陳建州等人(2009)設計攜帶式蔬果內部品質測定儀，進行番石榴敲擊測試，檢測其主要音頻。結果顯示，軟番石榴之音頻都在325Hz以下(123.6-325Hz)，而硬番石榴則在327Hz以上(327-507.6Hz)。研究指出325Hz可作為判斷番石

榴內部品質之音頻基準。

三、西瓜：

艾群(1996)利用聲音響應技術檢測西瓜音頻，試圖分辨成熟果、未熟果及空洞果。結果顯示，成熟西瓜音頻平均 172.67Hz，未成熟西瓜音頻平均174.20Hz，而有空洞的西瓜音頻平均137.77Hz，研究指出利用音頻可以判斷西瓜是否為空洞果，惟該方法不易區分西瓜成熟果與未熟果。

聲音響應技術在鳳梨釋迦上的研究與應用

鳳梨釋迦是臺東最重要的經濟果樹之一，栽培面積達2,700餘公頃，同時也是臺灣重要的外銷果品。鳳梨釋迦為具後熟性果實，為避免運送過程果實軟化，通常用低溫來降低果實呼吸率及延緩後熟作用，以免果實在貯運過程後熟軟化。一般採收下來的硬熟果，在常溫下約4-8天會後熟變軟，但有少數的果實

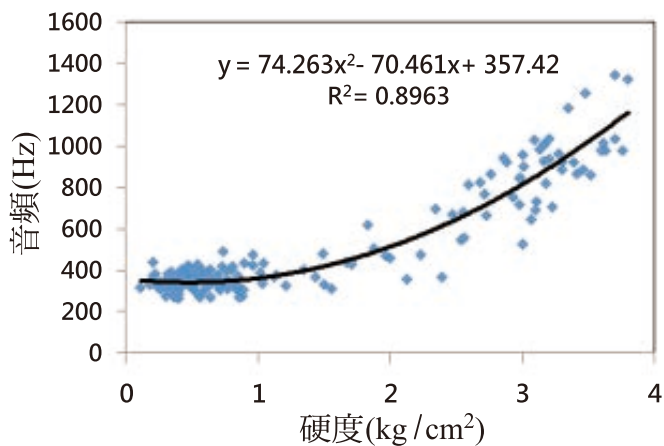


圖2. 鳳梨釋迦硬度與敲擊響應音頻之關係



表1. 不同果重之鳳梨釋迦採收當天敲擊響應之主要音頻

果重	調查個數	音頻(Hz)
400~500克	4	1,278± 47
500~600克	19	1,180± 92
600~700克	48	1,087±106
700~800克	28	1,073±102
800克以上	14	1,005± 56

◎音頻以平均值±標準差表示

則會提早軟熟，軟熟的果實容易因擦撞傷而果皮褐化，失去商品價值。目前多以人工按壓的方式淘汰有軟熟徵兆的果實，不過該方法除判斷主觀外，耗時耗力，也有按壓造成果實傷害的風險。果品進行分級時，若能透過非破壞式之聲音響應技術檢測果實的後熟程度，降低在運送過程果實軟化的風險，將可讓集貨端與銷售端掌握果品的儲架壽命，穩定果實品質，提升產品價值。

本場於2019年開始研究音頻與鳳梨釋迦果實後熟程度的關係，期望藉由音頻量化果實後熟程度。目前初步結果指出，鳳梨釋迦採收當天的音頻主要介於900~1,200Hz之間，果實的音頻隨著後熟時間增加而變小，果實達軟熟時，音頻介於300~450Hz間；硬度計所測果實硬度與音頻亦有顯著的正相關(圖2)，顯示音頻確實能反映鳳梨釋迦的後熟程度與果實硬度。調查果實採收後1天、2天、3天的硬度，分別為3.22 kg/cm²、3.04kg/cm²、3.18kg/cm²，差異不明顯；而同樣三天的響應音頻則分別為1,132Hz、933Hz、811Hz，有顯著差

異，顯示音頻判斷果實後熟程度的敏銳度優於破壞式硬度計。另研究發現，果重也會影響聲音的頻率，果實越重，音頻有越低的趨勢(表1)。未來研究將逐步建立理想的檢測與量化鳳梨

釋迦後熟程度之方法，提高判斷果實軟熟程度的準確性，並將技術開發為自動化的分級工具。

結語

聲音響應技術是一種非破壞式檢測農產品品質的方法，本場嘗試建立判斷鳳梨釋迦後熟程度的聲音響應技術，期望透過檢測果實後熟程度，精進外銷果品的分級作業，進而提升外銷鳳梨釋迦的品質及果品外銷的競爭力。

參考文獻

- 艾群。1996。利用音波檢測西瓜內部品質-成熟度、空洞之存在與方位。農業機械學刊5(4)：56-71。
- 林昇蒼。2004。脈衝激振響應在鳳梨品質分級之研究。嘉義大學碩士論文。
- 陳建州、楊朝旺、鄧朝元、艾群。2009。可攜式脈衝敲擊蔬果內部品質檢測儀之研究。生物機電工程學報2(3)：31-49。