

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030303

聲聲不息—聲波對於植物發芽率之影響

學校名稱：新竹市立光武國民中學

作者： 國二 孫 旻 國二 蘇育琳 國二 何師丞	指導老師： 林茂成 蔡明曉
---------------------------------------	-------------------------

關鍵詞：聲波催芽、發芽率、水耕

摘要

本實驗在證實低頻聲波對植物種子的催芽作用。我們的結果顯示，與對照組比較之下，800Hz 對於土耕小白菜發芽率平均增加了 40%，1300Hz 對於水耕小白菜發芽率則平均增加了 30%，200Hz 對於綠豆、苜蓿、小麥發芽率分別增加了 7%、22%、17%；在響度 50~90dB 之間的催芽效果差異不大，且須使用 5 小時以上才具有催芽效果；我們也將聲波催芽與化學催芽比較，發現兩者可以同時使用並有疊加的效果，並且聲波催芽單獨使用時催芽效果比化學催芽來得好；而探討環境聲音對種子發芽的關聯性，發現在環境中，種子發芽的條件除了光照、水分，聲波(振動)也是很重要的條件。最終探討聲波催芽的成因，發現與種皮的破壞並無關係，因此推論低頻聲波造成的振動具有影響種子體內分子的效用，進而有催芽的效果。

壹、 研究動機

平時在市面上的豆芽菜，通常都經過催芽的動作，能夠在市場上大量提供商品的重點在於催芽的速度及功效要好。一般的催芽方法是泡化學催芽劑，對於環境有一定的負擔。

常常聽說植物聽音樂可以長得更好，我們感到有趣並開始思索聲波與植物發芽之間的關係，而我們從相關文獻查閱到超音波催芽技術，但是這種催芽方式不但需要高檔儀器，而且會有破壞種子的可能性，因此我們想要知道如果用人耳能聽見的音頻範圍進行催芽是否可以有相同的效果，於是做了以下實驗。

貳、 研究目的

- 一、探討聲波頻率高低對植物水耕、土耕發芽率之影響
- 二、探討聲波音量大小對植物發芽率之影響
- 三、探討聲波催芽時間長短對植物發芽率之影響
- 四、比較聲波催芽與化學催芽之效能
- 五、印證聲波(振動)對種子發芽的必要性
- 六、探討聲波催芽之成因

參、 研究器材與設備

黑色塑膠瓦楞板 (1.6x0.5)[m]	絕緣膠帶	Silicone 矽利康(黑)
LED 燈泡(8 瓦)	喇叭	熱熔膠
鎢絲燈泡(60 瓦)	收納盒	滴管
電線	塑膠盆	大力膠布
吸音海綿	燒杯	定時器
電路板	培養土	培養皿

IC(74HC14)	小白菜種子	電腦
電晶體	直尺	綠豆種子
電阻	音量計	苜蓿種子
電容	示波器	小麥種子
變壓器	三用電表	速大多(化學催芽劑)
計時器		



圖 3-1-1 喇叭



圖 3-1-2 示波器



圖 3-1-3 吸音海綿



圖 3-1-4 各種種子

一、觀察箱製作

我們用黑色瓦楞板裁剪為 50x50x60(立方公分)的觀察箱，接縫處用黑色矽利康做結合，在內部黏上了吸音海綿(圖 3-1-6)，一面割出了觀察孔，利於觀察及記錄，上部開了幾個小孔，目的是為了通風及散熱，另外有三個孔牽出電線，接了燈泡在內(一顆 60 瓦的鎢絲燈泡及兩顆 8 瓦的 LED 燈泡)，預防土耕植物生長有嚴重突長現象。

一共做了七個觀察箱，分成三個一組及一箱對照組，利用並聯電路將電線結合，下方墊了一層吸音海綿，以隔絕實驗之外的聲音。

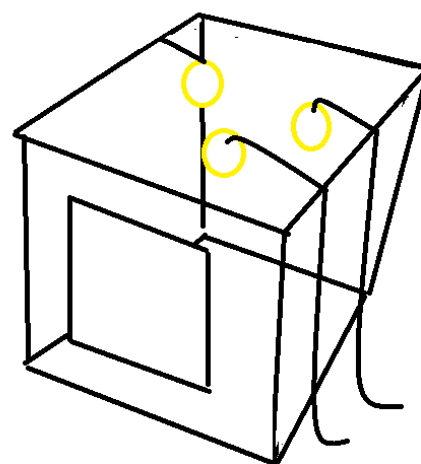


圖 3-1-5 觀察箱示意圖



圖 3-1-6 觀察箱內部



圖 3-1-7 觀察箱實體

(一) 生長盤

我們利用分格收納盒(4x8 格) (3.5x3.5cm)來作為培養植物的容器(圖 3-1-8)，架在加了水的塑膠盆上，便於控制溫度及濕度。



圖 3-1-8 生長盤

(二) 聲波產生裝置

我們在塑膠盆的對角上固定一組喇叭，每箱使用同型號的喇叭。利用 RC 震盪電路產生震盪波，並將其導入喇叭驅動電路(圖 3-1-9、圖 3-1-10)，進而產生單音方波聲波，藉由調整電阻值大小並固定電容值產生不同的頻率，並且利用示波器(圖 3-1-11)進行確認。

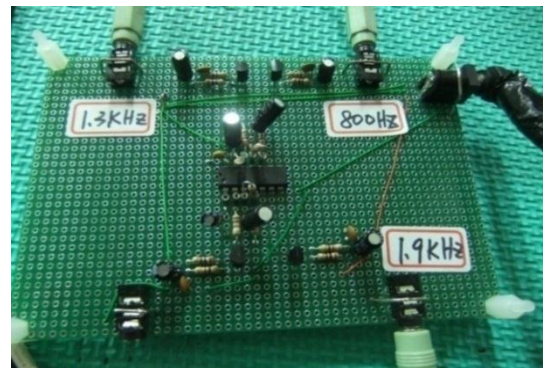


圖 3-1-10 電路板實體

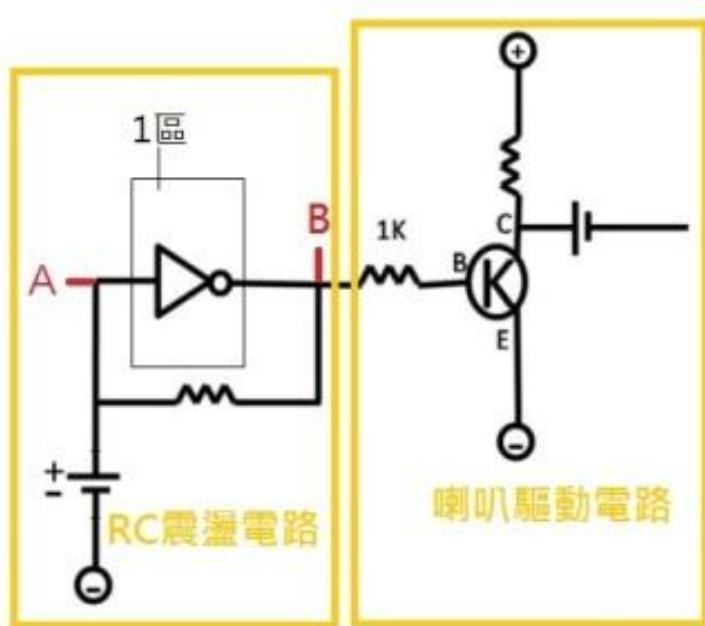


圖 3-1-9 積體電路圖

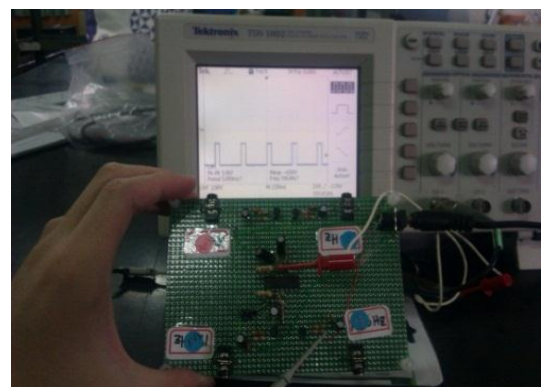


圖 3-1-11 示波器

二、實驗箱內溫濕度控制：

實驗期間觀察箱內溫度：20.4~30.7°C

實驗期間觀察箱內濕度：69%~88%

三、實驗使用植物介紹

小白菜(*Brassica spp*、十字花科)、綠豆(*Vigna radiate*、豆科)、苜蓿(*Medicago sativa*、豆科)、小麥(*Triticum aestivum*、禾本科)

肆、文獻參考

一、利用超音波處理促進瓜類蔬菜種子活力之研究。(文獻五)

(一) 適當強度的音波對種胚細胞產生良好的作用，能促進發芽。

(二) 超音波催芽不能使用過久，會對植物種子造成損害。

(三) 超音波對於種子表皮有破壞作用，使水分易於吸收，進而促進發芽。

二、種子預措處理對報歲蘭‘達摩’種子發芽之影響。(文獻六)

(一) 種子不易發芽的原因可能是種皮阻礙或內生抑制物質。

(二) 液體振盪處理對種子發芽率有促進作用。

(三) 超音波振盪處理可能震破種皮或降低種子內抑制物質。

三、植物的秘密生命，第十章—植物欣賞音樂。(文獻十三)

(一) 低頻的音波具有增加收成量的作用。

四、植物生長調節劑使用介紹。(文獻十)

(一) 吉貝素(GA)的主要功能：促進種子發芽、促進休眠芽萌發。

(二) 離層酸(ABA)的主要功能：抑制種子發芽、誘導芽體休眠，抑制芽之萌發。

五、植物相關資料。(文獻九)

植物名稱	科目	發芽適溫	生長適溫	泡水時間
小白菜	十字花科	6~40°C	25°C	6~12 小時
綠豆	豆科	25°C	20°C以上	10~16 小時
苜蓿	豆科	20~25°C	28°C以下	6~12 小時
小麥	禾本科	15~25°C	23~27°C	6~12 小時

伍、 研究過程

一、探討聲波頻率高低對植物發芽率之影響

實驗一、探討聲波頻率高低對土耕小白菜發芽率之影響

- (一) 本實驗使用土耕法，為時 7 天。
- (二) 使用自製的觀察箱，將生長盤中每格撒 5 顆小白菜種子。
- (三) 在塑膠盒內加 1000ml 的水，以控制箱內溫度及濕度，每日固定加 500ml 的水。
- (四) 每日相同時間每格固定澆水 3~5ml，並且測量溫濕度。
- (五) 每天光照 12 個小時，利用計時器控制光照時間，固定每個生態箱內的光線照度，並使用相機來檢測。
- (六) 在塑膠盆對角線處黏上喇叭，接上電路，24 小時持續播放同頻率的聲音，響度固定為 70dB。
- (七) 第 3 天起開始記錄發芽率，每日記錄一次。

實驗二、探討聲波頻率高低對水耕小白菜發芽率之影響

- (一) 本實驗使用水耕法，實驗時間共需 32 小時。
- (二) 在生長盤中每格加入 9ml 的水及 4 顆小白菜種子，以水浸泡小白菜的種子 12 個小時，12 小時後瀝乾水分。
- (三) 連續觀察 20 個小時，每 2 小時紀錄一次發芽率。

實驗三、探討聲波頻率高低對水耕植物發芽率之影響

- (一) 本實驗使用水耕法，實驗時間共需 32 小時。
- (二) 以 5 個箱子一組作實驗，綠豆、小麥、蕎麥、苜蓿種子各有 128 顆。
- (三) 在收納盒中每格加入 9ml 的水及 4 顆種子，以水浸泡種子 12 個小時，12 小時後瀝乾水分。
- (四) 浸泡過後瀝乾觀察 12 個小時，每 2 小時紀錄一次。
- (五) 共分為六個實驗組別：200Hz、800Hz、1300Hz、1900Hz、5800Hz、10700Hz。

二、探討聲波音量大小對於植物發芽率之影響

(一) 步驟同實驗一

- (二) 在塑膠盆對角線處黏上喇叭，接上電路，24 小時持續播放不同音量的聲音，分別為 50dB、70dB、90dB，頻率固定為 250Hz。
- (三) 固定每個生態箱內的光源，並使用相機來檢測照度。
- (四) 第 1 天開始觀察、第 3 天起開始進行實驗測量，每日記錄一次。
- (五) 共分為三個實驗組別：50dB、70dB、90dB。

在此實驗中，我們鎖定 50dB、70dB 及 90dB 作為操縱變因，觀察音量在聲波催芽法中是否對植物發芽率有影響。

三、探討聲波催芽時間對於植物發芽率之影響

(一) 本實驗採用水耕法(步驟同實驗二)

(二) 以 5 個箱子一組作實驗，綠豆、苜蓿、小麥、蕎麥種子各有 128 顆。

(三) 在收納盒中每格加入 9ml 的水，分別以水浸泡綠豆、苜蓿、蕎麥、小麥的植物種子 12 個小時，12 小時後一起瀝乾水分。

(四) 浸泡過後觀察 20 個小時，每 5 小時將聲波組的其中一盒放入對照組的箱子，2 小時紀錄一次。

(五) 聲波頻率固定使用 800Hz，(註:由於在實驗目的(一)、(二)實驗結果顯示在 200~1500Hz 之間的催芽效果最佳，因此我們取中間值做為本次實驗選用頻率)。

(六) 共分為四個實驗組別：催芽 5hr、10hr、15hr、20hr。

四、比較聲波催芽與化學催芽之效能

(一) 本實驗使用水耕法，實驗時間共約 32 小時。(步驟同實驗三)

(二) 以 4 個箱子一組做實驗，綠豆、小麥、蕎麥、苜蓿植物種子各有 128 顆。

(三) 以 1:500 的比例稀釋速大多，做為此實驗使用的化學催芽劑。

(四) 在收納盒中每格加入 9ml 的水，分別浸泡綠豆、苜蓿、蕎麥、小麥的植物種子 12 個小時，對照組及聲波組以水浸泡 12 小時後瀝乾，化學催芽組及化學催芽加聲波催芽組則是浸泡水 8 小時接著浸泡催芽劑 4 小時。12 小時後一起瀝乾水分。

(五) 浸泡過後觀察 20 個小時，每 2 小時紀錄一次。

(六) 聲波頻率固定使用 800Hz。

(七) 共分為三個實驗組別：聲波催芽、化學催芽、聲波加化學催芽。

五、印證聲波(振動)對植物發芽的必要性

(一) 本實驗使用水耕法，實驗時間共約 32 小時。

(二) 以 2 個箱子一組做實驗，綠豆、小麥、蕎麥、苜蓿植物種子各有 300 顆。

(三) 將種子放入夾鏈袋，加入水，以確保種子有完整浸泡，共浸泡 12Hr。

(四) 浸泡過後觀察 12hr，每 2 小時紀錄一次。

(五) 共分為兩個實驗組別：200Hz 聲波催芽、低聲音環境。

六、探討聲波催芽之成因

(一) 本實驗使用水耕法，實驗時間共約 15 小時。

(二) 以 2 個箱子一組做實驗，綠豆種子各 500 顆。

(三) 將種皮劃開，確認聲波催芽的成因是否與破壞種皮有關連。

(四) 將種子放入夾鏈袋，加入水，以確保種子有完整浸泡，共浸泡 3Hr。

(五) 浸泡過後觀察 12hr，每 2 小時紀錄一次。

陸、 研究結果

一、探討不同聲波頻率對於植物發芽率之影響

- 名詞說明：

1. 發芽率=已發芽顆數/總顆數
2. 發芽率差異=實驗組發芽率-對照組發芽率
3. 發芽率差異平均值=(實驗組發芽率-對照組發芽率)/數據總數

實驗一 不同頻率對土耕小白菜發芽率之影響

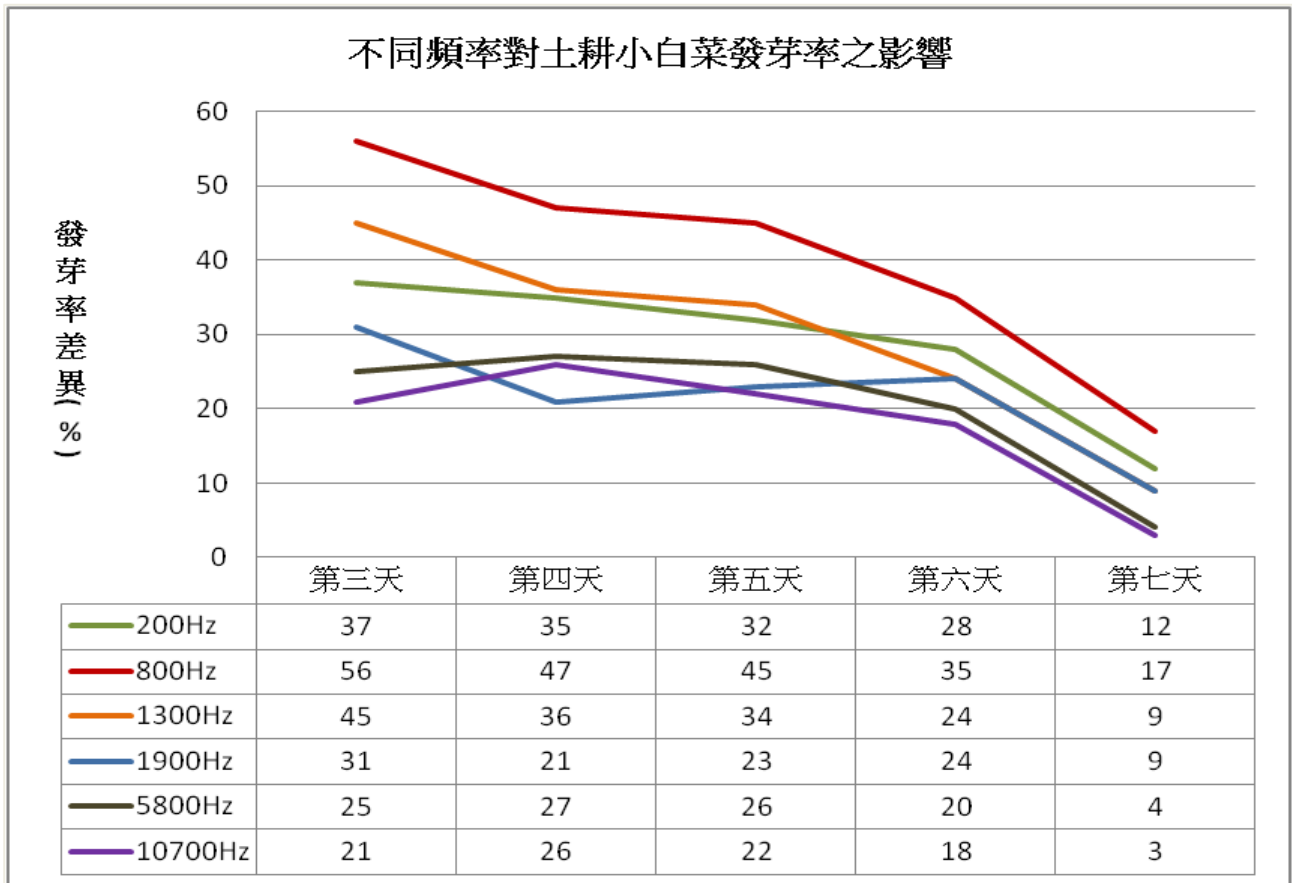


圖 6-1-1 不同頻率對土耕小白菜發芽率之影響—發芽率差異

我們取 20~20000Hz 之間分成多個實驗進行，結果如圖 6-1-1 所示。從圖中可以證實聲波確實促使植物發芽率明顯增加，其中 800Hz 的催芽效果最佳，第三天發芽率差異最大，達到 56%。第五天以後對照組發芽率增加，使發芽率差異下降。

實驗二 探討不同聲音頻率對水耕小白菜發芽率之影響

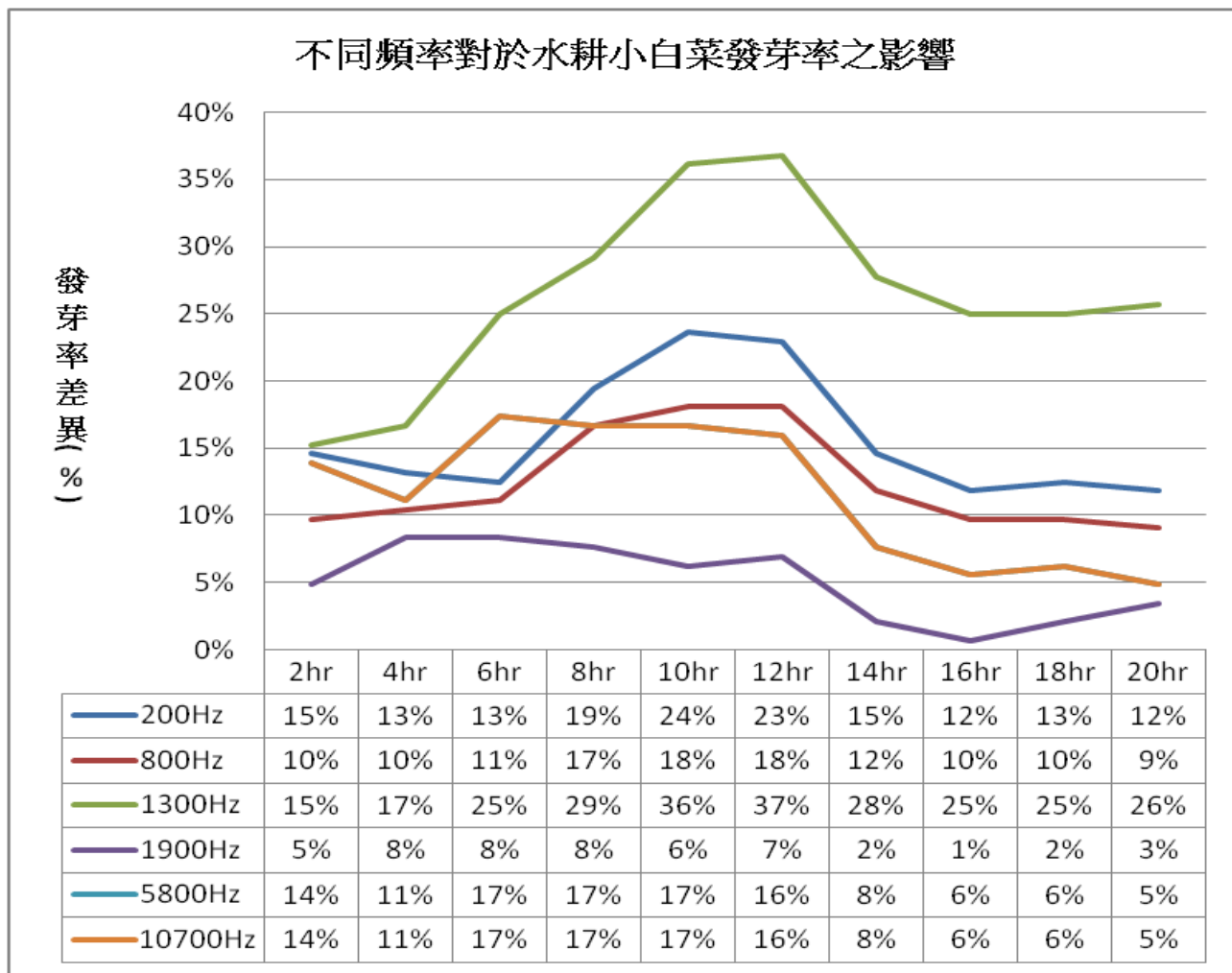


圖 6-1-2、探討不同聲音頻率對水耕小白菜發芽率之影響—發芽率

從圖 6-1-2 可以看出在水耕小白菜的部分 1300Hz 在 10~12hr 間發芽率差異最大，不同於土耕法 800Hz，在第三天時發芽率差異最大，由此可推論同種植物在不同的栽種法適合不同頻率的聲波催芽。

實驗三 不同頻率對於水耕綠豆、小麥、苜蓿發芽率之影響

- 豆科：不同頻率對於水耕綠豆、苜蓿發芽率之影響

表 6-1-1、不同頻率對於水耕綠豆發芽率之影響-----發芽率

綠豆	200Hz	800Hz	1300Hz	1900Hz	5800Hz	10700Hz	對照組
2hr	94%	92%	90%	87%	85%	84%	83%
4hr	94%	92%	91%	89%	88%	86%	83%
6hr	96%	94%	92%	91%	91%	90%	88%
8hr	99%	96%	96%	95%	94%	94%	92%
10hr	99%	97%	97%	95%	94%	95%	95%
12hr	99%	97%	97%	97%	97%	97%	97%
14hr	99%	99%	99%	98%	97%	97%	97%
16hr	100%	99%	99%	98%	98%	97%	97%
18hr	100%	99%	99%	98%	98%	97%	97%
20hr	100%	99%	99%	98%	98%	97%	97%

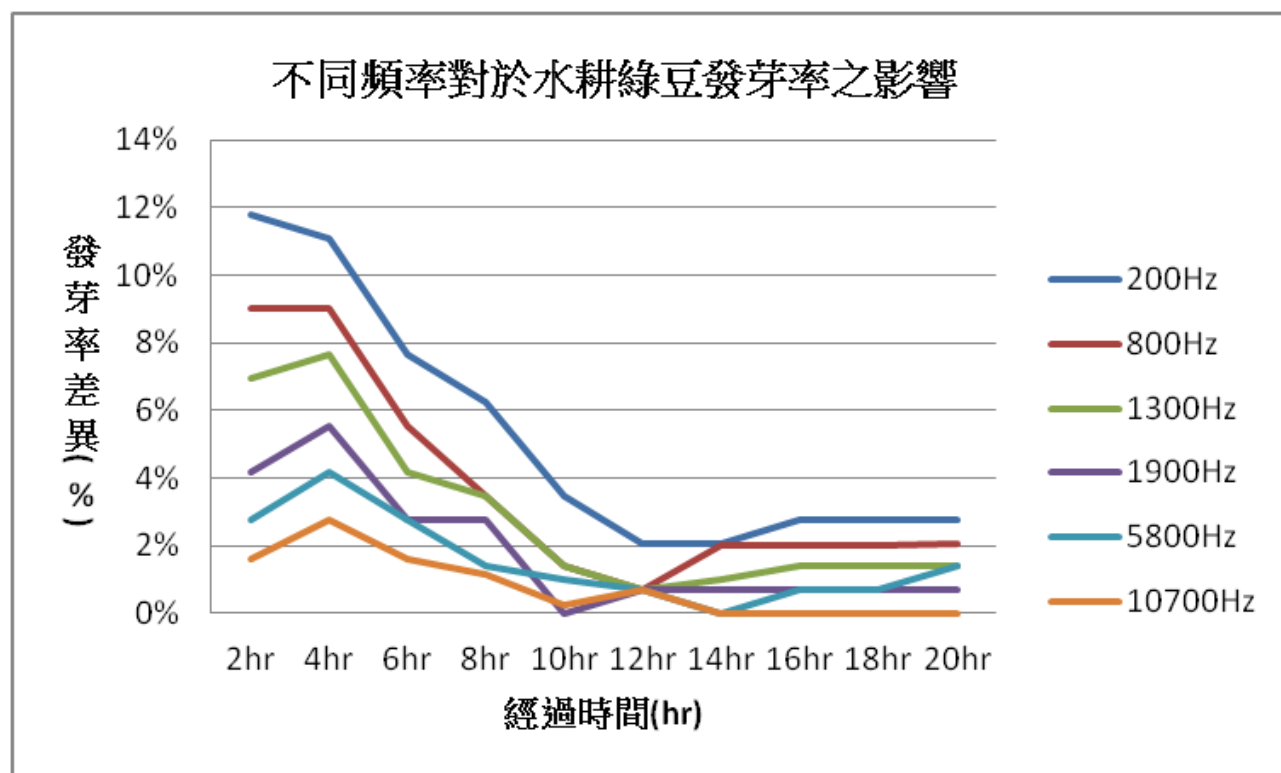


圖 6-1-3 不同頻率對於水耕綠豆發芽率之影響—發芽率差異

在綠豆的部分，由於綠豆本身泡水過後發芽速度就十分快，因此發芽率差異較小。從圖 5-2-1 可以發現在觀察 2hr~8hr 之間，200Hz 與對照組的發芽率差異達到 5%以上，之後發芽率差異逐漸變小。

表 6-1-2 不同頻率對於水耕苜蓿發芽率之影響-----發芽率

苜蓿	200Hz	800Hz	1300Hz	1900Hz	5800Hz	10700Hz	對照組
2hr	58%	51%	49%	57%	49%	46%	25%
4hr	67%	65%	63%	57%	56%	60%	47%
6hr	70%	65%	66%	65%	59%	63%	53%
8hr	71%	68%	66%	65%	65%	64%	56%
10hr	83%	78%	77%	66%	65%	65%	59%
12hr	83%	78%	77%	66%	65%	65%	63%
14hr	83%	78%	77%	68%	65%	65%	63%
16hr	83%	81%	77%	70%	67%	65%	64%
18hr	83%	81%	77%	72%	67%	65%	64%
20hr	85%	82%	77%	72%	72%	66%	65%

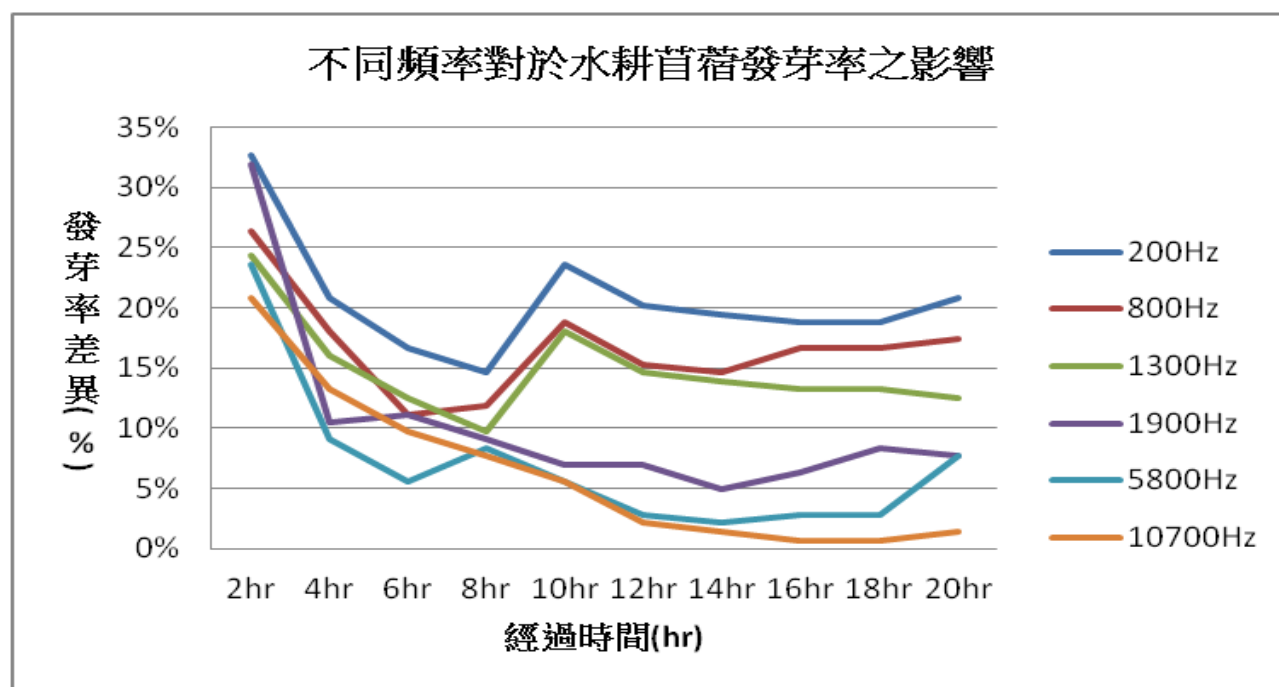


圖 6-1-4 不同頻率對於水耕綠豆發芽率之影響—發芽率差異

苜蓿的結果與綠豆相同，皆為 200Hz 催芽效果最佳。

● 禾本科：不同頻率對於水耕小麥發芽率之影響

表 6-1-3 不同頻率對於水耕小麥發芽率之影響—發芽率

小麥	200Hz	800Hz	1300Hz	1900Hz	5800Hz	10700Hz	對照組
2hr	62%	56%	54%	53%	53%	51%	53%
4hr	84%	83%	77%	75%	66%	65%	63%
6hr	85%	83%	78%	78%	77%	70%	63%
8hr	89%	87%	78%	80%	77%	77%	70%
10hr	90%	88%	82%	81%	80%	79%	76%
12hr	91%	90%	85%	83%	83%	82%	76%
14hr	92%	90%	87%	84%	83%	83%	77%
16hr	96%	91%	88%	85%	83%	83%	79%
18hr	97%	94%	88%	85%	83%	83%	81%
20hr	98%	94%	88%	85%	83%	83%	82%

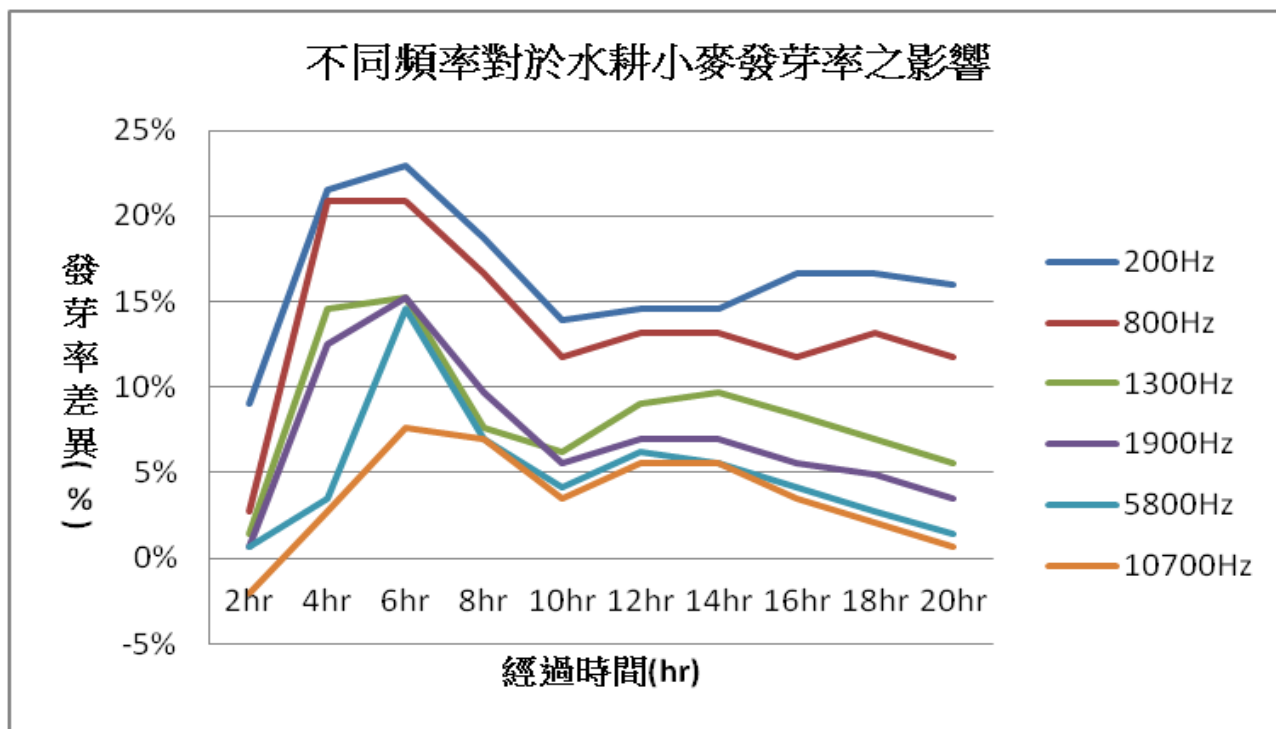


圖 6-1-5 不同頻率對於水耕綠豆發芽率之影響—發芽率差異

在小麥的部分，我們從圖 6-1-7 可以發現同樣是 200Hz 的催芽效果最佳，與豆科呈現相同的實驗結果。

實驗小結：

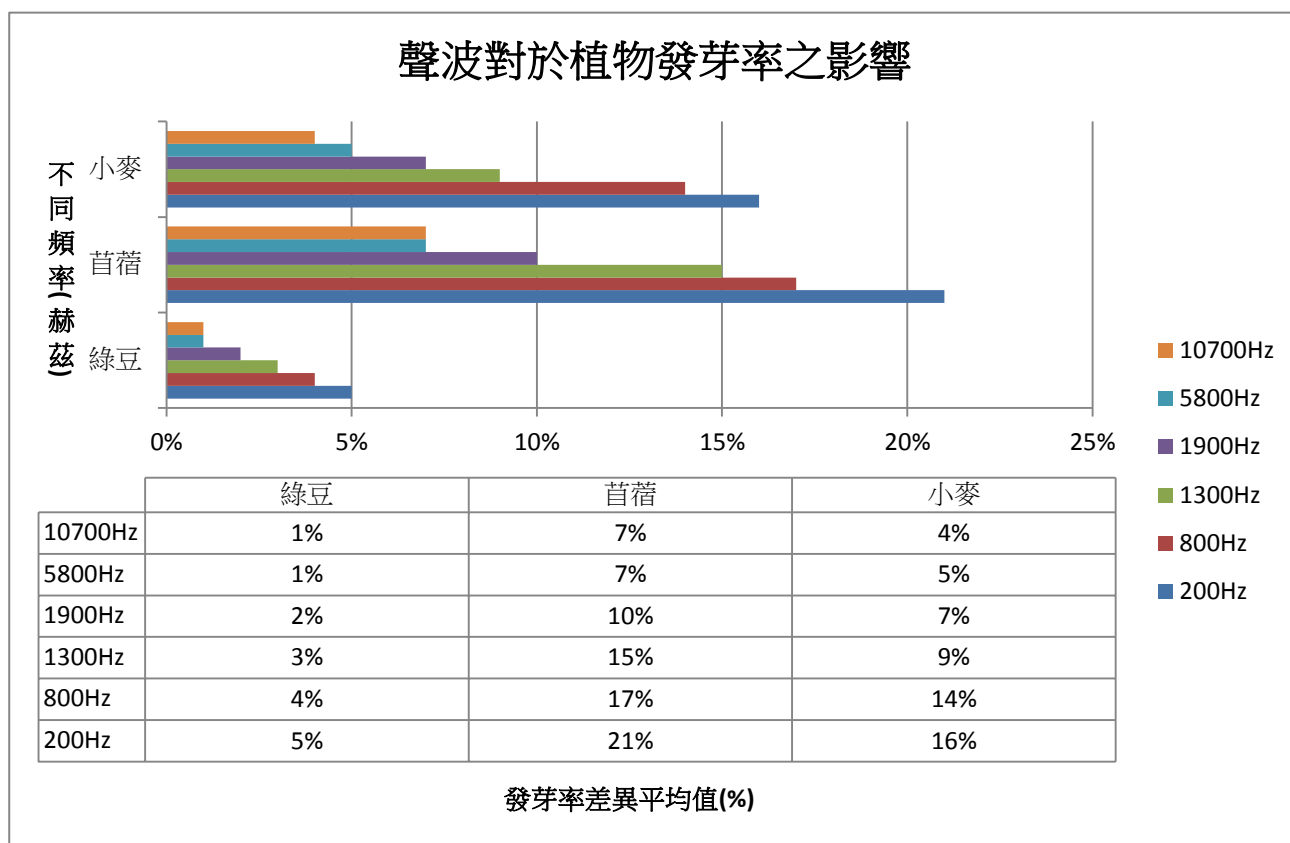


圖 6-1-6 各頻率催芽水耕綠豆、苜蓿、小麥效果之比較

從圖 6-1-6 可以看出，200Hz 對於小麥、綠豆、苜蓿的催芽效果最佳，且隨著頻率越高，催芽效果持續減少，顯現 200Hz 即達到催芽效果的最高峰。實驗結果與實驗(二)結果不同，可知道不同植物在同種栽種方式下適合的催芽頻率並不同。

二、探討聲波音量大小對植物發芽率之影響

- 名詞說明：

1. 發芽率=已發芽顆數/總顆數
2. 發芽率差異=實驗組發芽率-對照組發芽率

實驗一 50dB、70dB、90dB 對於土耕小白菜發芽率之影響

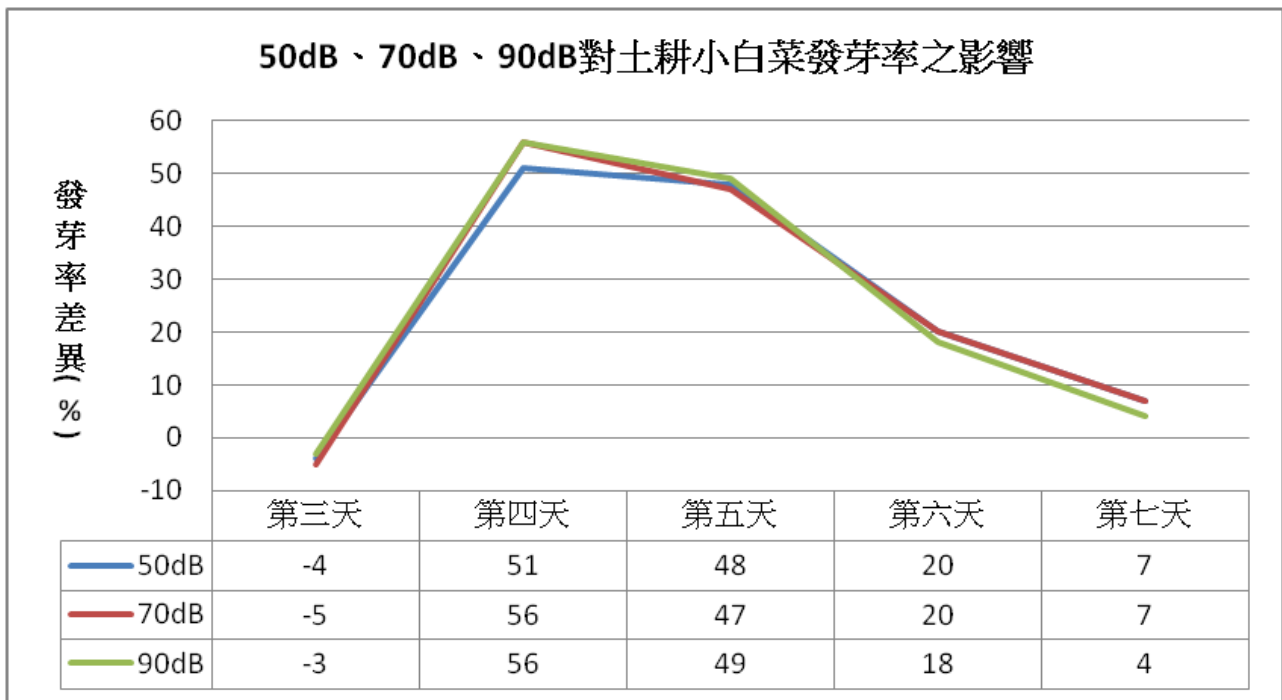


圖 6-2-1、50dB、70dB、90dB 對土耕小白菜發芽率之影響—發芽率差異

在圖 6-2-1 中，我們可以發現音量的大小對於催芽效果的影響並不大，其中 70dB 與 90dB 的發芽率幾乎相同，由數據可証實 50~90dB 之間皆有促進發芽的效果，且效果十分接近。

三、探討聲波催芽時間長短對植物發芽率之影響

● 名詞說明：

1. 發芽率=已發芽顆數/總顆數
2. 發芽率差異=實驗組發芽率-對照組發芽率
3. 發芽率差異平均值=(實驗組發芽率-對照組發芽率)/數據總數

實驗一 探討聲波催芽 5hr、10hr、15hr、20hr 影響植物發芽率之差異

● 豆科：不同聲波催芽時間對水耕綠豆及苜蓿發芽率之影響

表 6-3-1 探討聲波催芽時間對水耕綠豆發芽率之影響-----發芽率

綠豆	5hr	10hr	15hr	20hr	對照組
2hr	40%	45%	48%	51%	35%
4hr	66%	64%	77%	74%	61%
6hr	78%	87%	93%	98%	74%
8hr	84%	94%	95%	98%	83%
10hr	92%	95%	96%	98%	90%
12hr	92%	97%	97%	98%	91%
14hr	93%	98%	97%	98%	94%
16hr	94%	98%	98%	99%	95%
18hr	94%	100%	98%	99%	96%
20hr	95%	100%	100%	100%	96%

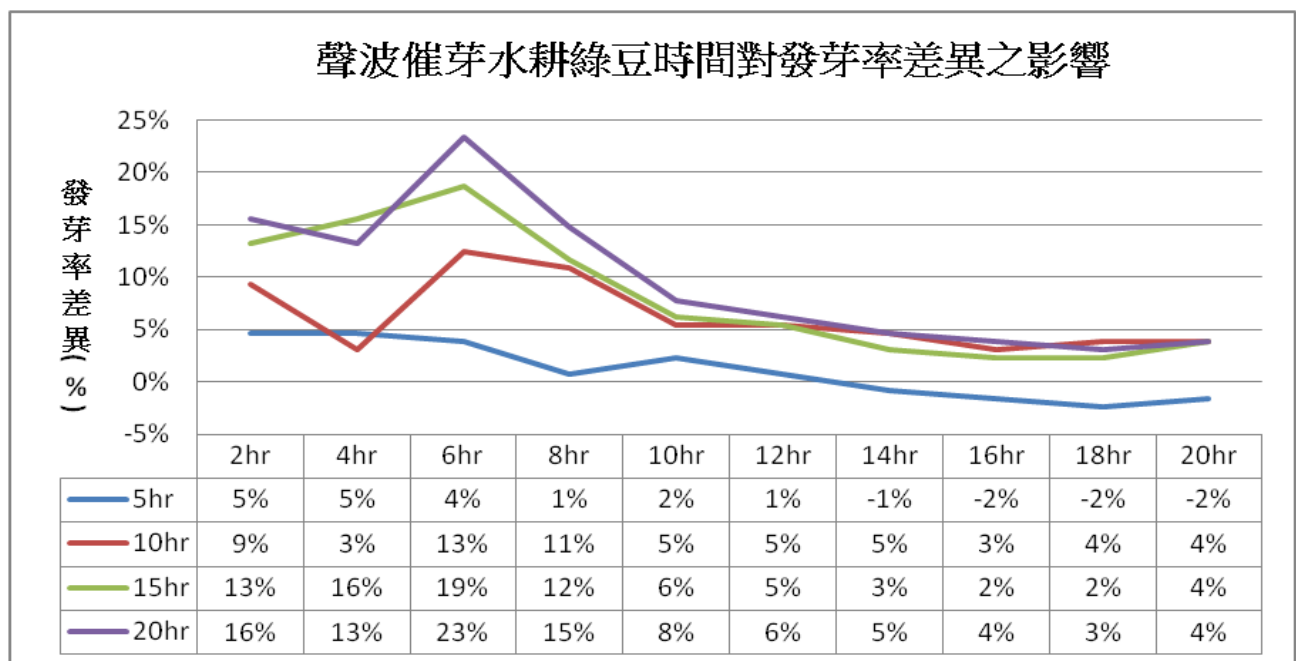


圖 6-3-1、 聲波催芽水耕綠豆時間對發芽率差異之影響

表 6-3-2、 聲波催芽水耕苜蓿時間對發芽率之影響-----發芽率

苜蓿	5hr	10hr	15hr	20hr	對照組
2hr	10%	9%	10%	12%	9%
4hr	20%	18%	16%	23%	16%
6hr	27%	28%	28%	30%	23%
8hr	41%	58%	55%	59%	39%
10hr	66%	78%	76%	80%	62%
12hr	69%	78%	80%	81%	70%
14hr	91%	94%	96%	96%	88%
16hr	91%	95%	96%	97%	89%
18hr	92%	98%	98%	98%	91%
20hr	95%	98%	98%	99%	94%

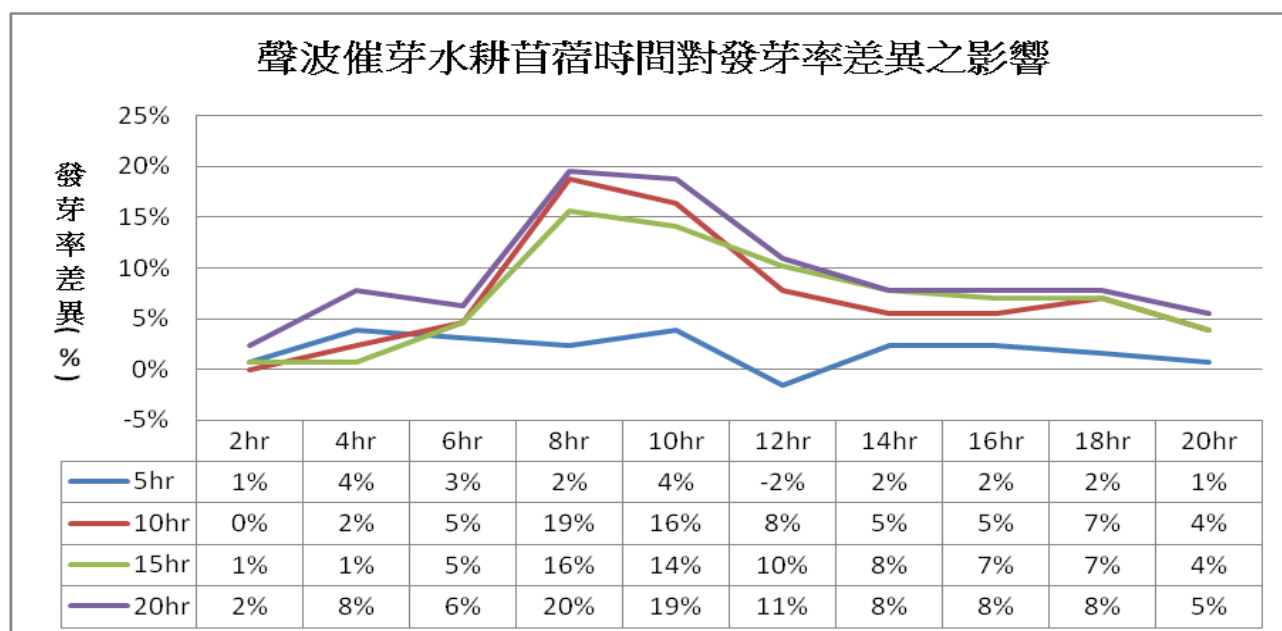


圖 6-3-2 聲波催芽水耕苜蓿時間對發芽率差異之影響

在豆科的部分，從表 6-3-1、表 6-3-2 及圖 6-3-1、圖 6-3-2 可以發現 800Hz 聲波催芽 5hr 的效果明顯不佳，與對照組的發芽率差異不大，甚至在觀察 12hr 時有負成長的現象。相對的，10hr 的效果明顯比 5hr 較好，20hr 則比 10hr 及 15hr 略高，因此可以推論聲波催芽法須實施 5hr 以上才有作用，且時間越長效果越好，在 20hr 時達到接近 100%的發芽率。

● 禾本科：不同聲波催芽時間對水耕小麥發芽率之影響

表 6-3-3 聲波催芽水耕小麥時間對發芽率之影響

觀察時間	5hr	10hr	15hr	20hr	對照組
2hr	56%	60%	64%	61%	48%
4hr	69%	70%	72%	73%	62%
6hr	71%	80%	82%	79%	63%
8hr	80%	84%	87%	85%	64%
10hr	80%	84%	87%	88%	73%
12hr	80%	84%	88%	88%	76%
14hr	81%	84%	88%	89%	77%
16hr	82%	85%	89%	90%	80%
18hr	89%	91%	91%	93%	82%
20hr	91%	95%	96%	98%	91%

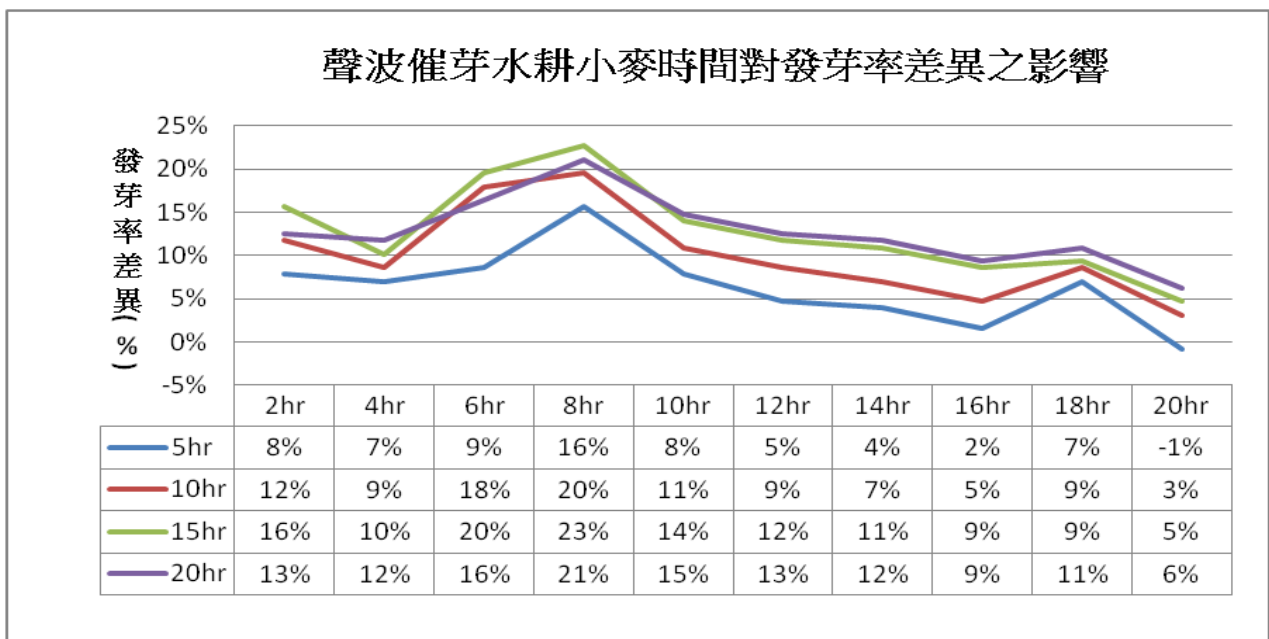


圖 6-3-3、 聲波催芽水耕小麥時間對發芽率差異之影響

在小麥的部分，從圖 6-3-3 可以看出聲波催芽法使用 20hr、15hr 的效果最佳，而聲波催芽 5hr 組的催芽效果不理想。

實驗小結：

表 6-3-4 聲波催芽水耕植物時間對發芽率之影響—發芽率差異

催芽時間	綠豆	苜蓿	小麥
5hr	1%	2%	6%
10hr	6%	7%	10%
15hr	8%	7%	13%
20hr	10%	9%	13%

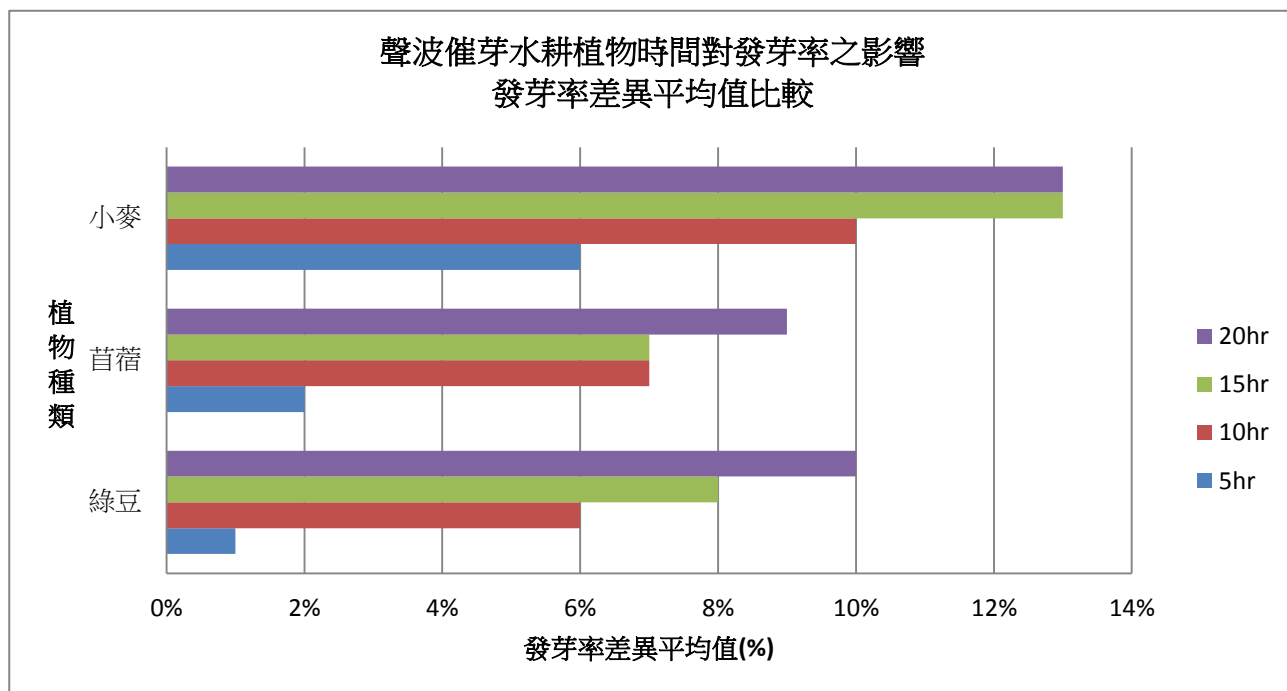


圖 6-3-4 聲波催芽水耕植物時間對發芽率之影響—發芽率差異平均值

從圖 6-3-4 可以看出，聲波催芽五小時並沒有顯著的影響，並且聲波催芽越長時間效果越好，因此可以推論，聲波催芽必須施時五小時以上才會有一定的效果。

四、比較聲波催芽與化學催芽之效能

● 名詞說明：

1. 發芽率=已發芽顆數/總顆數
2. 發芽率差異=實驗組發芽率-對照組發芽率
3. 發芽率差異平均值=(實驗組發芽率-對照組發芽率)/數據總數

實驗一 聲波催芽及化學催芽各科植物效果之比較

表 6-4-1 聲波催芽及化學催芽各科植物效果之比較—發芽率差異

實驗組別	綠豆	苜蓿	小麥
化學催芽	3%	10%	5%
化學+800Hz	6%	16%	14%
800HZ	6%	13%	11%

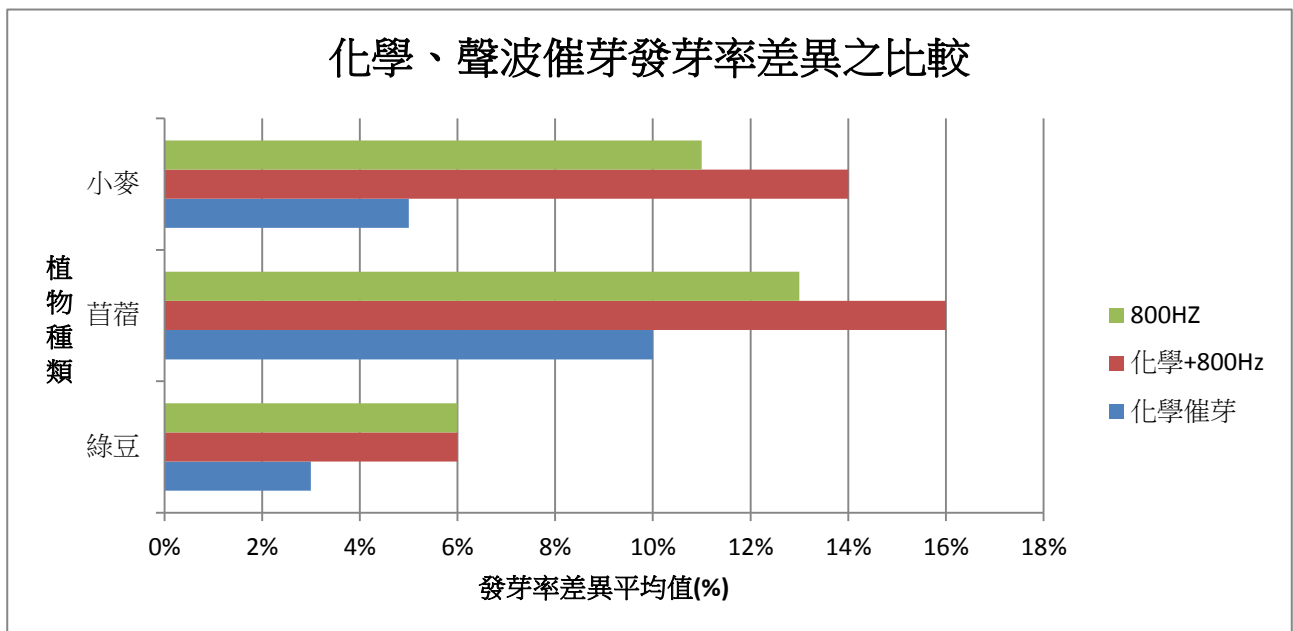


圖 6-4-1 化學、聲波催芽發芽率差異之比較—發芽率差異平均值

從圖 6-4-1 可以看出，聲波催芽的催芽效果皆優於化學催芽組，並且聲波與化學催芽可同時使用，具有疊加的效果。

五、驗證聲音(振動)對植物發芽之必要性

- 名詞說明：

1. 發芽率=已發芽顆數/總顆數
2. 發芽率差異=實驗組發芽率-對照組發芽率

實驗一 環境聲音對於水耕小麥、綠豆、苜蓿之影響

表 6-5-1 環境聲音對植物發芽率差異之影響—發芽率

使用植物	200Hz	對照組	低音量組
綠豆	100%	96%	90%
小麥	48%	27%	19%
苜蓿	10%	7%	6%

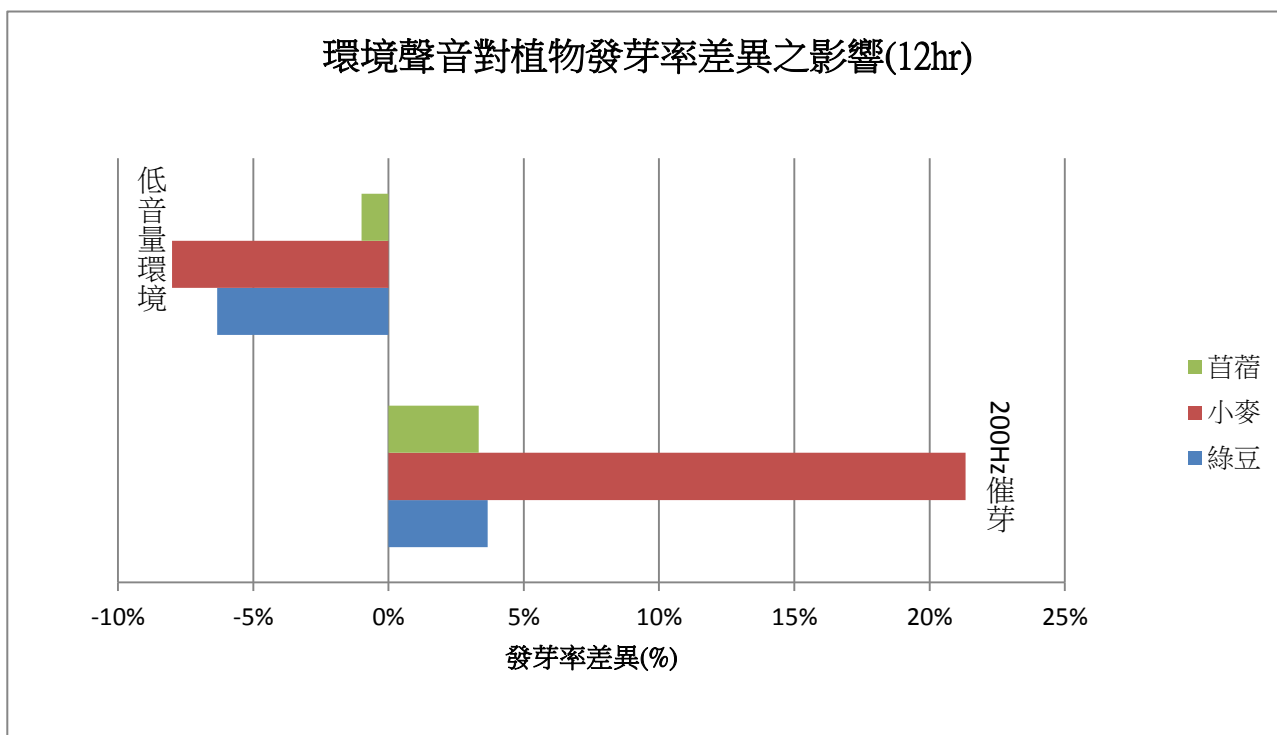


圖 6-5-1 環境聲音對植物發芽率差異之影響—發芽差異率

從圖 6-5-1 可以看出，在安靜環境(30dB)的種子的發芽率比對照組(50dB)低，由此可以證實聲音的確對於種子的發芽有密切的關係，並且有聲音的環境之下對於種子的發芽較有利，也能印證振動對種子發芽之必要性。

六、探討聲波催芽之成因

- 名詞說明：

1. 發芽率=已發芽顆數/總顆數

實驗一 探討聲波催芽是否有破壞種皮之效果

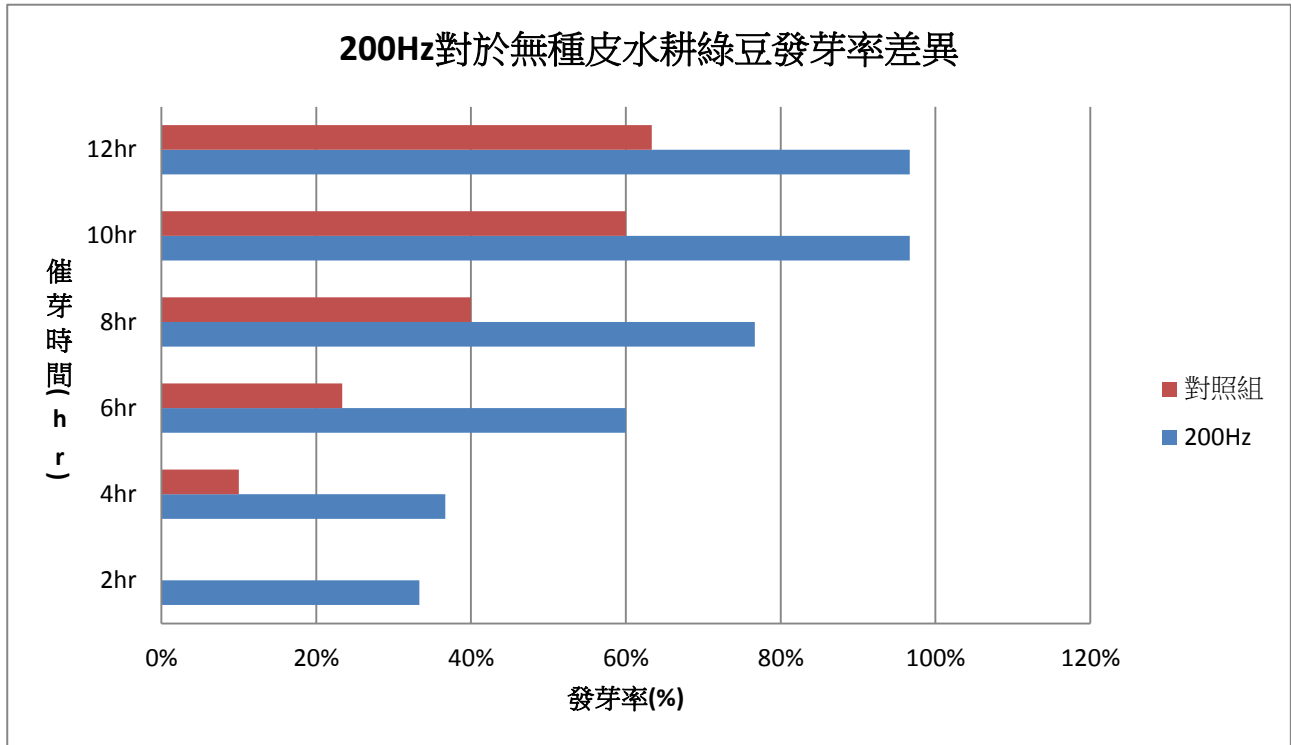


圖 6-6-1 200Hz 對於種皮破壞水耕綠豆發芽率差異—發芽率差異

從圖 6-6-1 可以看出，不論種皮有無受損聲波都具有催芽的效果，與超音波催芽不同，由此實驗結果可以推論低頻的聲波催芽是影響種子內部而不是影響種皮。

柒、 討論

一、聲波催芽可增加植物發芽率 7~40%。

我們在不同頻率的階段中，發現一定範圍的固定單音聲波有催芽效果，因此根據實驗結果逐漸縮小範圍進行實驗。觀察到 200Hz~10700Hz 的頻率使植物的發芽率明顯升高，800Hz 對於土耕小白菜發芽率平均增加了 40%，1300Hz 對於水耕小白菜發芽率則平均增加了 30%，200Hz 對於綠豆、苜蓿、小麥發芽率分別增加了 7%、22%、17%。

二、不同的植種方式適合的聲波催芽頻率不同。

從實驗目的(一)，我們做了兩個小實驗，比較水耕及土耕小白菜的最佳聲波催芽頻率，在土耕的部分，我們發現 800Hz 催芽效果最佳；而在水耕的部分，則是 1300Hz 的頻率催芽效果明顯較好，推論是由於植物接受聲波的介質不同所導致。

三、不同性質的植物，使用同種植種法適合的聲波催芽頻率不盡相同。

在實驗目的(二)中，我們用水耕法來植種綠豆、苜蓿、小麥，以觀察不同科適合的聲波催芽頻率是否相同。結果顯示這三科的植物皆在 200Hz 之下的聲波催芽法效果最顯著，但相對實驗目的(一)的水耕小白菜的結果不同。我們推測是十字花科的生理構造或機能不同，而使小白菜與這四種植物適合的聲波催芽頻率不同。這個部份如果之後有機會，會再深入研究。

四、聲音頻率固定，音量在 50dB~90dB 皆有良好催芽效果，催芽效果差異不大。

由不同音量階段中的實驗，可以看出 50dB~90dB 的能量強度，對植物發芽率皆有促進的作用，具有相同的催芽效果，因此可以推論，影響聲波催芽的主要因素是頻率而不是響度。

五、根據實驗結果顯示，低頻具有良好催芽效果。

從實驗目的(一)、(二)結果可以看出，具有良好催芽效果的音頻分別為 200Hz、800Hz、1300Hz，皆屬於低頻範圍，而我們的研究結果與美國一位植物學家兼農業研究員史密斯 (George E. Smith) 於 1962 年的研究發現相同，該科學家運用聲頻刺激玉米的生長，結果發現接受 450Hz 的收成最佳(文獻十四)。

從學者(文獻三)表示超音波催芽使用過久會破壞植物種子構造，原因是能量過大導致種子無法負荷。而我們的實驗使用人耳能聽見的音頻並且長時間持續進行催芽，與超音波催芽的 5~20 分鐘不同，而高於 200Hz 的頻率催芽效果逐漸遞減，推測是由於頻率越高，能量傳遞所造成的分子振動越劇烈，對生物細胞反而具有破壞性才導致此結果，而反之在 200Hz 左右的音頻催芽時間適當，有良好的催芽效果。另外有做超音波催芽 5~20 分鐘的實驗，發現只有催芽五分鐘的組別具有良好催芽效果，而其他組別則是由於時間太久，造成種子內部有破壞的現象而無法發芽。

六、聲波催芽 5hr 以上具有較佳的催芽效果。

根據實驗結果，發現以 800Hz 進行催芽，催芽時間最好在 5hr 以上效果較好，而透過文獻四可以知道，超音波催芽不能使用過久，會對細胞具有破壞性，而我們使用人耳能聽見的範圍，可以推論低頻造成種子體內分子的振動較緩和，因此催芽的時間需要較長。

七、聲波催芽+化學催芽>聲波催芽>化學催芽。

我們在比較聲波催芽與化學催芽的階段中，加入了聲波催芽+化學催芽組，結果優於其他兩組，從此發現化學藥劑催芽並不會與物理聲波催芽互相排斥，並能造成更好的催芽效果。在此我們推測物理與化學催芽的促進方式可能是對於不同的生理機制，有待進一步確認。而聲波催芽單獨使用的效果會比化學催芽來得好，可以取代之。

八、環境中影響種子發芽的條件除了水分、光照等，聲波(振動)也是很重要的條件。

在實驗五中，我們探討環境音量對於種子發芽的影響，結果顯示低音量環境的發芽率較差，證實聲波(振動)對於種子發芽有一定的必要性，並且可以推論在環境中影響種子發芽的條件除了水分、光照等，聲波(振動)也是很重要的條件。

聲波可以造成振動產生能量的傳遞，進而影響種子發芽的機制。超音波催芽的原理為破壞種子種皮讓水分易於滲入，進而達到催芽的效果(文獻五)，從實驗六可證實，低頻聲波對種皮破壞後的種子仍具有催芽效果，與超音波催芽的原理不同，可以推論低頻聲波催芽的機制，應是藉由振動影響種子內部的分子擾動，使種子內激素濃度分布產生變化(如：離層酸或其他相關激素)，根據以上推論及文獻，我們更進一步推論，或許只要有振動就可達到催芽的效果。

九、聲波催芽法可應用於日常生活中，且比化學催芽法好。

催芽通常使用於農業上，不僅僅為了收成好，現在更是有一股養生催芽的穀類食品風潮，在普通的催芽方法裡，需將種子浸泡水 5hr 以上，並且不停的更換水，需時約兩天才大功告成，之後製作成養生豆漿等食品，費時且費工，不停更換水也是一種資源上的浪費。若是使用化學催芽的方式，更是加上對於環境有格外負擔，且需花費金錢的問題。

一般的化學催芽法，根據不同需求而有不同的成分，本實驗作為比較的化學催芽劑一速大多，主要成分為維他命 B 群，100c.c.的未稀釋催芽液需花費上百元。而另外 GA 催芽法也至少需上百元，比起聲波催芽法較不實惠且也不方便。

我們的聲波催芽法相較於其他催芽法，優點為省時且省力，不需像是一般泡水催芽法時時刻刻都關注，也不必更換水，最重要的是方便且容易實行，不必花費大量金錢也不會對於環境有任何的負面影響，是一種實惠的綠色催芽法。

表 7-1-1 各種催芽法之比較表

	傳統催芽法	聲波催芽法	化學催芽法
用水量	50L/次		
需要天數	兩天	一天	一天
發芽率達到80%所需時間	20hr	14hr	18hr
用電量	無	2.76度	無
使用次數	A次	無限制	A次
對環境影響	無	無	無
成本	無	250元	A*120元
發芽率差異平均值	-----	13%	10%

捌、 結論

- 一、探討聲波頻率高低對小白菜水耕、土耕發芽率之影響
 - (一) 在相同環境下，200Hz~10700Hz 的聲波皆具有催芽效果。
 - (二) 土耕小白菜最佳聲波催芽頻率為 800Hz；水耕小白菜最佳聲波催芽頻率為 1300Hz。
- 二、探討聲波頻率高低對水耕綠豆、小麥、蕎麥及苜蓿發芽率之影響
 - (一) 在水耕綠豆、小麥、蕎麥及苜蓿的部分最佳聲波催芽效果頻率為 200Hz。
 - (二) 不同性質植物在相同環境及相同栽種法下，適合的聲波催芽頻率不同。
- 三、探討聲波音量大小對植物發芽率之影響
 - (一) 在相同環境下，50dB~90dB 之間的音量大小不會影響發芽率差異，同樣頻率的聲波具有相同的催芽效果。
 - (二) 聲波催芽法的效果主要因素為頻率，而不是聲音強度。
- 四、探討聲波催芽時間長短對植物發芽率之影響
 - (一) 在相同環境下，低頻聲波催芽法須持續使用 5hr 以上。
 - (二) 聲波催芽法使用 15hr 即達到良好催芽效果。
- 五、比較聲波催芽與化學催芽之效能
 - (一) 聲波催芽法的催芽效果與化學催芽法的效果相當，甚至更好。
 - (二) 聲波催芽法與化學催芽法可以一同使用，比起單一使用聲波催芽法或化學催芽法皆有更好的催芽效果。
- 六、印證聲波(振動)對種子發芽之必要性
 - (一) 在一般環境之下，聲波(振動)的存在對種子發芽有益，低聲量環境反而不易發芽。
 - (二) 在環境中影響種子發芽除了光照、水分等，聲音(振動)也是很重要的條件之一。
- 七、探討聲波催芽之成因
 - (一) 種皮的有無對於聲波催芽的成效並無影響。
 - (二) 推論聲波催芽主要是影響種子體內成分(激素)進而促進催芽。

玖、 參考資料

- 一、自己種有機（無日期）。
<http://works.firstwalker.com.tw/homegreen/diy.htm>
- 二、林浩暉(2009)。聲波刺激對綠豆萌芽及其幼苗生長之影響。國立清華大學。郭華仁。網路種子學。
<http://seed.agron.ntu.edu.tw/vtseed/vtseed.htm#網路種子學>
- 三、黃玉梅(民 94)。利用超音波處理促進瓜類蔬菜種子活力之研究。行政院農業委員會種苗改良繁殖場九十四年度科技計畫研究報告。
- 四、黃玉梅(2011)。利用超音波處理促進苦瓜種子活力之研究。植物種苗，13(2):53-67。
- 五、黃瓊慧、王才義(2009)。種子預措處理對報歲蘭“達摩”種子發芽之影響。興大園藝，34(4): 63-71。
- 六、植物的生長及特徵，無日期。
<http://www.wcjs.tcc.edu.tw/bio/cairoom/8708/21705/31.html>
- 七、張弘毅(無日期)。原生植物種子育苗繁殖特性簡介。民 101 年 5 月 27 日。
<http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=4223>.
- 八、有機農業全球資訊網。民 101 年 5 月 27 日。
<http://organic.supergood.com.tw/supergood/front/bin/ptdetail.phtml?Part=spend-10&Preview=1>
- 九、住公寓也可自製芽菜。民 101 年 5 月 27 日。
<http://tw.myblog.yahoo.com/tasing-2007/article?mid=-2&next=243&l=a&fid=26>
- 十、 PChome Online 商店街 麗又康 Shopping 館。民 101 年 5 月 27 日。
<http://www.pcstore.com.tw/100100/M04258396.htm>
- 十一、 廖萬正(無日期)植物生長調節使用介紹民。101 年 5 月 27 日。
- 十二、 蔣永正(無日期)。植物營養劑使用現況與藥害問題。民 101 年 5 月 27 日。
<http://www.tactri.gov.tw/htdocs/project/proj79-2.pdf>.
- 十三、 潘瑞熾主編(2006)。植物生長物質。載於植物生理學(197-241 頁)。台北縣新店市：藝軒。
- 十四、 彼得·湯京士(Peter Tompkins)、克利斯多福·柏德(Christopher Bird) 著、薛絢譯(1998)。植物欣賞音樂。載於植物的秘密生命(150-151 頁)。台北市:台灣商務。

【評語】 030303

本研究能自行設計吸音觀察箱及聲波產生裝置，具科學研究探究精神，值得鼓勵。

可惜本研究所選用的種子材料（綠豆、苜蓿、小麥、蕎麥）多為高發芽率的種子，因此不易觀察到聲波促進種子發芽的效果；另一方面在初期實驗對聲波頻率範圍的選擇，其實無需侷限於人耳能分辨得較窄範圍，可考慮更寬廣的範圍。