

[illegible]

執行期間：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

計畫主持人：盧福明

- ☐赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學生物產業機電工程學系

中華民國 89 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

蔬果受壓情況下超音波特性變化之分析

Ultrasonic Properties of Fruits and Vegetables Under Compression Load

計畫編號：NSC 89-2313-B-002-045

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：盧福明 國立台灣大學農機系

計劃參與人員：黃威仁 國立台灣大學農機系

摘要

本研究利用萬能試驗機和超音波探頭的結合，藉由超音波穿透馬鈴薯與蘿蔔所得到的波形來分析探頭接觸測試物的施力影響超音波性質的程度。實驗中將超音波穿透馬鈴薯與蘿蔔音波波形擷取下來，以探討施力與衰減係數的關係。衰減係數(y)與施力(x)的關係方程式為 $y=a+b\ln x$ 。能量頻譜(y)對施力(x)而言，其關係方程式亦為 $y=a+b\ln x$ 。
關鍵詞：蘿蔔，馬鈴薯，探頭施力，超音波，衰減係數，能量頻譜。

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of contact force of ultrasonic probe on the ultrasonic attenuation measurement of potato and radish. The relationship between ultrasonic attenuation(y) and contact force(x) for radish is represented by equation $y=a+b\ln x$. The relationship between ultrasonic power spectrum(y) and contact force(x) for radish is also represented by equation $y=a+b\ln x$,

Keywords : radish, potato, contact force, ultrasound, attenuation, power spectrum.

一、前言

在工業界中採用接觸式的超音波量測法，其探頭的施力大多採用 1Kgw 為主(葉競榮等，1988)。一般以手指壓東西的施力值大約在 4—8kgw 之間，不過拿到表面不規則又具有多孔性的農產品上面使用時，是不是 1Kgw 就夠了呢？，而其所得到的超音波性質與蔬果之間有何關連性？

本研究以蘿蔔與馬鈴薯為測試物，目的在研究接觸式超音波探頭兩端的施力影響蔬果超音波特性的程度。藉由超音波穿透蘿蔔或馬鈴薯所測得的衰減係數和測試物的物理性質的相關性，來探討對探頭施力的影響程度。

二、文獻探討

蔬果組織的多孔性特點會使穿透蔬果的高頻超音波產生較高的衰減，所以這類在醫學界及工業界上使用的高頻率、低能

量的超音波並不適用在蔬果的檢測上，因此必須使用低頻率、高能量的超音波儀器來克服衰減的問題 (Sarkar and Wolfe, 1983 ; Mizrach et al., 1989)。

Upchurch et al. (1985) 利用超音波反射訊號的頻譜分析 (spectral analysis) 分辨蘋果是否損傷。Mizrach et al. (1989) 使用低頻且高能量的超音波激發方式來求得蘋果、馬鈴薯、胡蘿蔔、酪梨組織的超音波基本特性，並建議用頻率範圍在 50KHz 到 500KHz 間的超音波來量測蔬果的音波性質。Abbott et al. (1968) 使用兩種音波能量方法來檢測蔬果內部的組織結構。Garrett 和 Furry (1972) 指出音波在物體內傳播的速度和物體的楊氏係數、密度及蒲松比有關。Sarkar 和 Wolfe (1983) 利用超音波穿透法量測馬鈴薯、甜瓜、蘋果組織的衰減情形及分析其對高頻率超音波的反應。

Haugh (1993) 利用超音波探測馬鈴薯

的空心缺陷。Mizrach et al. (1994) 指出甜瓜彈性係數及正切係數受衰減係數及取樣深度的影響。仲 (1995) 利用超音波穿透法來檢測蘿蔔的空心與否。

三、試驗設備與方法

(一)實驗設備

本實驗所使用設備主要包括 PANAMETRICS Inc. 型號：5058PR 的高能量脈波式波形產生及接收器、換能器 (PANAMETRICS X1021 型) 一對：頻率 50KHz、直徑 4.5cm、PANAMETRICS BCB-58-4, 電阻值 50Ω, BNC 對 BNC 型 cable 四條、LECROY 9304A 型數位示波器、INSTRON 4465 型萬能試驗機、INSTRON SERIES IX 控制、資料收集、分析計算軟體、486 個人電腦, 以 GPIB 介面配合 INSTRON SERIES IX 軟體連接控制 INSTRON 4465 型萬能試驗機、氮氣一瓶、BMDP 統計分析軟體、Table Curve 軟體 Mitutoyo 數位式游標卡尺一支、OHAUS 電子秤一台。

實驗前先將超音波發射端探頭放進固定板 (厚度 10.4mm), 上面再擺上萬能試驗機的壓板, 藉由兩根長螺絲與另一塊固定板連接, 用螺帽將兩塊固定板鎖緊防止探頭滑動。超音波探頭與萬能試驗機壓版固定結合後, 將萬能試驗機的壓板固定於萬能試驗機台上。接收端探頭也是以同樣的方法放進固定板, 用螺帽旋緊, 固定在萬能試驗機的承受台上。

(二)實驗方法

在量測完物理性質後拿到 Instron 4465 上面, 用水當耦合劑, 將超音波探頭以 2kgw/min 的速度向下壓縮, 一直壓到 20kgw 為止。在壓縮期間每隔 2kgw 將示波器上的波形擷取下來, 等待實驗完成後來讀取數據, 同時用電腦記錄壓縮期間每隔 2kgw 時候發射端探頭與接收端探頭之間的距離, 當作計算衰減係數時其施力作用下的穿透距離。量測項目計有衰減係數、能量頻譜、蔬果孔隙率和楊氏係數。

四、結果與討論

實驗蘿蔔樣本總數為四十三顆, 馬鈴薯樣本總數為五十顆。以下就實驗結果進行分析。

(一)探頭施力與蘿蔔衰減係數分析

(1) 不同施力下衰減係數與蘿蔔物理性質關係分析

在 2kgw 到 20kgw 施力下, 超音波穿透蘿蔔的衰減係數和蘿蔔物理性質的簡單相關係數如圖 1 所示。

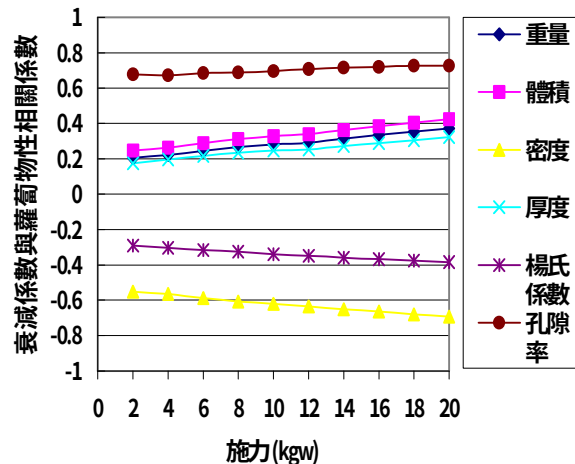


圖 1. 衰減係數與蘿蔔物理性質相關係數在不同施力下之變化圖

由圖 1 可以看出, 隨著施力的增加, 蘿蔔的物理性質與衰減係數的相關性隨著正或負向增大, 但增加量不大, 約 ± 0.15 。在所有的物理性質中, 孔隙率和密度與衰減係數的相關係數值較大, 介於 ± 0.5 與 ± 0.7 之間。孔隙率和衰減係數呈現正相關, 其原因為孔隙率係指蘿蔔內部的空心程度, 蘿蔔內部的空心會讓超音波在穿透蘿蔔時產生衰減, 孔隙率越大, 代表蘿蔔的空心程度越大, 超音波越不容易穿透蘿蔔, 所以孔隙率和衰減係數呈現正相關是合理的。而空心會造成蘿蔔的密度變小, 所以衰減係數和密度呈現負相關是合理的。

(2) 蘿蔔衰減係數與施力迴歸式分析

探頭施力與衰減係數製作成散布圖如圖 2 所示。圖上標示百分比為各顆蘿蔔孔隙率。

由圖 2 得知超音波穿透蘿蔔的衰減係數隨著施力的增加而有逐漸變小的趨勢。不同蘿蔔之間其施力和衰減係數的關係曲線有著近乎平移的關係。由圖 2 得知, 施力小時, 不同孔隙率所量得的衰減係數值間的差異範圍大, 而在施力逐漸增加的情況下, 此差異範圍逐漸縮小。

由於每個蘿蔔物性不同, 且所測得的衰減係數隨著施力而有所不同,

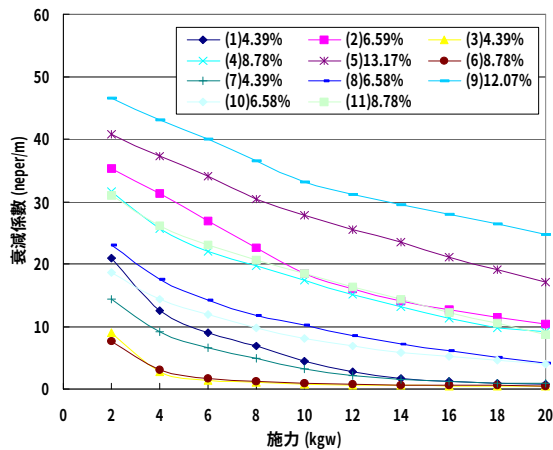


圖 2. 蘿蔔衰減係數與施力關係圖

亦即不同的蘿蔔會有不同的施力與衰減係數之關係式。每一顆蘿蔔的施力與衰減係數的數據，以 $y = a + b \ln x$ 做迴歸可以得到迴歸式，求得係數 a 與 b 。

將係數 a 、 b 與蘿蔔物性資料作強制迴歸，得到係數 a 的判定係數 R^2 為 0.3913，係數 b 的判定係數 R^2 為 0.1609。由強制性標準迴歸分析，所得標準迴歸係數值如表 1 所示。標準迴歸係數值的大小顯示各項蘿蔔物理性質對係數 a 、 b 的影響能力。由表 1 可以得知，由於孔隙率標準迴歸係數為 0.671 其對係數 a 具有的影響力較其他的物理性質顯著。同理，體積與孔隙率對 b 具有較顯著的影響力。

表 1. 係數 a 、 b 與蘿蔔物理性質之標準迴歸係數

	係數 a	係數 b
重量(gw)		
體積(cm^3)	-0.033	0.311*
密度(g/cm^3)	-0.067	-0.276
厚度(mm)	0.017	-0.057
楊氏係數(Mpa)	0.186	-0.117
孔隙率	0.671*	-0.347*

*：表示對 a 、 b 值的影響較大

將係數 a 、 b 分別與重量、體積、密度、厚度、孔隙率與楊氏係數進行逐次迴歸分析，可以得到對係數 a 而言，逐次迴歸只彰顯出孔隙率對係數 a 的影響。其係數 a 可以式 (1) 表達之 ($R^2=0.3698$)。其 R^2 與強制迴歸所得結果 ($R^2=0.3913$) 相差不多。

$$a = 8.7194 + 2.168 \times \text{孔隙率} \quad (1)$$

對係數 b 而言，逐次迴歸彰顯出體積對係數 b 較有影響，其迴歸式如式 (2) 所

示 ($R^2=0.1126$)。其 R^2 與強制迴歸所得結果 ($R^2=0.1609$) 相差不多。

$$b = -9.9188 + 0.0075 \times \text{體積} \quad (2)$$

由於迴歸變方分析表中 P 值小於 0.01 可以得知係數 b 和體積的迴歸關係存在且具有極顯著水準。

(3) 孔隙率估算值

由於蘿蔔空心程度影響蘿蔔品質，孔隙率顯示蘿蔔空心的程度，由逐次迴歸分析中求得影響係數 a 的因子為孔隙率。影響係數 b 因子以體積為主。由於體積可經由浸水法測知，而施力與衰減係數可經由實驗獲得數值。由這些數據可以推算蘿蔔孔隙率。估算的孔隙率和實測的孔隙率的比較分析如下所述。

實測孔隙率(x)和估算孔隙率(y)迴歸變方分析表的 P 值皆小於 0.01 可以得知實測孔隙率和估算孔隙率的迴歸關係存在且具有極顯著水準，但判定係數 R^2 只有介於 0.43 到 0.50 之間。

(二) 探頭施力與馬鈴薯衰減係數分析

不同施力下衰減係數與馬鈴薯物理性質關係分析如圖 3 所示。由圖 3 可以看出相較於蘿蔔，馬鈴薯的物理性質與衰減係數的相關性並不明顯(介於 -0.2 與 0.2 之間)。施力增加時，馬鈴薯物理性質與衰減係數的相關性隨著增加，但增加量不大。馬鈴薯厚度相對於其他物理性質具有較高的相關係數(0.2)。蘿蔔孔隙率與衰減係數的相關係數較高(0.7)，但在馬鈴薯則較低(-0.1)，其原因為馬鈴薯組織結構緊密，其孔隙率普遍來說都很小，大約在 1% 以下。實驗結束後切開馬鈴薯來觀察，其內部幾乎都沒有空洞，因之孔隙率對超音波穿透馬鈴薯的衰減係數的相關性並不高。超音波穿透較厚的介質時，其能量會隨著穿透路徑的增加而變小，所以超音波穿透馬鈴薯的衰減係數和穿透馬鈴薯的厚度呈現正相關是合理的。雖有衰減係數(y)與施力(x)的關係 $y = a + b \ln x$ 。不過其係數 a 、 b 與馬鈴薯的物理性質之關係並不顯著。

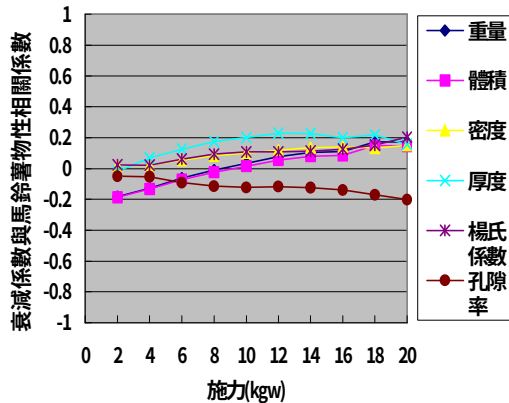


圖 3. 衰減係數與馬鈴薯物理性質相關係數在不同施力下之變化圖

(三) 探頭施力與超音波穿透蘿蔔能量頻譜分析

(1) 不同施力下超音波穿透蘿蔔能量頻譜與蘿蔔物理性質關係分析

在不同的施力作用下，超音波穿透蘿蔔所計算得到的能量頻譜不同，而能量頻譜和蘿蔔物理性質間的相關性在不同施力作用下會有所改變。施力介於 2kgw 到 20kgw 之間，超音波穿透蘿蔔的能量頻譜和蘿蔔物理性質的簡單相關係數如圖 4 所示。

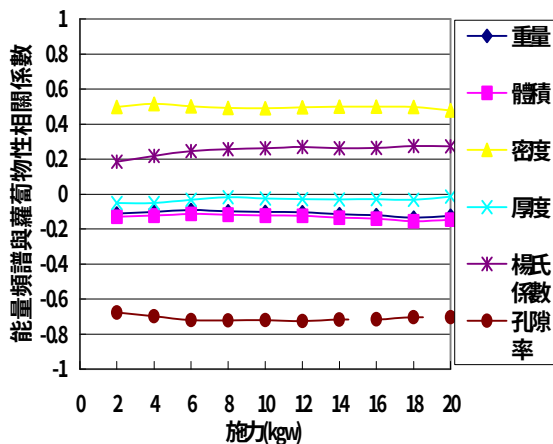


圖 4. 能量頻譜與蘿蔔物理性質相關係數在不同施力之變化圖

由圖 4 得知隨著施力的增加，蘿蔔的物理性質與能量頻譜的相關性大致上維持不變。在所有的物理性質中，孔隙率和密度與能量頻譜的相關係數值較大，介於 ± 0.5 與 ± 0.7 之間。孔隙率和能量頻譜呈現負相關，其原因因為孔隙率係指蘿蔔內部的空心程度，蘿蔔內部的空心會讓超音波在穿透蘿蔔時產生衰減，超音波穿透的能

量就越低。孔隙率越大代表蘿蔔的空心程度越大，超音波穿透蘿蔔的能量就越少，所以孔隙率和能量頻譜呈現負相關是合理的。而空心會造成蘿蔔的密度變小，所以能量頻譜和密度呈現正相關是合理的。

(2) 蘿蔔能量頻譜與施力迴歸式分析

探頭施力與能量頻譜製作成散布圖如圖 5 所示。圖上標示百分比為各顆蘿蔔孔隙率。

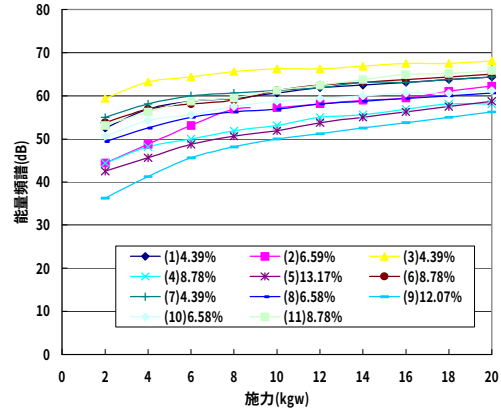


圖 5. 蘿蔔施力與能量頻譜圖（編號後面百分比為個別蘿蔔孔隙率）

由圖 5 得知超音波穿透蘿蔔的能量頻譜隨著施力的增加而有逐漸變大的趨勢。不同蘿蔔之間其施力和能量頻譜的關係曲線也有著近乎平移的關係。

一般而言孔隙率大的蘿蔔，其能量頻譜值比孔隙率小的蘿蔔低。在施力小的狀況下不同孔隙率蘿蔔之能量頻譜值的差異範圍大，但在施力大的狀況下其差異縮小。由於每個蘿蔔物性不同，且所測得的能量頻譜隨著施力而有所不同，亦即不同的蘿蔔會有不同的施力與能量頻譜關係式。每一顆蘿蔔的施力與能量頻譜的數據，以 $y = a + b \ln x$ 做迴歸可以得到迴歸式及其係數 a 與 b 。

將係數 a 、 b 與蘿蔔物性資料作強制迴歸，得到係數 a 的判定係數 R^2 為 0.5095，而係數 b 的判定係數 R^2 為 0.1311，由強制性標準迴歸分析，所得標準迴歸係數值如表 2 所示。如同前節所示，標準迴歸係數值的大小顯示各項蘿蔔物理性質對係數 a 、 b 的影響能力。由表 2 可以得知，密度與孔隙率對係數 a 具有的影響力較其他的物理性質顯著。同理，體積，密度，厚度，楊氏係數與孔隙率對 b 具有較顯著的影響力。

表 2. 係數 a 、 b 與蘿蔔物理性質之標準迴歸係數

	係數 a ;	係數 b ;
重量(gw)		
體積(cm^3)	-0.122	-0.214*
密度(g/cm^3)	0.221*	-0.206*
厚度(mm)	-0.019	0.271*
楊氏係數(Mpa)	-0.171	0.274*
孔隙率(%)	-0.631*	0.204*

*：表示對 a, b 值的影響較大

將係數 a 、 b 分別與重量、體積、密度、厚度、孔隙率與楊氏係數進行逐次迴歸分析，所得結果如下。

對係數 a 而言，逐次迴歸彰顯出孔隙率對係數 a 的影響。其係數 a 可以式 (3) 表達之 ($R^2=0.432$)。

$$a=60.1965-1.4714 \times \text{孔隙率} \quad (3)$$

由於係數 a 的迴歸變方分析表中之 P 值小於 0.01，可以得知係數 a 和孔隙率的迴歸關係存在且具有極顯著水準。

對係數 b 而言，逐次迴歸並不能找出顯著影響係數 b 的物理性質。

五、結論

使用接觸式探頭量測超音波時，探頭兩端施力的大小會對穿透農產品的波形有很大的影響，以往接觸式探頭的量測都會在探頭兩端施以定力來擷取波形。不過應用在農產品方面，探頭兩端施力的大小對於超音波穿透農產品的一些音波性質有何影響在文獻上並不多見。本研究目的為探討超音波探頭接觸力的大小對超音波性質的關係。

超音波穿透整顆不打洞的蘿蔔，以衰減係數(y)對施力(x)而言，其關係方程式形態為 $y=a+b\ln x$ 。係數 a 和蘿蔔孔隙率(%)之關係式為 $a=8.7194+2.168 \times \text{孔隙率}$ $R^2=0.3698$ 。係數 b 和蘿蔔體積(cm^3)之關係式為 $b=-9.9188+0.0075 \times \text{體積}$; $R^2=0.1126$ 。

以能量頻譜(y)對施力(x)而言，其關係方程式為 $y=a+b\ln x$ 。

係數 a 和蘿蔔孔隙率(%)之關係式為 $a=60.1965-1.4714 \times \text{孔隙率}$ $R^2=0.432$

係數 b 與蘿蔔的物理性質關係並不顯著。

在整顆馬鈴薯試驗中，衰減係數(y)與施力(x)的關係方程式為 $y=a+b\ln x$ 。不過

其係數 a, b 與馬鈴薯的物理性質之關係並不顯著。

計畫成果自評

本研究已達到預期目標，由超音波特性的來估算農產品物理性質。目前可估算孔隙率。本成果將發表於學術期刊。

參考文獻

1. 仲芳琦。1995。超音波特性的與蘿蔔品質相關性分析。碩士論文。國立臺灣大學。
2. 葉競榮、黃啟貞、陳必貫、吳學文。1988。超音波檢測法。中華民國非破壞檢測協會。
3. Abbott, J. A., G. S. Bachman, R. F. Childers, J. V. Fitzgerald, and F. J. Matusik. 1968. Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. Food Technology. 22:635-646.
4. Garrett, R. E. and R.B. Furry. 1972. Velocity of sonic pulses in apples. Transactions of the ASAE 15(4):770-774.
5. Haugh, C. G. 1993. Detecting hollow hearts in potatoes using non-invasive acoustic techniques. Int. Agrophysics 8(3):509-518.
6. Mizrach, A., N. Galili and G. Rosenhouse. 1989. Determination of fruit and vegetable properties by ultrasonic excitation. Transactions of the ASAE. 32(6):2053-2058.
7. Mizrach, A., N. Galili, S. Gan-mor, U. Flitsanov and I. Prigozin. 1994. Models for analyzing ultrasonic signal to assess avocado properties. Transactions of ASAE Report No.94-G-032.
8. Sarkar, N. and R. R. Wolfe. 1983. Potential of ultrasonic measurements in food quality evaluation. Transactions of the ASAE .26(2)624-629.
9. Upchurch, B. L., E. S. Furgason and G. E. Miles. 1985. Spectral analysis of acoustical signals for damage detection. ASAE Paper No.85-6014. St. Joseph, MI: ASAE.