

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學科

佳作

030819

西瓜之音 = ? Hz

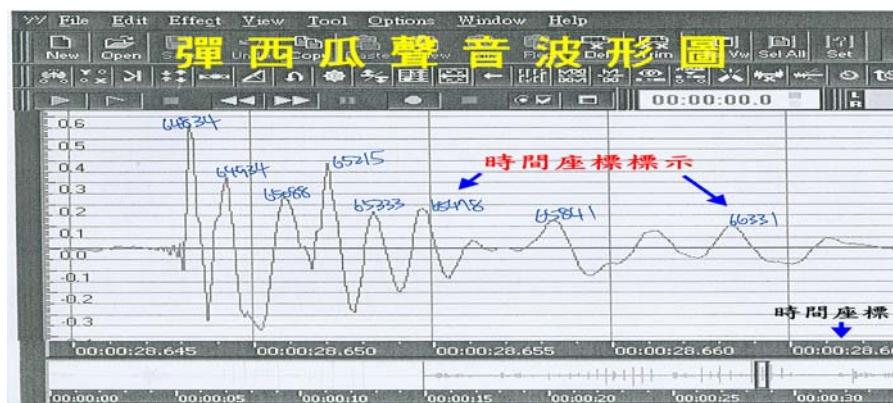
學校名稱： 高雄市立五福國民中學

作者：	指導老師：
國二 王裕中	許峰銘
國二 洪崑涵	林佳蓉
國二 黃俊諺	
國二 黃俊穎	

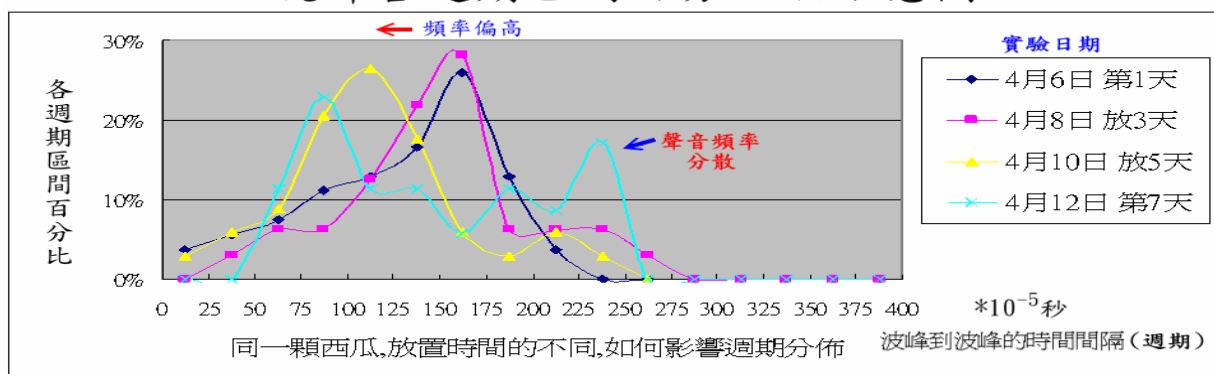
關 鍵 詞：週期區間統計法、西瓜、Goldwave

摘要

本研究是利用聲波原理來探討拍彈西瓜與西瓜品質好壞的關係。並設計新方法—週期區間統計法，對西瓜好壞做出定量且有效的判斷。我們以拍、彈方式錄下聲音，在波形圖中標出波峰的時間座標，分別用頻率平均法與週期區間統計法，來分析西瓜受敲擊時其聲音週期（頻率）的分布狀況。結果發現使用頻率平均法，並無法分析聲音的好壞。但用週期區間統計法，卻可看出好西瓜的頻率較為低而集中(666.7Hz~800Hz)，壞西瓜則有頻率偏高且又分散的現象(400Hz~4000Hz)，這應就是清音與濁音的區別。此外水果行老板的經驗、西瓜密度、果肉受力形變量，都可與聲音分析的結果相互驗證，來證明新分析方法的有效性。但西瓜重量、糖度則與聲音分析的數據關聯性小，無法用來判斷西瓜的好壞。



統計各週期區間百分比法示意圖



壹、研究動機

炎炎夏日裡，有塊冰涼的西瓜消暑，會讓人忘了唸書的煩悶。但讓人好奇的是，大人們每次在買西瓜時，總是要拍拍打打幾下，聲音乍聽之下，那有什麼差別，但老闆娘總是說：『這顆是好西瓜』。自然課時，學到有關聲波、波形……等，有關聲音的原理。西瓜這樣拍一拍，和響度、音調、音色有什麼關係？用力拍響度大，和高低音與波形有什麼關係嗎？耳朵聽來判斷的依據在那裡？這是一個講求科學證據的年代，我們決定和「很好的」老板娘合作，買西瓜、拍西瓜、錄西瓜，再切西瓜、榨西瓜汁、先測糖度再喝。這是一個又解渴，又有意義的實驗，如果深入研究，或許可以發現有趣的規律。

平常上課時，音樂老師可以利用耳朵就能聽出同學所發出來的音準是否準確，因此我們推想每一個音應該是有它獨特的頻率和波形。利用網路上的免費軟體「Gold Wave」，能顯示出每個音的波形與時間座標，再推算出頻率，來作聲音的分析。爲了每天的西瓜汁，我們開始了這一次的科學任務。

貳、研究目的

希望使用科學方法，找出利用拍彈西瓜的聲音來判斷西瓜好壞的準則。

一、以音叉驗證數位錄音後，以 GOLDWAVE 做聲音頻率分析處理的準確性。

二、測量分析鋼琴各琴鍵的聲音，作為西瓜聲音的對照指標。

三、請有經驗的老闆娘幫我們挑選好西瓜與壞西瓜，測量其尺寸與重量後進行下列測試：

（一）以手掌拍、手指彈西瓜的方式錄音，用「Gold Wave」計算波形的頻率平均值。

（二）切數段果肉，以自行設計的裝置，測量果肉受力後形變量，與最高承載重量。

（三）將所有果肉攪碎，測量過濾後所得西瓜汁的糖度。

四、設計新的聲音統計分析方法－週期區間統計法，分析各西瓜聲音週期的分布。並以下變因，測試與驗證此方法的可行性。

（一）以老闆娘判斷好壞西瓜的經驗，驗證此新統計法的有效性。

（二）週期區間統計法中，預設的週期間隔如何影響週期分布圖的呈現。

（三）彈的人不同，是否影響西瓜聲音週期分布圖的呈現。

（四）彈或拍西瓜的方法不同，是否影響西瓜聲音週期分布圖的呈現。

（五）彈西瓜的位置不同（底、頂、腰），是否影響西瓜聲音週期分布圖的呈現。

（六）西瓜放置的時間，是否影響西瓜聲音週期分布圖的呈現。

（七）將水注入西瓜中，水量多寡是否影響西瓜聲音週期分布圖的呈現。

五、以量筒加不同濃度的糖水，模擬不同糖度糖水，是否影響西瓜聲音的頻率。

參、研究器材

一、儀器：

1.錄音筆	2.果汁機	3.糖度計	4.鋼琴	5.恆溫槽
-------	-------	-------	------	-------

二、器材：

1.100c.c.試管	2.滴管	3.小刀	4.菜刀	5.燒杯	6.砝碼	7.漏斗
8.鐵罐{底切除}	9.量筒	10.寶特瓶	11.濾網	12.濾紙	13.注射筒	14.布尺
15.自製器材{測量形變量}	16.音叉	17.濾紙	18.蔗糖	19.多顆西瓜		

三、電腦軟體

1.Gold Wave4.25

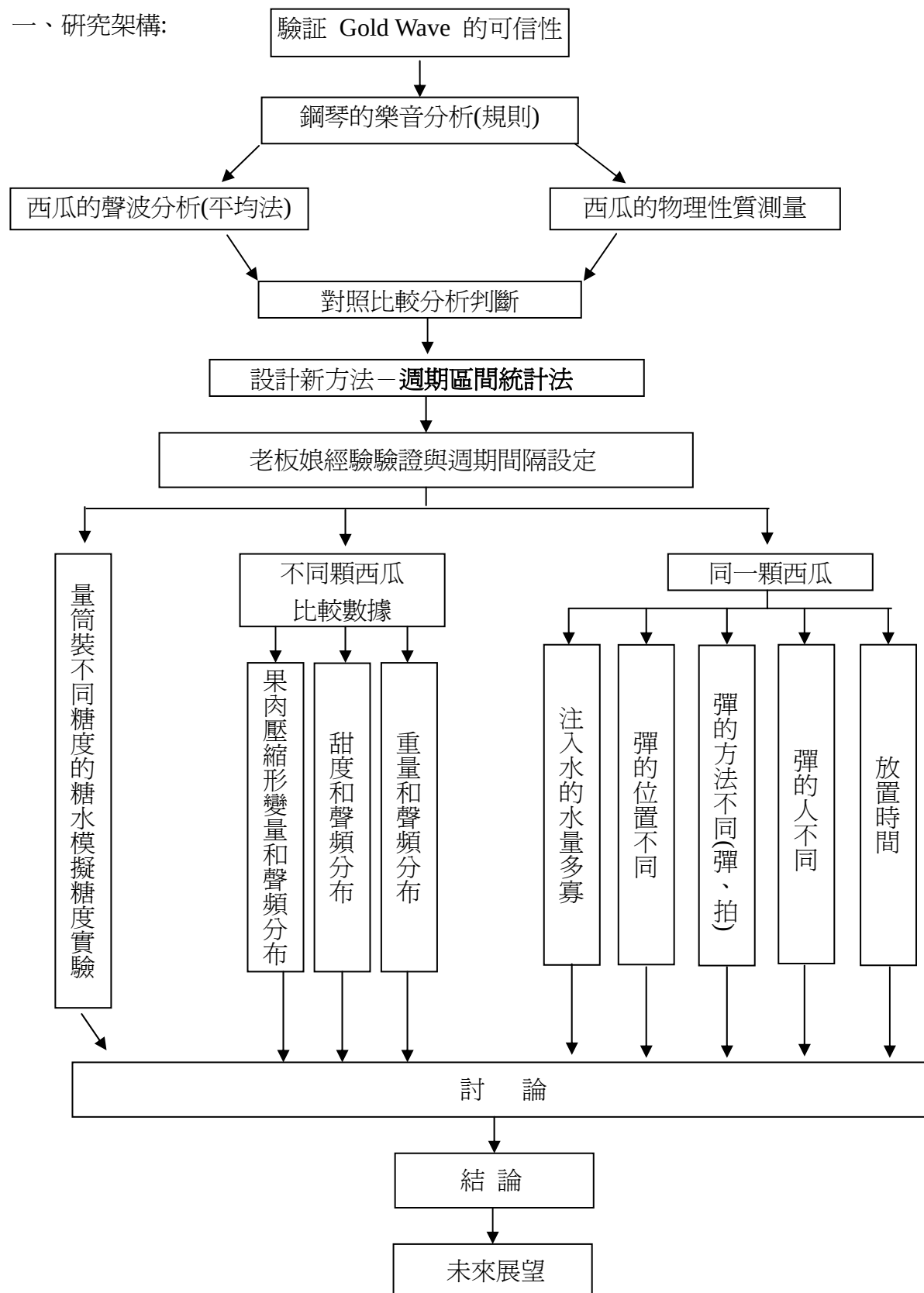
2.PhotoImpact 10.0

3.Excel 2000

4.Word 2000

肆、研究過程和方法

一、研究架構:



二、研究方法：對於日常生活中，有許多無法以直接方法（會破壞受測物）量測的實驗，需要以非破壞性的方法進行測量，如水果品質的鑑定等。我們把敲擊物體時所產生的聲音，透過數位錄音的方法，錄製其聲音信號，將這數位檔案以網路上下載的免費軟體 GOLDWAVE 做分析處理，計算其頻率，分析聲音特徵，以此為依據用來對發聲體做進一步的判定。

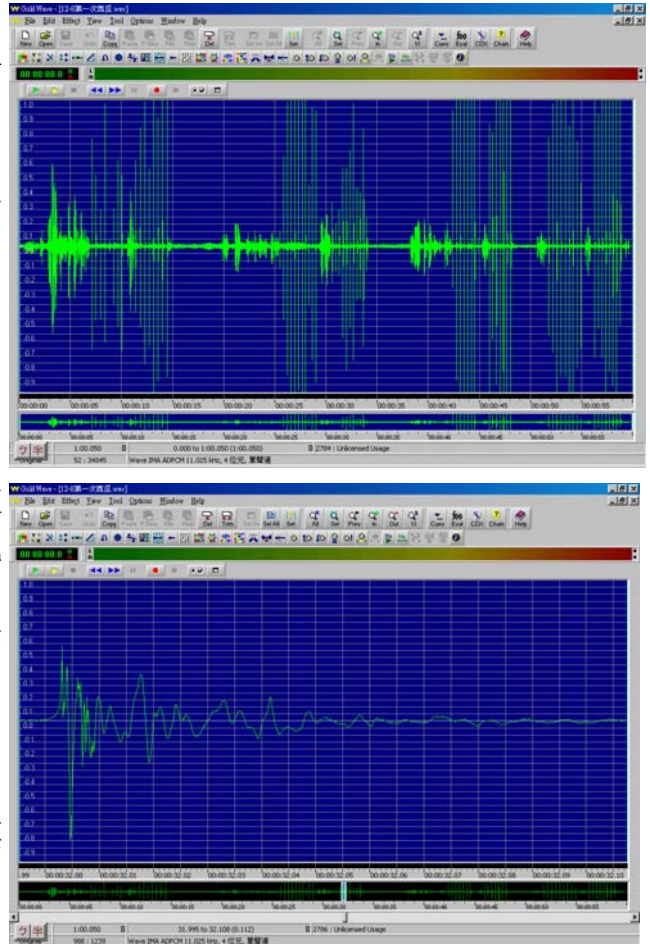
三、處理聲音檔：利用 GOLDWAVE 軟體，轉成波形圖。

（一）從網路下載並執行 GOLDWAVE 程式，開啓聲音檔案(如圖一上)。

（二）按 In 放大，選取完整波形。按 Alt + prt scr(複製畫面)(如圖一下)。

（三）打開 Photoimpact→開新檔案→確定→按右鍵→貼上→全部合併（可在此先存檔、列印，得聲音波形圖）

（四）回到 GOLDWAVE 程式，將波形放大到波峰可見，若波形規則，找出 10 個波時間座標的差距，算出平均週期，倒數即可得頻率值。若波形不規則，則在印出的波形圖上將波峰標定時間座標，輸入 Excel 中，記錄相鄰兩波峰時間座標差，以備分析使用。



圖一：用 GOLDWAVE 軟體處理聲音檔

四、西瓜糖度與果肉強韌度的測量：

（一）實驗一：分析西瓜糖度與聲波資料的關係

- 1.買西瓜時，請老闆判斷西瓜的好壞，並測量每個西瓜的重量。
- 2.利用 MP3 錄下拍、彈西瓜的聲音，將其聲音檔案傳到電腦裡分析。
- 3.切西瓜，取果肉的部份，到果汁機裡榨成汁。
- 4.利用濾網與濾紙兩次將西瓜汁的雜質濾掉，取其最澄淨的部份。
- 5.將西瓜汁滴到糖度計上，測量其甜度。
- 6.將量出來的糖度與西瓜聲音波形資料做比較。

（二）實驗二：分析果肉強韌度與西瓜聲波資料的關係

想法：由於實驗一中，得出西瓜糖度與聲波資料(頻率)關聯性不大，我們就想是不是西瓜果肉的強韌度影響吃起來的感覺，來決定西瓜的好壞？

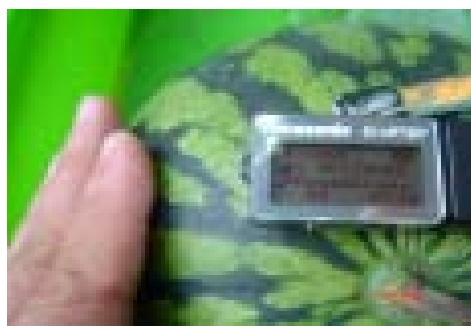
- 1.重複實驗一中的步驟 1 和 2
- 2.聲音錄好後，將西瓜的頭尾切掉一部份，利用底部挖空的鐵鋁罐，取一段西瓜的果肉，放到我們自製的實驗裝置上。
- 3.用空的寶特瓶，放在西瓜果肉上，每次加入 50 或 100 毫升的水，測量水重量與西瓜果肉壓縮形變的關係，並記錄其最大承重(彈性限度)。(如圖二)
- 4.比較數據和聲音波形資料關係。



圖二：測量西瓜果肉強韌度



彈西瓜錄音



拍西瓜錄音



果汁機

圖三：錄音 MP3 與果汁機

五、各週期區間百分比法的實際作法：

Microsoft Excel - 12/29日 3.78斤 西瓜波數傳(處理完)

檔案(F) 編輯(E) 檢視(V) 插入(I) 格式(O) 工具(T) 資料(D) 視窗(W) 說明(H)

新細明體 12 B U \$ % * ^ & #

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	王拍	王拍	王拍	王拍	王拍	波峰時間座標	波峰時間座標	波峰時間座標	波峰時間座標	波峰時間座標
2	1	2	3	4	5	11	12	13	14	15
3	2104	41605	81578	23011	63853	61188	95818	32299	69723	7492
4	2258	41732	81732	23201	64009	61350	95981	32632	69832	7519
5	2512	42068	81977	23446	64326	61538	96167	32834	69904	7673
6	2984	42349	82376	23773	64587	61700	96447	33442	70077	7836
7	3356	42476	82675	23936	64907	61856	96884	33578	70285	8063
8	3437	42947		24108	65179	62344	97532	34040	70575	8335
9	3963			24426		62566	98458	34458	70866	8798
10	4780					62848			71501	9206
11						63356			72036	9705
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21	154	154	154	190	182	163	333	109	27	
22	254	309	245	245	317	182	202	72	154	
23	472	281	299	327	177	182	608	173	163	
24	372	127	699	163	344	144	136	208	227	
25	81	471		172	186	743	462	290	272	
26	526			318	222	926	418	635	408	
27	817				282			535	499	
28					508					
29										

以相鄰波峰的時間差統計(1)平均值(2)各週期區間數據次數



時間差的分類

=COUNTIF(\$R21:\$SAL32,"<25")

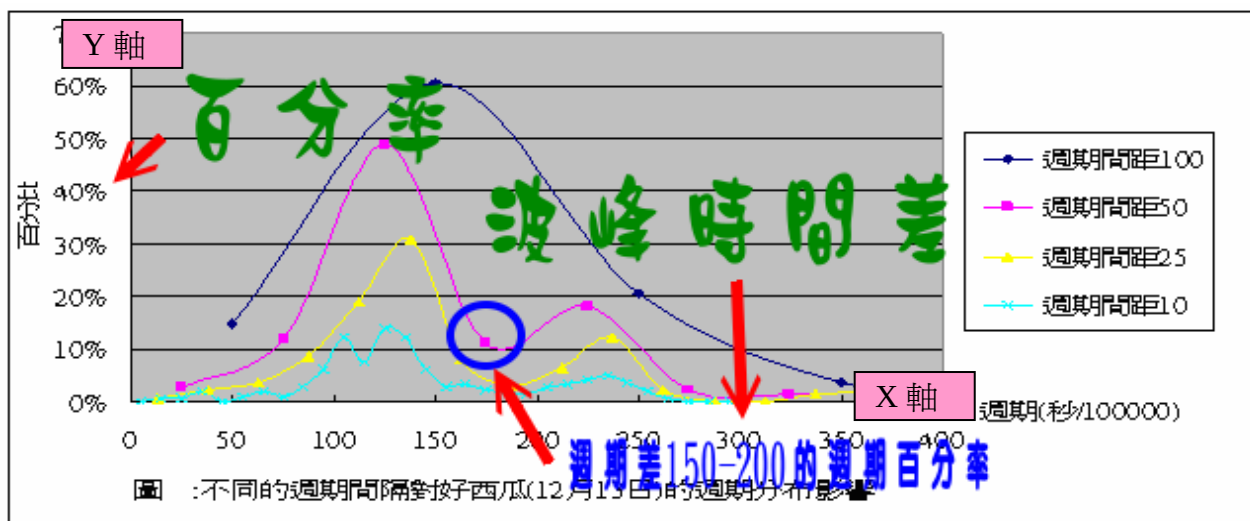
	<=0	<25	<50	<75	<100	<125	<150	<175	<200	<225
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40		13	15	22	40	49	64	86	99	106
41		12.5	37.5	61.3	87.5	112.5	137.5	162.5	187.5	212.5
42		2	7	18	9	15	22	13	7	2
43		1.9%	6.6%	17.0%	8.5%	14.2%	20.8%	12.3%	6.6%	1.9%
44										
45										
46										

十萬分之 0~25 秒
週期分布百分率

COUNTIF兩者相減 =COUNTIF(\$R21:\$SAL32,"<50")



以週期間隔為 X 軸，週期分佈百分率為 Y 軸作圖：



由圖形再去作綜合判斷西瓜的好壞。

六、我們由網路整理挑西瓜要點如下：

	網路出處	未熟	熟度剛好	空心或過熟
奇摩知識	http://w.yahoo.com/	拍打頭部聲	拍打胸脯聲音相似	拍打腹部聲相同
農友種苗	http://www.knownyou.com/	拍打頭部聲	拍打胸脯聲音相似	拍打腹部聲相同
蔬果小百科	http://www.foodnol.com/happykitchen/home drink/html/watermelonselect.htm	撲撲的聲音	咚咚的清脆聲音	托托的聲音
西瓜大王陳文郁	http://www.knownyou.com/index.jsp?bodyinclude=newsdetail.jsp?newsdate=2006-04-04&newsseq=60404	接近腦袋的聲音	接近心臟跳動的聲音	接近拍肚皮的聲音，則表示瓜過熟
齊魯熱線	http://health.sina.com.cn/7684266864200908820060329/1439640.shtml	聲音剛而脆，如擊木板的"咚咚"或"得得"聲	聲音疲而濁，近似打鼓的"卜"聲且有震動的傳音	無
中央電視台	http://www.cctv.com/health/20040705/100618.shtml	撲撲的聲音	咚咚的清脆聲音	托托的聲音

七、西瓜屬葫蘆科(Cucurbitaceae)，西瓜屬，西瓜種。本研究所使用的西瓜品種為「金蘭」，為 1970 年代，臺灣進行品種改良技術後推出供農民種植販售，其特性資料如下：

品種名	金蘭西瓜	其他特點
果形	圓球形	結果力強、早熟、果肉種子少、果皮脆弱、裂果多
果皮色	綠底、綠色條紋	
果肉色	深黃	
最佳糖度	12-13	
農委會農業試驗所評鑑等級(不良、中、佳、優)		優

資料來源：農委會農業試驗所特刊第 103 號

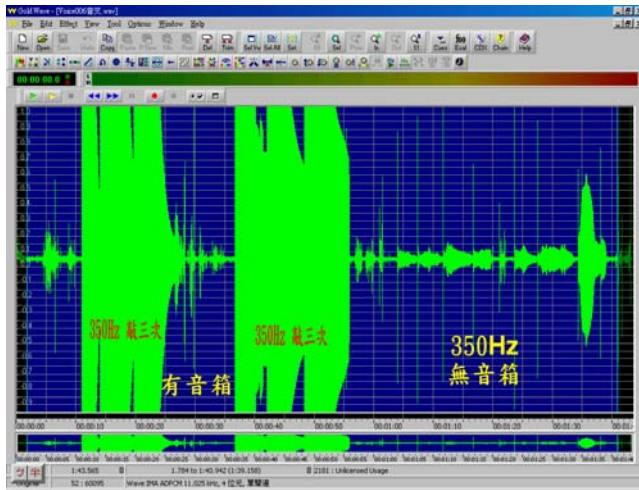
八、依農試所資料，西瓜成熟與否，可以下列各點綜合判斷：

- (一)計算開花後的日數(依品種不同而異)。
- (二)結果節位的捲鬚前端，是否變成黃褐色。
- (三)果實外觀是否呈現品種特有色彩。
- (四)果柄與果蒂間是否有放射狀維管束突起。
- (五)手指壓臍部，成熟果有彈性。
- (六)以手輕拍未熟果堅硬、彈性差、音調尖高；成熟果具彈性、聲音沉濁；過熟果聲音破啞。

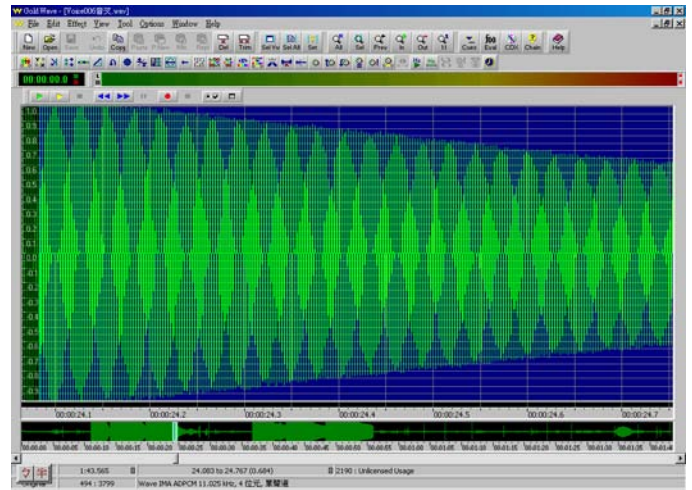
九、西瓜在送出果園銷售前，必須先被鑑定來決定價格，據中時電子報今年五月訪問西瓜鑑定人莊木煌報導表示：「拍打西瓜聽聲音，只是入門技巧。最重要的必須能從聲響中判斷西瓜內是中空、橫裂還是縱裂，這都會影響價格。」但收集來的文獻資料，對敲擊西瓜的聲音，都只是聲音的形容詞。我們的研究正希望能避免人為因素的干擾，發展一套新的對西瓜好壞判斷的檢測方法，提供消費者與農業學者參考。

伍、研究結果

- 一、以音叉敲擊發聲，經數位錄音後，來驗證用 GOLDWAVE 分析聲音頻率的準確性。
敲擊標示為 350Hz 的音叉，分別在有音箱與無音箱的情況下，做錄音分析（如圖四、五），得以下結果：



圖四:音叉完整錄音圖



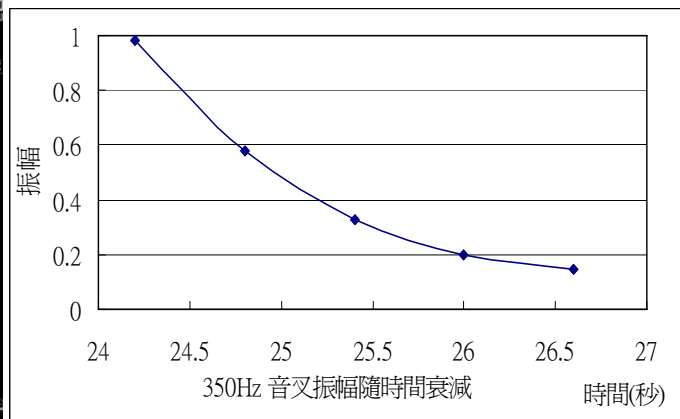
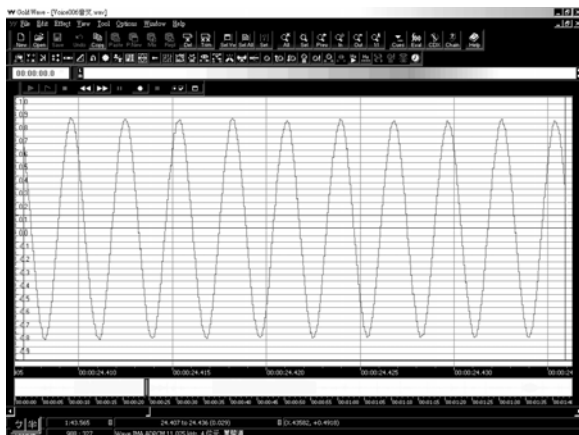
圖五:有音箱的音叉振幅衰減

從上圖可知，有音箱的音叉所呈現出的波形，振幅會延續較久的時間，沒有音箱的音叉，振幅一下子就變小了。

(一) 350Hz 有音箱音叉的聲音分析---取樣 24.2 秒到 26.6 秒波形作分析：

取樣時間區段 (sec)	5 個波的時間 (*10 ⁻⁶ 秒)		頻率 (Hz)	min 振幅	max 振幅	平均振幅
24.2	17786	19219	348.92	0.9811	0.9821	0.9816
24.8	80172	81605	348.92	0.5760	0.5793	0.5777
25.4	39981	41414	348.92	0.3261	0.3271	0.3266
26	81	1514	348.92	0.1949	0.1994	0.1972
26.6	59900	61333	348.92	0.1455	0.1483	0.1469

$$\text{頻率誤差百分率} = (350 - 348.92) / 350 = 0.31\%$$



圖六：音叉波形圖(左)與聲音振幅隨時間衰減變化趨勢(右)

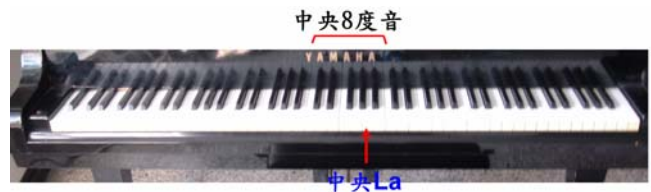
(二) 350Hz 無音箱音叉的聲音分析：

取樣時間區段(sec)	5 個波的時間 (*10 ⁻⁶ 秒)		頻率 (Hz)	min 振幅	max 振幅	平均振幅
97	126	1551	350.88	0.1501	0.1598	0.15495

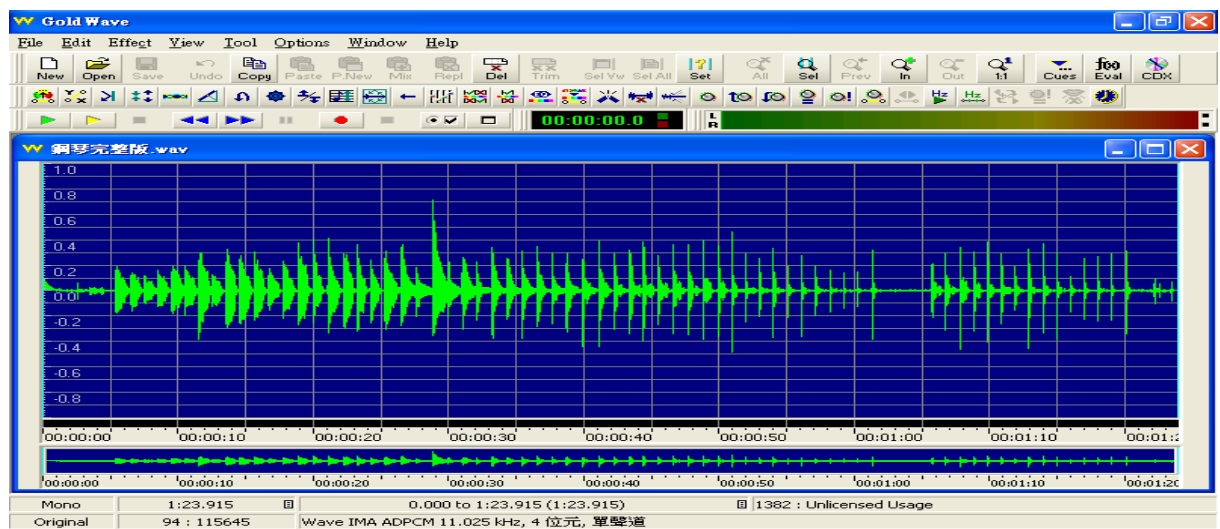
$$\text{誤差百分率} = (350.88 - 350) / 350 = 0.25\%$$

結果分析：由此誤差顯示：利用 GOLDWAVE 所做出來的頻率誤差極小，表示若利用此程式做其他聲音的分析，會有極高的準確性。

二、鋼琴聲音的比較：我們通常可以清楚的分辨鋼琴各鍵所彈出來聲音的不同，許多學過音樂的人，可以用聽的方式就可以得知聲音準不準。同樣的，要辨別西瓜的好壞，耳力也要夠敏銳才行，但西瓜敲擊聲與琴聲，除了音品不同外，頻率有相關性嗎？音階的高低，可以用來比擬西瓜的敲擊聲嗎？為此，我們先分析鋼琴所發出來的聲音，準備與西瓜敲擊聲來作比較。



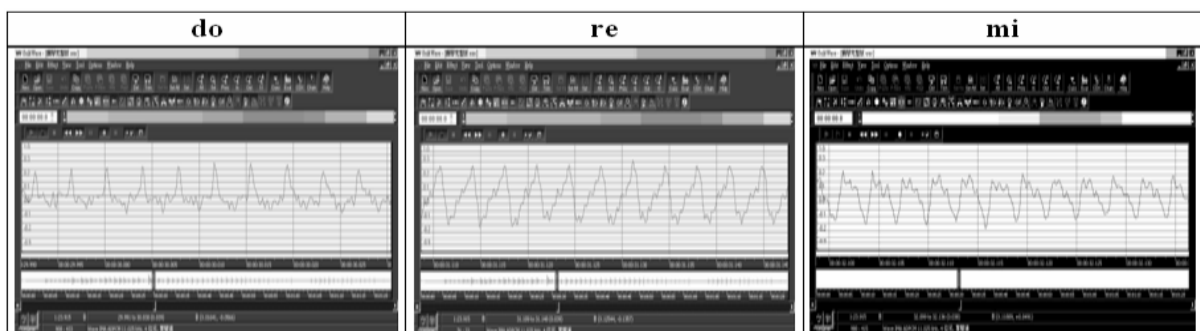
(一) 鋼琴的聲音(左低右高)：用學校的鋼琴，從第一個白鍵彈到最後一個白鍵，以錄音筆錄下聲音，在 GOLDWAVE 程式中，呈現如圖七，每個音都有振幅衰減的現象，我們再將各音的波形放大，以計算每個聲音的頻率，如表一。

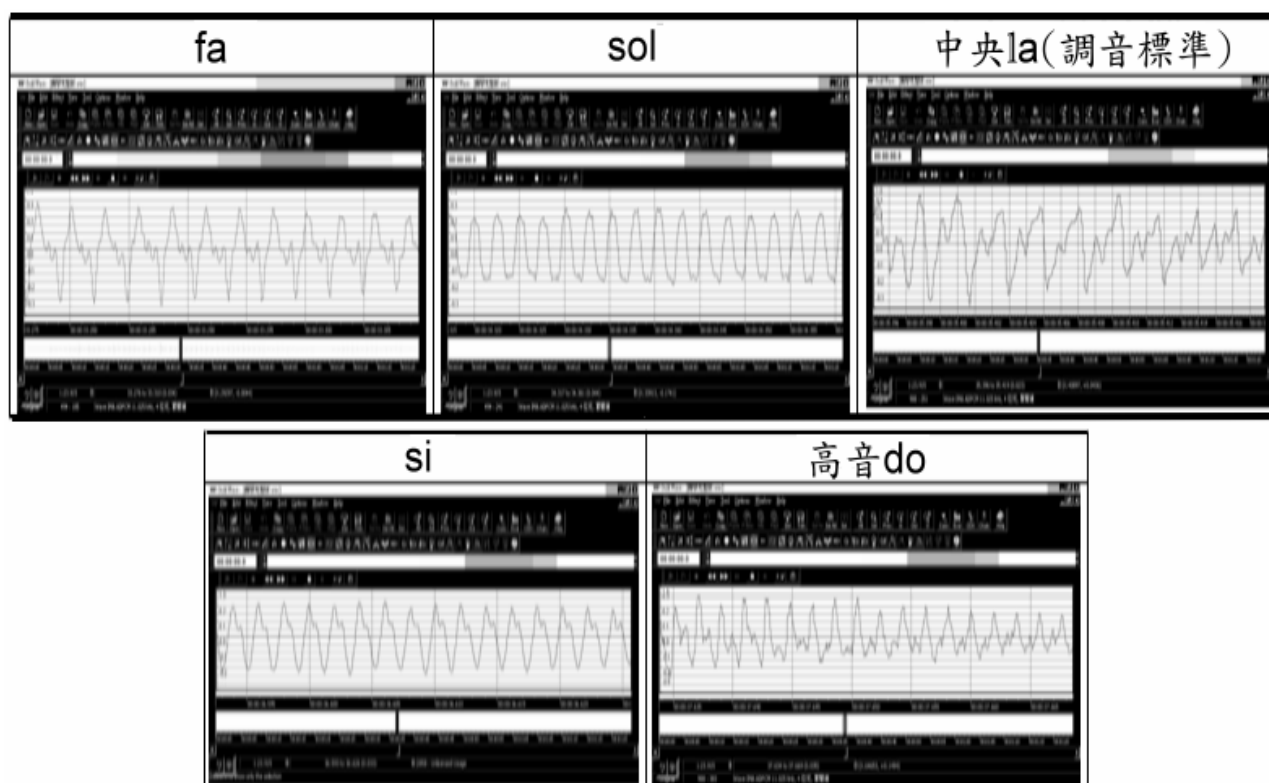


和

圖七：鋼琴各琴鍵聲音檔案

(二) 鋼琴五十二個白鍵，中央八度音的聲音波形圖（圖八）：





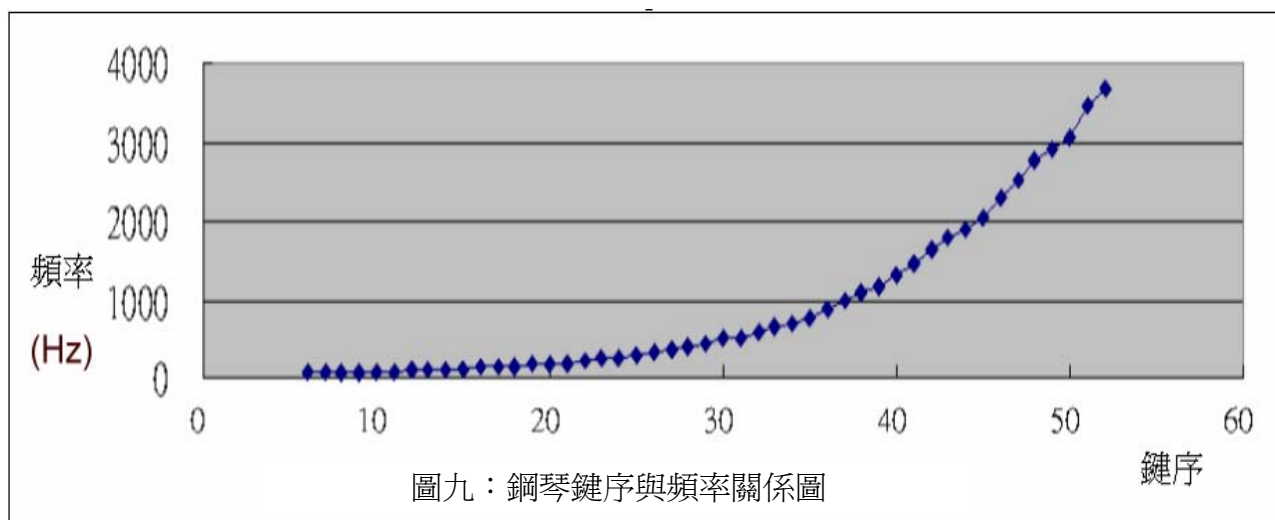
圖八：鋼琴中央八度音各聲音波形圖

(三) 測量得到的鍵序與頻率的關係(如表一)：

表一：測量所得之鋼琴每個白鍵聲音頻率值

鍵序	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5個波時間	52616	64244	63011	71247	18358	39365	55083	83156	69015	14104
間距 (*10 ⁻³ 秒)	54412	65859	64544	72607	19582	40526	56098	84117	69922	18149
頻率(Hz)	55.68	61.92	65.23	73.53	81.7	86.13	98.52	104.06	110.25	123.61
音符	f	g	a	b	c	d	e	f	g	a
鍵序	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
5個波時間	98222	42793	44526	78539	51691	37913	89532	72408	39356	10068
間距 (*10 ⁻³ 秒)	102113	46467	47909	81569	54539	40471	91809	74430	41251	11755
頻率(Hz)	128.5	136.09	147.8	165.02	175.56	195.47	219.59	247.28	263.85	296.38
音符	b	c	d	e	f	g	a	b	c	d
鍵序	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
5個波時間	8925	25442	38648	40580	56961	64671	96879	99564	76117	10195
間距 (*10 ⁻³ 秒)	10439	26866	39936	41723	57977	65623	97732	100326	76825	10839
頻率(Hz)	330.25	351.12	388.2	437.45	492.13	525.21	586.17	656.17	706.21	776.4
音符	e	f	g	中央a	b	c	d	e	f	g
鍵序	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
5個波時間	87464	19791	98884	75546	85333	90929	90784	91102	9269	88462
間距 (*10 ⁻³ 秒)	88036	20299	99346	75972	85714	91274	91092	91383	9532	88707
頻率(Hz)	874.13	984.25	1082.3	1173.7	1312.3	1449.3	1623.4	1779.4	1901.1	2040.8
音符	a	b	c	d	e	f	g	a	b	c
鍵序	47	48	49	50	51	52				
5個波時間	61278	63736	66077	75537	68689	78893				
間距 (*10 ⁻³ 秒)	61478	63918	66249	75700	68834	79029				
頻率(Hz)	2500	2747.3	2907	3067.5	3448.3	3676.5				
音符	e	f	g	a	b	c				

(四) 將所得頻率與白鍵順序繪圖得到圖九。



結果分析：琴鍵越往右彈，聲音頻率會越高，但卻不是呈直線的正比關係。

三、西瓜好壞與拍打聲音關係的實驗－水果行老闆娘判斷西瓜好壞的眼光。

在實驗設計前，我們請學校附近水果行老闆娘幫我們挑選四顆好西瓜與六顆壞西瓜，以供實驗測試之用。

(一) 10 顆西瓜的物理性質如表二：

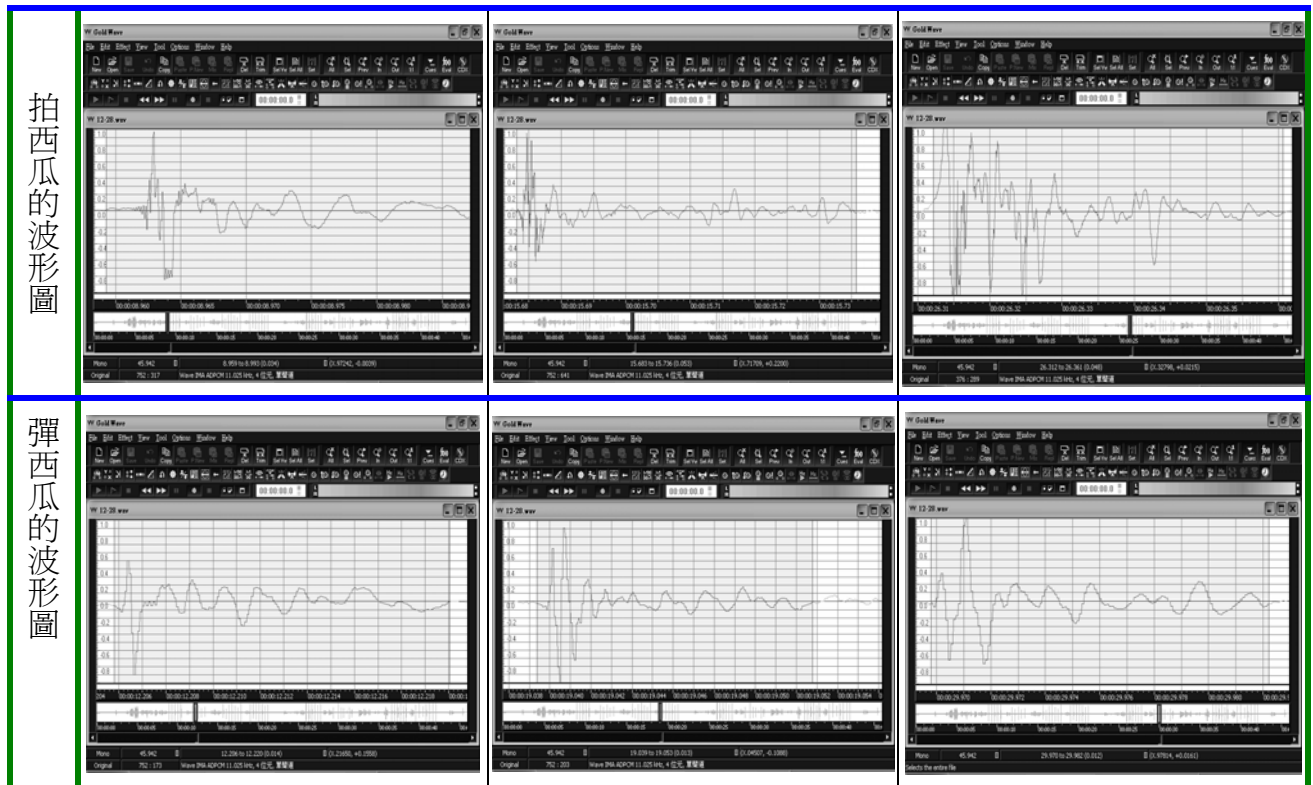
表二：測量西瓜外形、尺寸、重量與計算其密度

老闆娘的 西瓜判斷	錄音時間	重(kg)	垂直圓周 (cm)	橫向圓周 (cm)	平均圓周 (cm)	平均半徑 (cm)	體積 (cm ³)	密度 (g/cm ³)
好	12月13日	3.14	58.6	57.3	57.9	9.2	3284.5	0.96
好	12月21日	3.11	58.9	56.6	57.7	9.2	3250.3	0.96
好	12月28日	4.01	63.5	62.4	62.9	10.0	4211.5	0.95
好	12月20日	3.14	60.8	55.6	58.2	9.3	3331.5	0.94
壞	12月8日	4.11	66.3	62.6	64.4	10.3	4516.5	0.91
壞	12月13日	4.14	66.8	62.4	64.6	10.3	4549.5	0.91
壞	12月26日	4.12	66.9	63.4	65.2	10.4	4670.3	0.88
壞	12月29日	3.87	65.2	60.6	62.9	10.0	4206.5	0.92
壞	12月27日	3.15	61.5	58.4	60.0	9.5	3640.5	0.87
壞	12月30日	3.15	60.2	59.0	59.6	9.5	3579.5	0.88

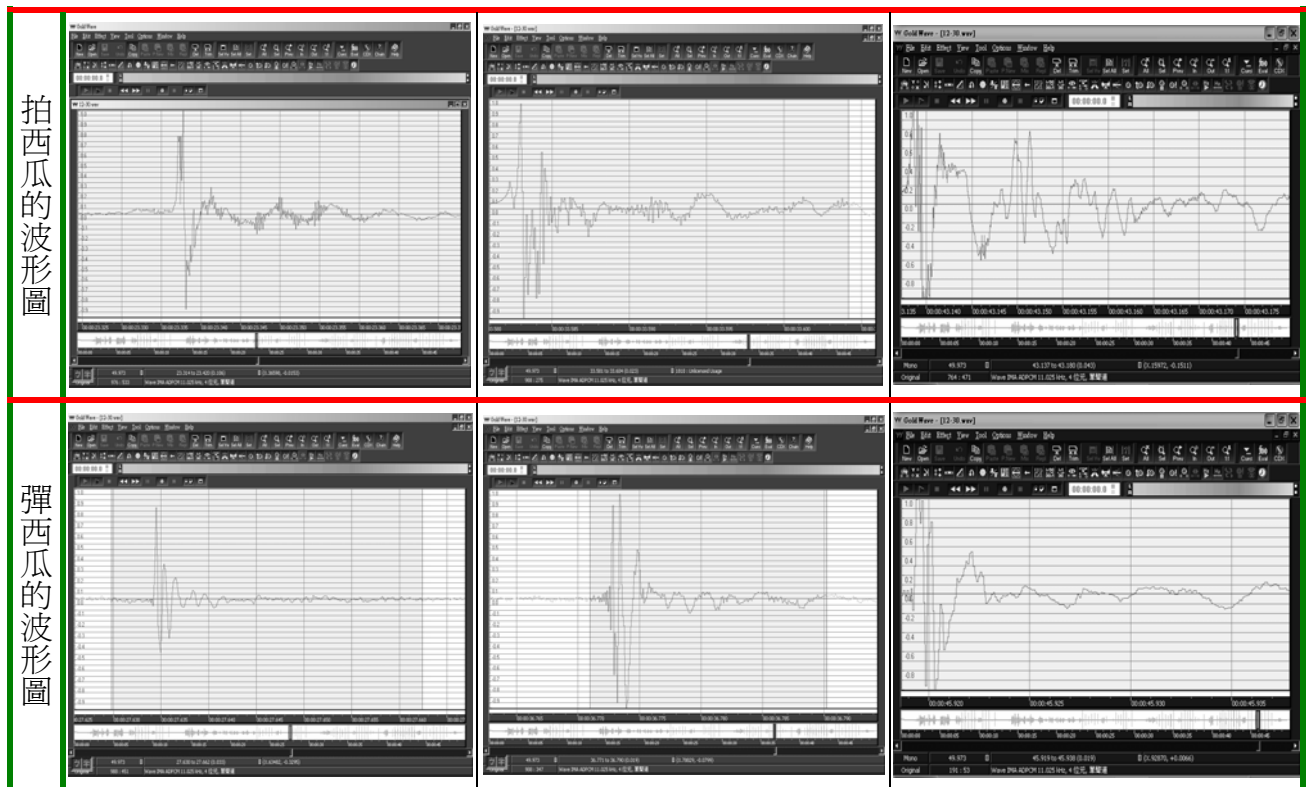
分析：好的西瓜密度較高，壞的西瓜密度較低

(二) 水果行老闆娘建議為好的西瓜(4.01 公斤)。2005 年 12 月 28 日測，用拍彈同

一敲擊點，所得部分波形圖：

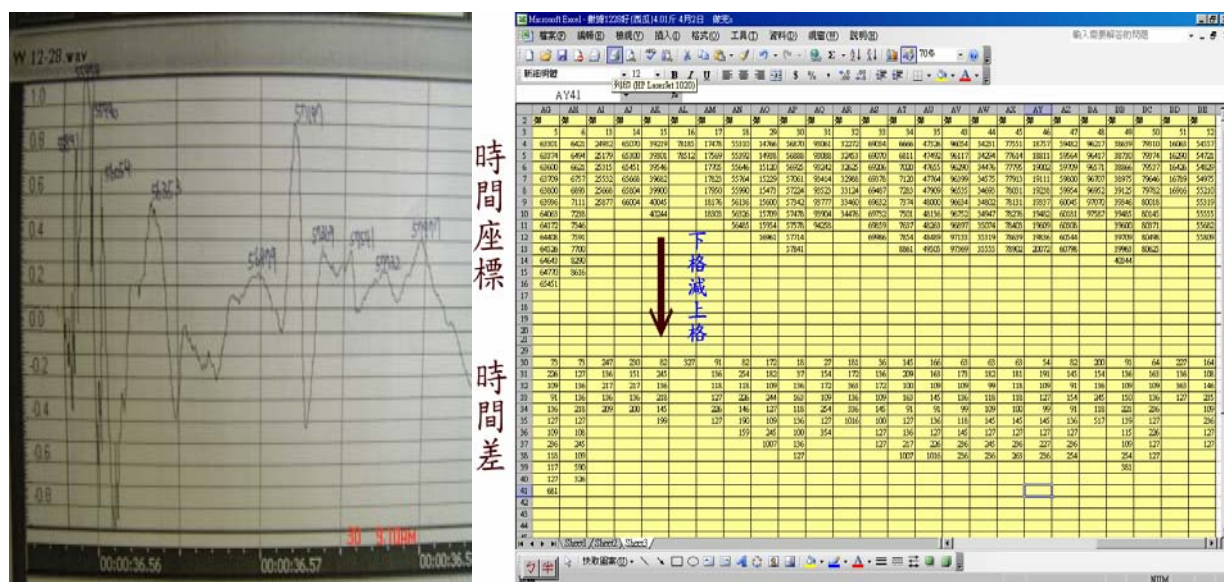


(三) 水果行老闆娘建議為壞的西瓜(3.15 公斤)。2005 年 12 月 30 日測，用拍彈同一敲擊點，所得部分波形圖



結果分析：由以上的圖中，我們發現：無論好、壞西瓜，拍西瓜的第一個波峰波形都較雜亂、分叉較多，而彈西瓜的第一個波峰的波形則較完整。

(四) 將十顆西瓜拍彈出的聲音波形圖列印，配合 goldwave 軟體，標示振幅大於 0.1 以上的波峰時間座標，輸入電腦，利用 excel 求出相鄰波峰的時間差(週期)。



統計所得到的週期數據，整理成表三：

表三：拍彈西瓜的聲音，分析後，計算其平均週期與頻率

老闆娘的判斷	錄音時間	重(kg.)	密度(g/cm ³)	拍西瓜			彈西瓜		
				測量週期數	週期平均 (秒/100000)	頻率(Hz)	測量週期數	週期平均 (秒 /100000)	頻率(Hz)
好	12月13日	3.14	0.96	137	332.5	300.8	232	177.5	563.4
好	12月21日	3.11	0.96	220	407.7	245.3	168	232.9	429.4
好	12月28日	4.01	0.95	284	359.6	278.1	152	202.4	494.1
好	12月20日	3.14	0.94	227	401.0	249.4	171	204.1	490.0
壞	12月8日	4.11	0.91	191	470.9	212.4	105	181.0	552.5
壞	12月13日	4.14	0.91	184	346.8	288.4	93	340.5	293.7
壞	12月26日	4.12	0.88	152	212.1	471.4	52	164.3	608.6
壞	12月29日	3.87	0.92	102	281.8	354.9	112	140.5	711.7
壞	12月27日	3.15	0.87	222	316.3	316.2	110	208.1	480.5
壞	12月30日	3.15	0.88	74	242.5	412.4	59	202.6	493.6

	拍西瓜的平均頻率(Hz)	彈西瓜的平均頻率(Hz)
好西瓜	268.4	494.2
壞西瓜	342.6	523.4

結果分析：雖然拍彈壞西瓜的平均頻率高於拍彈好西瓜的平均頻率，但部份壞西瓜有比好西瓜更低的頻率，表示西瓜頻率的歧異度相當大。所以是否用平均頻率來判斷西瓜的好壞，這方法值得懷疑。

(五)除了聲音以外，我們試著以**果肉受力的壓縮形變量**，**最高承受重量**、將整顆西瓜攪碎後**測量糖度**，來了解老闆娘對西瓜好壞判斷的標準在那裡，是有**咬勁**呢？還是**甜度不同**。我們以自行設計的裝置來測量果肉受力性質，以糖度計來測量西瓜汁的糖度，得表四。

表四：測量西瓜的果肉受力的壓縮形變量，最高承受重量、糖度

老闆娘評估	錄音時間	重量(公斤)	果肉柱原高(cm)	糖度	實驗最高承重(kg)	壓縮量/重量(cm/kg)
好西瓜	12月13日	3.14	20.0	11.0	2.15	0.3055
好西瓜	12月21日	3.11	20.9	10.6	2.25	0.2744
好西瓜	12月28日	4.01	21.3	9.6	2.25	0.3917
好西瓜	12月20日	3.14	23.0	10.2	2.35	0.5679
壞西瓜	12月8日	4.11	24.6	9.5	1.74	0.8684
壞西瓜	12月13日	4.14	24.5	9.4	1.70	0.7487
壞西瓜	12月26日	4.12	20.3	10.2	0.80	1.0291
壞西瓜			20.4	10.2	2.00	0.7031
壞西瓜	12月29日	3.87	21.3	10.2	1.10	0.6434
壞西瓜			20.8	10.1	1.10	0.9725
壞西瓜	12月27日	3.15	21.3	10.0	0.20	1.8625
壞西瓜			21.8	10.1	0.30	1.6429
壞西瓜	12月30日	3.15	21.5	10.1	0.75	1.5338
壞西瓜			20.9	10.1	0.80	1.3603

上表數據整理

老闆娘評估	平均重量(台斤)	平均壓縮量/重量(cm/kg)	實驗最高承重平均(kg)	糖度
好西瓜	3.486	0.3872	2.250	10.38
壞西瓜	3.683	1.5002	1.049	9.99
相差倍率	0.9465	0.2581	2.145	1.039

結果分析：由老闆娘判斷的好或壞的西瓜：

- 1.在糖度方面差異不大。
- 2.好的西瓜能夠承受的重量（彈性限度）較大，壓縮量與重量的比值也較低，不易變形；而壞西瓜所夠承受的重量較低，壓縮量與重量的比值偏高，容易被壓塌。

四、實驗設計-以**統計各週期區間百分比法**研究西瓜受敲擊發聲的聲音週期分布：

西瓜是一個非均勻的混合物，我們認為：當它受到敲擊而發聲時，不同部位（例如果皮、果肉、含水量多寡），代表不同的傳聲介質。而由之前的波形圖來看，聲音並不像鋼琴如此規則，波峰間週期（頻率）變化很大，以頻率平均法來處理，並不妥當。但現實中，我們耳朵卻可以很清楚的判斷好壞西瓜受敲擊的聲音不同。於是

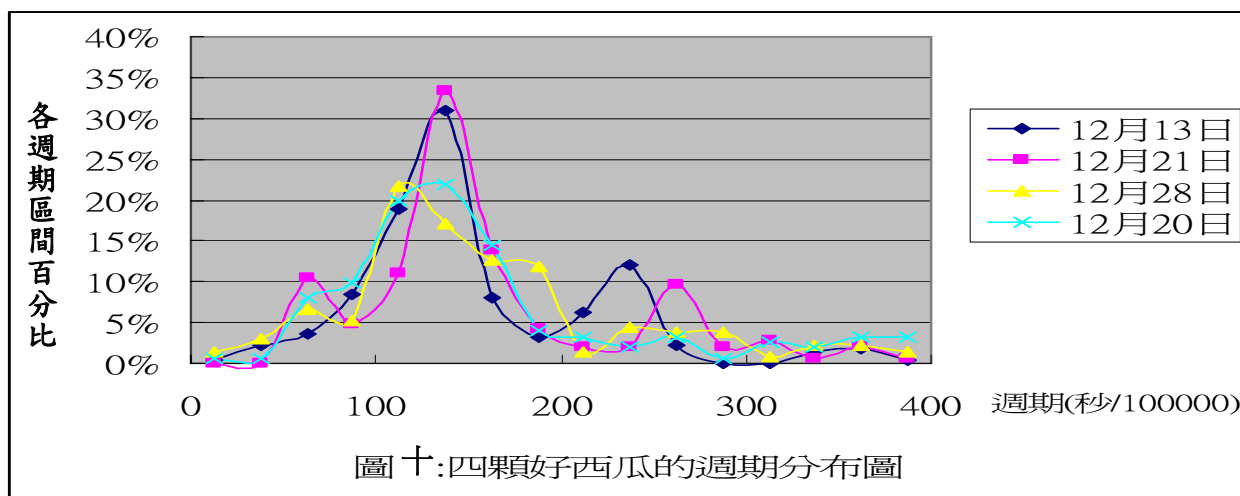
我們想到：波峰間距不規則，不正表示有不同週期的聲音傳入耳中，去統計這些聲音在各週期間隔的分布百分比，是不是可以解開這個謎題呢？因此，將之前十顆西瓜所測量到的波峰週期間距，利用 excel 的 countif 功能，計算在各週期間隔的出現次數，換算成百分比，畫成週期分布圖來互相比較。

（研究一）敲擊好、壞西瓜，以週期區間統計法來分析聲音，是否能更明顯的看出西瓜的好壞。

1.固定以彈西瓜定點為發聲方法，整理四顆好西瓜所得到的週期數據。

表五：彈好西瓜的聲音週期，在各週期間隔的分布百分比

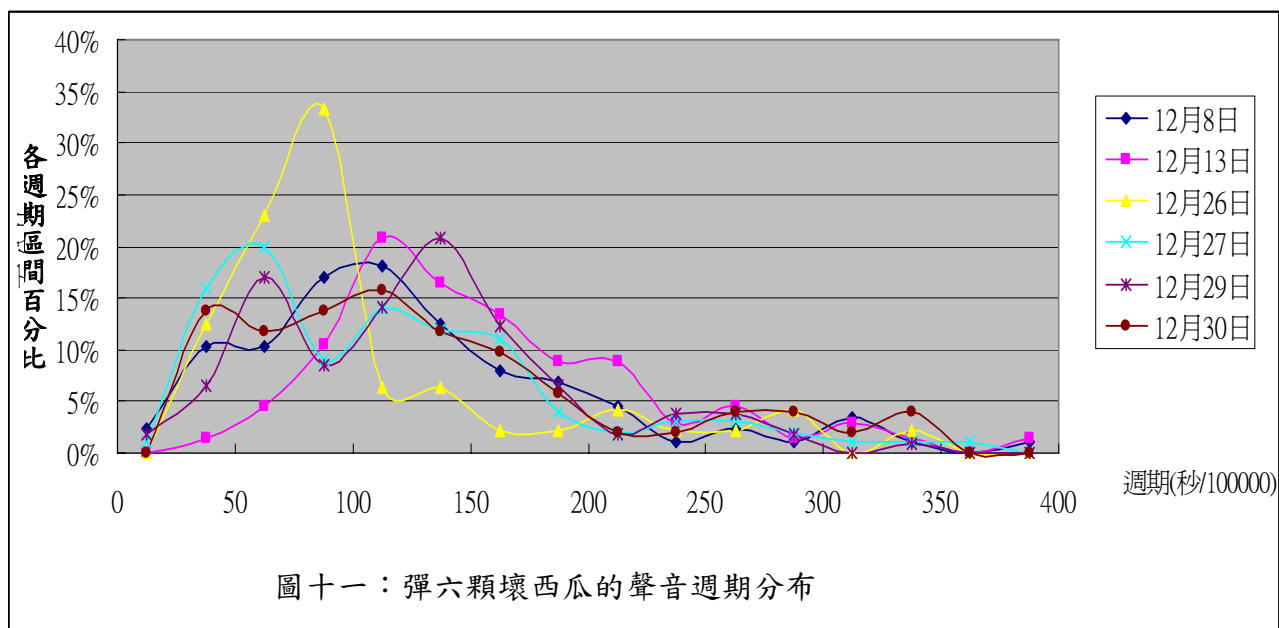
週期間距	前	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	合計
	後	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	
12月13日	次數	1	5	8	19	42	69	18	7	14	27	5	0	0	3	4	1	223
3.14kg,好	百分比	0.45%	2.24%	3.59%	8.52%	18.83%	30.94%	8.07%	3.14%	6.28%	12.11%	2.24%	0.00%	0.00%	1.35%	1.79%	0.45%	100.00%
12月21日	次數	0	0	15	7	16	48	20	6	3	3	14	3	4	1	3	1	144
3.11kg,好	百分比	0.00%	0.00%	10.42%	4.86%	11.11%	33.33%	13.89%	4.17%	2.08%	2.08%	9.72%	2.08%	2.78%	0.69%	2.08%	0.69%	100.00%
12月28日	次數	2	4	9	7	29	23	17	16	2	6	5	5	1	3	3	2	134
4.01kg,好	百分比	1.49%	2.99%	6.72%	5.22%	21.64%	17.16%	12.69%	11.94%	1.49%	4.48%	3.73%	3.73%	0.75%	2.24%	2.24%	1.49%	100.00%
12月20日	次數	28	29	30	42	57	87	120	142	148	153	156	161	162	166	169	174	179
3.14kg,好	百分比	0.7%	0.7%	7.9%	9.9%	19.9%	21.9%	14.6%	4.0%	3.3%	2.0%	3.3%	0.7%	2.6%	2.0%	3.3%	3.3%	100.00%



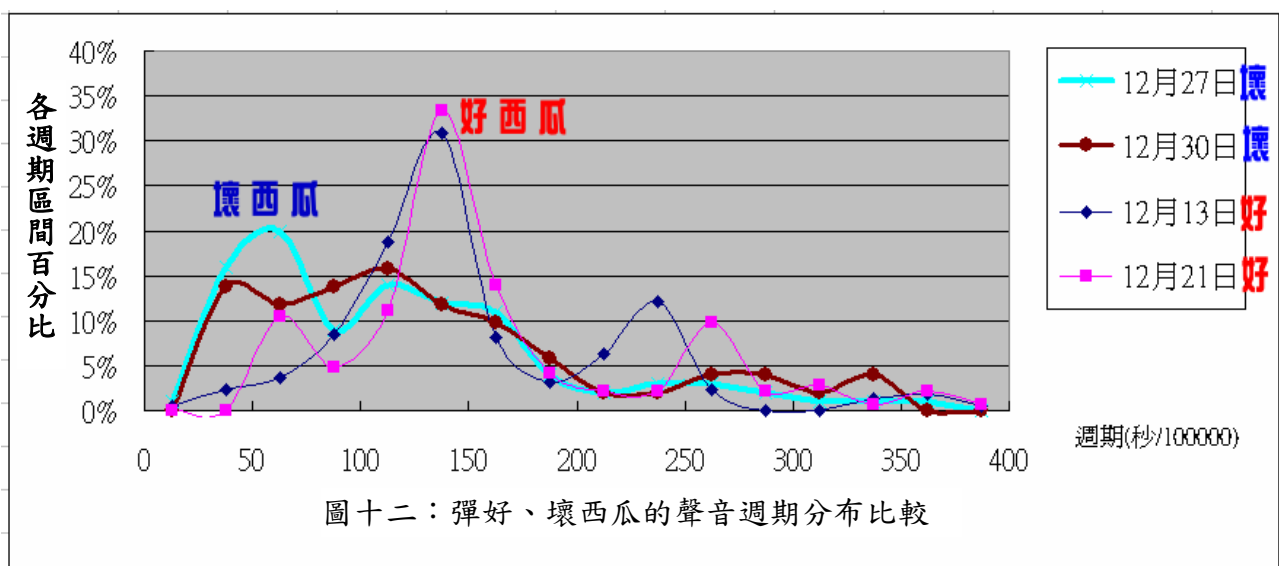
2.六顆壞西瓜週期的整理結果：

表六：彈壞西瓜的聲音週期，在各週期間隔的分布百分比

週期間距	前	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	合計
	後	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	
12月8日	次數	2	9	9	15	16	11	7	6	4	1	2	1	3	1	0	1	88
4.11kg	百分比	2.3%	10.2%	10.2%	17.0%	18.2%	12.5%	8.0%	6.8%	4.5%	1.1%	2.3%	1.1%	3.4%	1.1%	0.0%	1.1%	100.0%
12月13日	次數	0	1	3	7	14	11	9	6	6	2	3	1	2	1	0	1	67
4.14kg	百分比	0.0%	1.5%	4.5%	10.4%	20.9%	16.4%	13.4%	9.0%	9.0%	3.0%	4.5%	1.5%	3.0%	1.5%	0.0%	1.5%	100.0%
12月26日	次數	0	6	11	16	3	3	1	1	2	1	1	2	0	1	0	0	48
4.12kg	百分比	0.0%	12.5%	22.9%	33.3%	6.3%	6.3%	2.1%	2.1%	4.2%	2.1%	2.1%	4.2%	0.0%	2.1%	0.0%	0.0%	100.0%
12月27日	次數	1	16	20	9	14	12	11	4	2	3	3	2	1	1	1	0	100
3.15kg	百分比	1.0%	16.0%	20.0%	9.0%	14.0%	12.0%	11.0%	4.0%	2.0%	3.0%	3.0%	2.0%	1.0%	1.0%	1.0%	0.0%	100.0%
12月29日	次數	2	7	18	9	15	22	13	7	2	4	4	2	0	1	0	0	106
3.87kg	百分比	1.9%	6.6%	17.0%	8.5%	14.2%	20.8%	12.3%	6.6%	1.9%	3.8%	3.8%	1.9%	0.0%	0.9%	0.0%	0.0%	100.0%
12月30日	次數	0	7	6	7	8	6	5	3	1	1	2	2	1	2	0	0	51
3.15kg	百分比	0.0%	13.7%	11.8%	13.7%	15.7%	11.8%	9.8%	5.9%	2.0%	2.0%	3.9%	3.9%	2.0%	3.9%	0.0%	0.0%	100.0%



3.取果肉形變量最小兩顆好西瓜與果肉形變量最大兩顆壞西瓜比較



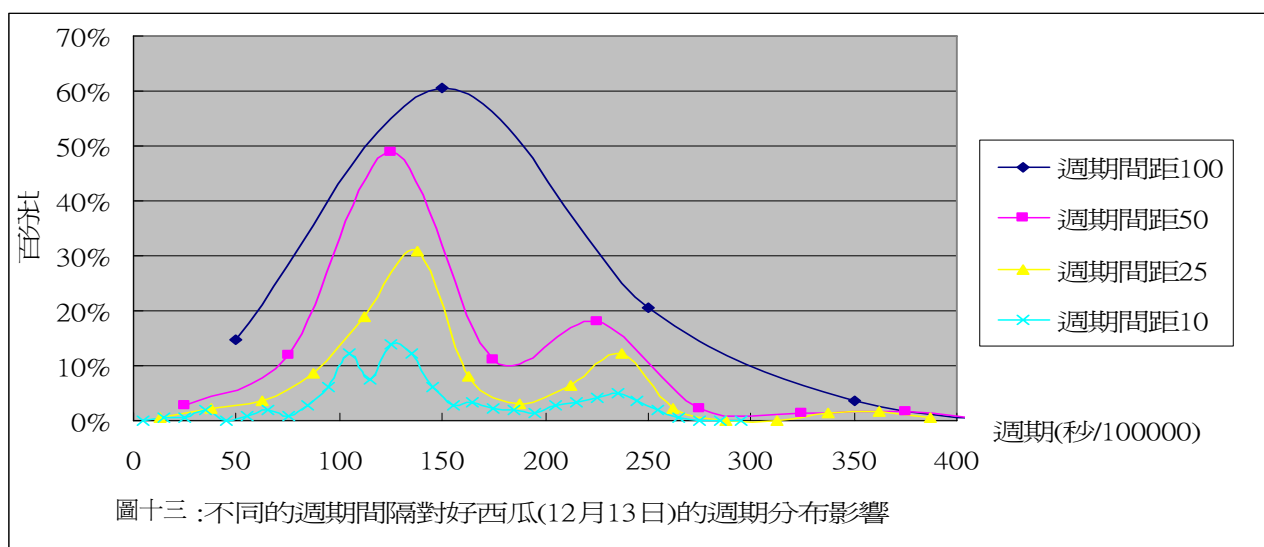
結果分析: 好西瓜的週期窄而集中，壞西瓜的週期分佈寬而不集中；好西瓜的週期集中在 1.25×10^{-3} 到 1.5×10^{-3} 秒，頻率則是在 666.7Hz 到 800Hz 之間，壞西瓜(用彈的)在各週期間隔的分布較凌亂，約在 400~4000Hz (0.25×10^{-3} 到 2.5×10^{-3} 秒) 之間。改用統計聲音在各週期間隔的分布百分比，分辨西瓜好壞的效果較明顯。

(研究二) 以週期區間統計法來分析聲音時，週期間隔會影響到分布圖的呈現，我們想研究以不同的週期間隔分類聲音，圖形會有何種變化。

- 1.控制變因：同顆西瓜 (3.14kg)、相同錄音模式
- 2.操縱變因：不同的週期間隔
- 3.數據結果：如表七；圖十三 (下表僅節錄部份數據)

表七：不同的週期間隔分類聲音，各週期間隔的分布圖形會有何種變化

週期間距100	前	0	100	200	300	400	500	合計											
	後	100	200	300	400	500	600												
12月13日	次數	33	136	46	8	0	2	225											
3.14kg	百分比	14.7%	60.4%	20.4%	3.6%	0.0%	0.9%	100.0%											
週期間距50	前	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	合計					
	後	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600						
12月13日	次數	6	27	111	25	41	5	3	4	0	0	1	1	225					
3.14kg	百分比	2.6%	11.9%	48.9%	11.0%	18.1%	2.2%	1.3%	1.8%	0.0%	0.0%	0.4%	0.4%	100.0%					
週期間距25	前	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	合計	
	後	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400		
12月13日	次數	1	5	8	19	42	69	18	7	14	27	5	0	0	3	4	1	225	
3.14kg	百分比	0.4%	2.2%	3.6%	8.5%	18.8%	30.9%	8.1%	3.1%	6.3%	12.1%	2.2%	0.0%	0.0%	1.3%	1.8%	0.4%	100.0%	
週期間距10	前	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	合計	
	後	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160		
12月13日	次數	0	1	1	4	0	2	4	2	6	13	26	16	30	26	13	6	225	
3.14kg	百分比	0.0%	0.5%	0.5%	1.9%	0.0%	0.9%	1.9%	0.9%	2.8%	6.0%	12.1%	7.4%	14.0%	12.1%	6.0%	2.8%	100.0%	



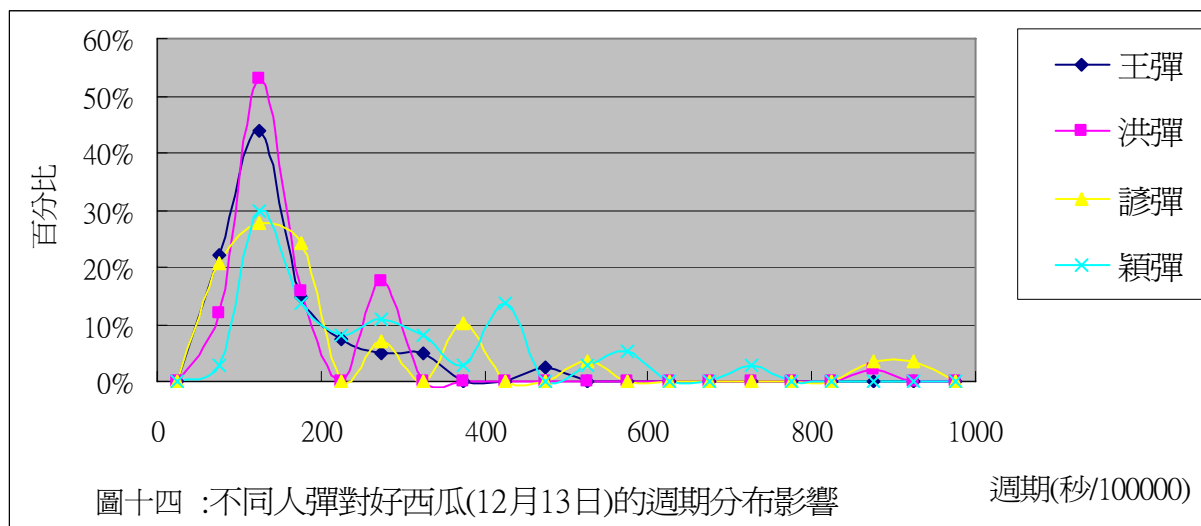
結果分析：所選用的週期間隔越小，波峰的寬度就越窄，越能夠顯現聲音週期的分布狀況，但因數據量分散，波峰高度也越來越低。

(研究三) 使用統計聲音在各週期間隔的分布百分比的方法時，若不同的人彈西瓜，圖形會有何種變化。

1. 控制變因：同顆西瓜 (3.11kg)、相同錄音模式
2. 操縱變因：不同的人彈
3. 數據結果：如表八；圖十四

表八：不同的人彈西瓜，各週期間隔的分布圖形會有何種變化。

週期 間距	前	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	合計
	後	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	
王彈	次數	0	9	18	6	3	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	百分比	0.0%	22.0%	43.9%	14.6%	7.3%	4.9%	4.9%	0.0%	0.0%	2.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	
洪彈	次數	0	6	27	8	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5
	百分比	0.0%	11.8%	52.9%	15.7%	0.0%	17.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2%	0%	0%	
諺彈	次數	0	6	8	7	0	2	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
	百分比	0.0%	20.7%	27.6%	24.1%	0.0%	6.9%	0.0%	10.3%	0.0%	0.0%	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3%	3%	0%	
穎彈	次數	0	1	11	5	3	4	3	1	5	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3
	百分比	0.0%	2.7%	29.7%	13.5%	8.1%	10.8%	8.1%	2.7%	13.5%	0.0%	2.7%	5.4%	0.0%	0.0%	2.7%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	



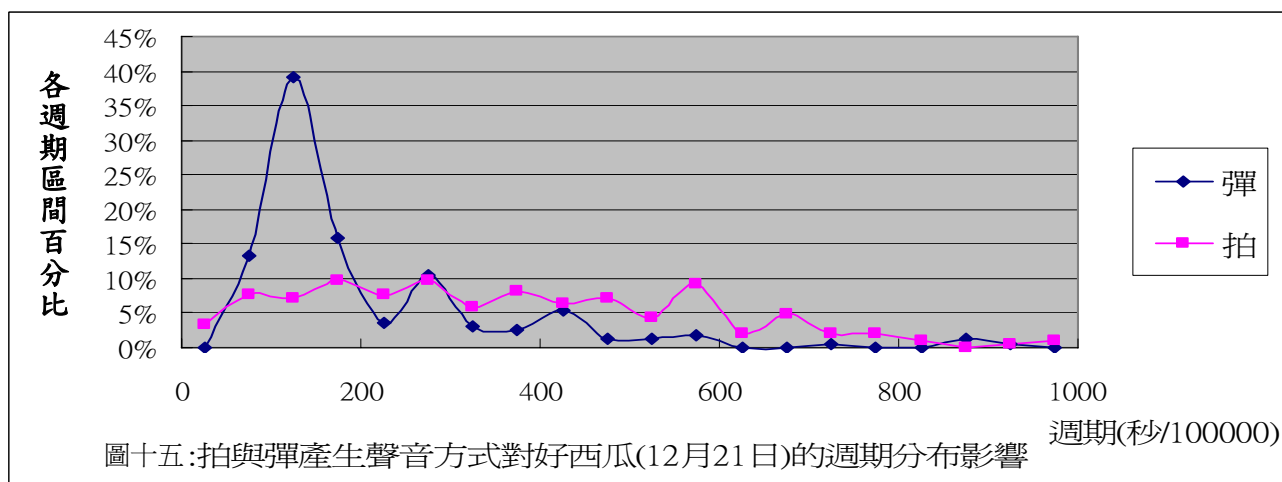
結果分析: 由上圖我們發現不同的人彈同一顆西瓜，聲音的週期分佈極為相似。

(研究四) 使用統計聲音在各週期間隔的分布百分比的方法時，彈或拍西瓜，圖形會有何種變化。

- 1.控制變因：同顆西瓜（3.11kg）、相同錄音模式
- 2.操縱變因：彈西瓜或拍
- 3.數據結果：如表九；圖十五

表九：彈或拍西瓜，各週期間隔的分布圖形會有何種變化。

產聲方法	前	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	合計
彈	後	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	
	次數	0	22	64	26	6	17	5	4	9	2	2	3	0	0	1	0	0	2	1	0	164
	百分比	0.0%	13.4%	39.0%	15.9%	3.7%	10.4%	3.0%	2.4%	5.5%	1.2%	1.2%	1.8%	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%	1.2%	0.6%	0.0%	
拍	次數	7	16	15	20	16	20	12	17	13	15	9	19	4	10	4	4	2	0	1	2	206
	百分比	3%	8%	7%	10%	8%	10%	6%	8%	6%	7%	4%	9%	2%	5%	2%	2%	1%	0%	0%	1%	



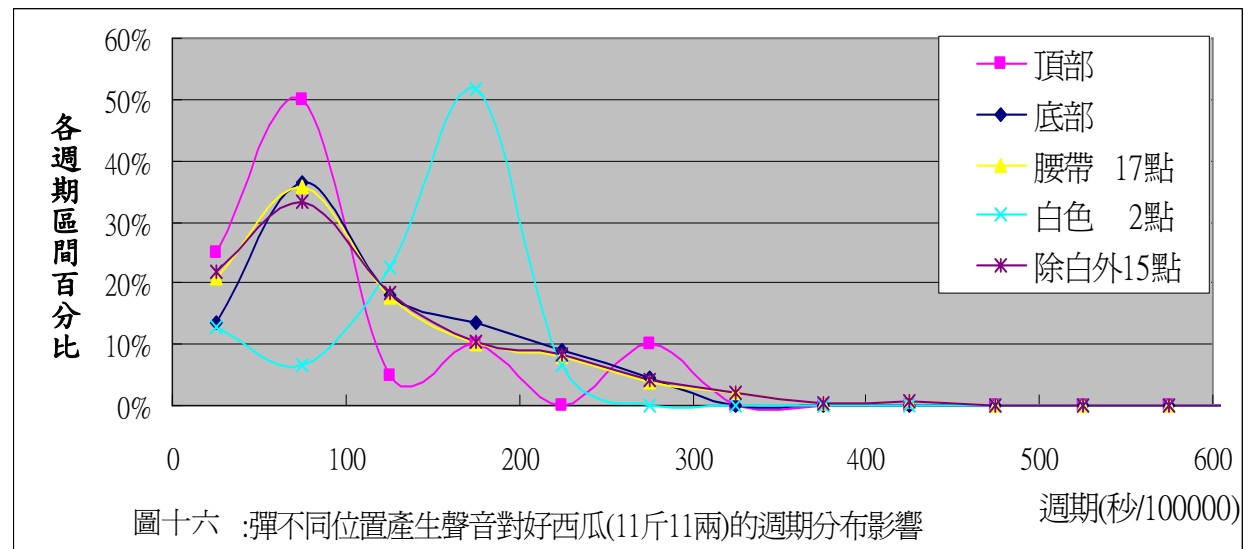
結果分析：以指甲彈西瓜，所得到的週期分佈，較以手指(掌)拍西瓜的聲音集中。

(研究五) 使用統計聲音在各週期間隔的分布百分比的方法時，若彈西瓜的位置不同，圖形會有何種變化。

- 1.控制變因：同顆西瓜(11 斤 11 兩)、相同錄音模式
- 2.操縱變因：彈西瓜的位置不同
- 3.數據結果：如表十；圖十六

表十：彈西瓜的位置不同，各週期間隔的分布圖形會有何種變化

敲擊位置	前	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	合計
後	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000		
頂部	次數	5	10	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
	百分比	25.0%	50.0%	5.0%	10.0%	0.0%	10.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
底部	次數	3	8	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	22
	百分比	14%	36%	18%	14%	9%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	
腰帶 17點	次數	96	165	82	47	37	18	10	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	460
	百分比	20.9%	35.9%	17.8%	10.2%	8.0%	3.9%	2.2%	0.2%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	
白色 2點	次數	4	2	7	16	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
	百分比	12.9%	6.5%	22.6%	51.6%	6.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
除白外 15點	次數	79	120	66	37	30	15	8	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	360
	百分比	21.9%	33.3%	18.3%	10.3%	8.3%	4.2%	2.2%	0.3%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	



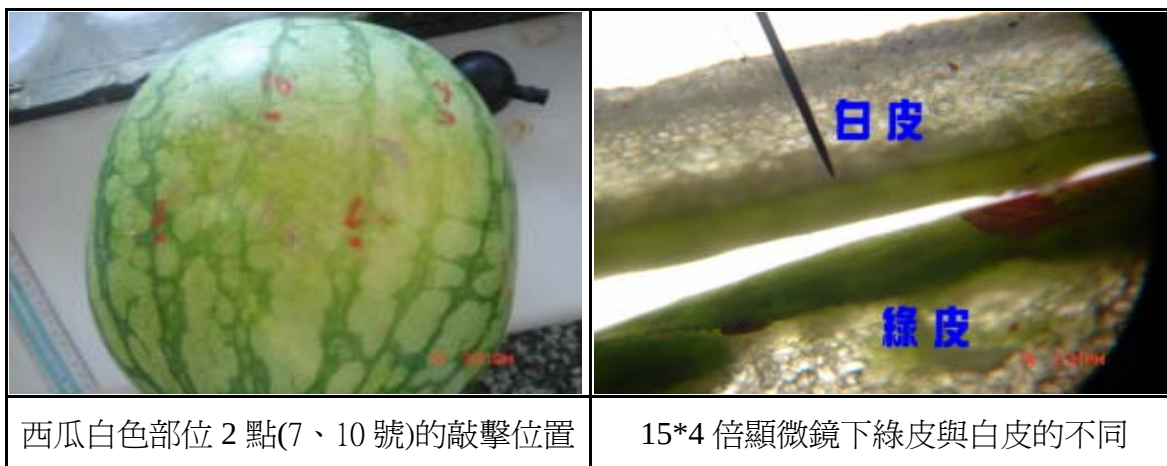
西瓜頂部敲擊點(中央瓜蒂邊)



西瓜底部敲擊點(中央灰色處)



西瓜腰帶 17 點的敲擊位置



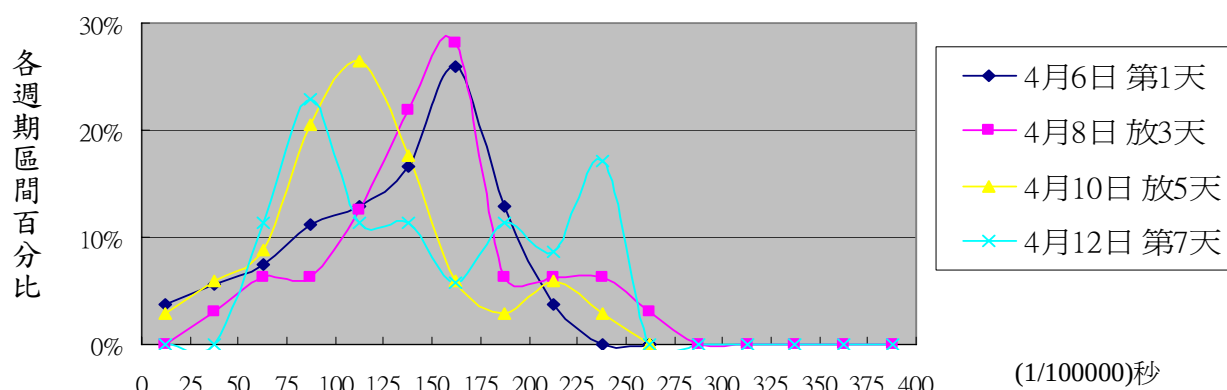
結果分析：不論彈西瓜的頂部、底部或腰部，所產生的週期分布均類似(0.5×10^{-3} 到 1×10^{-3} 秒附近)，但彈白色部分時，卻出現週期較大 (1.50×10^{-3} 到 2.00×10^{-3} 秒附近)、頻率較小{低音}的週期分布主峰。

(研究六) 使用統計聲音在各週期間隔的分布百分比的方法，將西瓜放置七天，分析隨著西瓜開始過熟，週期分布的圖形會有何種變化。

1. 控制變因：同顆西瓜 (7.01kg)、相同錄音模式
2. 操縱變因：放置天數
3. 數據結果：如表十一；圖十七

表十一：西瓜放置時間不同，各週期間隔的分布圖形會有何種變化

週期 間距	前	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	合計
	後	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	
4月6日 放1天	次數	2	3	4	6	7	9	14	7	2	0	0	0	0	0	0	0	54
	百分比	3.7%	5.6%	7.4%	11.1%	13.0%	16.7%	25.9%	13.0%	3.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
4月8日 放3天	次數	0	1	2	2	4	7	9	2	2	2	1	0	0	0	0	0	32
	百分比	0.0%	3.1%	6.3%	6.3%	12.5%	21.9%	28.1%	6.3%	6.3%	6.3%	3.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
4月10日 放5天	次數	1	2	3	7	9	6	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	34
	百分比	2.9%	5.9%	8.8%	20.6%	26.5%	17.6%	5.9%	2.9%	5.9%	2.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
4月12日 放7天	次數	0	0	4	8	4	4	2	4	3	6	0	0	0	0	0	0	35
	百分比	0.0%	0.0%	11.4%	22.9%	11.4%	11.4%	5.7%	11.4%	8.6%	17.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	



圖十七：同一顆西瓜,放置時間的不同,如何影響週期分佈

結果分析：隨著放置的時間變長，主要的聲音週期分布，有向低週期高頻率移動的趨勢，第七天西瓜出現裂縫，週期分布也分裂成 2 組。

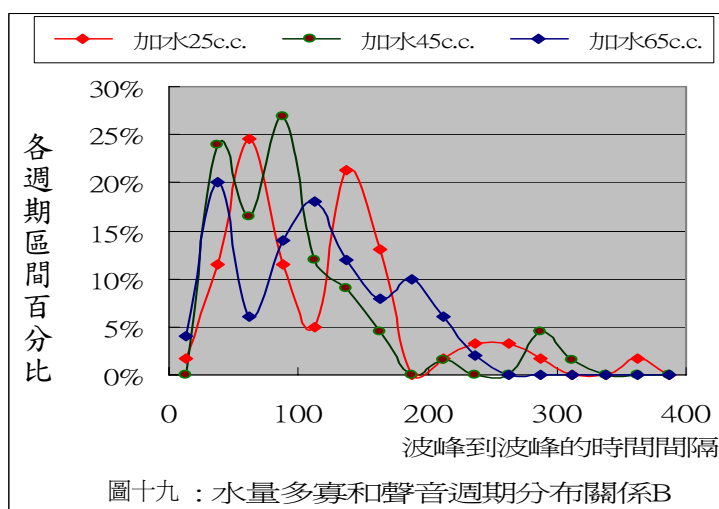
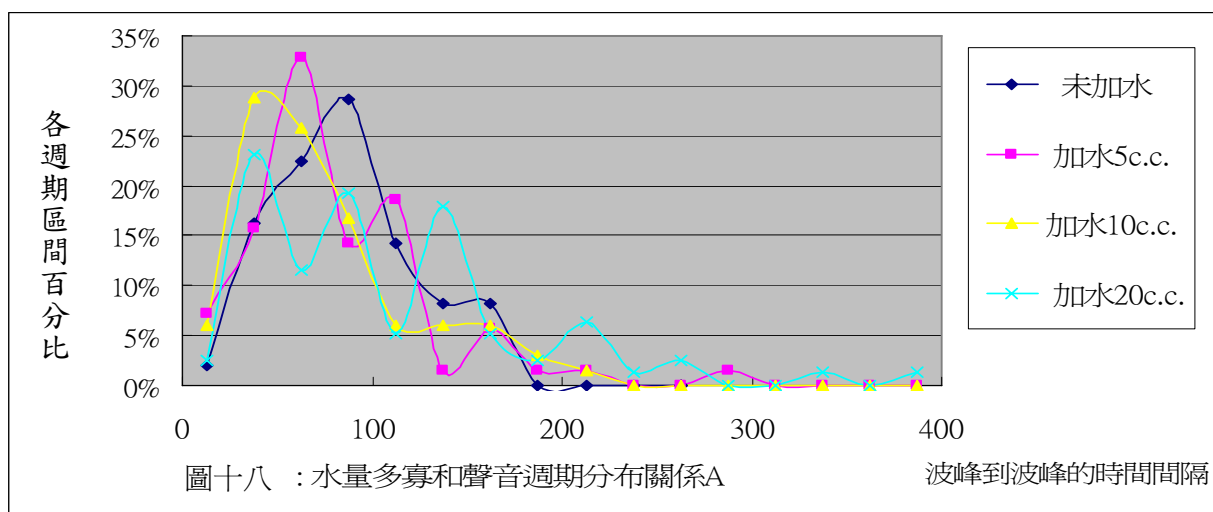


（研究七）將好的西瓜以針筒注入蒸餾水，敲擊發聲錄音，使用統計聲音在各週期間隔的分布百分比的方法，分析隨著水量增加，週期分布圖形會有何種變化。

1. 控制變因：同顆西瓜（4.85kg）、相同錄音模式
2. 操縱變因：不同注入蒸餾水量
3. 數據結果：如表十二；圖十八、圖十九

表十二：西瓜注入不同量蒸餾水，各週期間隔的分布圖形會有何種變化

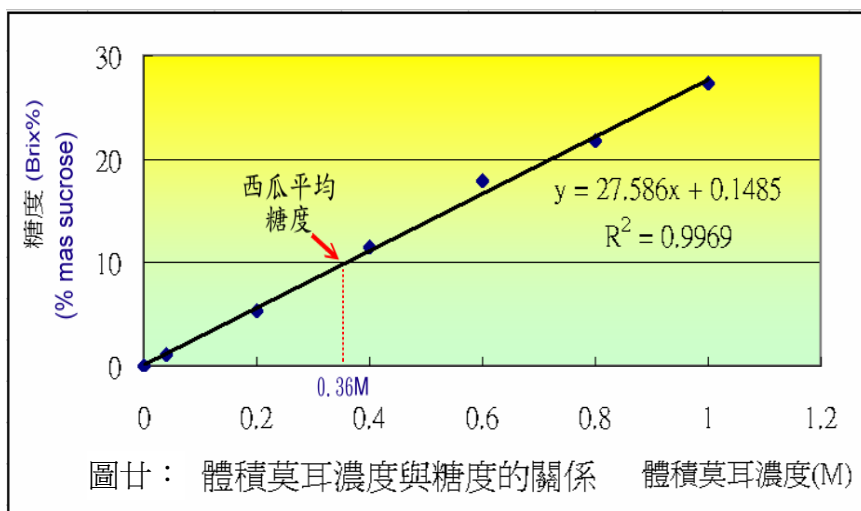
	前	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	合計
	後	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	
未加水	次數	1	8	11	14	7	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
	百分比	2.0%	16.3%	22.4%	28.6%	14.3%	8.2%	8.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
加水5c.c.	次數	5	11	23	10	13	1	4	1	1	0	0	1	0	0	0	0	70
	百分比	7.1%	15.7%	32.9%	14.3%	18.6%	1.4%	5.7%	1.4%	1.4%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
加水10c.c.	次數	4	19	17	11	4	4	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	66
	百分比	6.1%	28.8%	25.8%	16.7%	6.1%	6.1%	6.1%	3.0%	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
加水20c.c.	次數	2	18	9	15	4	14	4	2	5	1	2	0	0	1	0	1	78
	百分比	2.6%	23.1%	11.5%	19.2%	5.1%	17.9%	5.1%	2.6%	6.4%	1.3%	2.6%	0.0%	0.0%	1.3%	0.0%	1.3%	
加水25c.c.	次數	1	7	15	7	3	13	8	0	1	2	2	1	0	0	1	0	61
	百分比	1.6%	11.5%	24.6%	11.5%	4.9%	21.3%	13.1%	0.0%	1.6%	3.3%	3.3%	1.6%	0.0%	0.0%	1.6%	0.0%	
加水45c.c.	次數	0	16	11	18	8	6	3	0	1	0	0	3	1	0	0	0	67
	百分比	0.0%	23.9%	16.4%	26.9%	11.9%	9.0%	4.5%	0.0%	1.5%	0.0%	0.0%	4.5%	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	
加水65c.c.	次數	2	10	3	7	9	6	4	5	3	1	0	0	0	0	0	0	50
	百分比	4.0%	20.0%	6.0%	14.0%	18.0%	12.0%	8.0%	10.0%	6.0%	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
加水85c.c.	次數	1	1	10	5	3	5	9	4	5	3	0	1	1	0	0	0	48
	百分比	2.1%	2.1%	20.8%	10.4%	6.3%	10.4%	18.8%	8.3%	10.4%	6.3%	0.0%	2.1%	2.1%	0.0%	0.0%	0.0%	
加水105c.c.	次數	1	11	12	16	10	4	4	1	1	1	0	0	1	2	0	0	64
	百分比	1.6%	17.2%	18.8%	25.0%	15.6%	6.3%	6.3%	1.6%	1.6%	1.6%	0.0%	0.0%	1.6%	3.1%	0.0%	0.0%	



結果分析：在加水 0~20ml 的實驗中，主要的聲音週期分布，有向低週期高頻率移動的趨勢，加水 20ml 以後的實驗，週期分布分裂成數組，不再有集中的現象。

（研究八）在量筒中裝入不同濃度的蔗糖水溶液，敲擊發聲錄音，計算其頻率，分析隨著糖度增加，聲音頻率會有何種變化。

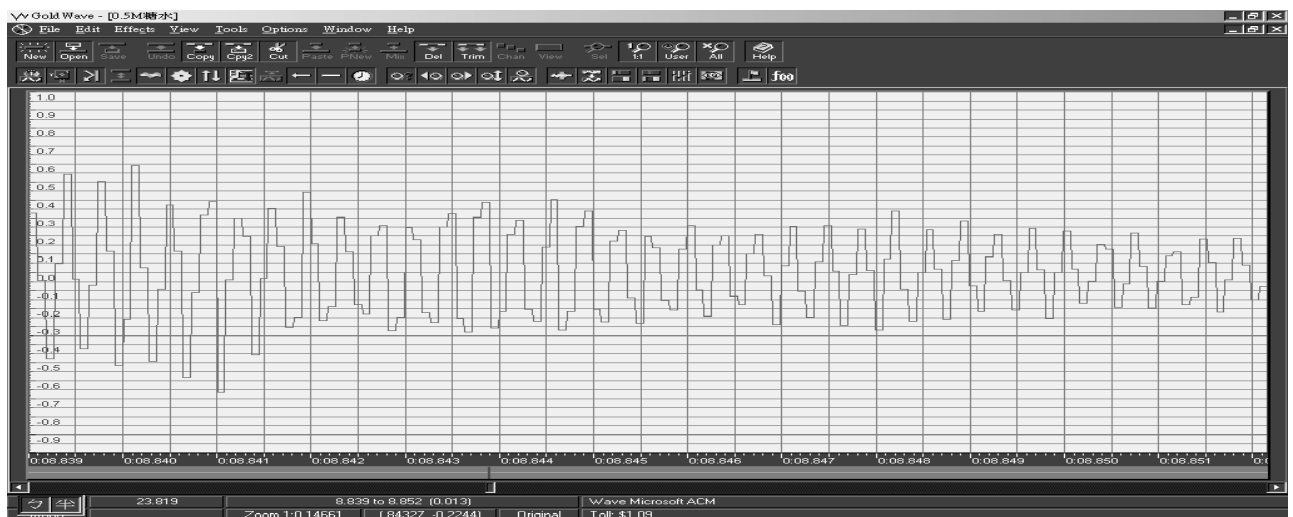
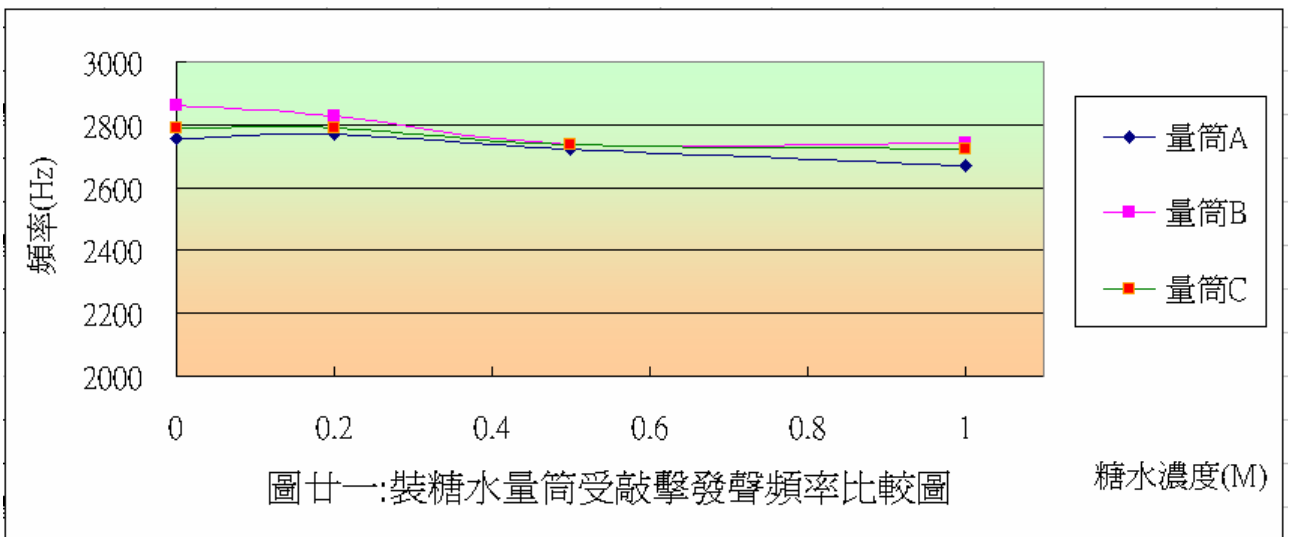
1.不同濃度的蔗糖水溶液，糖度與糖水莫耳濃度關係(圖廿)：



- 2.控制變因：三支量筒，糖水 70ml、同位置敲 35ml 刻度處，錄音 2 次
- 3.操縱變因：不同濃度的糖水
- 4.數據結果：：如表十三；圖廿一、圖廿二

表十三：裝不同濃度的蔗糖水溶液，敲擊量筒發聲，分析頻率變化

		量筒A				量筒B				量筒C			
	蔗糖濃度(M)	0	0.2	0.5	1	0	0.2	0.5	1	0	0.2	0.5	1
第一次 錄音	時間座標	9931	81160	88689	8462	8870	28344	64126	61451	92263	64308	54421	22086
		10657	81877	89424	9206	9569	29052	64861	62185	92979	65024	55147	22820
	頻率(Hz)	2754.8	2789.4	2721.1	2688.2	2861.2	2824.9	2721.1	2724.8	2793.3	2793.3	2754.8	2724.8
第二次 錄音	時間座標	32362	64507	85523	35736	89405	7891	85777	37387	54403	47700	16725	68517
		33088	65233	86258	36489	90104	8598	86503	38113	55120	48417	17460	69251
	頻率(Hz)	2754.8	2754.8	2721.1	2656.0	2861.2	2828.9	2754.8	2754.8	2789.4	2789.4	2721.1	2724.8
平均值		2754.8	2772.1	2721.1	2672.1	2861.2	2826.9	2738.0	2739.8	2791.3	2791.3	2738.0	2724.8



結果分析：各數據的變化量都小於 5%，表示糖水濃度不同，對聲音的影響不大。

陸、討論：

- 一、實驗用音叉產生的聲音經 GOLDWAVE 分析後，發現其頻率與音叉本身的標示極為接近，因此利用 GOLDWAVE 軟體來分析聲音頻率的可靠度極高。
- 二、由有音箱的音叉和無音箱的音叉的實驗中，我們得知有音箱的音叉振幅較大，聲音持續較久，原因是音箱會造成聲音的共鳴，加強聲音的持續時間。
- 三、在鋼琴的琴音分析上，分成下列數點說明：
 - (一)在低音部份：由於兩波峰的時間間隔長，波峰與波峰之間有許多振幅較小的突起，波峰的選擇，容易造成誤判，所以前 1 到 5 個白鍵並無法算出其頻率。
 - (二)在高音部份，我們發現波峰之間的時間距離相當短，波形非常密集，且到達第 52 個鍵音時，波峰已出現方形波，表示需要更大的取樣頻率。
 - (三)由鍵序與頻率關係，低音部分：鍵與鍵之間頻率相差較少；在高音部分，則差距較大，所以呈現出曲線而非正比的直線。
 - (四)鋼琴的聲音在不同琴鍵上，波形不同，並非課本上所說的：「相同的樂器具有相同的音色」，鋼琴每個音的產生是各自獨立的。
 - (五)鋼琴的琴音與音叉的聲音在波形上最大的不同是：音叉的波形為極平滑的曲線，而鋼琴的琴音波形則較不平滑，部分波形有細微的起伏，這表示琴音的波形是由較複雜的基音與數個泛音所組合而成，不同的琴鍵，基音、泛音的組合也不同，這使得各琴鍵的音色產生變化。

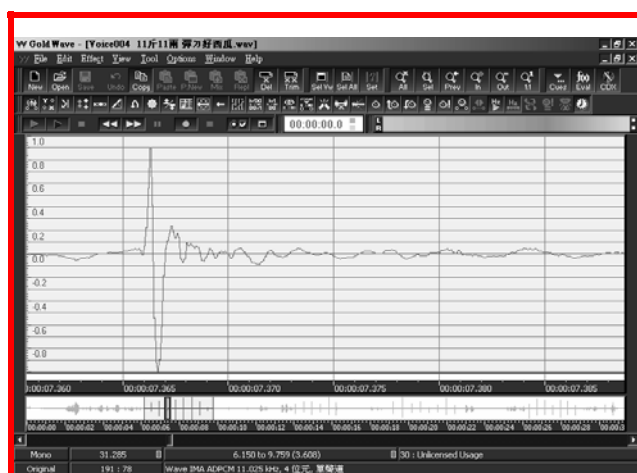
四、西瓜物理性質測量與拍打聲音的實驗

- (一)經測量西瓜的體積和重量算出密度後發現：由賣西瓜的老板娘判斷的好西瓜，其密度均高於 0.93g/cm^3 ，壞西瓜的密度均低於 0.93g/cm^3 （網路的文獻資料：好西瓜的密度均高於 0.9 g/cm^3 ，過熟西瓜的密度均低於 0.9 g/cm^3 ，日本長野縣松本市就是利用密度將西瓜分成三級銷售）。雖然平常在買西瓜時無法當場測量密度，但密度應是一個測量西瓜好壞的好方法。
- (二)糖度試驗的結果，發現好壞西瓜的糖度差異不大；果肉受力實驗的結果，顯示好西瓜的果肉不易壓縮，果肉較結實，吃起來較硬較脆，口感較好；而壞西瓜較易壓縮，不能承受較高的重量，果肉較不結實，吃起來較軟較爛。與聲音分析結果比較，彈西瓜的聲音差異應該和果肉的結實堅韌度有關，與糖度較無關。正因如此，老板娘會將過熟的西瓜存放於櫃中，當我們指定要壞西瓜時則以半價賣出（好西瓜時價每斤 17 元，95 年 6 月 15 日），因為糖度差異不大，未賣出的壞西瓜就再打成西瓜汁賣出，以避免損失（如以下照片）。

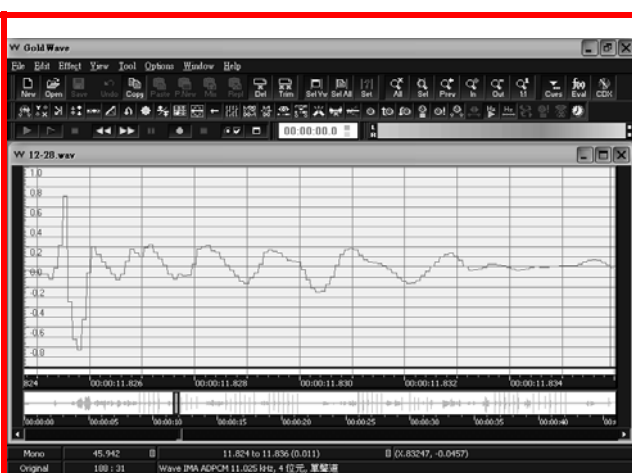


(三)比較 7.1kg、4.1kg、2.8kg 西瓜以及鋼琴琴鍵的 4 張波形圖，我們發現，鋼琴琴鍵的波形有一定規律且會重覆持續一段時間，這證明了鋼琴的共鳴很好。而比較 7.1kg、4.1kg、2.8kg 三顆西瓜，振幅大於 0.1 的波峰數如下：

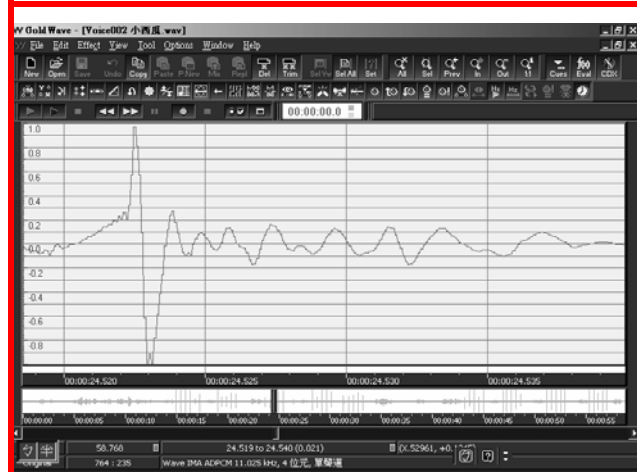
西瓜重	7.1kg	4.1kg	2.8kg
振幅大於 0.1 的波峰數	3 個	7 個	9 個



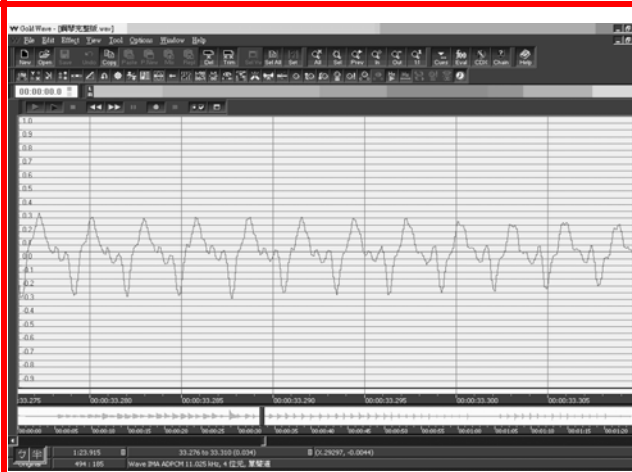
7.1kg 西瓜



4.01kg 西瓜



2.8kg 西瓜



鋼琴 la

西瓜愈重，波峰數越少，這應該是聲音在西瓜內的反射與吸收所造成的現象。

(四) 鋼琴的頻率與西瓜彈出來的聲音頻率之比較

- 1.利用平均頻率的方式：先算出好西瓜用彈的平均頻率在 494.2 Hz，大約是接近鋼琴琴鍵 f (鍵序 30)所彈出的聲音。再算出壞西瓜，用彈的平均頻率在 523.4 Hz，大約是接近在鋼琴琴鍵 g (鍵序 31)的音高。兩者頻率相當接近，如果以平均頻率對照鋼琴琴鍵鍵音的方式，來分辨西瓜的好壞，會相當困難。
- 2.設計週期區間統計法的實驗時，為使聲音週期的分布狀況更明顯，而且又能避免數據量不足的情況，我們在數據量比較多的時候，採用週期間距 25 來作圖分析，數據量少時，採用週期間距為 50 來作圖分析。此外以指甲彈西瓜，力量較大，接觸面較小，受到干擾的情況也比較小，所以後來實驗就以彈西瓜發聲為主

- 3.好西瓜(用彈的)在各週期間隔的分布大約在 $666.7\sim 800\text{Hz}$ (1.25×10^{-3} 到 1.5×10^{-3} 秒) 的位置有一支主峰，對照鋼琴琴鍵為 **b(鍵序 33)~d(鍵序 35)**。壞西瓜(用彈的)在各週期間隔的分布則比較凌亂，約在 $400\sim 4000\text{Hz}$ (0.25×10^{-3} 到 2.5×10^{-3} 秒) 之間，對照鋼琴琴鍵為 **d(鍵序 28)~f(鍵序 52)**，音域很寬，聲音較雜。因此音樂老師在購買西瓜時，可以用彈的方式聽其西瓜所發出的聲音，是否在 **b(鍵序 33)~d(鍵序 35)** 之內，如果接近便可知道應為好的西瓜。
- 4.不同西瓜的平均頻率高低差異大，甚至影響好壞西瓜的判斷，所以改用**聲音週期區間統計法**，分析週期的分布、波峰的位置與是否集中，才是判斷好壞（過熟與否）西瓜較好的方式。
- 5.在中國種子商務網中提到：「用手指彈瓜或用手掌拍瓜、摸瓜。彈瓜發生濁音是熟瓜。發出剛脆清音為生瓜。一手托瓜，一手在瓜上邊輕輕拍打，瓜發出砰砰的濁音是熟瓜，發出噠噠聲音屬生瓜」。由本研究看來，這裡所謂的濁音，在聲波中，指的應該是頻率分布較寬、較雜的聲音；而所謂的清音，指的應該是頻率分布集中、較單純的聲音。
- 6.好西瓜的頻率較集中，經切開觀察後，我們認為應該是果肉結構均勻所致；壞西瓜的頻率分布比較分散，沒有主要的高峰，但出現多個凌亂的小高峰，我們認為這應是西瓜內部已出現糜爛狀果肉、空腔與果肉混雜，產生不同頻率聲音所致。

		
果肉結構均勻的西瓜	果肉結構均勻有白邊的西瓜	果肉結構均勻西瓜的西瓜子
		
糜爛狀顏色變淡果肉（7日後）	糜爛狀果肉與空腔（7日後）	西瓜子附近的果肉空洞（7日後）

- 7.我們也發現過熟的西瓜會出現裂縫，這時週期分布圖會出現兩個以上的波峰，因此我們認為**偵測西瓜敲擊的聲音也可以判斷西瓜內外有無裂縫**。
- 8.在放置時間與注水兩項變因實驗中的數據圖形顯示：放置的時間越長（實驗 1~5 天）或增加注水，均會使聲音週期分布圖形的主峰先向低週期(高頻率)移動，並再出現分裂的數個峰，這是否與水在西瓜中的分布有關，我們必須再設計實驗來作進一步的探討。

9.西瓜的白色部位，據水果行老闆說，是因為該部份朝下，無法受到日光照射所致。

由顯微鏡中觀看發現：白色部分的果皮較淡較薄。比對聲音分布圖後發現，敲白色的部份，有較低的音高。也就是說，果皮的結構不同，會影響到聲音的分布，也會影響到西瓜好壞的判斷。

10.糖水濃度不同，對敲擊量筒發出的聲音頻率影響不大，也間接證明西瓜的甜度，無法用彈拍的方式來判斷。

五、水果行老板娘的經驗、西瓜密度、果肉受力後的形變量，都可以和聲音分析的數據結果相互驗證，證明新分析方法是有效的。但西瓜的體積大小、糖度與聲音分析的數據關聯性小，無法判斷出西瓜好壞。

六、我們的研究引起同學間廣泛的討論，也因此查閱到更多有關判斷西瓜好壞文獻資料，與我們的新方法互相比較後整理如下：

發表單位(個人)	判斷西瓜好壞的依據	偵測使用工具	偵測原理(方法)	文獻來源
本研究-西瓜之音	果肉口感、放置時間、注水與敲擊聲音的關係	MP3(錄音) GOLDWAVE 電腦軟體	週期區間統計法	自行研究設計發現
嘉義大學理工學院艾群教授	音波特性與西瓜內部品質-成熟度、空洞存在與方位之關係	指向性麥克風 信號分析儀	敲擊西瓜聲音 最大振幅的頻率	http://140.130.89.20/study/main_3.htm 艾群教授網站
日本長野縣松本市松本Hi-Land農業協同組合	密度判斷內部空心程度	荷重計秤西瓜重量，兩個 CCD 量出西瓜體積，求密度，分三級	密度測量	
農委會桃園區農業改良場	水果糖度檢測、影像水果色澤與果徑檢測	分光光度計、鹵素光源、影像水果色澤與果徑檢測系統，分三級	波長 750-2500 nm 之近紅外線光檢測薄皮(0.3cm 以下)水果糖度	http://tydais.coa.gov.tw/index/b3_71.htm
	水果糖度	分光光度計、雷射光源	雷射光測厚皮(0.3cm 以上)水果之糖度，準確度 80%	95 年 6 月 16 日中國時報 A8 版；自由時報 A11 版

綜合來看：判斷西瓜好壞有糖度與果肉品質兩個方向，我們的研究也證實：西瓜敲擊聲與果肉品質、西瓜裂縫、空洞較有關係，與糖度關係不大。未來若能收集更多敲擊聲與水果品質的實驗證據證明聲音週期區間統計法的有效，再將這個新概念電子化、自動化，減少偵測時間，配合已有的紅外線糖度偵測，就能為台灣的水果品質分類做出一番貢獻，創造出更高的價值。

柒、結論：

在這次的研究中，我們測量了西瓜的尺寸、密度、糖度、果肉受力形變量、彈與拍聲音頻率的平均值，更設計了新的分析方法-**聲音週期區間統計法**，從這幾個角度去辨別西瓜的好壞程度：

- 一、好壞西瓜的密度以 0.93g/cm^3 為分界，大於此值的西瓜為好西瓜。
- 二、西瓜的尺寸、重量、糖度，無法作為判斷西瓜好壞的依據。
- 三、在剖開西瓜測量西瓜果肉形變量的實驗中，好西瓜的形變量小於 $0.6\text{cm} / \text{kgw}$ ，壞西瓜卻可以高達 $1.86\text{cm} / \text{kgw}$ ，好壞西瓜果肉的堅韌度差距十分明顯。
- 四、利用平均頻率的方式，彈好、壞西瓜，測其聲音頻率發現：壞西瓜的平均頻率(523.4Hz)> 好西瓜的平均頻率(494.2Hz)，但因各西瓜的頻率差異性很大，這個方法的實用性不高。
- 五、統計聲音在各週期間隔的分布百分比實驗，研究結果顯示好西瓜的頻率較為集中，壞西瓜的頻率較為分散。若與果肉結構互相對照，壞西瓜的果肉內出現糜爛狀空腔與均勻果肉相混雜，使得敲擊時產生不同頻率的聲音，導致聲音聽起來較混濁。
- 六、各週期區間百分比法實際結果：好西瓜的頻率集中在 $666.7\sim 800\text{Hz}$ ，壞西瓜的頻率則分布在 $400\sim 4000\text{Hz}$ ，可見壞西瓜的音域極寬，聲音也較雜。
- 七、放置時間越長的西瓜，西瓜內部原本結構均勻的果肉會變成糜爛狀空腔或出現裂縫，導致原本較集中的頻率改變，分布範圍擴大。
- 八、放置時間越長的西瓜或從外部注入不同體積的水到西瓜，會使週期分布主峰向低週期(高頻率)方向移動，再出現分裂的數個峰。
- 九、西瓜白色部分的果皮較淡較薄，敲此部分有較低的音高，表示果皮結構會影響西瓜的好壞判斷。
- 十、糖水濃度不同對聲音頻率影響極小，也間接證明西瓜糖度無法用拍、彈的方式來判斷。

好西瓜之音= ? Hz ; ?= $666.7\sim 800\text{Hz}$ (集中)

(金蘭西瓜)



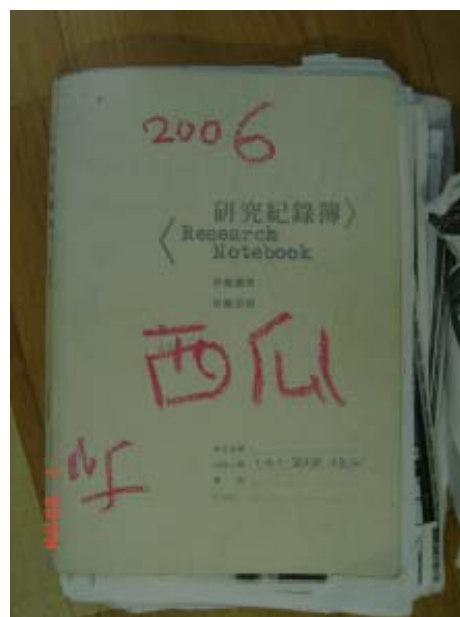
捌、參考資料：

- 1.郭重吉(民 93)。自然與生活科技(3)。台南市：南一書局企業股份有限公司。
- 2.鄧美貴(民 93)。自然與生活科技(5)。台北市：康軒出版社。
3. David Halliday & Robert Resnick（原著），侯瑞琳（譯）(民國 81)。基本物理學。台北市：新陸書局股份有限公司。
- 4.王亞偉、楊雄生(民 90)。物理。台北市：五南圖書出版股份有限公司。
- 5.陳順強(民 89)。費因曼物理學（第一部一下）。台北市：徐氏文教基金會。
- 6.吳權威、呂琳琳(民 91)。EXCEL 2002 統計應用。台北市：基峰資訊股份有限公司。
- 7.王文中(民 90)。統計學與 EXCEL 資料分析的實習應用。台北市：博碩文化。
- 8.沈百奎、鄧汀欽、余志儒、林俊義(民 91)。西瓜栽培管理。台中縣：行政院農業委員會農業試驗所。

玖、未來展望：

從去年 10 月開始，我們開始利用錄音筆去錄製各種聲音，從音叉、鋼琴、國中男女生、成年男女生到十幾顆西瓜的聲音，我們在錄製聲音、分析聲音的過程中驗證自己在課本中所學到關於聲音的知識，響度、音調、音品等等的概念在實驗與報告撰寫的過程當中，不知在腦袋瓜中轉了多少圈，12 月中旬開始每天中午我們都固定測量一顆西瓜，先錄其聲音再將它剖開，測量果肉強韌度與甜度，由於週期平均的數據差異過大，使得我們不得不從今年 1 月開始，開始思考去設計新的聲音分析方法—**聲音週期區間統計法**。在獲得初步的成功後，便開始大量的去錄製各類型、各變因西瓜的聲音，一次的敲擊聲就繪製一張波形圖，到 4 月底這些圖形已經足夠塞滿一個中型旅行袋，這是我們今年努力的結果。我們發現了一種非破壞性偵測物質性質的方法，能判斷西瓜的好壞，今後我們更希望能將這個方法研究得更透澈，應用到更多水果的品質分析上，為台灣的水果品質管制做出一番貢獻。

原始印出作波峰時間座標標定的波形圖



評語

030819 西瓜之音=? Hz

結合日常生活常識之音頻分析，藉以區分西瓜之肉質，內容實用有趣。