

“聲”機蓬勃的奧秘

— 探討水下聲波刺激對水耕蔬菜生長的影響

國中組生物科第二名

新竹市立光華國民中學

作者：何承穎、葉筱芸、徐郁芳

指導教師：張秀激

一、研究動機

每年八、九月正是颱風季，田裡的蔬菜受天候影響而產量銳減，價格昂貴。雖然水耕蔬菜不受限於天候，但每日產量有限，因此引起我們找尋促進水耕蔬菜早日收成，及增產方法的興趣。

我們在卅一屆科展生物作品中，得知某些特定聲波的刺激，的確能促進水蘊草的光合作用；但，此實驗卻僅止於對植物葉部的刺激而已，而我們知道，根部對植物的生長尤其重要，但，一般田間植物不易進行此類實驗，因此，我們就著手設計本實驗，想利用各類水下聲波來刺激水耕蔬菜之根部，觀察其生長情形，期能找出促進其生長的聲波或音樂。

二、研究目的

我們選定白菜來實驗，探討：

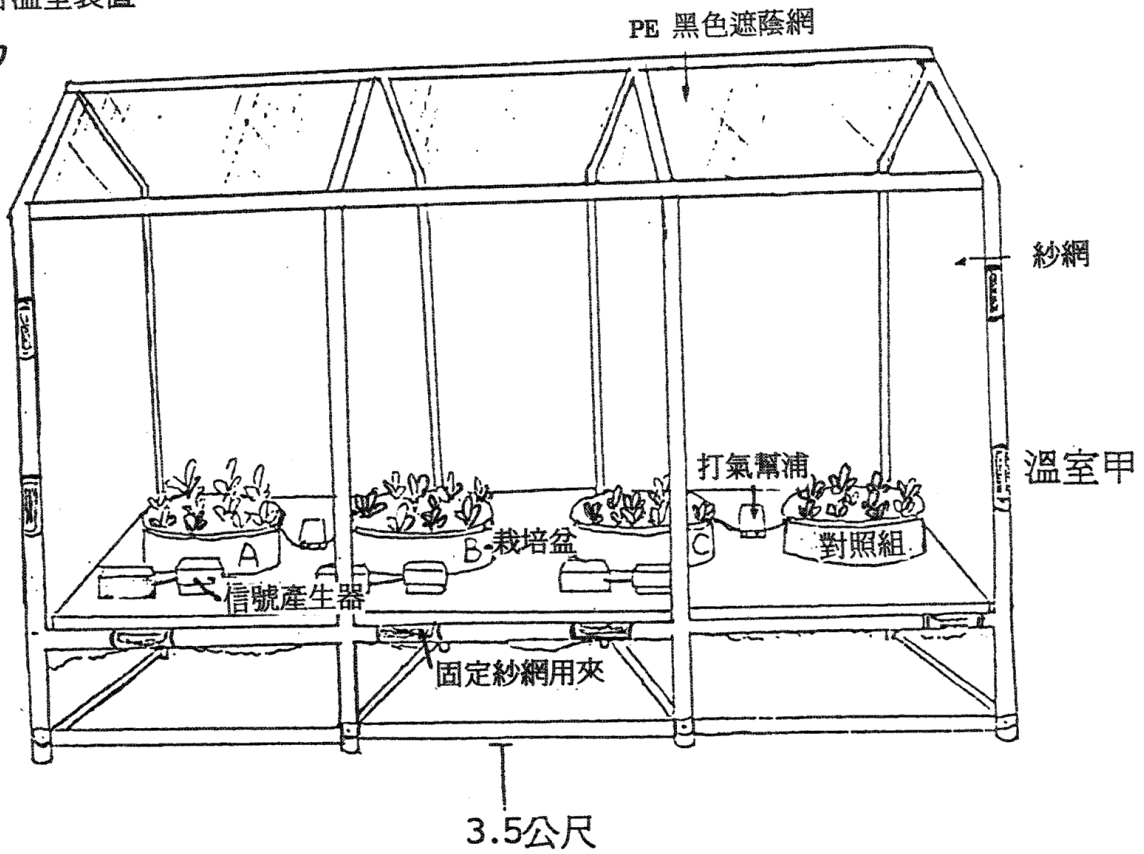
- (一)單頻及不同音樂對白菜植株成長的影響。
- (二)斷續或持續的聲波刺激對白菜植株成長的影響。
- (三)聲波分別在白天和晚上播放對白菜植株成長的影響。

三、研究設備器材

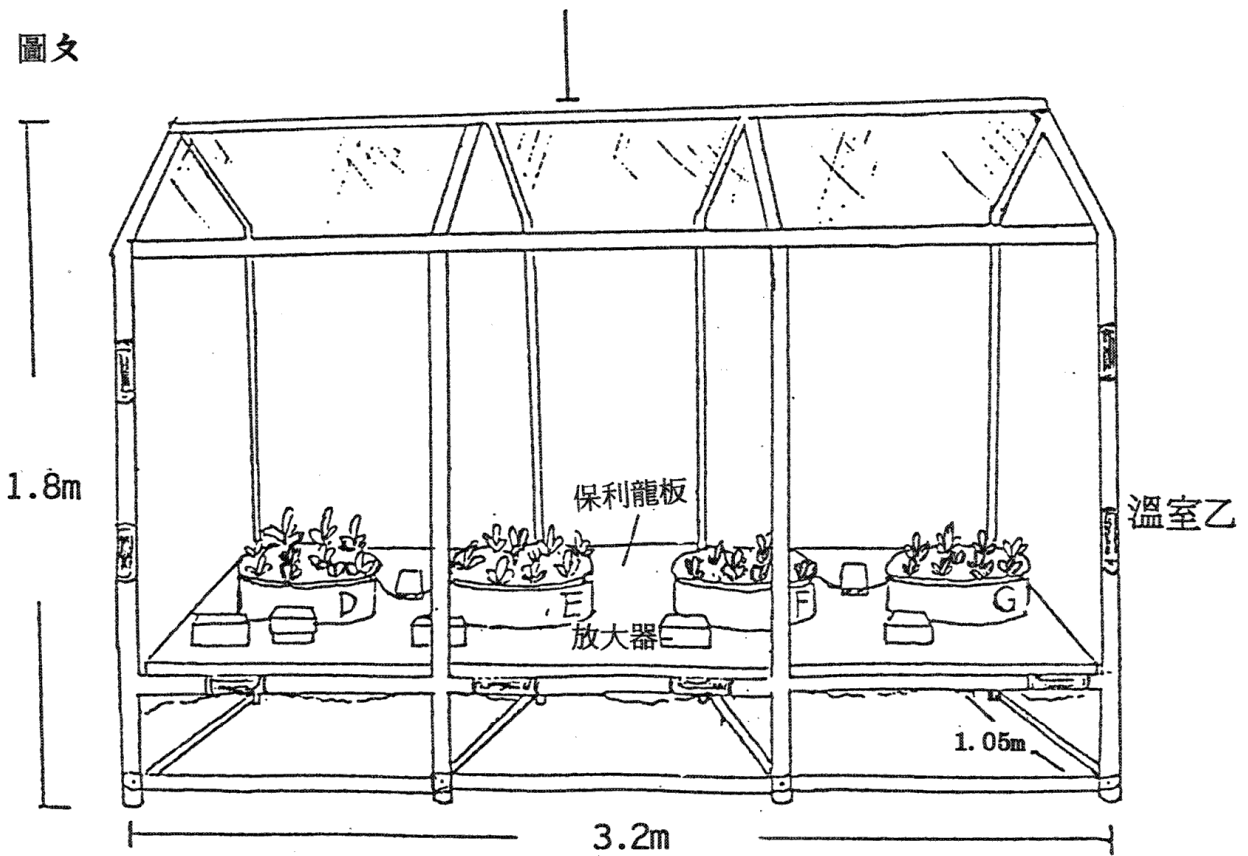
組合水耕溫室（長3.2m×寬1.05m×高1.8m）2棟，保利龍板，圓形保利龍盒（直徑50.8cm×深16.0cm及直徑48.3cm×深16.5cm 2種），PE黑色遮蔭網，打氣幫浦，黑色防水塑膠布，氣泡石，自動加溫器，溫度計，白菜種苗，海綿塊，完全配方肥料〔巨量元素(C、H、O、N、S、P、Fe、Ca、Mg、K)，微量元素(Fe、Mn、B、Zn、Cu、Mo、Cl)，鐵(EDTA-Fe)]，水下揚聲器（頻率0.1K~2000K赫），信號產生器、放大器、音樂卡帶（交響樂、搖滾樂、鋼琴小品曲、小提琴小品曲各一捲），定時器，定溫箱，刻度尺，天平，量筒，燒杯，EC meter，pH儀，噪音計。

(一) 組合溫室裝置

圖ㄅ



圖ㄆ



(二) 栽培盒裝置

外觀

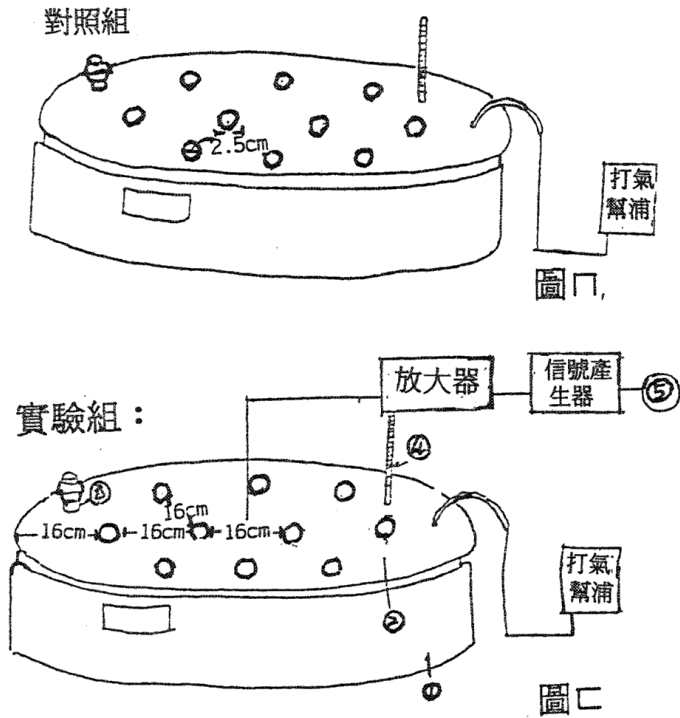


圖 1 說明

- ① 栽培盆
- ② 定植孔
- ③ 定時加溫器
- ④ 溫度計
- ⑤ 定時器

內觀

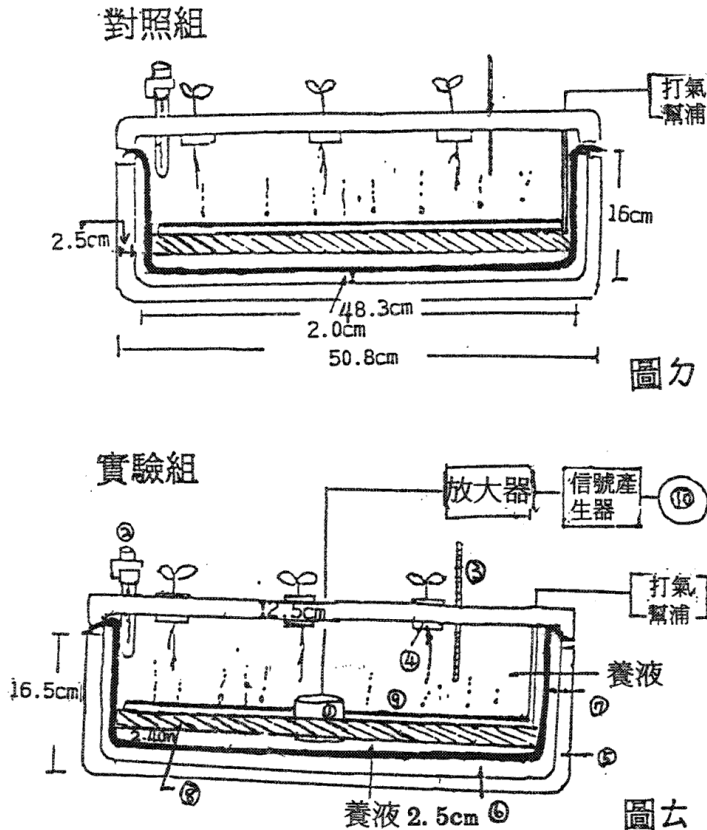


圖 3 說明

- ① 水下揚聲器
- ② 定時加溫器
- ③ 溫度計
- ④ 海棉塊
- ⑤ 保麗龍外盒
(直徑 50.8cm, 深 16.0cm, 厚 2.5cm)
- ⑥ 保麗龍內盒
(直徑 48.3cm, 深 16.5cm, 厚 2.5cm)
- ⑦ 黑色防水塑膠布
- ⑧ 保麗龍板 (厚 2.5cm)
- ⑨ 氣泡石
- ⑩ 定時器

(二) 養液配法

每24 l 水，添加：

巨量元素	微量元素	EDTA-Fe
40g	0.12g	0.48g

配成pH 5.5，EC 1.4之養液

四、研究過程

實驗進行時間：81年8月1日～82年2月13日

實驗(一)：於白天(6:00 AM～6:00 PM)連續以聲波刺激白菜根部12小時，探討不同頻率的聲波對白菜生長的影響。

步驟：1. 裝置器材如圖ㄅ。

2. 分別在實驗組A、B、C栽培盒及對照組栽培盒中，注入24 l 的養液。

3. 選擇相等大小(約2.6cm)並已萌發2片子葉之種苗，以每盒10株的分配比例，按序定植於各栽培盒的孔穴中。

4. 將實驗組及對照組栽培盒內、外儀器裝配好，並接通(如圖ㄇ、圖ㄗ、圖ㄨ、圖ㄜ)，並以定時器控制A、B、C栽培盒內揚聲器發聲時間，使之於6:00 AM～6:00 PM持續發聲12小時。

5. 調整A揚聲器→波形為～，音量為5單位，頻率為0.1 KHz

B揚聲器→波形為～，音量為5單位，頻率為1 KHz

C揚聲器→波形為～，音量為5單位，頻率為10 KHz

並使之在水下發聲。

6. 定植27天後收成，測量各組10株白菜的葉數、根長及逐片測量每片本葉的葉長、葉寬、與葉面積(葉長×葉寬)，並計算其總值；隨即用天平秤出各組10株白菜的全株鮮重量及根鮮重量，並分別計算植株及根的總鮮重。

7. 將白菜放入定溫箱以40°C烘乾48小時。

8. 取出白菜，秤出各組10株白菜的全株乾重及根乾重，並分別計算植株及根的總乾重。

實驗(二)：於白天(6:00 AM～6:00 PM)每間隔1小時，給予聲波刺激白菜根部1小時(共6小時)，探討單頻不同頻率及不同音樂的聲波對白菜生長的影響。

步驟：1. 裝置器材如圖ㄅ、ㄜ。

2. 分別在實驗組A、B、C、D、E、F、G栽培盒中，注入24 l 的養液。

3. 同實驗(一)步驟3～4。註：實驗組音樂部分直接以放大器播放音樂，故不須安接信號產生器。

4. 於D栽培盒中播放交響樂（貝多芬第六號交響曲—田園）

於E栽培盒內播放搖滾樂（麥克傑克森—牆外）

於F栽培盒內播放鋼琴小品曲

A 1. THE MAIDEN'S PRAYER(BADARZEWSKA)少女的祈禱（巴達塞維斯卡）

2. MINUTE WALTZ(CHOPIN)小狗圓舞曲（蕭邦）

3. CUCKOO WALTZ(JONASSON)杜鵑圓舞曲（鍾納森）

4. CSLKOS POST(NECKE)郵遞馬車（尼克）

5. TRAUMEREI(SCHUMANN)夢幻曲（舒曼）

6. SILVER WAVES(WYMAN)銀波（威曼）

7. TURKEY MARCH(MOZART)土耳其進行曲（莫札特）

B 1. FUR ELISE(BEETHOVEN)給愛麗絲（貝多芬）

2. LA CINQUANTAINNE(MARIE)金婚式（馬利）

3. HARMONIOUS BLACKSMITH(HANDEL)快樂的鐵匠（韓德爾）

4. LA FILLE AUX CHEVEUX(DEBUSSY)棕髮少女（德布西）

5. CLAIR DE LUNE(DEBUSSY)月光曲（德布西）

6. BRIDAL MARCH(WAGNER)結婚進行曲（華格納）

7. HOCHZEITS MARSCH (MENDELSSOHN)結婚進行曲（孟德爾頌）

於G栽培盒內播放小提琴小品曲

A 1. SERENADE(DRIGO)小夜曲（杜利哥）

2. AUF FLUGELN DES GESANGES (MENDELSSOHN)乘著歌聲的翅膀（孟德爾頌）

3. LIEBESLEID (KREISLER)愛之悲（克萊斯勒）

4. AIR ON G STRING (BACH) G弦之歌（巴哈）

5. WIEGENLIED (SCHUBERT)搖曲（舒伯特）

6. JEANIE WITH THE LIGHT BROWN HAIR(FOSTER)金髮的珍妮（福斯特）

7. DANNY BOY 丹尼男孩

8. SOURENIV (DRDLA) 回想曲（德爾拉）

B 1. FRUHLING SLIED (MENDELSSOHN)春之歌（孟德爾頌）

2. CHANSON HINDOUE (RIMSKY-KORSAKOV) 印度之歌（林姆斯基）

3. SERENADE (DRDLA) 小夜曲（德爾拉）

4. ALBENIZ "TANGO" (KREISLER)阿爾班尼士的探戈 (克萊斯勒)
5. RONDO WOLFGANG AMADEUS (MOSART)迴旋曲 (莫札特)
6. SICILIENNE (MARIA THERESIA VON PARADIS) 西西里舞曲 (培拉笛士)
7. BERCEUSE DE JOCELYN (GODARD) 約斯蘭睡眠曲 (郭大德)
8. VALSE (BRAHMS) 圓舞曲 (布拉姆斯)

並調整音量為5單位，使揚聲器在水下發聲。

5. 每隔3天，記錄1次各組液溫，並測量各組10株白菜的葉數、根長及逐片測量每片本葉的葉長、葉寬、與葉面積 (葉長×葉寬)。

6. 同實驗(一)步驟6~8。

在上兩次實驗中，我們由測量結果比較發現，給予斷續聲波刺激效果較持續聲波刺激來得好。進而進行斷續聲波刺激實驗，比較白天給予刺激，及晚上給予刺激的生長情形有何不同？

實驗(三)：於晚上 (6:00 PM~6:00 AM) 每間隔1小時，給予聲波刺激白菜根部1小時 (共6小時)，探討單頻不同頻率及不同音樂的聲波對白菜生長的影響。

步驟：重複實驗(二)步驟1~6。

五、研究過程討論

(一)本葉的測量法：如圖(一)：以葉柄末梢至葉尖為長，以葉主脈為中心，取主脈左右兩側對稱端點之最大距離為寬。

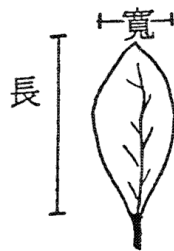


圖 (一)

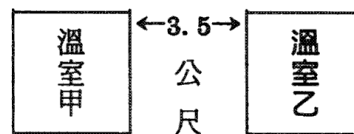


圖 (二)

(二)為避免甲、乙兩溫室因日照角度及時間的不同，造成實驗誤差，我們將兩溫室的距離調整適當如圖(二)，使其在相同時間內均能接受到相等光量。

(三)夏季時，氣溫明顯升高，容易使養液溶氧量減少，故用氣泡石及打氣幫浦供給氧氣，提供白菜根部所需氧氣。

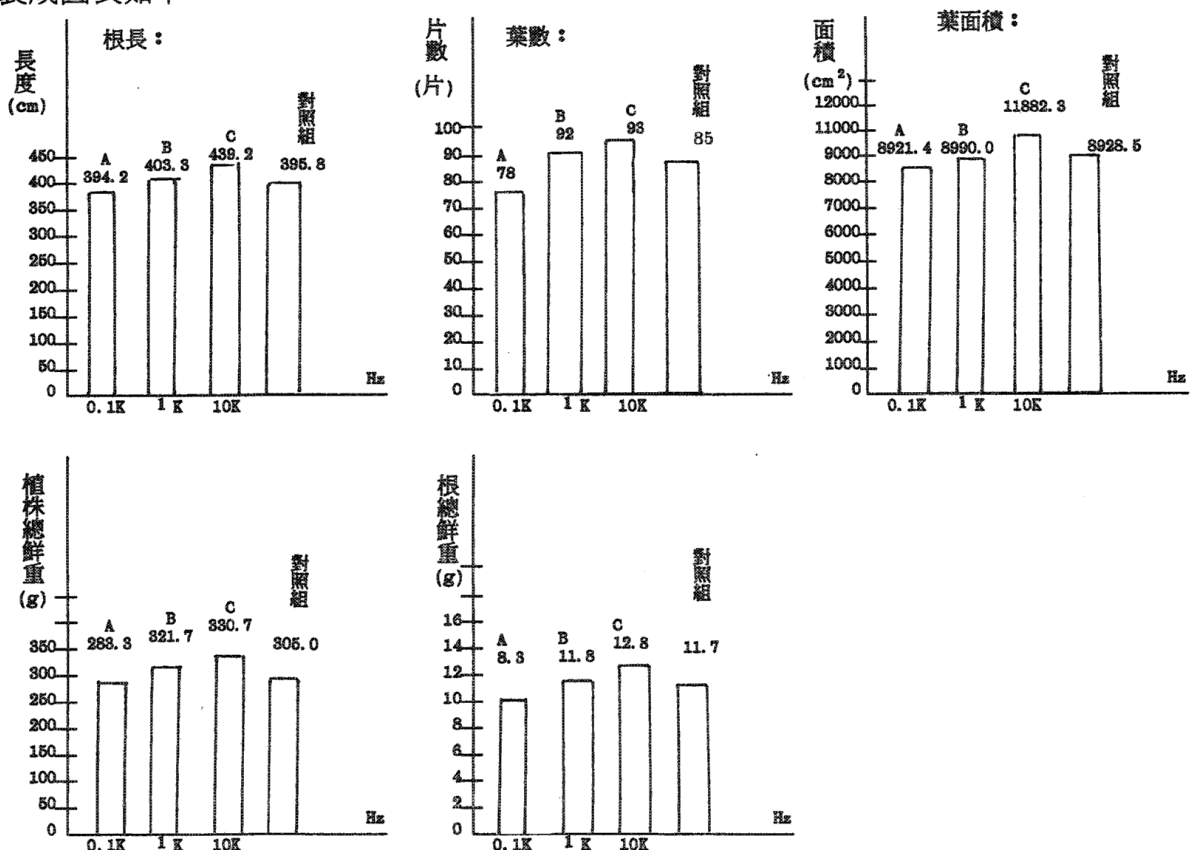
註：氣泡石及打氣幫浦供應的為低頻氣泡，對聲波傳遞的干擾影響不大，且每組設此一裝置，故視其為一項控制的變因。

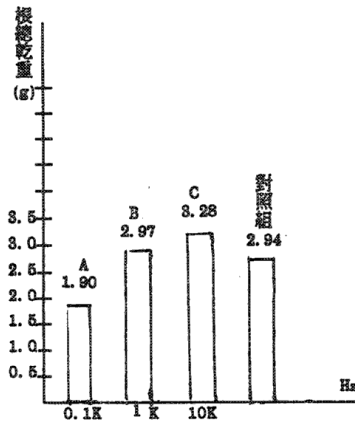
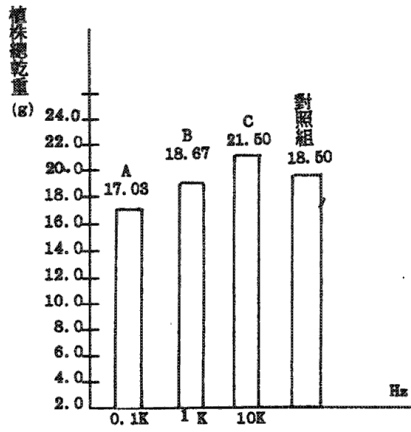
(四)以保利龍盒作為栽培盒，及內外雙層盒的設計，除了具保溫、保冷及隔音功用外，主要是為了隔絕外界熱量進出，使各組養液溫度，均能保持在與平均液溫相差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的範圍內。

- (五)在研究過程中，若某組養液溫度低於平均液溫 2°C 以下，我們則以該次測量所得的最高液溫為準，用自動加溫器，調升其餘各栽培盒的液溫，使之達到一定液溫，以免各栽培盒因液溫相差太大而產生實驗誤差。
- (六)我們考慮到白菜根部具背光性，因此以黑色塑膠布覆蓋內盒底部遮蔽光線。
- (七)在實驗組研究過程中，為避免揚聲器觸底造成器材共振現象，我們利用保利龍板，將揚聲器架高（如圖㉑）並預留 2.4cm 的空間，使揚聲器另一端發聲口，能將聲波能量順利散至養液中。而對照組栽培盒內盒，也利用保利龍板墊高的原因，則是為了使養液高度及氣泡石距白菜根部的距離這兩項變因，和實驗組相同。
- (八)白天及晚間，溫室內空氣中聲音強度（含各揚聲器的聲響傳入空氣中，及外界噪音等）為 $72\sim 97$ 分貝左右，由於各植株同時由空氣中所接受的分貝相同，可視為控制的變因，而本實驗的主要目的在探討聲波對白菜根部成長的影響。
- (九)實驗組在位置較接近揚聲器的定植孔(如圖㉒)所栽培的白菜，我們將其生長情形與距揚聲器較遠的定植孔的白菜相比較，發現差距極小，由此可了解本實驗所用栽培盒及設定的植孔距離來說，聲波振幅大小對白菜生長並無太大影響，故將此兩定植孔栽種的白菜測量數據列入實驗結果及討論之中。

六、實驗結果

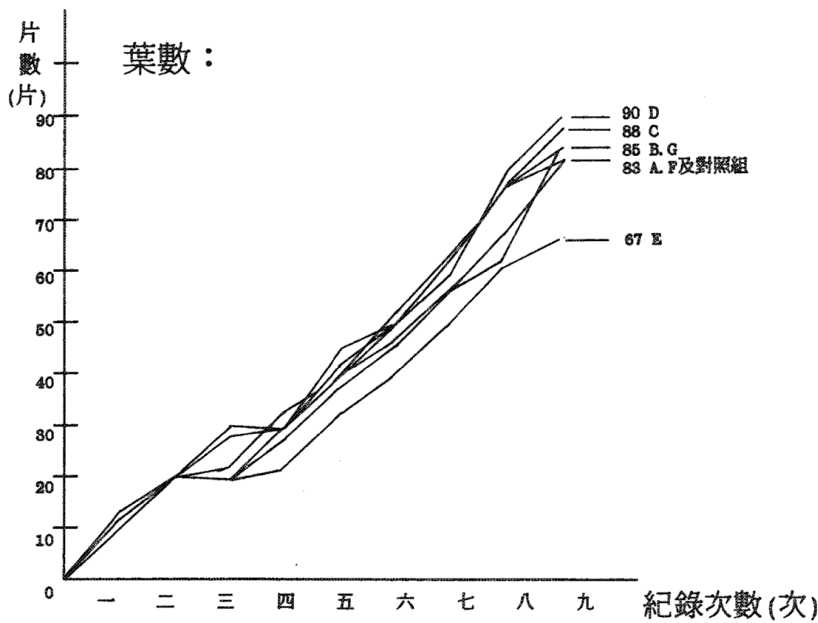
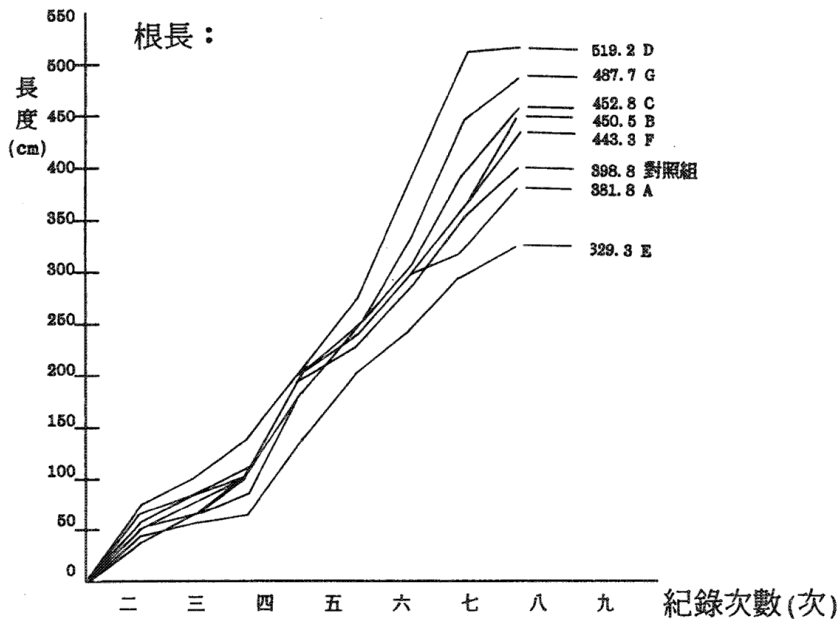
實驗(一)結果如下：以採收前（定植後第27天）的測量結果互作比較。製成圖表如下：

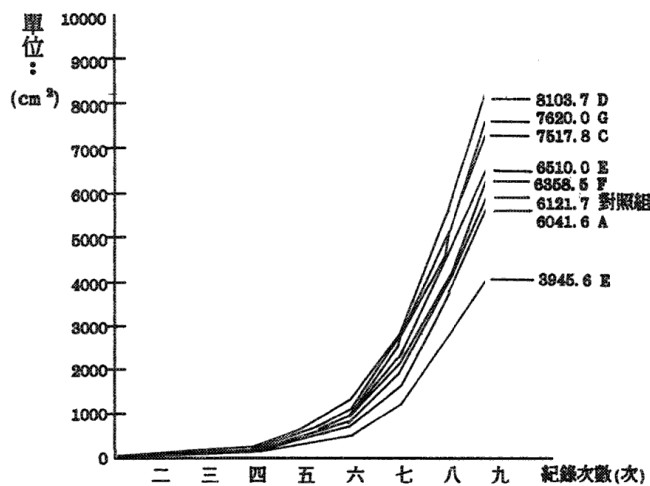




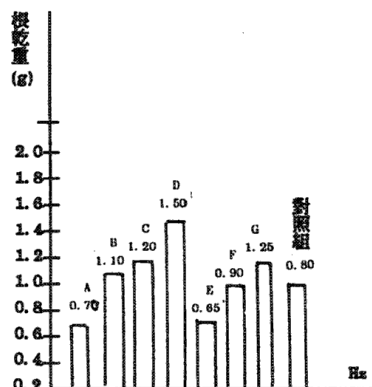
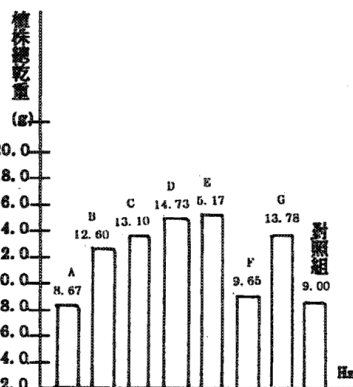
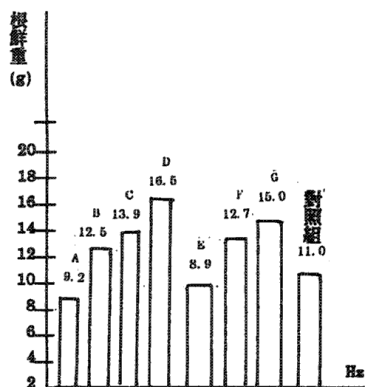
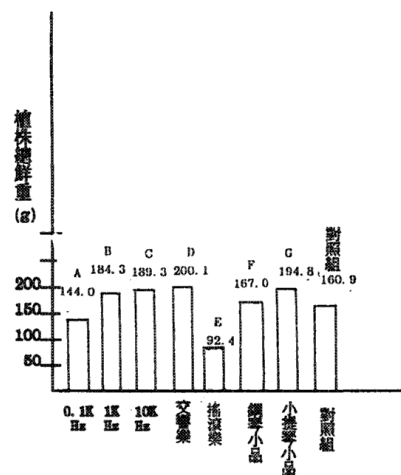
實驗(二)結果如下：

製成圖表如下：





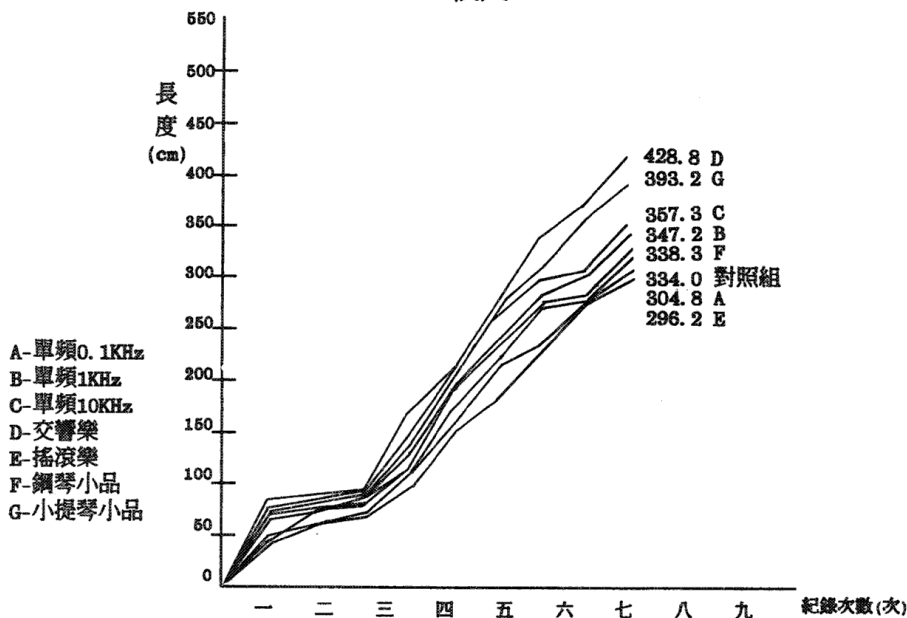
- A-單頻0.1KHz
- B-單頻1KHz
- C-單頻10KHz
- D-交響樂
- E-搖滾樂
- F-鋼琴小品
- G-小提琴小品



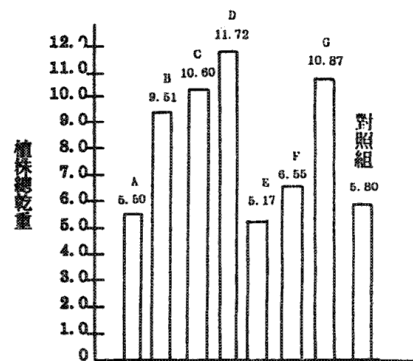
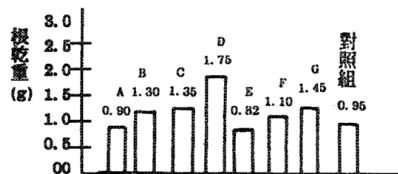
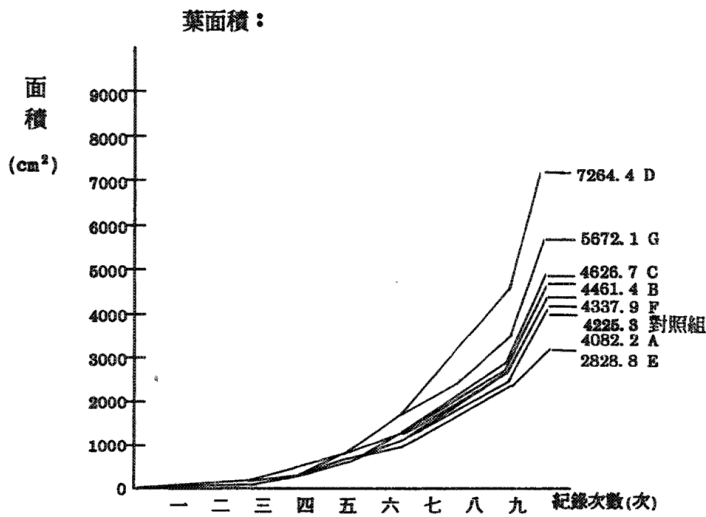
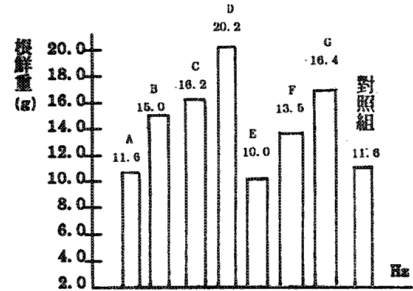
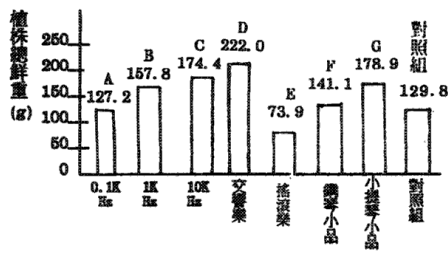
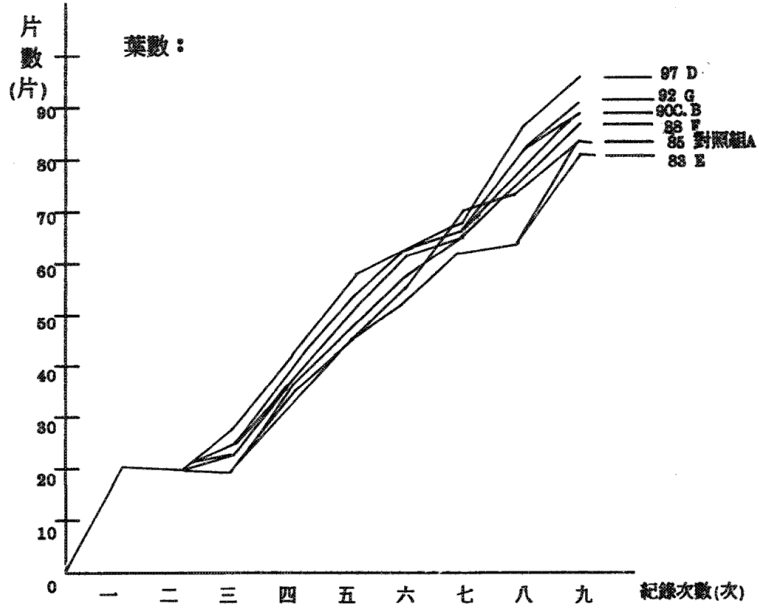
實驗(三)結果如下：

製成圖表如下：

根長：



- A-單頻0.1KHz
- B-單頻1KHz
- C-單頻10KHz
- D-交響樂
- E-搖滾樂
- F-鋼琴小品
- G-小提琴小品



七、討 論

(一) 給予白菜單頻聲波刺激，在實驗(一) (白天連續聲波刺激12小時)，實驗(二) (白天斷續刺激共6小時) 及實驗(三) (晚間斷續刺激共6小時) 的各項結果共包括葉數、根長、葉長、1/2 (葉長+葉寬) 葉面積、植株總鮮重、根鮮重、植株總乾重、根乾重的值的比較，均為：

C 組 > B 組 > 對照組 > A 組

(10KHz)(1KHz) (0.1KHz)

由三次實驗結果比較得知：

頻率1KHz及10KHz的聲波，均可促進白菜成長，而頻率0.1KHz的聲波，則減慢白菜的成長。原因可能為1KHz及10KHz的單頻聲波，其頻率較易被白菜接受。因此促進白菜的成長。給予0.1KHz的單頻聲波刺激，白菜成長情形較對照組為差，可見0.1KHz對白菜來說，並不是個合適生長的頻率。

(二) 給予白菜不同音樂的刺激，在實驗(二)及實驗(三)各項結果總值的比較，均為：

D 組 > G 組 > F 組 > 對照組 > E 組

(交響樂)(小提琴小品曲)(鋼琴小品曲) (搖滾樂)

由結果比較得知：

交響樂、小提琴小品曲、鋼琴小品曲的聲波，促進白菜成長，而搖滾樂則減慢白菜的成長。

(三) 再與單頻綜合比較對白菜生長的影響其結果如下：

D 組 > G 組 > C 組 > B 組 > F 組 > 對照組 >

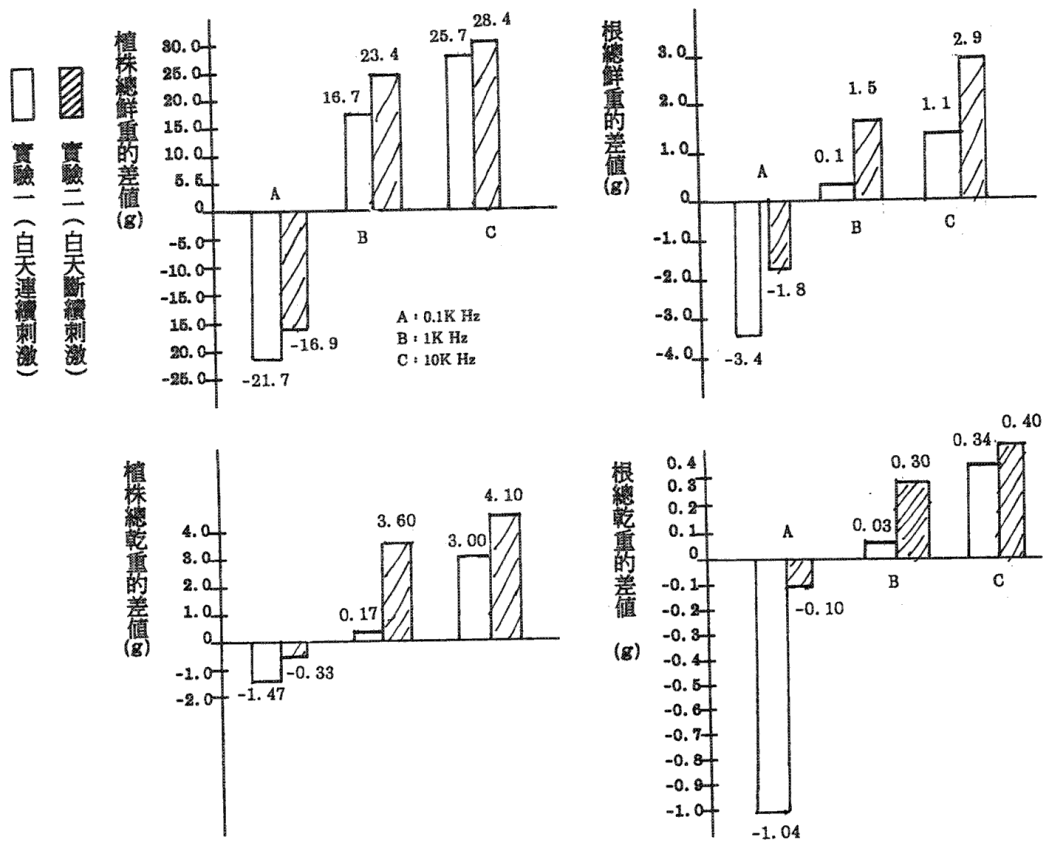
(交響樂)(小提琴小品曲)(單頻10KHz)(單頻1KHz)(鋼琴小品曲)

A 組 > E 組

(單頻0.1KHz)(搖滾樂)

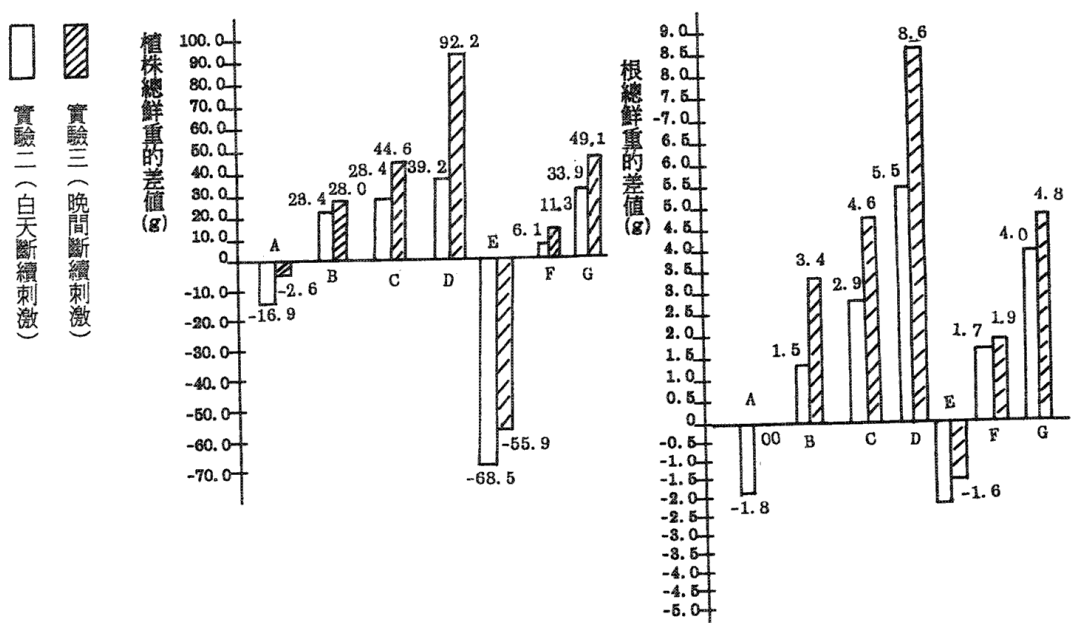
由此一結果了解，對白菜的成長來說，特定的音樂 (如交響樂、小提琴小品曲等) 的確比單一頻率的聲波有益。但音樂中，也有不為白菜所接受的音樂 (如搖滾樂)，因此成長情形較差。

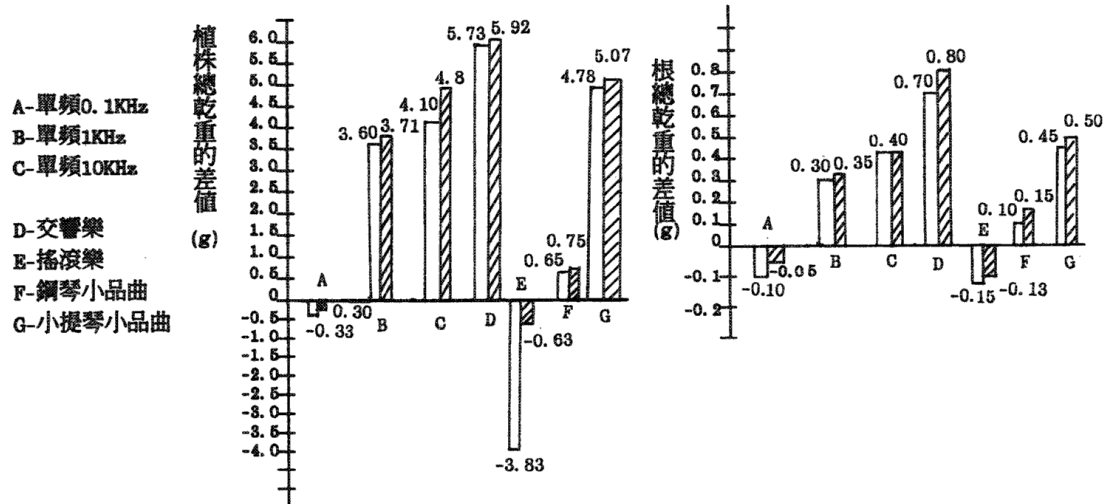
(四) 比較實驗(一)、(二)的重量 (實驗組總值) - (對照組總值) 結果差值圖如下：



我們發現：在A、B、C組方面，實驗(二)差值較實驗(一)為大。由此可發現：對白菜的成長來說，給予斷續聲波刺激要比連續聲波刺激效果佳，也就是白菜在接受聲波一段時間後，仍要“休息”一陣子，生長的情形才會好。

(五)比較實驗(二)、(三)的重量 (實驗組總值) - (對照組總值) 結果差值圖如下：





我們發現：在A、B、C、D、E、F、G組方面，實驗(三)差值為大。由此可知：晚間給予聲波刺激的植株生長效果較白天給予刺激的效果為佳。

又比較兩組白菜植株內含水量多寡

(實驗組含水量總值) - (對照組含水量總值) 如下：

單位：g

組別	0.1 KHz	1 KHz	10 KHz	交響樂	搖滾樂	鋼琴曲	小提琴曲
實驗(二)	-16.57	+19.80	+24.3	+33.47	-64.67	+5.45	+29.12
實驗(三)	-2.30	+24.29	+39.8	+86.28	-55.27	+10.55	+44.03

我們發現：實驗(三)植株內含水量較實驗(二)為多，由此可知晚間給聲波的白菜生長情形較好之因，是由於根部吸水量較大，促使植株成長的養分供應量也相對增多，造成植株有較好的生長，尤其以交響樂的影響最為明顯。

八、結 論

本實驗選用的音樂及單頻如下：

音樂：

1. 交響樂—貝多芬第六號交響曲：田園
2. 鋼琴小品曲

A 1. THE MAIDEN'S PRAYER(BADARZEWSKA)少女的祈禱 (巴達塞維斯卡)

2. MINUTE WALTZ(CHOPIN)小狗圓舞曲 (蕭邦)

3. CUCKOO WALTZ(JONASSON)杜鵑圓舞曲 (鍾納森)

4. CSLKOS POST(NECKE)郵遞馬車 (尼克)

5. TRAUMEREI(SCHUMANN)夢幻曲 (舒曼)

6. SILVER WAVES(WYMAN)銀波 (威曼)

7. TURKEY MARCH(MOZART)土耳其進行曲 (莫札特)

B 1. FUR ELISE(BEETHOVEN)給愛麗絲 (貝多芬)

2. LA CINQUANTAINE(MARIE)金婚式 (馬利)

3. HARMONIOUS BLACKSMITH(HANDEL)快樂的鐵匠 (韓德爾)

4. LA FILLE AUX CHEVEUX(DEBUSSY)棕髮少女 (德布西)

5. CLAIR DE LUNE(DEBUSSY)月光曲 (德布西)

6. BRIDAL MARCH(WAGNER)結婚進行曲 (華格納)

7. HOCHZEITS MARSCH (MENDELSSOHN)結婚進行曲 (孟德爾頌)

3. 小提琴小品曲

A 1. SERENADE(DRIGO)小夜曲 (杜利哥)

2. AUF FLUGELN DES GESANGES (MENDELSSOHN)乘著歌聲的翅膀 (孟德爾頌)

3. LIEBESLEID (KREISLER)愛之悲 (克萊斯勒)

4. AIR ON G STRING (BACH) G弦之歌 (巴哈)

5. WIEGENLIED (SCHUBERT)搖籃曲 (舒伯特)

6. JEANIE WITH THE LIGHT BROWN HAIR(FOSTER)金髮的珍妮 (福斯特)

7. DANNY BOY丹尼男孩

8. SOURENIV 'DRDLA 回想曲 (德爾拉)

B 1. FRUHLING SLIED (MENDELSSOHN)春之歌 (孟德爾頌)

2. CHANSON HINDOUE (RIMSKY-KORSAKOV) 印度之歌 (林姆斯基)

3. SERENADE (DRDLA) 小夜曲 (德爾拉)

4. ALBENIZ "TANGO" (KREISLER)阿爾班尼士的探戈 (克萊斯勒)

5. RONDO (WOLFGANG AMADEUS MOSART)迴旋曲 (莫札特)

6. SICILIENNE (MARIA THERESIA VON PARADIS) 西西里舞曲 (培拉笛士)

7. BERCEUSE DE JOCELYN (GODARD) 約斯蘭睡眠曲 (郭大德)

8. VALSE (BRAHMS) 圓舞曲 (布拉姆斯)

4. 搖滾樂—麥克傑克森—牆外

單頻：10KHz、1KHz、0.1KHz

放大器的音量控制在5單位

1. 水下聲波會影響白菜根的成長，而根的成長又與葉數、葉面積及植株的乾、溼重有正相關。

2. 上述各種單頻及音樂對白菜生長的影響如下：

①能加速白菜成長的水下聲波有交響樂、小提琴小品曲、鋼琴小品曲、單頻10KHz及1KHz，而對白菜生長影響的大小關係如下：

交響樂>小提琴小品曲>單頻10KHz>單頻1KHz>鋼琴小品曲單

②不能加速白菜成長的水下聲波有搖滾樂、單頻0.1KHz、對白菜生長影響的大小關係如下：搖滾樂>單頻0.1KHz。

由此可知白菜對於音樂有喜惡，也有選擇性。

3. 能加速白菜成長的水下聲波，白天斷續播放6小時（每間隔1小時播放1小時），比白天持續播放12小時的情形，其生長效果較好。反之，不能加速白菜成長的水下聲波，持續播放比斷續播放時效果更差。

4. 水下聲波以斷續6小時刺激白菜的根部時，在晚間的影響比白天時為大。

①能加速白菜生長的水下聲波，在晚間播放比在白天播放時效果為佳，其中，以貝多芬的田園交響曲，特別明顯，小提琴小品曲次之。

②不能加速白菜成長的水下聲波，在白天播放，比在晚上播放時更差。

後記：本次實驗，我們是以水下聲波直接刺激白菜根部，並對成長過程中的白菜葉數、葉面積、根長、乾、溼重量作觀察，分析歸納的探討，下一階段準備繼續從受不同聲波刺激的根部構造，呼吸作用等方面，作更深一層的設計研究。

九、參考資料

國中理化第三冊 國立編譯館

蔡福貴 1989，無土栽培新技術 地景企業

P51~P68 P73~P82 P174 P156~P157 P239~P270 P297~P308

易希道 1966，植物生理學 國立編譯館

P83~P170 P423~P438

沈再發等 1989，養液栽培技術講習會專刊

台灣省農產試驗所 P4~P16 P44~P68 P85~P86

蔡尙光 1990，水耕栽培的魅力，淑馨出版社 P3~P8
P71~P103

中華民國第31屆中小學科展優勝作品專輯（小蘊草生命的新動力—探討水下立體聲音響之信號對水蘊草光合作用產氧量之影響）。

評語

用揚聲器，以恆定音量，不同頻率之聲波處理，以探討對於白菜根部生長之影響，實驗設計上頗具創意，變因之一段控制情形，亦尚屬合理周到。但用各種不同的音樂，包括：貝多芬的第六交響曲，小提琴或鋼琴小品，以及麥克Jackson的搖滾樂等不同形式音樂，則不甚合理。固然植物並不具聽覺器，有無“音樂感”是個大問題，音樂本身所含變因也複雜，本作品所做之解釋，並不夠客觀嚴謹，應予刪除。