

臺灣二〇〇七年國際科學展覽會

科 別：物理學

作 品 名 稱：西瓜成熟與否和聲音關係

學 校 / 作 者：國立彰化高級中學

吳元劭

作者簡介

我是吳元劭，就讀於國立彰化高中，從小好奇心難以滿足的我，對於週遭的事物提出疑問並思考，對我來說是很頻繁的事，並且常常想要親自解決心中的疑問。

使我高興的是：隨著知識（不管是對的還是錯的）不斷的增加，以及資源逐漸豐富，心中的疑問以及猜想能夠開始得到一小部分的滿足。希望我能夠更進一步的繼續鑽研對大自然發出的疑問。我很高興有這個機會申請中學生參與科學專題研究以及參加國際科學展覽會。



西瓜成熟與否與聲音的關係

The Relation between the Maturity and the Sound Effect of Watermelon

壹、摘要

一般人從小就知道如果要判斷西瓜有無成熟，只要用手輕拍瓜皮，利用聲音的特性就可以知道西瓜是否成熟，此技術看起來容易，卻需有多年經驗之西瓜商始可為之。本研究利用拍擊西瓜所造成之聲音進行非破壞性音波檢測，來探討西瓜之成熟度。換言之，本研究希望在依照西瓜商拍擊的習慣下，從客觀的科學角度，探討存在於西瓜商手上「聽音辨瓜」的奧秘。由研究結果得知，西瓜的拍聲在頻譜中可分為三個頻區，即西瓜殼所造成的高頻區，水及含水量高的果肉所形成的中頻區，及由空洞及含水量低的果肉所造成的低頻區，而西瓜商就是藉由這三種音頻所表現出的綜合效果進行判斷。

Abstract

The method, tapping the watermelon rind and listening to the sound, has been often used to judge whether the watermelon is mature or not. Although it is not difficult to tap the rind of a watermelon, it is not so easy to have a correct judgment of the maturity just from the sound you heard, unless you are an experienced watermelon farmer. In order to investigate the secret that the farmers have, this research detects and analyzes the sound of tapping watermelons in an objectively scientific way. According to the experimental results, the sound could be approximately partitioned into three regions in the frequency spectrum, denoted as high-frequency, mid-frequency, and low-frequency regions. The high-frequency region and mid-frequency region are resulted from the hard solid rind and the juicy flesh of a watermelon, respectively. As for the low-frequency region, it comes from the vacant holes or flesh with little amount of water. Based on the experiment, it can be concluded that the maturity of a watermelon can be correctly judged from the combination of these three frequency regions, just like the farmer's method.

貳、研究動機

一般人從小就知道如果要判斷西瓜有無成熟，只要用手輕拍瓜皮，利用聲音的特性就可以知道西瓜是否成熟。印象中第一次看到這種功力的是一位西瓜商，他常形容未成熟的西瓜拍起來硬梆梆的，成熟的西瓜聲音清脆好聽，而過熟的西瓜拍起來有如在拍大片肥肉一般。依西瓜商的說法應該很容易辨認，但事實不然。問到可否運用機器來分辨時，他卻認為這只能由經驗判斷，機器是辦不到的，這讓我產生疑問：既然可以由聲音分辨，那必然有其原理存在，這激起了我的探索心，所以我想以客觀的科學角度來探討存在於其中的奧秘。

參、研究目的

- 一、了解以手拍擊物體(以下稱拍聲)在頻譜中的意義(外在感官)。
 - (一)有水與無水在頻譜中的意義。
 - (二)了解頻譜中各個頻區的意義。
- 二、了解為何西瓜的拍擊聲在成熟與不成熟間存在差異(內在結構)。
- 三、探討西瓜商藉由拍擊西瓜找出好西瓜的奧秘。

肆、材料、方法與步驟

一、原理

- (一)成熟：引用生物學(Campbell and Reece 著)對果實的成熟所做的解釋：「發育未成熟的果實是酸的，堅硬，並且成綠色，而只有在種子成熟的時期才變成可食用。在果實中，乙烯產生的瞬間出現會引起成熟作用。細胞壁成份受到酵素作用而瓦解會軟化果實，並且澱粉和酸轉變為醣類則使果實變甜。」
- (二)隨著時間的推移，果實的細胞會破裂，並放出水份，最後導致西瓜果肉癱軟、西瓜殼軟化破裂(俗稱爛掉)。
- (三)從成熟到爛掉這段期間都可以在市面上賣，也就是西瓜商判斷好壞的時候，西瓜商通常把它分為「嫩」、「好」和「熟」這三個品質(為了易於區分，「嫩」在以下的報告稱「未成熟」，「好」稱「成熟」，「熟」稱「過熟」)，提供消費者購買的依據。
- (四)西瓜生長過程中，細胞壁會逐漸延長、個數增多，這使得過熟的西瓜瓜殼相較未成熟瓜殼之下，顯的較為鬆弛(產生頻率變低)。
- (五)西瓜隨著細胞的成長，在西瓜籽附近會產生裂縫、空洞。
- (六)傅利葉分析(FFT)的頻譜中，單位頻率的振幅長度平方即為
能量密度 $|f(\omega)|^2 \equiv S(\omega)$

二、器材

- | | | | |
|----------------------------------|---------------|----------------------|-------|
| 1.PASCO Scientific Interface 750 | 2.Data Studio | 3.PASCO sound sensor | |
| 4.椅子 | 5.EXCEL 軟體 | 6.西瓜(十五顆) | 7.皮球。 |

三、方法與步驟

本實驗可分為兩個階段，第一階段是皮球測量，另一階段是西瓜測試。

(一) 皮球測量：

1. 有水與無水在頻譜中的意義

- (1) 先測沒有水且壓力一定的皮球三次，並記錄其頻譜；
- (2) 加約四分之一於球體體積的水量於皮球內；
- (3) 拍擊皮球近地側三次，並記錄其頻譜。

2. 了解各個頻區在頻譜中的意義

- (1) 整理步驟 1. 的圖檔數據，找出特性；
- (2) 做出歸納，以利西瓜測量後的數據解釋。

(二) 西瓜測試：

1. 本研究向西瓜商買了十五個西瓜，每五個分一類，總共三類，這三類即為西瓜商判斷的：「嫩」(未成熟)、「好」(成熟)和「熟」(過熟)。
2. 本研究把西瓜分為四個部位，統一設定西瓜殼顯示出較為泛白色的區為四號(此區位係成長時壓在地上所造成的)，其對面為一號，其餘兩側各為二號及三號。手即是拍這些地方產生拍擊聲。(圖 1 及 2)

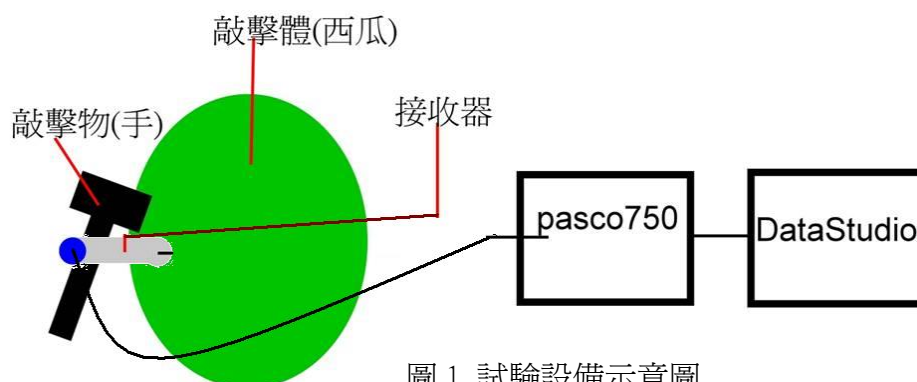


圖 1 試驗設備示意圖

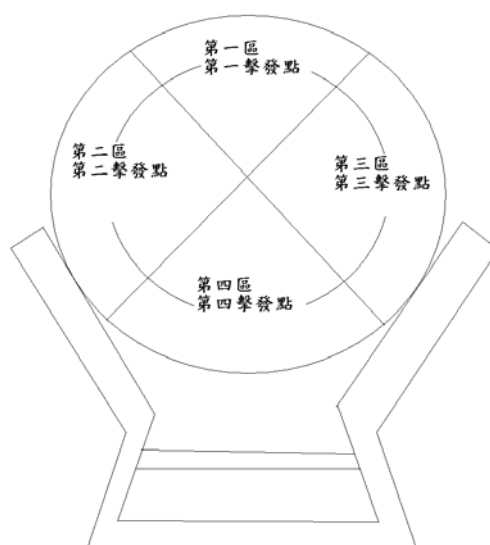


圖 2 各區相對位置，下方為椅子倒置

3.本研究把椅腳朝上，用來支撐西瓜，然後按照圖 2 的標示拍擊，並以接收器收音。聲音接收的方式：與手同側(對西瓜)離西瓜三到五公分(同側收音)(圖 3)



圖 3 拍擊西瓜裝置

4.收音後，DATASTUDIO 會以振波圖呈現，本研究再擷取所需要的範圍作 FFT 分析，共得出 180 張頻譜圖。選取範圍的起始點是取拍聲開始時間秒數無條件捨去至小數點第一位，時間長則為 0.5 秒(例如拍聲開始為 1.74 秒，則範圍取 1.7~2.2 秒)(圖 4)

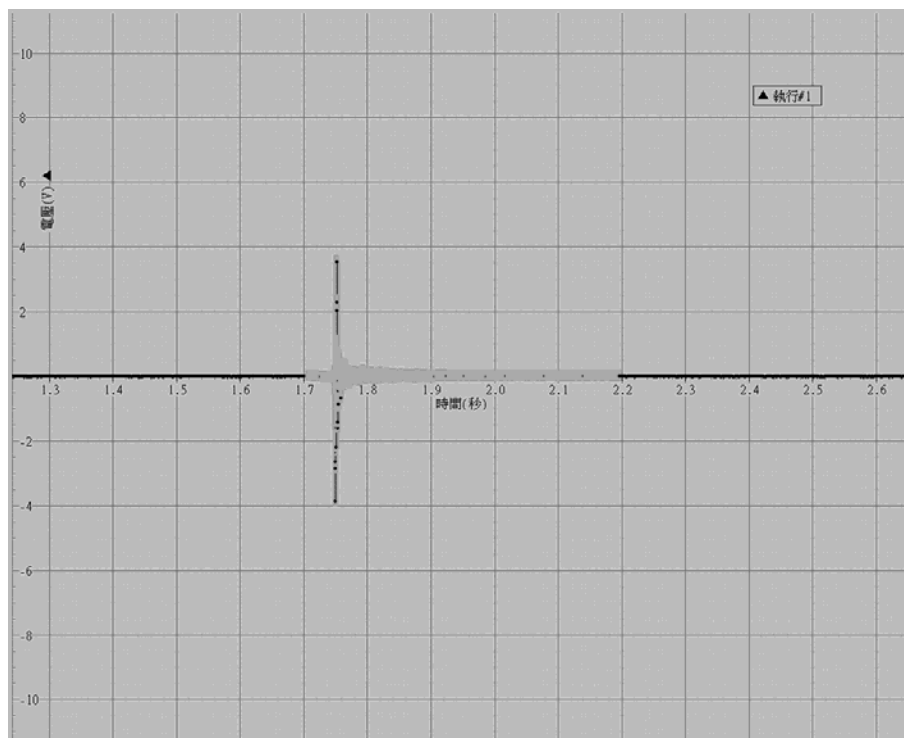


圖 4 振波圖

5.依據皮球測量的結果，再觀察大部份的西瓜頻譜圖 (如果它呈現連續頻譜則無法明顯分區)在 400~700Hz 及 1000~1400Hz 兩個範圍裡有某些頻率的聲音強度很小(看起來類似裂谷)(圖 5)，因此本研究假設西瓜亦可分為三個區域：即低頻區(0~500Hz)、中頻區(500~1200Hz)，及高頻區(1200~2000Hz)。

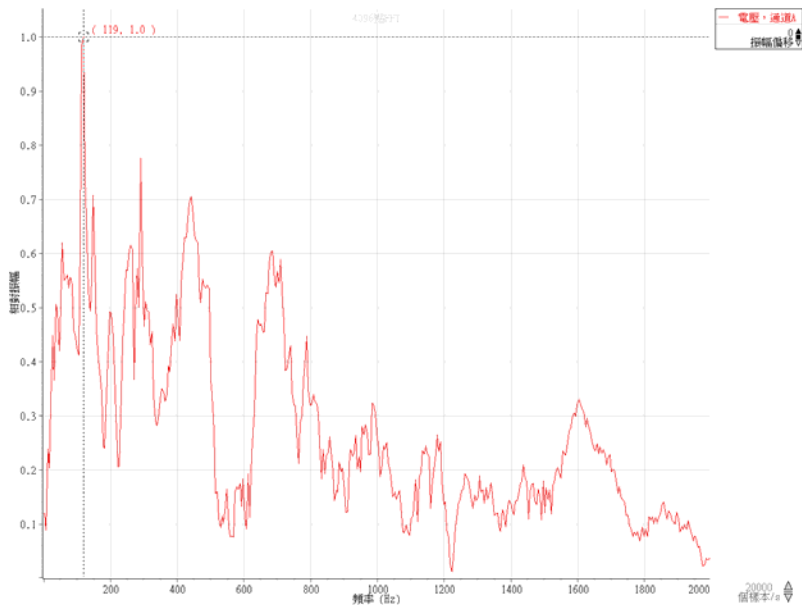


圖 5 西瓜的拍聲頻譜圖

6.利用上述的方法先把同一類西瓜的每個拍擊點的三個頻區（低頻區、中頻區及高頻區）所佔整體能量的比率算出來（利用前述原理(六)），所以每個西瓜在低、中、高頻區各有四個值（因為有四個拍擊點），其詳細程序在研究結果中一併敘述（第 7 頁）。

7.解釋數據所呈現出來的意義。

伍、研究結果

一、皮球注入水的發現

將皮球加入水後，與沒加水的皮球相較(圖 6)，發現加入水的皮球的主頻率(圖 7)存在於 300~1200Hz 頻區，且明顯可發現三個能量區間，即低頻區（0~300Hz）、中頻區（300~1200Hz）及高頻區（1200~2000Hz）。

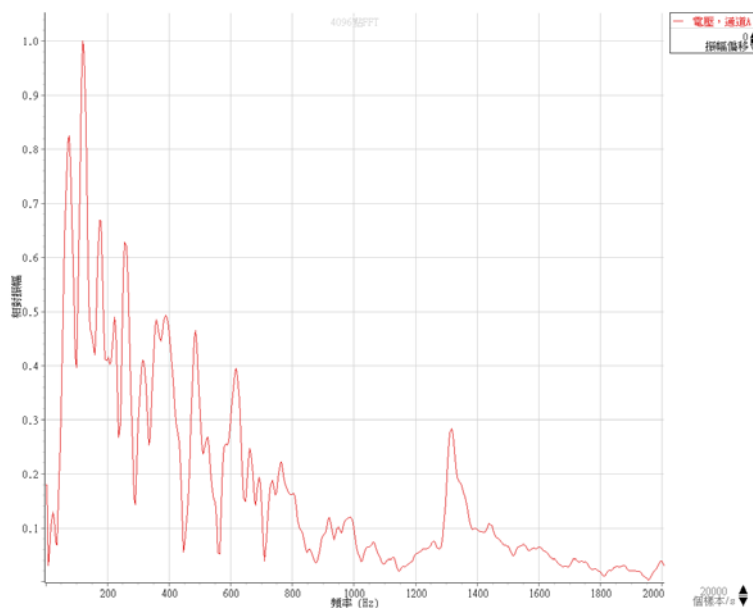


圖 6 沒加水的皮球的主頻率

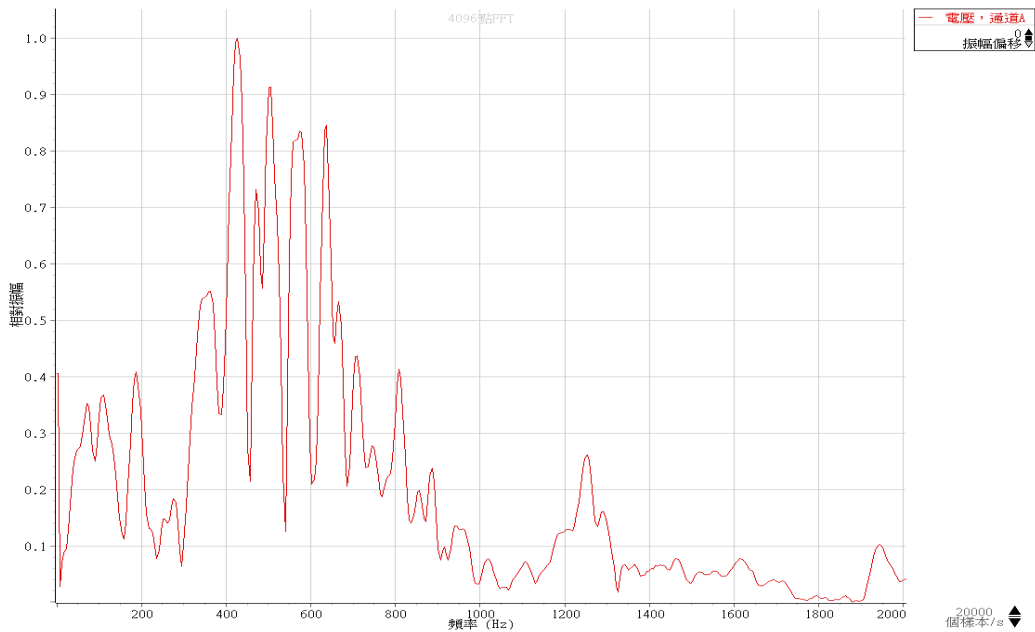


圖 7 加入水的皮球的主頻率

二、西瓜測量的發現

依方法(二)-6.及下述程序，得出本研究之基礎資料（另詳見附錄表 1-15），說明如下：

(一)把同一類西瓜中（例如，未成熟、成熟、過熟）的每一個西瓜的一號區之低、中、高三個頻區能量比率各計算其平均值。此處能量比率的計算方法是採用原理(六)，但因為軟體沒有這項功能，故本研究把頻譜中所需頻區內的每個頻率對應的相對振幅值平方然後相加（類似於積分手法）除以三頻區內各個頻率對應的相對振幅平方和即得能量比率。

(二)同上，但是是取二號區，依此類推至四號區（圖 8、9、10、11）

(三)同上，並取全部的方向(綜合 1、2、3 及 4 號區取平均)（圖 12、13）

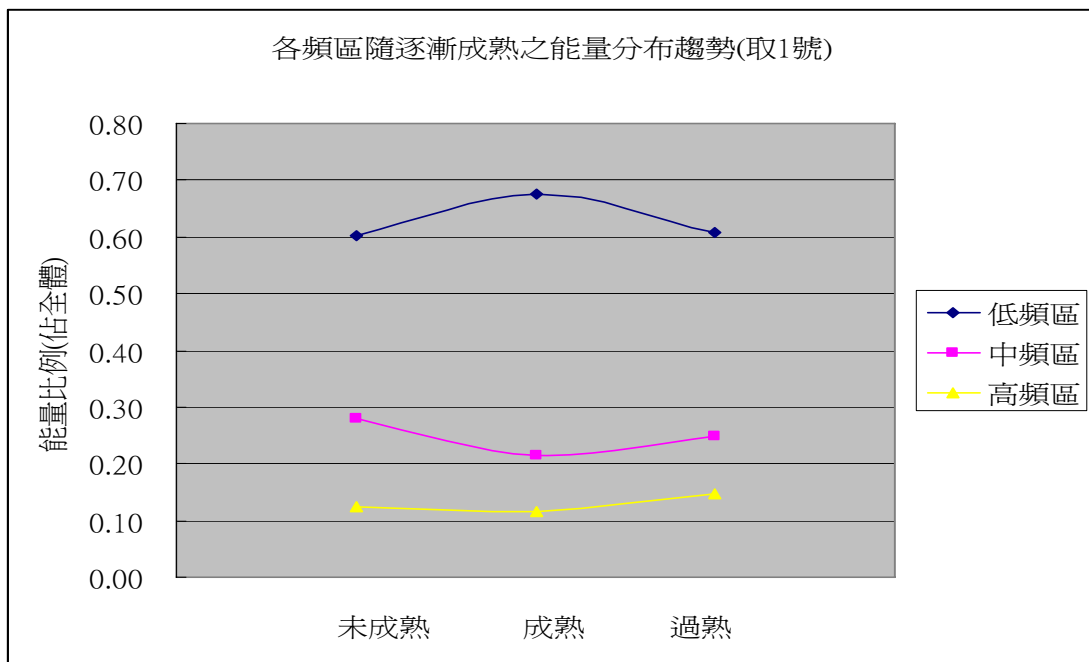


圖 8 隨成熟度之增加，各頻區之能量分佈變化圖（1 號拍擊點）

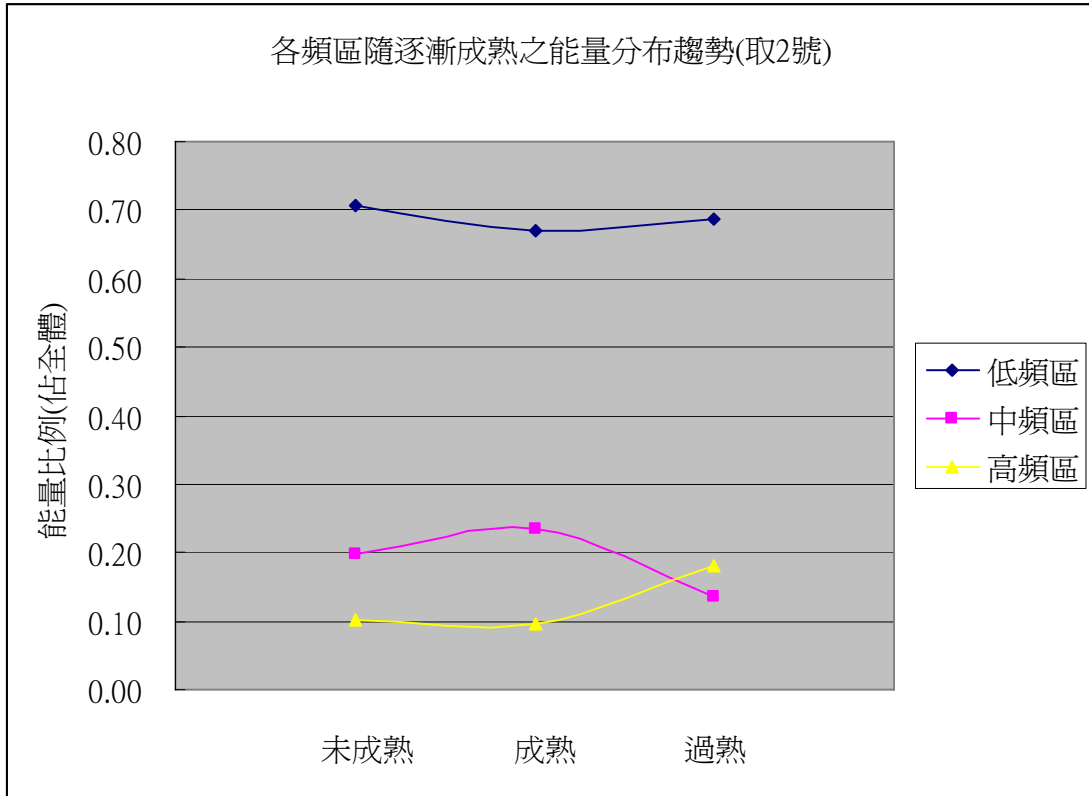


圖 9 隨成熟度之增加，各頻區之能量分佈變化圖（2 號拍擊點）

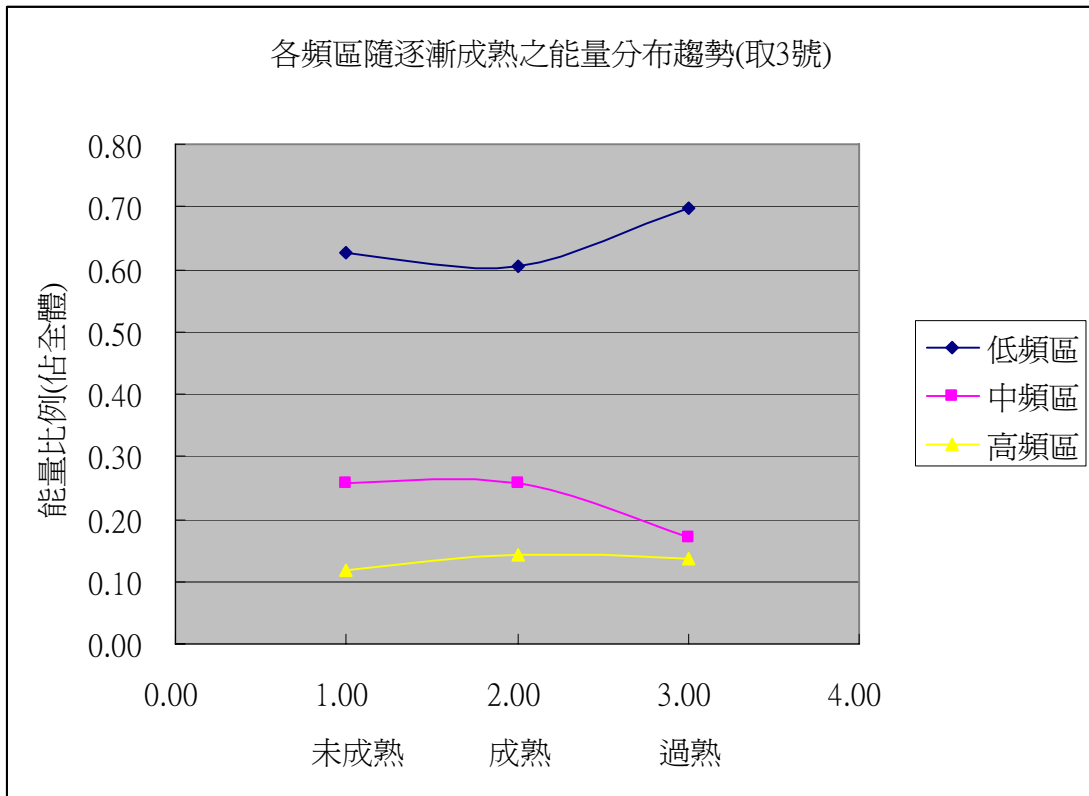


圖 10 隨成熟度之增加，各頻區之能量分佈變化圖（3 號拍擊點）

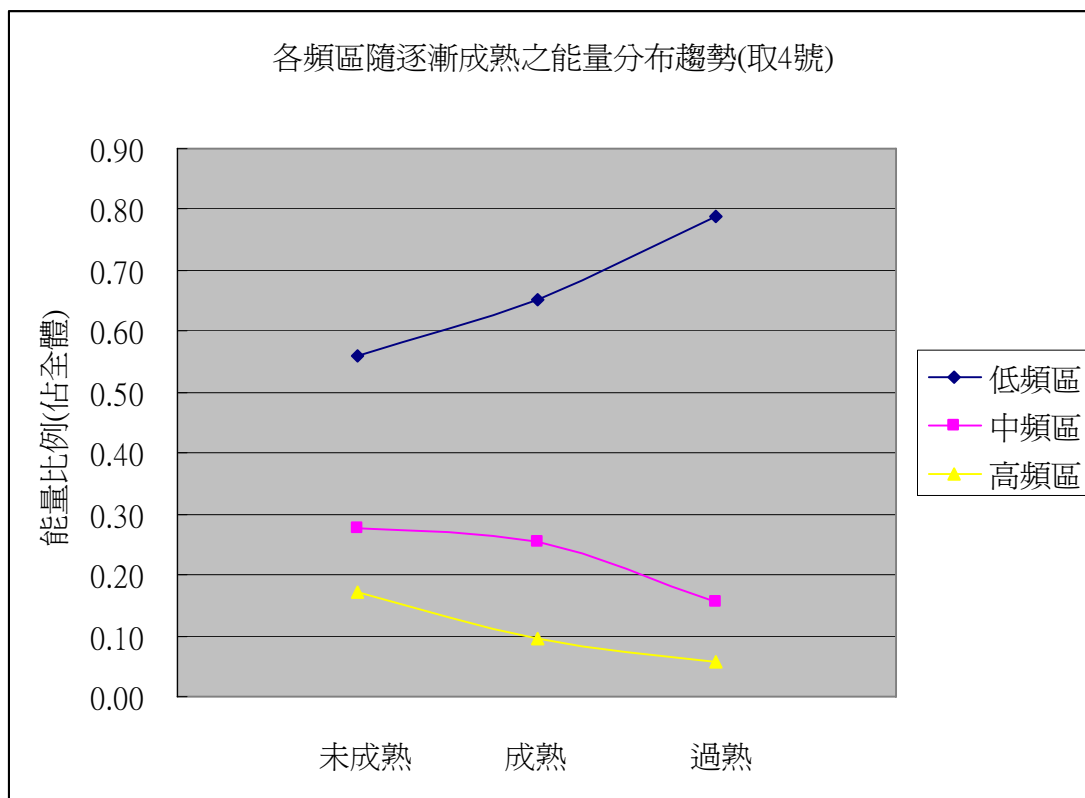


圖 11 隨成熟度之增加，各頻區之能量分佈變化圖（4 號拍擊點）

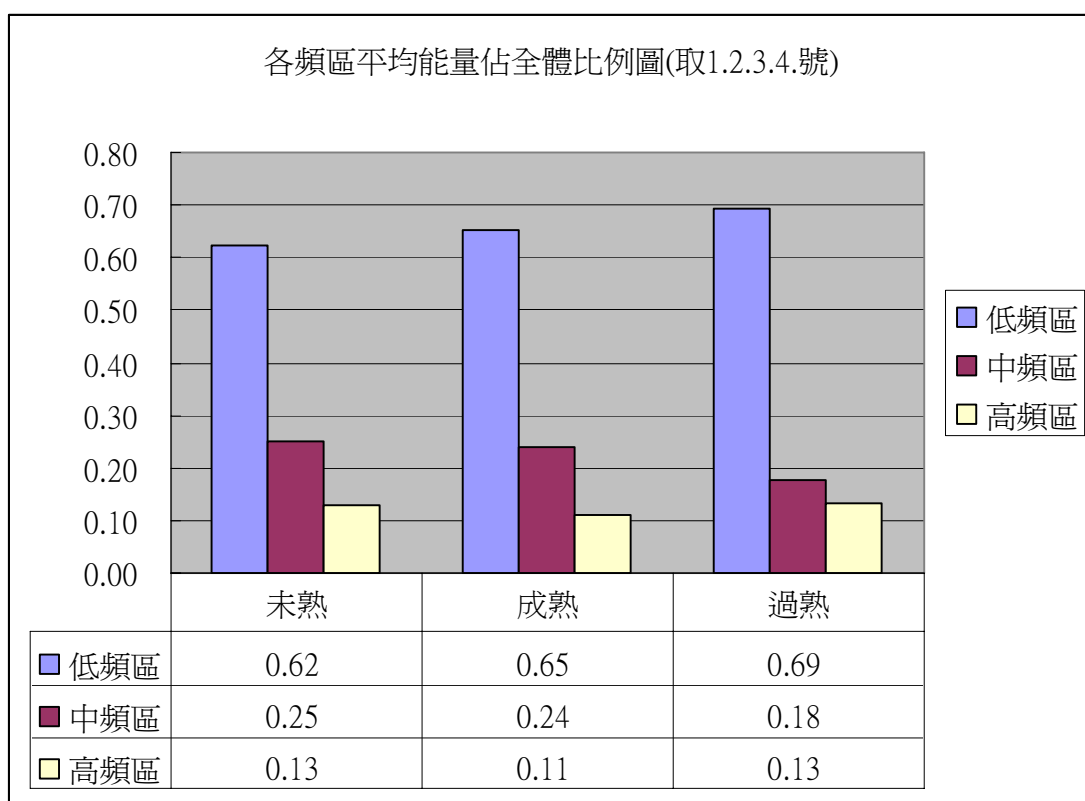


圖 12 不同類西瓜其各頻區之能量分佈圖（1-4 號拍擊點）

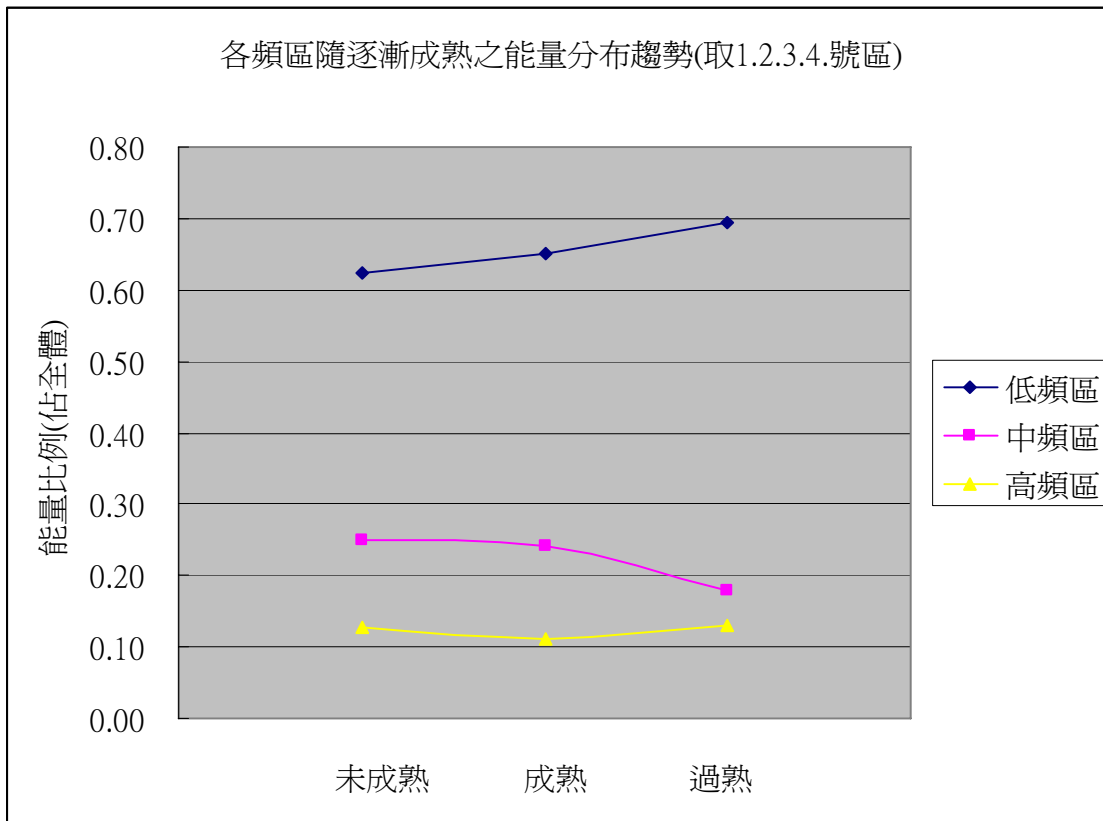


圖 13 隨成熟度之增加，各頻區之能量分佈變化圖（1-4 號拍擊點）

經由本研究之基礎資料（詳見附錄表 1-15），繪製出圖 8 至圖 11，分析後發現：

- (一)各拍擊點所呈現出來之低頻與中頻，在未成熟及過熟兩類西瓜上，其差異有逐漸拉大的趨勢並且中頻及高頻差距逐漸變小（甚至在過熟時高頻區能量比率超越中頻區，如圖 9）；另從圖 12 及圖 13 亦可發現，即使是將各拍擊點綜合分析，亦呈現相似之趨勢。
- (二)低頻區能量佔整體比率明顯比中、高還大。

表 1 不同拍擊點上不同類別西瓜對於不同頻區能量值的比率表

一號拍擊點				
西瓜類別	低頻區	中頻區	高頻區	低與中頻能量比率之差異值
未熟	0.60	0.28	0.12	0.32
成熟	0.68	0.21	0.11	0.46
過熟	0.61	0.25	0.15	0.36

二號拍擊點

西瓜類別	低頻區	中頻區	高頻區	低與中頻能量比率之差異值
未熟	0.71	0.20	0.10	0.51
成熟	0.67	0.24	0.10	0.43
過熟	0.69	0.14	0.18	0.55

三號拍擊點

西瓜類別	低頻區	中頻區	高頻區	低與中頻之差異值
未熟	0.63	0.26	0.12	0.37
成熟	0.61	0.26	0.14	0.35
過熟	0.70	0.17	0.14	0.53

四號拍擊點

西瓜類別	低頻區	中頻區	高頻區	低與中頻之差異值
未熟	0.56	0.28	0.17	0.28
成熟	0.65	0.26	0.10	0.40
過熟	0.79	0.16	0.06	0.63

- (三)就拍擊點而言，由表 1 可發現，未成熟的西瓜在 4 號拍擊點在高頻區之能量值所佔比率（0.17）比 1 號拍擊點之能量值所佔比率（0.12）高；過熟的西瓜在 4 號拍擊點在高頻區之能量值所佔比率（0.06）則比 1 號拍擊點之能量值所佔比率（0.15）低。
- (四)就低頻區所佔之比率而言，過熟西瓜在第 2、3、4 三個拍擊點，比其他兩類西瓜均來得高，第 1 拍擊點則未發現。
- (五)就中頻區所佔之比率而言，未成熟及成熟西瓜在第 2、3、4 三個拍擊點，明顯比過熟西瓜來得高，第 1 拍擊點則未發現。

表 2 不同類型西瓜其低頻與中頻能量比率差異值及標準差表

西瓜類別	平均	標準差
未熟	0.37	0.09
成熟	0.41	0.04
過熟	0.52	0.10

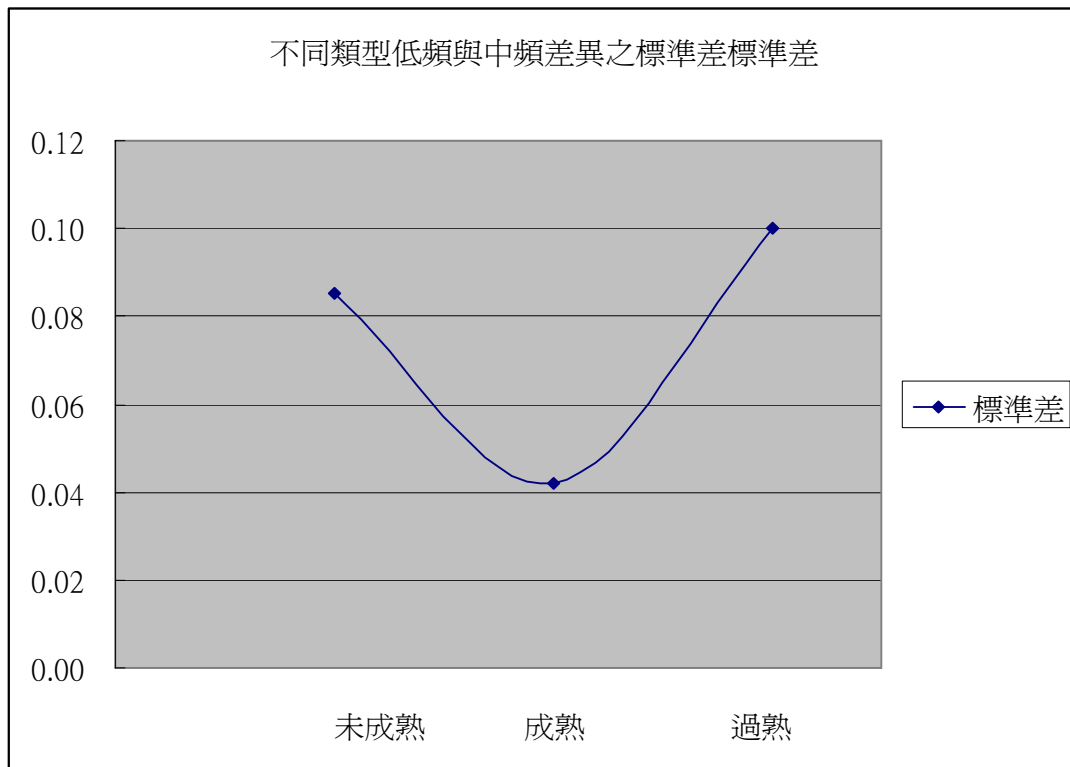


圖 14 不同類型西瓜其低頻與中頻差異值及標準差圖

(六)由表 2 及圖 14 可發現，成熟類型各西瓜在不同方位其低頻與中頻差異值之標準差小於未成熟與過熟兩類西瓜。

陸、討論

- 一、手拍物體時，手的強度、快慢都會影響到拍聲的聲音結構，唯一的辦法就是在拍之前訓練自己把力道快慢盡量控制成一定，爲了將拍擊力道的誤差降低，本研究找了一個四十年的挑西瓜專家進行拍擊。
- 二、爲了降低用來固定西瓜的物體因西瓜震動而影響聲音的效果，所以本實驗把椅架朝上，用來支撐西瓜並減少接觸西瓜的面積，如此可減少聲音的誤差。
- 三、本研究一開始先測試兩顆西瓜，觀察其頻譜的特性，結果發現其頻譜在某些頻率的聲音強度相較於兩旁的頻率的聲音強度，它的聲音強度過低，形成了類似裂谷的形狀，也就是頻譜中形成了若干個頻區。所以本研究假設這是由西瓜的不同結構所引起的。
- 四、上述的假設基本的影響元素是空氣、水及固體。爲了證實空氣、水以及固體物質在頻譜中所存在的頻區有差異性，本研究利用皮球中水的有無來證實基本假設是正確的。
- 五、本研究之所以使用皮球的原因是因為考慮到皮球在製造的材質和結構方面極爲單純，應該可以當作一個合適的模型，所以本研究認爲應該可以在皮球的實驗中看出空氣、水及固體(皮球表面)於頻譜中的差異。

六、因為皮球外皮是一個彈性膜，所以拍擊後會產生多個頻率使得原本想用它來當模型產生了障礙，不過因為皮球皮膜所產生的頻率的聲音強度並不高，所以在沒有加水的皮球的拍聲頻譜中，主要還是呈現皮球內部中空部份所產生的音頻，所以加水之後的皮球拍聲所產生頻譜圖中，水所產生的頻區就極為明顯。(見研究結果一、)

七、依據上述觀察結果，本研究假設西瓜可以分為三個獨立區，高頻區為西瓜殼所造成的，中頻區為水以及含水量高的果肉，低頻區為空洞及含水量低的果肉造成的。(見圖 15)

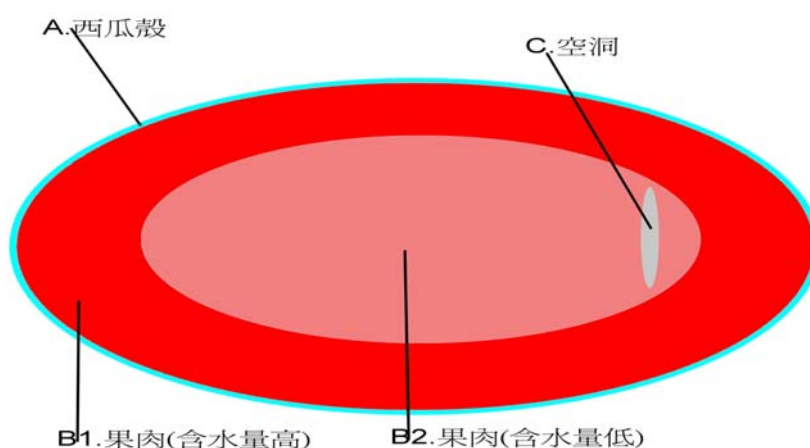


圖 15 西瓜三個獨立區示意圖

八、本實驗在參照艾群（1996）根據其數據資料發現未成熟與成熟西瓜之主頻率差距不大(未成熟西瓜平均 172.67Hz，成熟西瓜平均 174.20Hz)，依據人耳對聲音的感覺來看是分辨不出來的，所以研判西瓜商可以分辨的原因在於高低頻比率的變化。

九、本研究主要是要探究為何我們可以用拍聲來判斷西瓜成熟，而當西瓜商在辨別的時候，耳朵(接收器)都是與拍擊點同側，固以同側收音為主要方法。反側收音為現今關於非破壞性檢測的論文的主要收音方式，不過反側收音將會造成頻譜中高頻區聲音強度幾乎為零，因為高頻率的聲音極易衰減。(見圖 16、17)

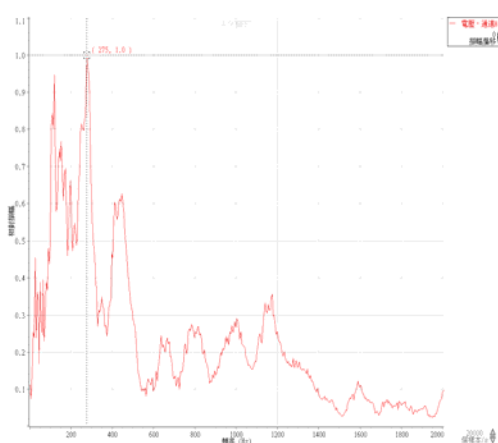


圖 16 同側收音之西瓜頻譜

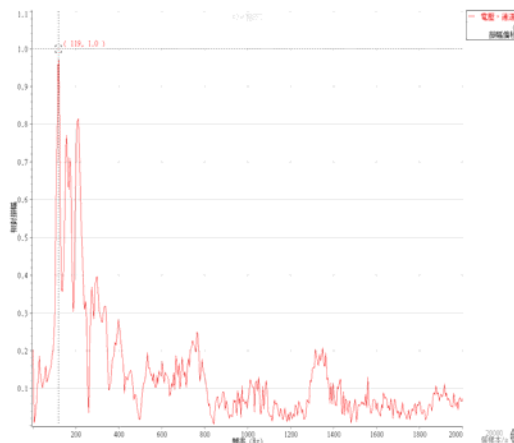


圖 17 反側收音之西瓜頻譜

十、本研究將圖上的點連接起來，畫成一平滑曲線，照常理來說，因為是不同的三類，所以應該不能把點與點連起來，但本實驗所探討的西瓜是一個生物體，是一個會隨時間不斷成長(在與莖連接時)的物體，所以當西瓜商分成三類時必然會被迫把介於成熟與未成熟或介於成熟與過熟之間的西瓜分到某一類去，由此推斷：假如樣本數(西瓜)無限多的話，將可以畫成一條曲線。本實驗共只測試十五顆西瓜，對於曲線的準確性可能降低，但想法以及趨勢應該正確。

十一、由趨勢圖可以發現，二號擊發點和三號擊發點的圖示極為相像的，原因應該是因為二、三號區的瓜殼厚度相同，內部結構也相似，從西瓜商拍西瓜的動作常可看到，通常會尋找一個適當的拍擊點進行辨認，經訪談亦可證實，西瓜商多由此二區拍聲辨別。

十二、由研究結果二、-(三)，讓人想到「為何過熟西瓜有較多的拍擊點，會發生較高比率之低頻區」，依照原理(五)可知，西瓜逐漸轉為過熟後，因細胞的成長，在西瓜籽附近會產生裂縫、空洞。換言之，因為空洞的出現機會增大，導致頻譜之低頻區的能量增大。

十三、研究結果二、-(六) (如表 2、圖 14)，本研究以為：

(一)成熟的西瓜，水分在生物體內結構近似均質，所以各拍擊點的拍聲在頻譜中對於低頻區與中頻區能量比率之差異變化不大 (標準差 0.04)。

(二)未成熟西瓜是因為內部細胞尚未成長至均質的狀態 (其無論在養分或水分含量方面都尚未均勻分佈在果實中)，所以導致了在各拍擊點所產生的能量比率之差異變化較大 (標準差 0.09)。

(三)過熟的西瓜，由於細胞中的水分已經逐漸釋放出來，但並非同時且均勻的釋放出，所以亦導致了在各拍擊點所產生的能量比率之差異變化較大 (標準差 0.10)。

十四、上述所解釋的現象在頻譜圖中呈現出來的現象就是指連續頻譜的有無 (圖 18、19、20、21、22)。連續頻譜的原因是因為水所造成的，因為水是果肉裡唯一有可能流動的物質，而水多的地方將造成拍聲的能量被分散到各個頻率，使的頻譜中沒有明顯的主頻率 (能量不集中)。在圖 18、19 中可以看到同一顆未成熟西瓜在不同方位有很大的差異，判斷差異的存在原因就是水的分佈不均。在過熟西瓜中也看到此一現象。而在成熟西瓜中，雖然存在著些微連續的頻譜，但每個拍擊點頻譜波形相似。

十五、從以上的發現綜合後應該可以準確的判斷西瓜成熟與否。

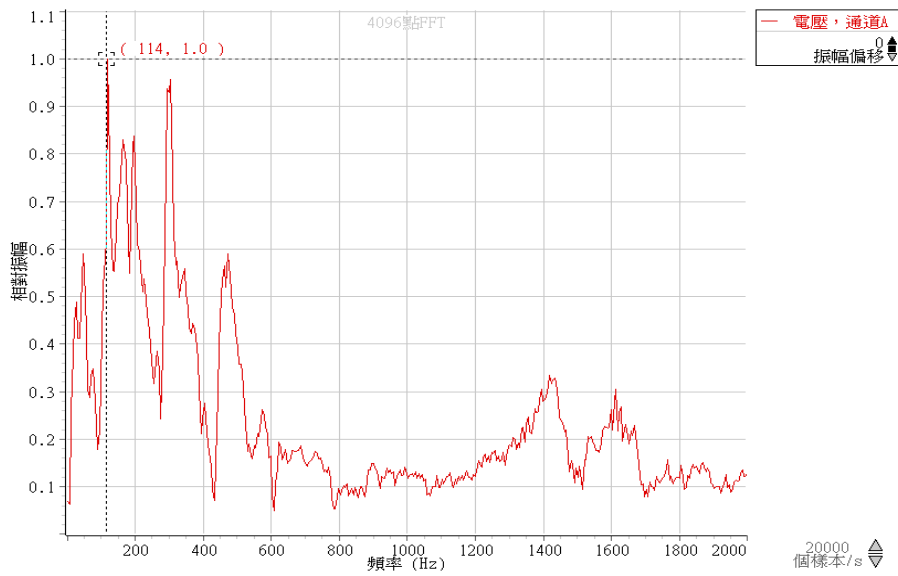


圖 18 未成熟西瓜一號拍擊點拍聲頻譜

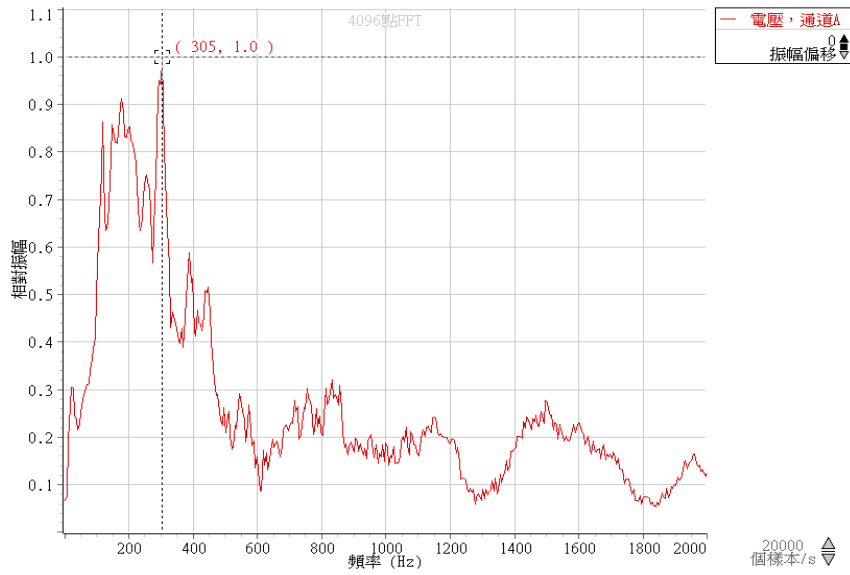


圖 19 同一顆未成熟西瓜二號拍擊點拍聲頻譜



圖 20 成熟西瓜拍聲頻譜圖



圖 21 過熟西瓜一號拍擊區的拍聲頻譜圖

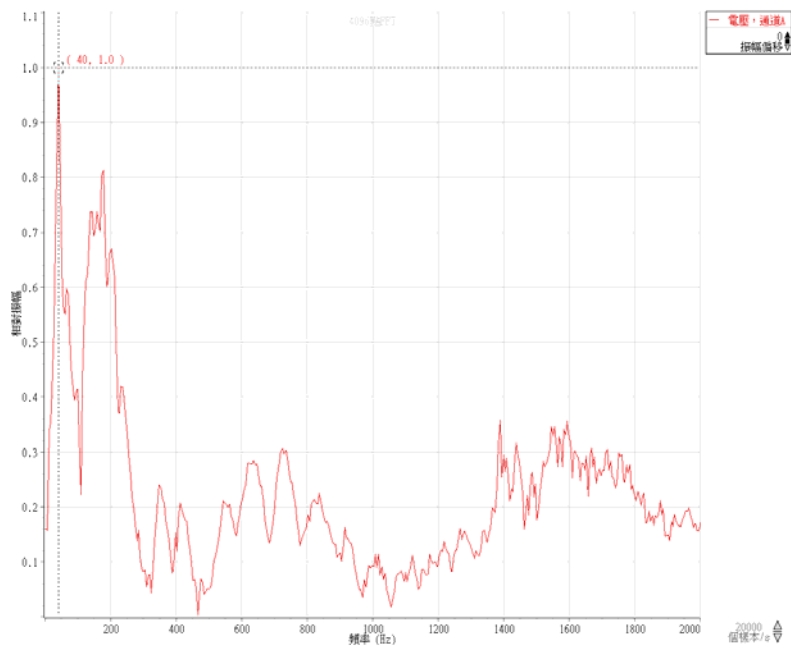


圖 22 同一顆過熟西瓜二號拍擊點的拍聲頻譜

柒、結論

- 一、低頻區所佔全體的**能量比率**隨西瓜之成熟有上升的趨勢，而中頻能量隨之減少。
- 二、西瓜的拍聲在頻譜中可分為三個頻區。
- 三、此三個頻區對應西瓜本體的部位分別是：高頻區為西瓜殼所造成的，中頻區為水以及含水量高的果肉，低頻區為空洞及含水量低的果肉造成的。
- 四、反側收音由於與西瓜商拍西瓜之習慣不符合且易造成頻譜中高頻區聲音強度幾乎為零，故較不適合本研究。
- 五、本研究可解釋為何西瓜商可以依聲音辨別西瓜的成熟度（討論十二），換言之，此種方法看起來傳統，卻也可獲得客觀原理之印證，不失為辨別西瓜成熟簡易的方法之一。
- 六、本研究礙於樣本數較少，趨勢圖之誤差可能因此增加，但配合原理及專家瓜農的訪談加以印證，已可解釋此趨勢所呈現出之意涵。
- 七、本實驗依照不同類型西瓜其低頻與中頻差異值及標準差，以及針對西瓜商判斷的依據的探討，應可以客觀判斷出西瓜的類型。

捌、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**，第5卷，第4期，第57-71頁。
- 廖政輯（1989）。**蘿蔔之音波響應及其密度關係之探討**。台灣大學農業工程學碩士論文。
- Armstrong, P. R. (1989). *Measurement of apple firmness using the acoustic impulse response*.
- Burrus, C. S., Parks, T. W., Potts, J. F. (1985). *DFT / FFT and Convolution Algorithms: Theory and Implementation*. New York: Wiley.
- Ramirez, R.W., Englewood Cliffs (1985). *The FFT / Fundamentals and Concepts*. Prentice-Hall.
- Rossing, T.D. (1990). *The Science of Sound*. Addison-Wesley Publishing Company.

附錄 I 各類各顆西瓜在各拍擊點不同頻區能量佔全體比率表

附錄表 1 未成熟類(B 類)的一號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
B1-1	0.77	0.09	0.15	0.62	0.68
B1-2	0.78	0.14	0.09	0.69	0.64
B1-3	0.63	0.24	0.12	0.51	0.39
B1-4	0.56	0.23	0.22	0.34	0.33
2.3 區平均	0.71	0.19	0.11	0.6	0.52
1.2.3.區平均	0.73	0.16	0.12	0.61	0.57
四區平均	0.69	0.17	0.15	0.54	0.52

附錄表 2 未成熟類(B 類)的二號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
B2-1	0.68	0.25	0.08	0.6	0.43
B2-2	0.47	0.47	0.08	0.39	0
B2-3	0.59	0.34	0.07	0.52	0.25
B2-4	0.55	0.39	0.07	0.48	0.16
平均 2.3 區	0.53	0.41	0.07	0.46	0.12
平均 1.2.3.區	0.58	0.35	0.08	0.5	0.23
平均四區	0.57	0.36	0.07	0.5	0.21

附錄表 3 未成熟類(B 類)的三號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
B3-1	0.66	0.24	0.10	0.56	0.42
B3-2	0.61	0.31	0.10	0.51	0.3
B3-3	0.66	0.25	0.09	0.57	0.41
B3-4	0.64	0.31	0.05	0.59	0.33
平均 2.3 區	0.64	0.28	0.10	0.54	0.36
平均 1.2.3.區	0.65	0.27	0.10	0.55	0.38
平均四區	0.64	0.28	0.09	0.55	0.36

附錄表 4 未成熟類(B 類)的四號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
B4-1	0.62	0.27	0.11	0.51	0.35
B4-2	0.76	0.18	0.07	0.69	0.58
B4-3	0.68	0.26	0.06	0.62	0.42
B4-4	0.68	0.30	0.03	0.65	0.38
平均 2.3 區	0.72	0.22	0.06	0.66	0.5
平均 1.2.3.區	0.69	0.24	0.08	0.61	0.45
平均四區	0.69	0.25	0.06	0.63	0.44

附錄表 5 未成熟類(B 類)的五號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
B5-1	0.53	0.42	0.06	0.47	0.11
B5-2	0.80	0.17	0.03	0.77	0.63
B5-3	0.46	0.36	0.19	0.27	0.1
B5-4	0.43	0.30	0.28	0.15	0.13
平均 2.3 區	0.63	0.27	0.11	0.52	0.36
平均 1.2.3.區	0.59	0.32	0.09	0.5	0.27
平均四區	0.55	0.31	0.14	0.41	0.24

附錄表 6 成熟類 (M 類)的一號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
M1-1	0.48	0.26	0.26	0.22	0.22
M1-2	0.73	0.18	0.09	0.64	0.55
M1-3	0.52	0.20	0.28	0.24	0.32
M1-4	0.65	0.27	0.08	0.57	0.38
平均 2.3 區	0.63	0.19	0.18	0.45	0.44
平均 1.2.3.區	0.58	0.22	0.21	0.37	0.36
平均四區	0.60	0.23	0.18	0.42	0.37

附錄表 7 成熟類 (M 類)的二號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
M2-1	0.78	0.17	0.05	0.73	0.61
M2-2	0.82	0.14	0.03	0.79	0.68
M2-3	0.76	0.16	0.08	0.68	0.6
M2-4	0.78	0.20	0.03	0.75	0.58
平均 2.3 區	0.79	0.15	0.06	0.73	0.64
平均 1.2.3.區	0.79	0.16	0.06	0.73	0.63
平均四區	0.79	0.17	0.05	0.74	0.62

附錄表 8 成熟類 (M 類)的三號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
M3-1	0.57	0.36	0.08	0.49	0.21
M3-2	0.75	0.20	0.05	0.7	0.55
M3-3	0.50	0.39	0.11	0.39	0.11
M3-4	0.57	0.25	0.18	0.39	0.32
平均 2.3 區	0.62	0.30	0.08	0.54	0.32
平均 1.2.3.區	0.61	0.32	0.08	0.53	0.29
平均四區	0.60	0.30	0.11	0.49	0.3

附錄表 9 成熟類 (M 類)的四號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
M4-1	0.76	0.17	0.09	0.67	0.59
M4-2	0.61	0.28	0.12	0.49	0.33
M4-3	0.45	0.36	0.19	0.26	0.09
M4-4	0.59	0.35	0.07	0.52	0.24
平均 2.3 區	0.53	0.32	0.15	0.38	0.21
平均 1.2.3.區	0.61	0.27	0.13	0.48	0.34
平均四區	0.60	0.29	0.12	0.48	0.31

附錄表 10 成熟類 (M 類)的五號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
M5-1	0.79	0.11	0.10	0.69	0.68
M5-2	0.44	0.37	0.19	0.25	0.07
M5-3	0.80	0.17	0.04	0.76	0.63
M5-4	0.67	0.21	0.13	0.54	0.46
平均 2.3 區	0.62	0.27	0.12	0.5	0.35
平均 1.2.3.區	0.67	0.22	0.11	0.56	0.45
平均四區	0.67	0.22	0.12	0.55	0.45

附錄表 11 過熟類(O 類)的一號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
O1-1	0.51	0.35	0.15	0.36	0.16
O1-2	0.83	0.10	0.07	0.76	0.73
O1-3	0.74	0.16	0.10	0.64	0.58
O1-4	0.80	0.16	0.04	0.76	0.64
平均 2.3 區	0.79	0.13	0.09	0.7	0.66
平均 1.2.3.區	0.69	0.21	0.11	0.58	0.48
平均四區	0.72	0.19	0.09	0.63	0.53

附錄表 12 過熟類(O 類)的二號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
O2-1	0.82	0.12	0.06	0.76	0.7
O2-2	0.50	0.18	0.33	0.17	0.32
O2-3	0.75	0.11	0.15	0.6	0.64
O2-4	0.68	0.22	0.10	0.58	0.46
平均 2.3 區	0.62	0.14	0.24	0.38	0.48
平均 1.2.3.區	0.69	0.13	0.18	0.51	0.56
平均四區	0.69	0.16	0.16	0.53	0.53

附錄表 13 過熟類(O 類)的三號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
O3-1	0.60	0.24	0.17	0.43	0.36
O3-2	0.60	0.13	0.28	0.32	0.47
O3-3	0.73	0.22	0.05	0.68	0.51
O3-4	0.81	0.13	0.06	0.75	0.68
平均 2.3 區	0.66	0.17	0.16	0.5	0.49
平均 1.2.3.區	0.64	0.19	0.17	0.47	0.45
平均四區	0.69	0.18	0.14	0.55	0.51

附錄表 14 過熟類(O 類)的四號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
O4-1	0.66	0.15	0.19	0.47	0.51
O4-2	0.76	0.05	0.19	0.57	0.71
O4-3	0.82	0.13	0.05	0.77	0.69
O4-4	0.86	0.09	0.05	0.81	0.77
平均 2.3 區	0.79	0.09	0.12	0.67	0.7
平均 1.2.3.區	0.75	0.11	0.15	0.6	0.64
平均四區	0.78	0.11	0.12	0.66	0.67

附錄表 15 過熟類(O 類)的五號西瓜各拍擊點在不同頻區能量佔全體比率表

方位	低頻區	中頻區	高頻區	低—高	低—中
O5-1	0.44	0.39	0.17	0.27	0.05
O5-2	0.74	0.22	0.04	0.7	0.52
O5-3	0.44	0.23	0.33	0.11	0.21
O5-4	0.78	0.18	0.04	0.74	0.6
平均 2.3 區	0.59	0.22	0.19	0.4	0.37
平均 1.2.3.區	0.54	0.28	0.18	0.36	0.26
平均四區	0.60	0.25	0.15	0.45	0.35

評語

此專題以研究敲西瓜發生和西瓜成熟度的相關度。取材非常有趣且生活化，不足之處為西瓜熟度之定義不明，兩者關聯沒有很明確的數量區別。