

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生物科

080313

聲音農藥? - 探究自然環境聲音對植物向性與化學防禦影響之研究

學校名稱：臺中市太平區新平國民小學

作者：	指導老師：
小六 袁禾萱	顏弘志
小五 薛羽捷	蘇逸雯
小五 賴宥彤	
小五 魯品芯	
小五 林裕婷	

關鍵詞：自然聲音、植物趨避行為、聲音農藥

摘要

本研究探討自然聲音對植物生長與防禦機制的影響，並評估「聲音農藥」在農業中的應用潛力。我們測試了流水聲、雨水聲對黑豆發芽與植株生長時其根生長向性的影響，以及蟲啃咬聲對小白菜葉片被害程度及防禦機制的影響。結果顯示，**在流水聲與雨水聲環境下，黑豆植株的根部傾向於朝向聲源方向生長，尤其在缺水環境下更加明顯**，顯示植物可能利用聲音信號調控根部生長方向。此外，當小白菜暴露於蟲啃咬聲時，**其揮發性有機化合物（TVOC）釋放量增加，並有效降低紋白蝶幼蟲的啃食行為**，證明聲音刺激可觸發植物的防禦機制。

本研究的發現支持了**聲音可作為非侵入性環境因子來影響植物生理反應**，並為未來發展環保型農業防治技術提供了新的視角。

壹、研究動機

隨著全球農業技術的進步，人們對環境友善且可持續的農業策略產生了濃厚興趣。傳統化學農藥雖然能有效防治害蟲，但其對生態環境與人體健康可能造成負面影響，因此尋找替代方案成為重要課題。近年來，聲音作為一種非侵入式環境因子，其對植物生長及防禦機制的影響逐漸受到科學界關注。然而，**多數研究著重於人工聲源，對自然環境聲音（如流水聲、雨水聲、昆蟲振翅聲及蟲啃食聲）影響植物生理機制的研究仍然有限。**

本研究以「聲音農藥」為核心概念，探討自然聲音是否能影響植物的向性生長與防禦反應，進一步驗證聲音技術在害蟲防治上的可行性。我們希望透過本研究**提供一種低成本、無污染的生物防治策略，為未來的永續農業發展開拓新的可能性。**

貳、研究目的

目的一：了解自然界水的聲音對黑豆植株根生長向性的影響

實驗一：流水聲對黑豆植株根生長向性的影響

實驗二、流水聲對黑豆植株根生長向性的影響

實驗三、雨水聲對黑豆植株根生長向性的影響

實驗四、比較雨水聲音音量大小對黑豆植株根生長向性的影響

實驗五、比較流水聲音音頻大小對黑豆植株根生長向性的影響

目的二、探究不同條件下蟲啃咬聲對小白菜葉片被啃食影響

實驗六、比較有無蟲啃咬聲(75dB)對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

實驗七、比較是否預先以蟲啃咬聲(75dB)刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片(未處於蟲咬啃食聲環境下)的影響

實驗八、比較是否預先以蟲啃咬聲刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片(處於蟲咬啃食聲環境下)的影響

實驗九、比較有無蟲啃咬聲(55dB)對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響
















目的三、聲音農藥的可行性探究

實驗十、比較小白菜是否以蟲啃咬聲刺激其釋放 TVOC 每天數值的變化

實驗十一、比較是否混入預先受蟲啃咬聲刺激的小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

參、研究設備與器材

一、研究器材

		
分貝計、Tvoc 測量儀	棉花和竹筷	棉線和剪刀
		
膠帶和湯匙	培養皿和量杯	黑豆種子、植栽
		
粉白蝶成蟲	粉白蝶幼蟲	盆栽、紙杯
		
LED 燈和藍芽音響	投影片	紙箱
		
飼養箱	小白菜植栽	酒精

以上圖片皆由作者拍攝

肆、研究過程與方法

一、文獻探討

聲音對植物生長的影響已逐漸引起科學界的關注，許多研究顯示，聲音作為一種非侵入性外部刺激，可以影響植物的生理和生長狀態。這些影響可能與機械振動引發的細胞生物學反應有關。

(一) 自然聲音對植物的影響

自然界的聲音，諸如流水聲、雨水聲、和昆蟲振翅聲，對植物具有特定的生物學意義。例如，有研究指出，流水聲的頻率可能會激活植物內部的機械感受機制，進一步影響根的生長方向與速度。雨水聲則可能透過模擬降雨的環境信號，促使植物調整氣孔開合度以適應環境變化。此外，蜜蜂拍翅聲被認為能提升花粉散佈效率，是植物與昆蟲共生關係的重要一環。

(二) 聲音頻率與震動對植物的機制作用

聲音頻率和震動強度的變化是植物感知聲音的重要特徵。一些研究表明，植物細胞壁中的壓電材料可能會對外界振動作出響應，產生電訊號傳遞至內部細胞，進而引發基因表達的變化。此類研究為本研究設計中的「比較不同頻率與震動大小對植物生長的影響」提供了科學基礎。

(三) 植物與 TVOC

TVOC 是「總揮發性有機化合物」(Total Volatile Organic Compounds) 的縮寫。生活中常見的 TVOC 來源有：油漆、膠水、清潔劑、香水、空氣清新劑…等。然而植物也會釋放揮發性有機化合物 (VOC)，而這些就包含在 TVOC 中！但和人造的化學污染不同，植物釋放的 VOC 多數是天然的，而且有重要的生態功能。植物釋放這些氣體是有目的的，主要有幾種原因：

1. 吸引傳粉者：像花朵的香味，就是由 VOC 組成，能吸引蜜蜂、蝴蝶來幫忙傳粉。
2. 抵禦害蟲或病菌：當植物受到咬食或感染時，會釋放特定 VOC 來嚇退害蟲，或警告其他植物。
3. 和其他植物溝通：一些植物會釋放 VOC 「通知」附近的植物說：「我被咬了，小心！」
4. 保護自己免受熱或光傷害：有些 VOC 可以幫助植物調節自身的反應，對抗環境壓力。

表、常見植物釋放的 VOC 類型

類型	例子	特點
萜類 (Terpenes)	單萜 (如香葉醇)、倍半萜	花香、松樹味，能驅蟲或吸引昆蟲
醇類 (Alcohols)	乙醇、六碳醇	傳遞損傷訊號或抵禦細菌
酯類 (Esters)	乙酸乙酯	多數水果的香味來源
醛類 (Aldehydes)	乙醛、己醛	受傷或被吃時釋放，警告作用

酮類 (Ketones)	丙酮	抵抗病菌的訊號氣體之一
--------------	----	-------------

(四)聲音應用於農業的可能性

在農業應用上，聲音干擾技術是一種有潛力的害蟲控制策略。例如，有研究顯示，模擬害蟲天敵的聲音可以有效減少植物遭受害蟲侵害的程度。此類技術具有低污染、低成本的優勢，特別適合在永續農業情境中推廣。

(五) 本研究的獨特性與意義

雖然已有部分文獻探索聲音對植物的影響，但針對自然聲音的系統性研究仍然較為稀缺。本研究以自然界聲音為研究核心，並結合聲音機械特徵與生物學效果的綜合探討，期望填補現有研究的空白。同時，提出「聲音農藥」的應用概念，為生態友善型農業提供創新解決方案。

二、研究過程與方法

1. 建立實驗用黑豆植株

1. 放置黑豆、棉花、水，種植黑豆，放置陽光處，	2. 在紙杯底部戳洞，並在裡面放入棉花。
	
3. 放入泥土和長成的黑豆植株	4. 澆水後，插入竹筷綁上棉線，放置陽光處，定期澆水即完成
	

以上圖片皆由作者拍攝

2. 飼養粉白蝶及其幼蟲

1. 將粉白蝶成蟲飼養在飼養箱，並提供水與幼蟲食草



2. 將孵化幼蟲放入飼養箱，並在底面鋪設衛生紙，提供食草。



以上圖片皆由作者拍攝

3. 建立實驗用小白菜植株

1. 在紙杯底部戳洞，並在裡面放入棉花。



2. 放入泥土和小白菜植株



3. 完成一株實驗用的小白菜




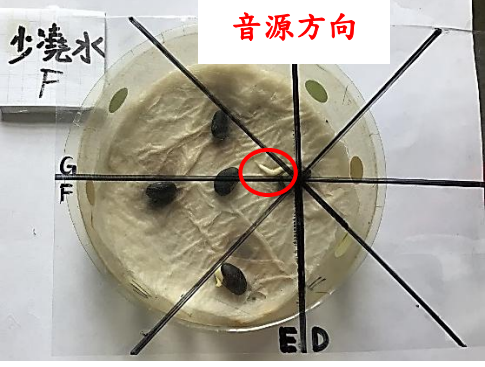


4. 大量種植預備實驗用，注意每天澆水，觀察生長狀況



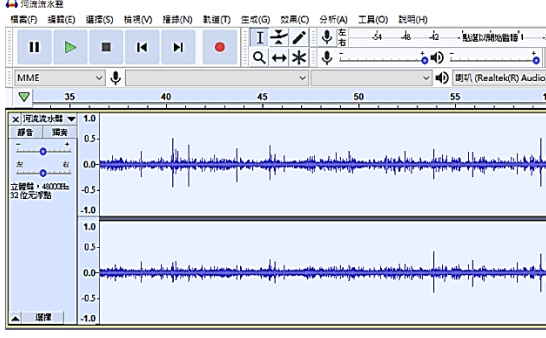
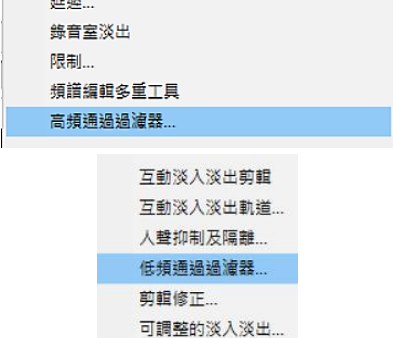
以上圖片皆由作者拍攝

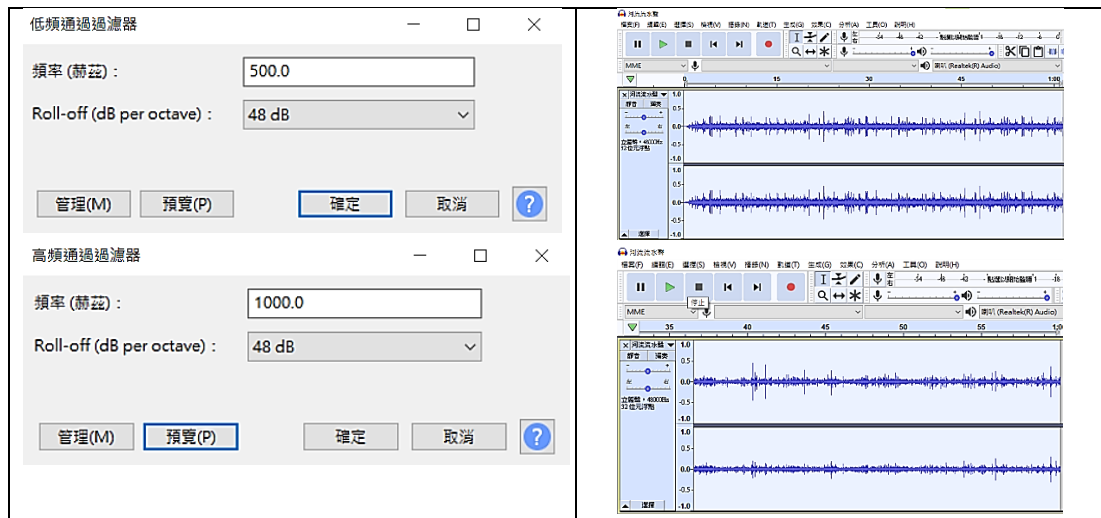
4. 黑豆發芽端茶發芽根部生長向性流水聲實驗

1. 將 5 顆黑豆以十字擺放於培養皿中，以此方式擺放 10 盆	2. 每盆前後左右四個方向以貼紙在各方位上做記號，方便後續紀錄
	
3. 將 10 盆黑豆植株以 0、45、90、135、180 度環繞擺放至音源(藍芽喇叭，紅圈處)四周，播放流水聲音 75dB(以分貝計確認)	4. 根系分佈分析示例(下圖)：面對音源根生長方向被分為四個方向：前、後、左、右，以下圖分析為例：根生長方向為左側
	

以上圖片皆由作者拍攝



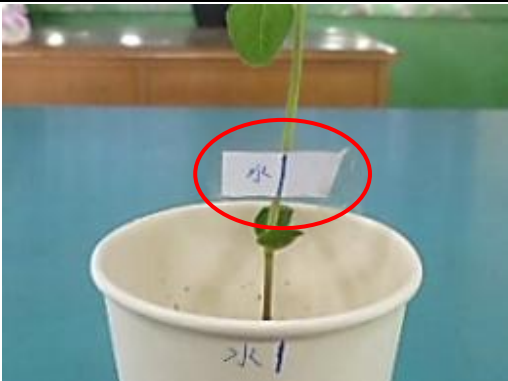

5. 流水聲高低頻過濾設置

1. 利用 audacity 軟體開啟流水聲原音頻 (音頻取自：YOUTUBE 流水聲)	2. 分別利用軟體高、低頻過濾器，過濾水聲中高低頻音頻
	
3. 高頻：過濾 500Hz 以下音頻 低頻：過濾 1000Hz 以上音頻	4. 過濾高低音頻，完成實驗所需的高、低音頻流水聲音頻







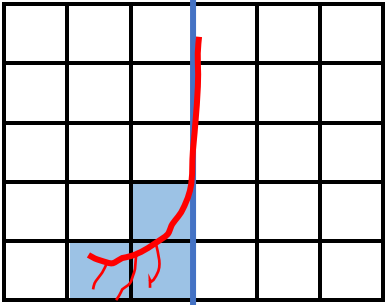
以上圖片皆由作者拍攝

6. 流水、雨水聲黑豆植株觀察根部生長向性實驗佈置

<p>1. 音響放在中間</p> 	<p>2. 掛上 LED 燈</p> 
<p>3. 將 6 盆黑豆植株以鐵指標記朝水聲方向</p> 	<p>4. 放入紙箱撥放聲音，依實驗設定 75dB 或 55dB(以分貝計確認)</p> 

以上圖片皆由作者拍攝

7. 根部的拍攝與分析方法

<p>1. 準備培養皿和植栽</p> 	<p>2. 輕輕的將土壤倒出來</p> 
<p>3. 將植物根部清洗乾淨</p> 	<p>4. 放置在方格紙上並拍照記錄格數</p> 
<p>5. 觀察根系分佈狀況</p>  <p>紅色：根系分佈。藍色：基準線</p>	<p>6. 根系分佈分析示例(左圖)：</p> <p>(1) 將植物的莖對準中央基準線</p> <p>(2) 將經貼紙為平面標準，將植物放置在方格紙上</p> <p>(3) 左側：根系跨越3格</p> <p>(4) 右側：根系跨越0格</p>



以上圖片皆由作者拍攝

8. 聲音對粉白蝶幼蟲啃食小白菜植株影響實驗的布置

1. 三個飼養箱，每箱有四盆小白菜、粉白蝶幼蟲三隻(放置於培養皿)	2. 將三組飼養箱擺放好，藍芽喇叭固定好位置朝向指定方向
	
3. 播放蟲咬植物聲，依實驗需要設定 75dB 或 55dB(以分貝計確認) 聲音取自 YOUTUBE <u>毛毛蟲啃咬聲</u>	4. 每天打開飼養箱觀察小白菜植株啃咬狀況，並記錄
	





以上圖片皆由作者拍攝

9. 小白菜葉片受紋白蝶幼蟲啃咬狀況的紀錄方式

1. 每天觀察每一盆小白菜葉面被啃食狀況，逐頁觀察分析並記錄	2. 以葉脈為軸十字等分四份。該份若被啃食算 1/4，例如本葉四等分中有三份被啃食，故記為 3/4
	

以上圖片皆由作者拍攝

10. 蟲啃咬聲對小白菜產生 TVOC 的影響

1. 紙箱內放置 TVOC 測量儀，紙箱上裝置 LED 燈，並蓋上透明板	2. 測量 1 小時後 TVOC 數值（對照組），並記錄
	
3. 放入喇叭播放蟲咬植物聲（75dB）	4. 蓋上透明板，一個小時後測量 TVOC 數值（對照組），並記錄
	

以上圖片皆由作者拍攝

三、實驗步驟

實驗一：流水聲對黑豆植株根生長向性的影響

1. 在培養品中鋪上衛生紙，並將黑豆 5 顆以十字方式擺放其中，共 10 盆
2. 將藍芽耳機準備好撥放流水聲(75dB)，將 10 盆黑豆以 0、45、90、135、180 度擺放，用貼紙在培養皿上不同角度做記號以方便觀察，兩兩一對，分別澆水 5、10CC。
3. 以透明片製作米字形方向盤，面對音源根生長方向被分為四個方向：前、後、左、右，每天進行澆水與根系分佈分析。

實驗二：流水聲對黑豆植株根生長向性的影響

1. 將 18 盆黑豆植株擺放於 3 個紙箱，在莖上黏貼標籤，明確標示面向水聲（正向）與背向水聲（反向）。
2. 利用藍芽音響播放設定為 75 dB 的流水聲。

3. 每日依照實驗設定進行澆水(有聲有水、有聲無水、無聲無水)，依據莖的位置中央基準線，並觀察記錄各植株根部面向與背向水聲的生長格數。

實驗三：雨水聲對黑豆植株根生長向性的影響

1. 將黑豆植株固定於紙杯中，每盆分別標示正向（面對雨水聲）與反向，共 12 盆分別放置於 2 箱中。
2. 利用藍芽音響播放設定為 75 dB 的雨水聲。
3. 分別於有水與無水狀態下進行實驗，並記錄植株根部在正反兩側的生長格數。

實驗四：比較雨水聲音音量大小對黑豆植株根生長向性的影響

1. 準備兩組黑豆植株(兩箱，每箱 6 盆)，分別安排播放 55 dB 與 75 dB 的雨水聲。
2. 確認兩組播放環境僅在音量上有所區別，其餘條件一致。
3. 觀察並記錄每組植株根部正向（面向雨水聲）與反向的生長格數，進行數據比較。

實驗五：比較流水聲音音頻大小對黑豆植株根生長向性的影響

1. 將黑豆植株分為兩組，分別接受高頻（1000 Hz 以上）與低頻（500 Hz 以下）的流水聲刺激。
2. 利用音響設備播放設定為相同音量（例如 75 dB）的不同頻率流水聲。
3. 每天記錄各組植株根部面向水聲與背向水聲的生長格數，進行頻率效果比較。

實驗六：比較有無蟲啃咬聲(75 dB)對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

1. 準備 8 盆小白菜植株分兩組，分別置於有蟲啃咬聲（75 dB）環境與無聲環境中。
2. 各組均加入 4 隻紋白蝶幼蟲。
3. 每日觀察並記錄各組小白菜葉片被啃食的數量，評估聲音對幼蟲進食行為的影響。

實驗七：比較是否預先以蟲啃咬聲(75 dB)刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片（未處於蟲咬啃食聲環境下）的影響

1. 將小白菜植株分為兩組：一組預先連續三天播放蟲啃咬聲（75 dB），另一組不進行聲音刺激。
2. 三天後，將兩組植株均置於無蟲咬聲環境中，並各自放入相同數量的紋白蝶幼蟲。

3. 每日記錄葉片被啃食的數量，並比較預先受刺激組與未受刺激組的差異。

實驗八：比較是否預先以蟲啃咬聲刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片（處於蟲咬啃食聲環境下）的影響

1. 將小白菜植株分為兩組：一組預先連續三天播放蟲啃咬聲（75 dB），另一組不受預訓練。
2. 實驗期間，將所有植株置於持續播放蟲啃咬聲（75 dB）的環境中，同時加入相同數量的紋白蝶幼蟲。
3. 每日觀察並記錄各組小白菜葉片被啃食的數量，分析預先受刺激與未受刺激之間的差異。

實驗九：比較有無蟲啃咬聲(55 dB)對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

1. 準備兩組小白菜植株，分別置於播放蟲啃咬聲（55 dB）與無聲環境中。
2. 各組均放入相同數量的紋白蝶幼蟲。
3. 每日觀察並記錄各組小白菜葉片的啃食情況，評估不同音量對幼蟲行為的影響。

實驗十：比較小白菜是否以蟲啃咬聲刺激其釋放 TVOC 每天數值的變化

1. 將小白菜植株放置於密閉紙箱內，並安裝 TVOC 測量儀。
2. 分組進行實驗，一組播放蟲啃咬聲（75 dB），另一組作為對照不播放聲音。
3. 在固定時間（例如每隔 10 分鐘）測量並記錄各組小白菜釋放 TVOC 的數值，觀察隨時間的變化。

實驗十一：比較是否混入預先受蟲啃咬聲刺激的小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

1. 預先將一部分小白菜植株連續播放蟲啃咬聲（75 dB）三天，形成預訓練組；另一部分保持正常不受聲音刺激。
2. 將預訓練組與未受刺激組混合種植於同一密閉飼養箱內。
3. 在混種環境中放入相同數量的紋白蝶幼蟲，並每日記錄各植株葉片的啃食數量以進行比較。

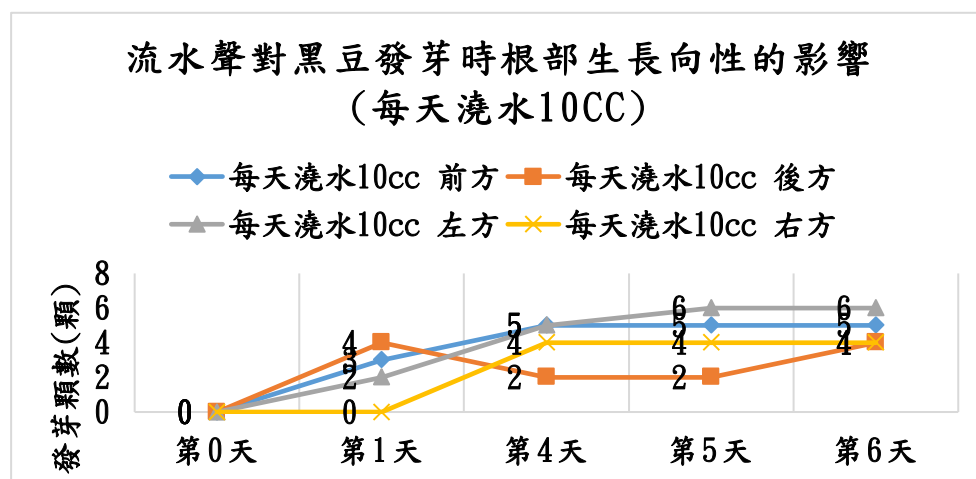
伍、研究結果

實驗一、流水聲對黑豆發芽時根生長向性的影響

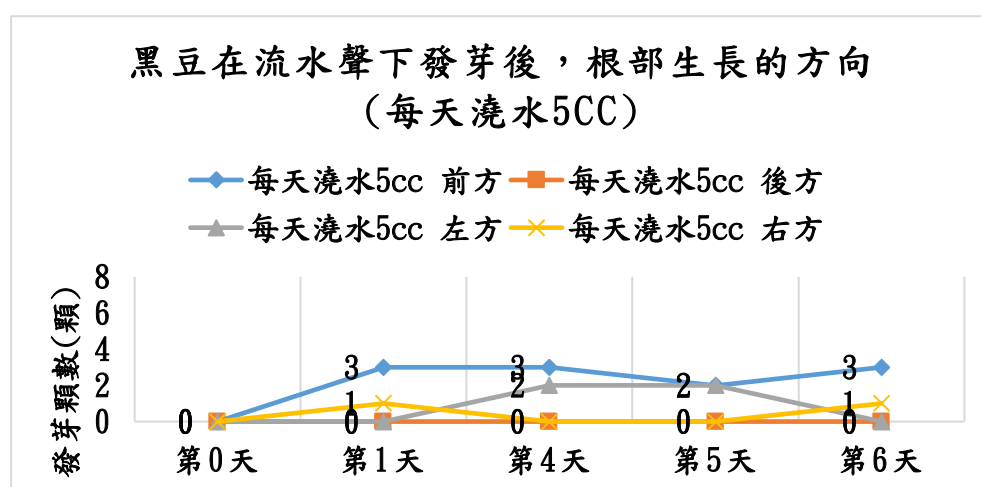
表、流水聲對黑豆發芽時根生長向性的影響(澆水 5、10cc)

	每天澆水 10cc					每天澆水 5cc				
	前方	後方	左方	右方	發芽 豆數	前方	後方	左方	右方	發芽 豆數
第 0 天	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第 1 天	3	4	2	0	9	3	0	0	1	4
第 4 天	5	2	5	4	16	3	0	2	0	5
第 5 天	5	2	6	4	17	2	0	2	0	4
第 6 天	5	4	6	4	19	3	0	0	1	4

單位：顆



圖、流水聲對黑豆發芽時根生長向性的影響(澆水 10cc)



流水聲對黑豆發芽時根生長向性的影響(澆水 5cc)

結果討論：

結果發現，在水份充足的情況下，流水聲對黑豆根部發芽向性沒有明顯的影響，但在水份缺乏的狀況下，能順利發芽的黑豆根部明顯朝流水聲源方向生長。

實驗二、流水聲對黑豆植株根莖生長向性的影響

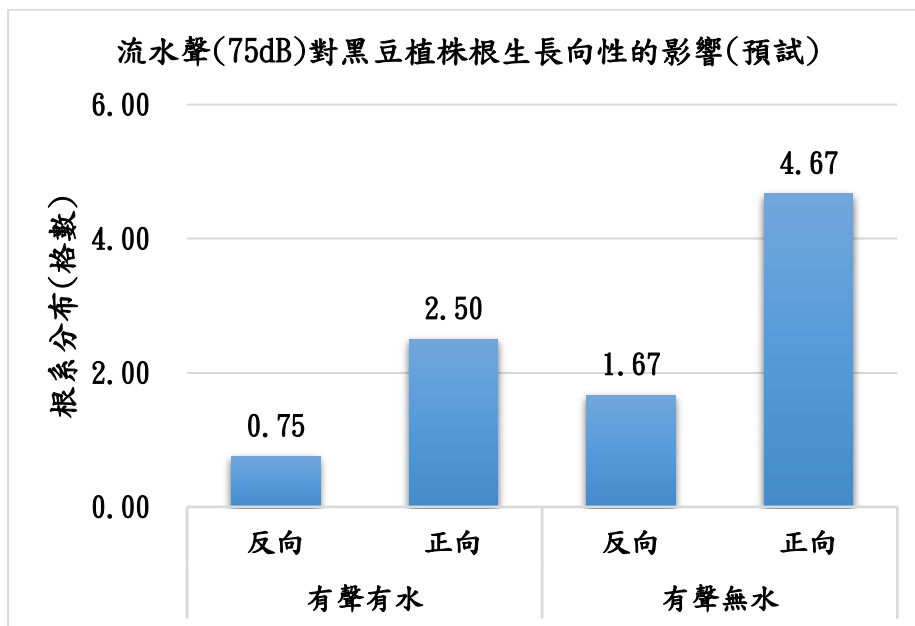
實驗設計：

1. 每箱六盆黑豆植株，莖上標示面水方向
2. 依實驗需要每箱條件不同分處不同環境：有聲有水、有聲無水、無聲無水

實驗結果：

表、流水聲(75dB)對黑豆植株根生長向性的影響(預試)

	面水方向	所佔格數
有聲有水	反向	0.75
	正向	2.50
有聲無水	反向	1.67
	正向	4.67



圖、流水聲(75dB)對黑豆植株根生長向性的影響(預試)

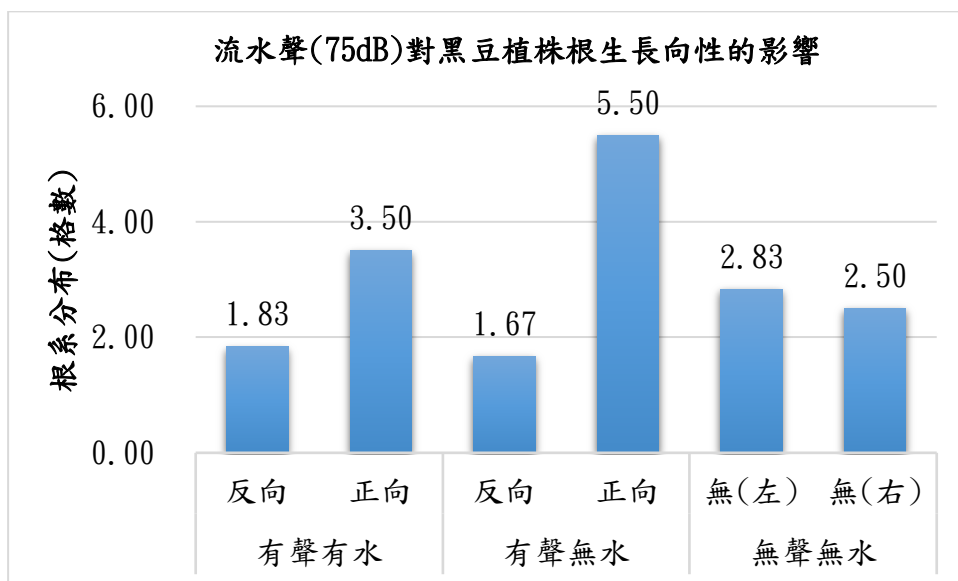
備註：有(無)聲：是否提供聲音刺激，有(無)水：每天是否澆水

正向：面對水聲，反向：背對水聲。1 格=1 平方公分

表、流水聲(75dB)對黑豆植株根生長向性的影響(平均)

	面水方向	所佔格數
有聲有水	反向	1.83
	正向	3.50
有聲無水	反向	1.67
	正向	5.50
無聲無水	無(左)	2.83
	無(右)	2.50

註：有(無)聲：是否提供聲音刺激，有(無)水：每天是否澆水



圖、流水聲(75dB)對黑豆植株根生長向性的影響(預試)

備註：有(無)聲：是否提供聲音刺激，有(無)水：每天是否澆水

正向：面對水聲，反向：背對水聲。1 格=1 平方公分

結果討論：

結果顯示，黑豆植株在無流水聲、不澆水的環境，根部生長分布是沒有明顯差異的。不過在正式與預試實驗中，當提供 75 分貝的流水聲，根部的根系生成會較容易朝水聲方向生長，而且在黑豆植株不澆水的狀況下，這種植物向性現象更明顯。

實驗三、雨水聲對黑豆植株根莖生長向性的影響

實驗設計：

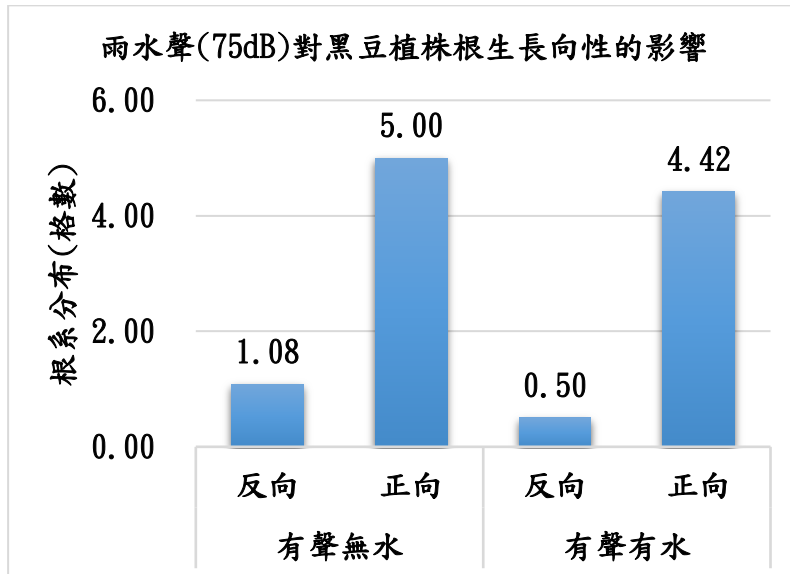
1. 每箱六盆黑豆植株，莖上標示面水方向
2. 依實驗需要每箱條件不同分處不同環境：有聲有水、有聲無水

實驗結果：

表、雨水聲對黑豆植株根莖生長向性的影響

	面水方向	所佔格數
有聲無水	反向	1.08
	正向	5.00
有聲有水	反向	0.50
	正向	4.42

註：有(無)聲：是否提供聲音刺激，有(無)水：每天是否澆水



圖、雨水聲(75dB)對黑豆植株根生長向性的影響(預試)

備註：有(無)聲：是否提供聲音刺激，有(無)水：每天是否澆水

正向：面對水聲，反向：背對水聲。1 格=1 平方公分

結果討論：

結果顯示，當提供 75 分貝的雨水聲，黑豆植株根部的根系生成會較容易朝水聲方向生長，而且在黑豆植株不澆水的狀況下，這種植物向性現象更明顯。

實驗四、比較雨水聲音音量大小對黑豆植株根生長向性的影響

實驗設計：

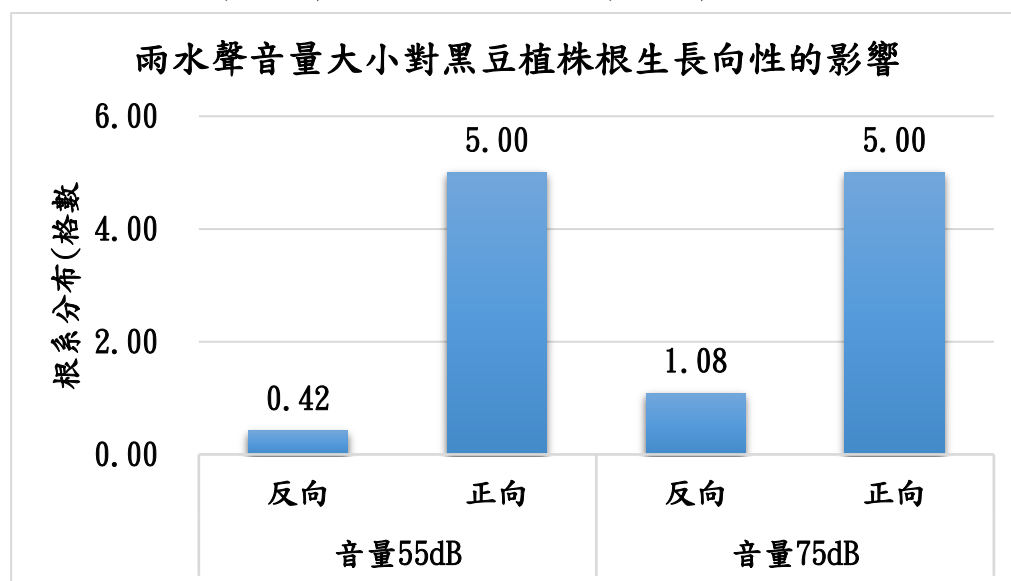
1. 準備兩組黑豆植株(兩箱，每箱 6 盆)，分別安排播放 55 dB 與 75 dB 的雨水聲。
2. 確認兩組播放環境僅在音量上有所區別，其餘條件一致。

實驗結果：

表、比較雨水聲音分貝音量對黑豆植株根生長向性的影響

	面水方向	所佔格數
音量 55dB	反向	0.42
	正向	5.00
音量 75dB	反向	1.08
	正向	5.00

註：正向：面對雨水聲的方向。反向：面對雨水聲的方向。



圖、比較雨水聲音音量大小對黑豆植株根生長向性的影響

註：正向：面對雨水聲的方向。反向：面對雨水聲的方向。

結果討論：

結果顯示，雨水聲音音量大小(75Db、55dB)都會對黑豆植株根生長向性產生些微影響，但兩者沒有顯著的差異。

實驗五、比較流水聲音音頻大小對黑豆植株根生長向性的影響

實驗設計：

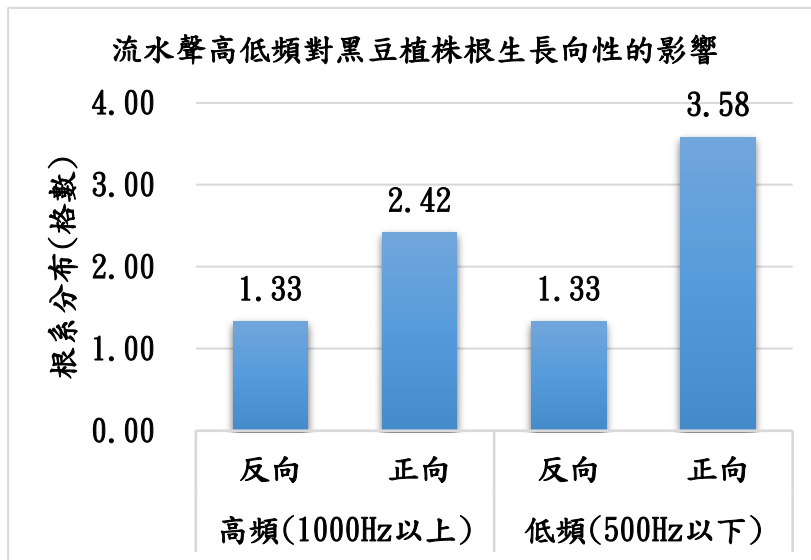
1. 將 12 盆黑豆植株分為兩組放置於兩紙箱，分別接受高頻（1000 Hz 以上）與低頻（500 Hz 以下）的流水聲刺激。
2. 利用音響設備播放設定為相同音量（例如 75 dB）的不同頻率流水聲。

實驗結果：

表、比較流水聲音音頻大小對黑豆植株根生長向性的影響

	面水方向	所佔格數
高頻(1000Hz 以上)	反向	1.33
	正向	2.42
低頻(500Hz 以下)	反向	1.33
	正向	3.58

註：正向：面對雨水聲的方向。反向：面對雨水聲的方向。



圖、比較流水聲音音頻大小對黑豆植株根生長向性的影響

註：正向：面對水聲，反向：背對水聲。1 格=1 平方公分

結果討論：

結果顯示，流水聲高低頻(1000Hz 以上、500Hz 以下)都會對植物產生根生長向性產生影響。其中，低頻流水聲(500Hz 以下)比高頻流水聲(1000Hz 以上)影響更大。

實驗六、比較有無蟲啃咬聲(75dB)對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

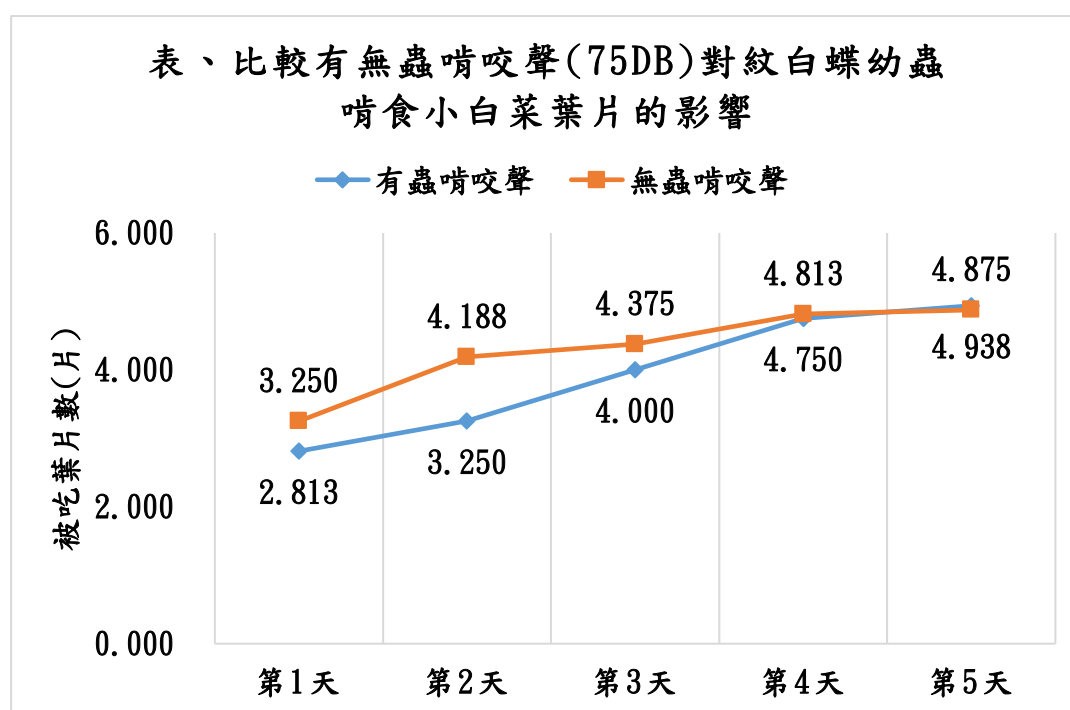
實驗設計：

1. 準備 8 盆小白菜植株，4 盆置於有蟲啃咬聲(75dB)環境，另 4 盆則置於一般環境
2. 各放置 4 隻紋白蝶幼蟲，每日觀察葉片被啃食狀況

表、比較有無蟲啃咬聲(75dB)對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天
有蟲啃咬聲	2.813	3.250	4.000	4.750	4.938
無蟲啃咬聲	3.250	4.188	4.375	4.813	4.875

單位：被啃食葉片數(片)



圖、比較有無蟲啃咬聲對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

結果討論：

結果顯示，紋白蝶幼蟲在有蟲啃咬聲(75dB)環境下，小白菜葉片被啃咬狀況受到些微抑制，但差異不大。顯示蟲咬聲可能可以些微抑制紋白蝶幼蟲進食或引發小白菜防禦機制減少被啃咬機會。

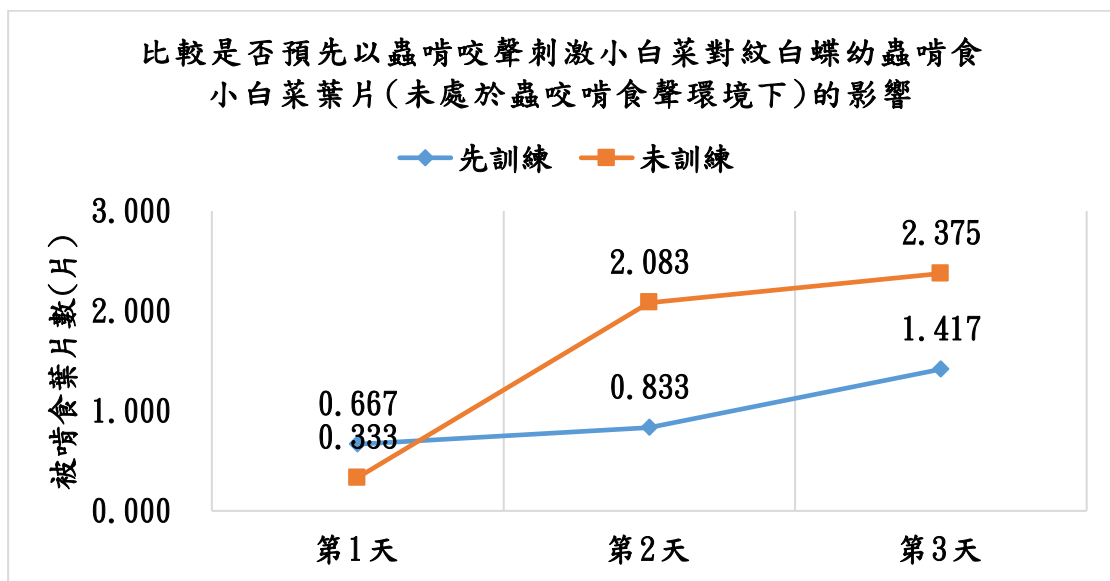
實驗七、比較是否預先以蟲啃咬聲(75dB)刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片(未處於蟲咬啃食聲環境下)的影響

實驗方式：

1. 8 盆小白菜植株，4 盆先置於有蟲啃咬聲(75dB)環境三天，另 4 盆則置於一般環境三天，各放置一個於一個飼養箱。
2. 三天後，每個飼養箱各放置 4 隻紋白蝶幼蟲，都置於沒有蟲啃咬聲)環境，每日觀察葉片被啃食狀況

表、比較是否預先以蟲啃咬聲刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片(未處於蟲咬啃食聲環境下)的影響

	第 1 天	第 2 天	第 3 天
先訓練	0.667	0.833	1.417
未訓練	0.333	2.083	2.375



圖、比較是否預先以蟲啃咬聲刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片(未處於蟲咬啃食聲環境下)的影響

結果討論：

結果顯示，小白菜植株在有蟲啃咬聲環境下刺激三天，小白菜葉片被啃咬狀況受到明顯抑制，顯示蟲啃咬聲對小白菜預先刺激可以引發小白菜防禦機制減少被啃咬機會。

實驗八、比較是否預先以蟲啃咬聲刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片(處於蟲咬啃食聲環境下)的影響

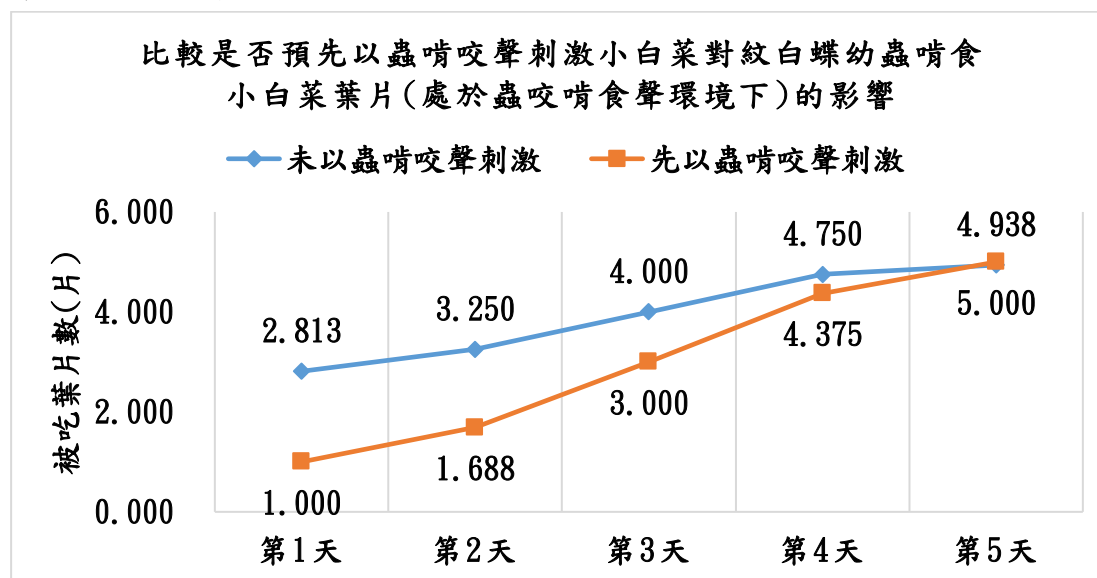
實驗設計：

1. 準備 8 盆小白菜植株，4 盆先置於有蟲啃咬聲(75dB)環境三天，另 4 盆則置於一般環境三天，各放置一個於一個飼養箱。
2. 三天後，每個飼養箱各放置 4 隻紋白蝶幼蟲，都置於有蟲啃咬聲(75dB)環境每日觀察葉片被啃食狀況

表、比較是否預先以蟲啃咬聲刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片(處於蟲咬啃食聲環境下)的影響

	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天
未以蟲啃咬聲刺激	2.813	3.250	4.000	4.750	4.938
先以蟲啃咬聲刺激	1.000	1.688	3.000	4.375	5.000

單位：被啃食葉片數(片)



圖、比較是否預先以蟲啃咬聲刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片(處於蟲咬啃食聲環境下)的影響

結果說明：

結果顯示，小白菜植株在有蟲啃咬聲環境下刺激三天，小白菜葉片被啃咬狀況在初期受到明顯抑制，但後期效果逐漸遞減。顯示對小白菜來說蟲啃咬聲預先刺激可以較有效引發小白菜防禦機制減少被啃咬機會。

實驗九、比較有無蟲啃咬聲(55dB)對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

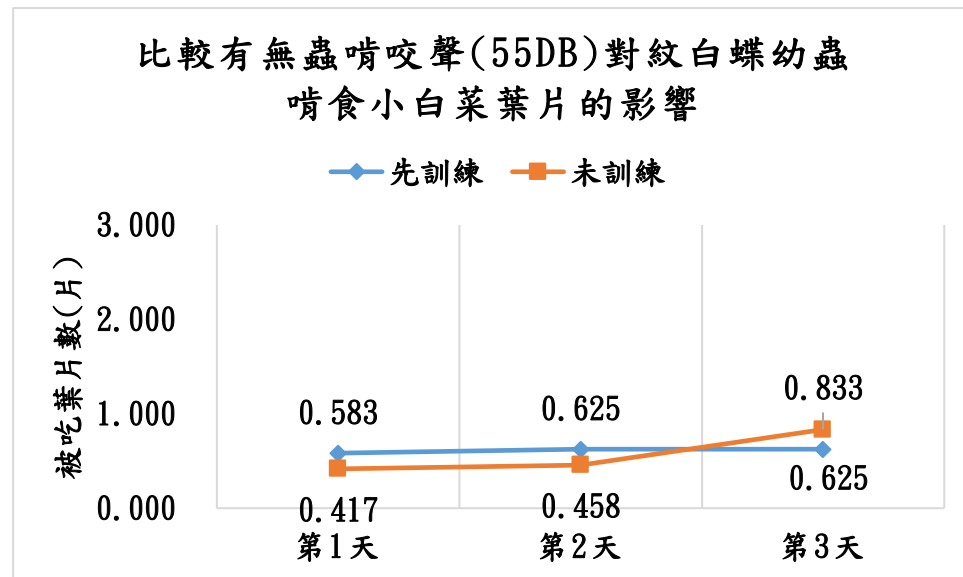
實驗設計：

1. 準備 8 盆小白菜植株，4 盆置於有蟲啃咬聲(55dB)環境，另 4 盆則置於一般環境
2. 各放置 4 隻紋白蝶幼蟲，每日觀察葉片被啃食狀況

表、比較有無蟲啃咬聲(55dB)對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

	第 1 天	第 2 天	第 3 天
有蟲啃咬聲	0.583	0.625	0.625
無蟲啃咬聲	0.417	0.458	0.833

單位：被啃食葉片數(片)



結果討論：

結果顯示，小白菜植株在有蟲啃咬聲(55dB)環境下刺激三天，小白菜葉片被啃咬狀況受到些微抑制，顯示小白菜預先受到較低音量(55dB)蟲啃咬聲刺激對引發小白菜防禦機制效果不明顯。

實驗十、比較小白菜是否以蟲啃咬聲刺激其釋放 TVOC 每天數值的變化

實驗設計：

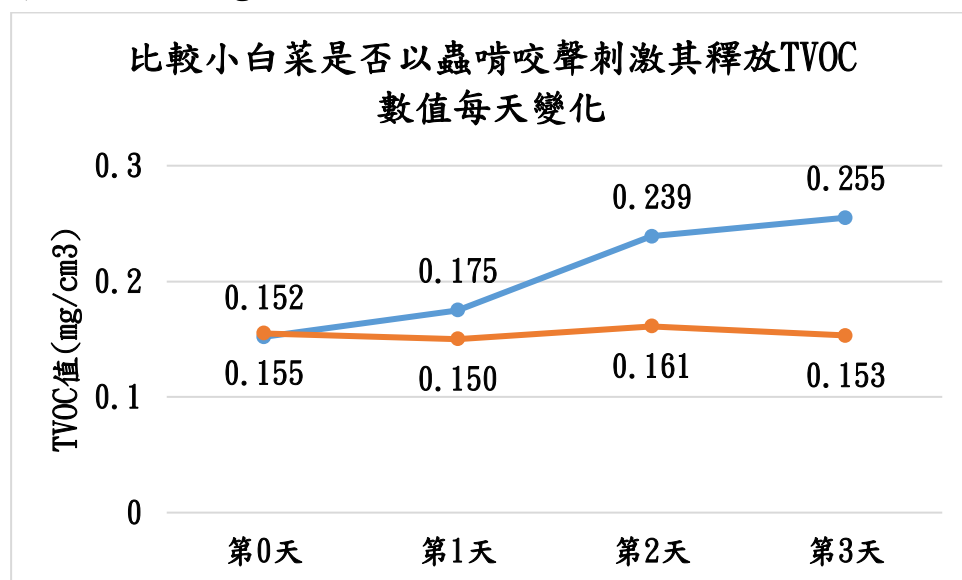
1. 準備 6 盆小白菜放入紙箱中，放入 TVOC 測量儀，10 分鐘後測量一次 TVOC 數值。
2. 開始放置藍芽喇叭撥放蟲啃咬聲(75dB)蓋上透明塑膠板，其後每天固定時間，放入 TVOC 測量儀，10 分鐘後測量一次 TVOC 數值。

實驗結果：

表、比較小白菜是否以蟲啃咬聲刺激其釋放 TVOC 每天數值的變化

	第 0 天	第 1 天	第 2 天	第 3 天
有蟲聲	0.152	0.175	0.239	0.255
無蟲聲	0.155	0.150	0.161	0.153

單位：TVOC 值 mg/cm^3



圖、比較小白菜是否以蟲啃咬聲刺激其釋放 TVOC 數值每天變化

結果討論：

結果顯示，小白菜會因受到蟲啃咬聲刺激其釋放 TVOC，期數值隨著放置天數逐漸升高。

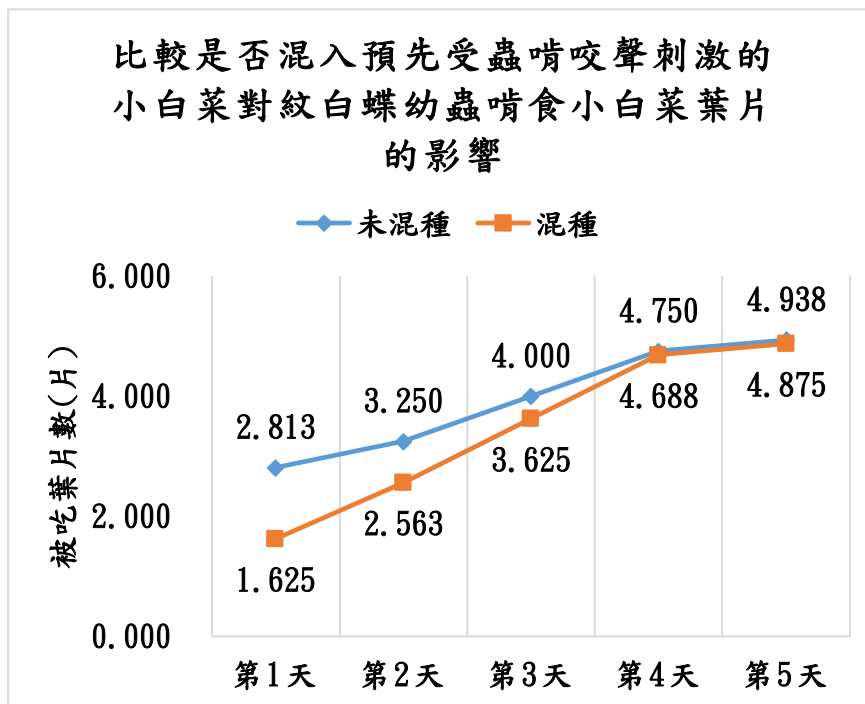
實驗十一、比較是否混入預先受蟲啃咬聲刺激的小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

實驗設計：

1. 準備 8 盆小白菜植株，2 盆先置於有蟲啃咬聲(75dB)環境，另 6 盆則置於一般環境。
 2. 準備 2 個飼養箱，三天後，將先置於有蟲啃咬聲(75dB)環境的 2 盆與一般環境的 2 盆放置於同一飼養箱，並標示「混種」。另一飼養箱則放置一般環境的 4 盆，並標示「未混種」。
 3. 每個飼養箱，各放置 4 隻紋白蝶幼蟲，每日觀察葉片被啃食狀況
- 表、比較是否混入預先受蟲啃咬聲刺激的小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天
未混種	2.813	3.250	4.000	4.750	4.938
混種	1.625	2.563	3.625	4.688	4.875

單位：被啃食葉片數(片)



圖、比較是否混入預先受蟲啃咬聲刺激的小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

結果討論：

結果顯示，將預先受蟲啃咬聲刺激的小白菜與未受蟲啃咬聲刺激的小白菜混合栽種於一個較為密閉環境(如有蓋飼養箱)，也能在一開始抑制紋白蝶幼蟲小白菜葉片的啃食。

陸、研究討論

本研究旨在探討自然環境中不同聲音（如流水聲、雨水聲及蟲咬聲）對植物生長向性與化學防禦的影響，並初步驗證「聲音農藥」的應用潛力。研究結果顯示，聲音刺激對植物的向性生長與防禦反應具有顯著影響。

1. 水聲刺激與黑豆植株向性

實驗一至實驗五主要探討流水聲與雨水聲對黑豆根部生長向性的影響。結果發現，在提供 75 dB 的流水聲或雨水聲刺激下，**黑豆發芽與植株根部生長傾向於向聲源方向生長，特別是在缺水狀態下**，正向生長格數顯著高於反向。此外，雖然不同音量（55 dB 與 75 dB）以及頻率（高頻與低頻）的比較顯示兩者對向性影響差異不大，但低頻流水聲（500 Hz 以下）似乎較高頻流水聲（1000 Hz 以上）更能促進根部向聲源生長。這一結果支持了植物可能利用機械振動訊號進行方向性調控的假說。

2. 蟲咬聲刺激與小白菜防禦反應

實驗六至實驗九針對蟲咬聲對小白菜受紋白蝶幼蟲啃食情況進行評估。結果顯示，在 75 dB 蟲咬聲刺激環境中，小白菜葉片被啃食的數量較對照組略有減少，**顯示蟲咬聲可能干擾幼蟲進食或激發植物的初步防禦反應**。然而，較低音量（55 dB）下防禦效果不明顯，暗示刺激強度為調控植物防禦反應的關鍵參數。此外，預先刺激的實驗結果表明，先以 75 dB 蟲咬聲刺激的小白菜在後續無聲環境中，仍能在初期明顯降低幼蟲啃食量，**支持植物在接收到外部威脅訊號後可提前激活防禦機制的觀點**。

3. 聲音誘導化學防禦—TVOC 釋放

實驗十與實驗十一則探討了蟲咬聲對小白菜釋放揮發性有機物（TVOC）的影響。結果顯示，播放蟲咬聲後，小白菜的 TVOC 數值隨時間逐漸上升，並在混種實驗中呈現出未預受刺激組與預先受聲音刺激組混種仍能抑制幼蟲啃食的現象。這一發現**支持了利用聲音作為「聲音農藥」的概念，即通過誘導植物自身化學防禦來降低害蟲侵害，且能協助防禦其他未被蟲啃咬的植物**，從而提供一種環保且低成本的農業防治策略。

4. 潛在作用機制與未來方向

綜合以上結果，可初步歸納出聲音刺激可能通過以下兩條路徑影響植物：

- **機械感受機制：**流水或雨水聲產生的振動可能由植物細胞壁中類似壓電材料的結構感知，進而激活內部訊號傳導並改變基因表達，使根部向性生長得以調控。
- **防禦預激作用：**蟲咬聲作為模擬外界威脅的訊號，能促使植物提前釋放防禦相關化學物質（如 TVOC），以減少害蟲啃食。

儘管本研究在模擬環境下獲得了正向結果，但樣本數與環境控制等仍有局限。有些問題須更進一步研究才能解釋，例如：為何雨水聲大小聲對黑豆植株根生長向性影響無明顯差異，可是蟲咬聲大小聲卻對小白菜防禦紋白蝶蟲咬有明顯差異？未來研究可進一步探討不同聲音參數（包括頻率、音量及持續時間）對植物內部分子機制的具體影響，並評估此技術在實際田間應用中的穩定性與效益，以期推動永續農業技術的發展。

柒、結論

1. 水聲影響向性生長：實驗發現，在流水聲和雨水聲環境下，黑豆發芽與植株的根部會傾向聲源方向生長，尤其在缺水情況下更為明顯，有助於提高水分吸收。
2. 聲音誘導防禦反應：播放 75 dB 的蟲咬聲可促使小白菜提前啟動防禦機制，透過釋放揮發性有機物 (TVOC) 來減少害蟲啃食。
3. 聲音農藥的應用潛力：利用自然聲音作為無污染、低成本的農業防治策略，具有取代傳統化學農藥的潛力，有助於推動永續農業。
4. 未來研究方向：建議進一步在田間試驗不同聲音參數的效果，並從分子層面解析植物防禦機制，以確保該技術的穩定性與廣泛應用。

捌、參考文獻

1. 科普小學堂. (2016). 噪音對動植物荷爾蒙的影響. 台灣公衛學生聯合會. 取自 <https://fphsa.org.tw>
2. 國家地理雜誌. (2024). 花能聽到蜜蜂嗡嗡——這讓花蜜更香甜. 取自 <https://www.natgeomedia.com>
3. 動滋動滋——研究聲音對綠豆生長的影響. (2024). 屏東科技大學科學專題計畫. 取自 <https://sci.ptc.edu.tw>
4. 澳門教育暨青年發展局. (2024). 音樂對植物的影響. 取自 <http://mirror1.dsedj.gov.mo>
5. 環境資訊中心. (2024). 噪音也會影響植物生長：種子傳播與發芽受干擾. 取自 <https://e-info.org.tw>

【評語】 080313

1. 本作品探討自然聲音（如流水聲、雨水聲、蟲啃咬聲）對植物生長及防禦機制的影響。
2. 研究方法多元，涵蓋根部向性、化學防禦、害蟲進食行為等，能靈活運用國小可取得的設備（如藍芽音響、分貝計、TVOC測量儀等）。
3. 若能增加各組實驗的樣本數與重複次數，將使數據更具說服力與統計意義。
4. 建議在不同變因實驗中，進一步加強對其他環境條件（如光照、溫度、濕度等）的控制組，讓實驗設計更嚴謹。
5. 建議擴充頻率與音量參數，以空間與時間序列的方式，紀錄根部朝向聲源的變化，了解是否存在轉向或強化。

作品海報

聲音農藥??

探討自然環境聲音對植物向性
與化學防禦影響之研究

摘要

本研究探討自然聲音對植物生長與防禦機制的影響，並評估「聲音農藥」在農業中的應用潛力。我們測試了流水聲、雨水聲對黑豆發芽與植株生長時其根生長向性的影響，以及蟲啃咬聲對小白菜葉片被害程度及防禦機制的影響。結果顯示，在流水聲與雨水聲環境下，黑豆植株的根部傾向於朝向聲源方向生長，尤其在缺水環境下更加明顯，顯示植物可能利用聲音信號調控根部生長方向。此外，當小白菜暴露於蟲啃咬聲時，其揮發性有機化合物 (TVOC) 釋放量增加，並有效降低紅白蝶幼蟲的啃食行為，證明聲音刺激可觸發植物的防禦機制。

本研究的發現支持了聲音可作為非侵入性環境因子來影響植物生理反應，並為未來發展環保型農業防治技術提供了新的視角。

壹、研究動機

隨著全球農業技術的進步，人們對環境友善且可持續的農業策略產生了濃厚興趣。傳統化學農藥雖然能有效防治害蟲，但其對生態環境與人體健康可能造成負面影響，因此尋找替代方案成為重要課題。近年來，聲音作為一種非侵入式環境因子，其對植物生長及防禦機制的影響逐漸受到科學界關注。然而，多數研究著重於人工聲源，對自然環境聲音（如流水聲、雨水聲、昆蟲振翅聲及蟲啃食聲）影響植物生理機制的研究仍然有限。

本研究以「聲音農藥」為核心概念，探討自然聲音是否能影響植物的向性生長與防禦反應，進一步驗證聲音技術在害蟲防治上的可行性。我們希望透過本研究提供一種低成本、無污染的生物防治策略，為未來的永續農業發展開拓新的可能性。

貳、研究目的

目的一：了解自然界水的聲音對黑豆植株根生長向性的影響

實驗一、流水聲對黑豆發芽時根生長向性的影響

實驗二、流水聲對黑豆植株根生長向性的影響

實驗三、雨水聲對黑豆植株根生長向性的影響

實驗四、比較雨水聲音音量大小對黑豆植株根生長向性的影響

實驗五、比較流水聲音頻大小對黑豆植株根生長向性的影響

目的二：探究不同條件下蟲啃咬聲對小白菜葉片被害影響

實驗六、比較有無蟲啃咬聲 (75dB) 對紅白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

實驗七、比較是否預先以蟲啃咬聲 (75dB) 刺激小白菜對紅白蝶幼蟲啃食小白菜葉片 (未處於蟲啃咬聲環境下) 的影響

實驗八、比較是否預先以蟲啃咬聲刺激小白菜對紅白蝶幼蟲啃食小白菜葉片 (處於蟲啃咬聲環境下) 的影響

實驗九、比較有無蟲啃咬聲 (55dB) 對紅白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響




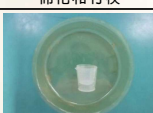









目的三：聲音農藥的可行性探究

實驗十、比較小白菜是否以蟲啃咬聲刺激其釋放TVOC每天數值的變化

實驗十一、比較是否混入預先受蟲啃咬聲刺激的小白菜對紅白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

參、研究設備與器材

一、研究器材

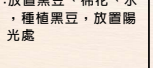
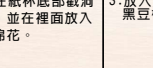
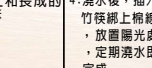

		
分貝計、TVOC測量儀	棉花和竹筷	棉線和剪刀
		
膠帶和湯匙	培養皿和量杯	黑豆種子、植株
		
粉白蝶成蟲	粉白蝶幼蟲	盆栽、紙杯
		
LED燈和藍芽音響	投影片	紙箱
		
飼養箱	小白菜植株	酒精

以上圖片皆由作者拍攝

肆、研究過程與方法



一、研究過程與方法

1. 建立實驗用黑豆植株

1. 放置黑豆、棉花、水，種植黑豆，放置開光處	2. 在紙杯底部戳洞，並在裡面放入棉花。	3. 放入泥土和長成的黑豆植株	4. 澆水後，插入竹筷綁上棉線，放置開光處，定期澆水即完成
			

以上圖片皆由作者拍攝

2. 飼養粉白蝶及其幼蟲

1. 將粉白蝶成蟲飼養在飼養箱，並提供供水與幼蟲食草		2. 將孵化幼蟲放入飼養箱，並在底部鋪設衛生紙，提供食草	
----------------------------	---	------------------------------	--



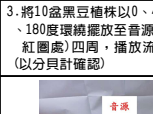
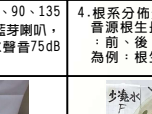
以上圖片皆由作者拍攝

3. 建立實驗用小白菜植株

1. 在紙杯底部戳洞，並在裡面放入棉花。	2. 放入泥土和小白菜植株	3. 完成一株實驗用的小白菜	4. 大量種植預備實驗用，注意每天澆水，觀察生長狀況
			

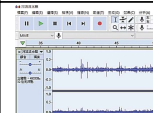



以上圖片皆由作者拍攝

4. 觀察黑豆發芽根部生長向性流水聲實驗

1. 將5顆黑豆以十字擺放於培養皿中，以此方式擺放10盆	2. 每盆前後左右四個方向以貼紙在各方位上做記號，方便後續紀錄
	
3. 將10盆黑豆植株以0、45、90、135、180度環繞擺放至音源 (藍芽喇叭，紅圈處) 四周，播放流水聲音75dB (以分貝計確認)	4. 根系分佈分析示例 (下圖)：面對音源根生長方向被分為四個方向：前、後、左、右，以下圖分析為例，根生長方向為左側
	



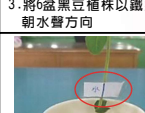

以上圖片皆由作者拍攝

5. 流水聲高低頻過濾設置

1. 利用audacity軟體開啟流水聲音頻 (音頻取自：YOUTUBE流水聲)	2. 分別利用軟體高、低頻過濾器，過濾水聲中高低頻音頻
	
3. 高頻：過濾500Hz以下音頻 低頻：過濾1000Hz以上音頻	4. 過濾高低音頻，完成實驗所需的高、低頻流水聲音頻
	




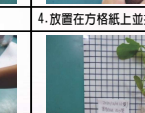

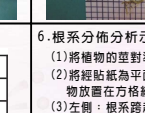
以上圖片皆由作者拍攝

6. 流水、雨水聲黑豆植株觀察根部生長向性實驗佈置

1. 音響放在中間	2. 掛上LED燈
	
3. 將6盆黑豆植株以鐵指標記朝水聲方向	4. 放入紙箱播放聲音，做實驗設定75dB或55dB (以分貝計確認)
	

以上圖片皆由作者拍攝

7. 根部的拍攝與分析方法

1. 準備培養皿和植株	2. 輕輕的將土壤倒出來
	
3. 將植物根部清洗乾淨	4. 放置在方格紙上並拍照記錄格數
	
5. 觀察根系分佈狀況	6. 根系分佈分析示例 (左圖)： (1) 將植物的莖對準中央基準線 (2) 將經貼紙為平面標準，將植物放置在方格紙上 (3) 左側：根系距離3格 (4) 右側：根系距離0格
	

以上圖片皆由作者拍攝

8. 聲音對粉白蝶幼蟲啃食小白菜植株影響實驗的布置

1. 三個飼養箱，每箱有四盆小白菜、粉白蝶幼蟲三隻(放置於培養皿)	2. 將三組飼養箱擺放好，藍芽喇叭固定好位置朝向指定方向
	
3. 播放蟲咬植物聲，依實驗需要設定75dB或55dB(以分貝計確認)聲音取自YOUTUBE毛毛蟲咬聲	4. 每天打開飼養箱觀察小白菜植株咬狀况，並記錄
	




以上圖片皆由作者拍攝

9. 小白菜葉片受紋白蝶幼蟲啃咬狀況的紀錄方式

1. 每天觀察每一盆小白菜葉面被啃食狀況，逐頁觀察分析並記錄	2. 以葉脈為軸十字等分四份，該份若被啃食算1/4，例如本葉四等分中有三份被啃食，故記為3/4
	

以上圖片皆由作者拍攝

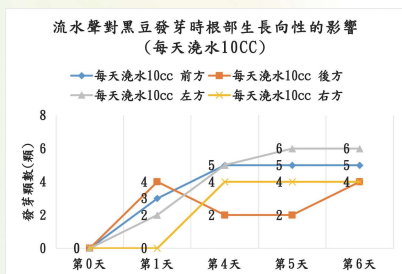
10. 蟲啃咬聲對小白菜產生TVOC的影響

1. 紙箱內放置TVOC測量儀，紙箱上裝置LED燈，並蓋上透明板	2. 測量1小時後TVOC數值(對照組)，並記錄
	
3. 放入喇叭播放蟲咬植物聲(75dB)	4. 蓋上透明板，一個小時後測量TVOC數值(對照組)，並記錄
	

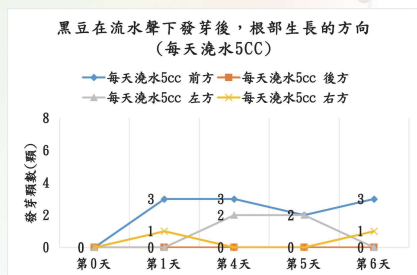
以上圖片皆由作者拍攝

伍、研究結果

實驗一、流水聲對黑豆發芽時根生長向性的影響



圖、流水聲對黑豆發芽時根生長向性的影響(澆水10cc)

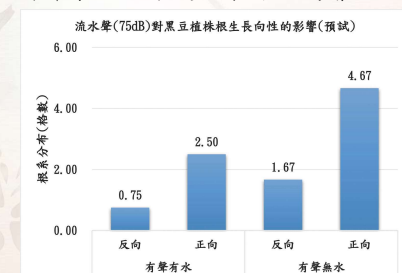


流水聲對黑豆發芽時根生長向性的影響(澆水5cc)

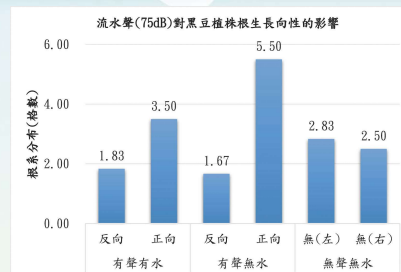
結果討論：

結果發現，在水份充足的情況下，流水聲對黑豆根部發芽向性沒有明顯的影響，但在水份缺乏的狀況下，能順利發芽的黑豆根部明顯朝流水聲源方向生長。

實驗二、流水聲對黑豆植株根莖生長向性的影響



圖、流水聲(75dB)對黑豆植株根生長向性的影響(預試)
備註：有(無)聲：是否提供聲音刺激，有(無)水：每天是否澆水
正向：面對水聲，反向：背對水聲。1格=1平方公分

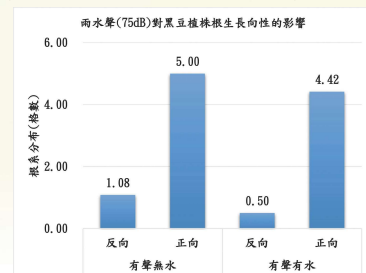


圖、流水聲(75dB)對黑豆植株根生長向性的影響(預試)
備註：有(無)聲：是否提供聲音刺激，有(無)水：每天是否澆水
正向：面對水聲，反向：背對水聲。1格=1平方公分

結果討論：

結果顯示，黑豆植株在無流水聲、不澆水的環境，根部生長分布是沒有明顯差異的。不過在正式與預試實驗中，當提供75分貝的流水聲，根部的根系生成會較容易朝水聲方向生長，而且在黑豆植株不澆水的狀況下，這種植物向性現象更明顯。

實驗三、雨水聲對黑豆植株根莖生長向性的影響

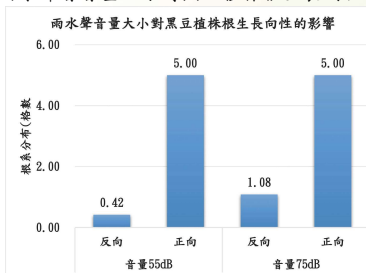


圖、雨水聲(75dB)對黑豆植株根生長向性的影響(預試)
備註：有(無)聲：是否提供聲音刺激，有(無)水：每天是否澆水
正向：面對水聲，反向：背對水聲。1格=1平方公分

結果討論：

結果顯示，當提供75分貝的雨水聲，黑豆植株根部的根系生成會較容易朝水聲方向生長，而且在黑豆植株不澆水的狀況下，這種植物向性現象更明顯。

實驗四、比較雨水聲音音量大小對黑豆植株根生長向性的影響

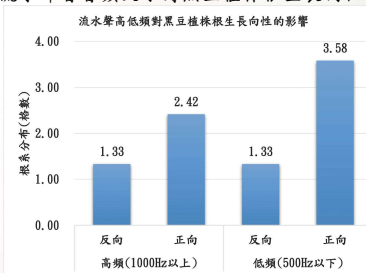


圖、比較雨水聲音音量大小對黑豆植株根生長向性的影響
註：正向：面對雨水聲的方向。反向：背對雨水聲的方向。

結果討論：

結果顯示，雨水聲音音量大小(75Db、55dB)都會對黑豆植株根生長向性產生些微影響，但兩者沒有顯著的差異。

實驗五、比較流水聲音頻大小對黑豆植株根生長向性的影響

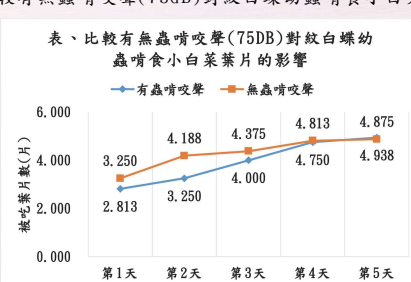


圖、比較流水聲音頻大小對黑豆植株根生長向性的影響
註：正向：面對水聲，反向：背對水聲。1格=1平方公分

結果討論：

結果顯示，流水聲高低頻(1000Hz以上、500Hz以下)都會對植物產生根生長向性影響。其中，低頻流水聲(500Hz以下)比高頻流水聲(1000Hz以上)影響更大。

實驗六、比較有無蟲啃咬聲(75dB)對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

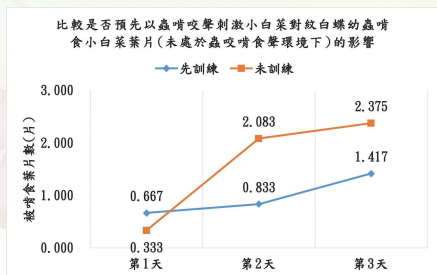


圖、比較有無蟲啃咬聲對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

結果討論：

結果顯示，紋白蝶幼蟲在有蟲啃咬聲(75dB)環境下，小白菜葉片被啃咬狀況受到些微抑制，但差異不大。顯示蟲咬聲可能以些微抑制紋白蝶幼蟲進食或引發小白菜防禦機制減少被啃咬機會。

實驗七、比較是否預先以蟲啃咬聲(75dB)刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片(未處於蟲咬啃食聲環境下)的影響

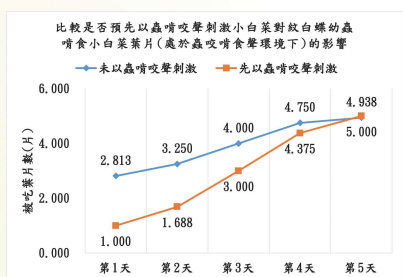


圖、比較是否預先以蟲啃咬聲刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片(未處於蟲咬啃食聲環境下)的影響

結果討論：

結果顯示，小白菜植株在有蟲啃咬聲環境下刺激三天，小白菜葉片被啃咬狀況受到明顯抑制，顯示蟲咬聲對小白菜預先刺激可以引發小白菜防禦機制減少被啃咬機會。

實驗八、比較是否預先以蟲啃咬聲刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片(處於蟲咬啃食聲環境下)的影響

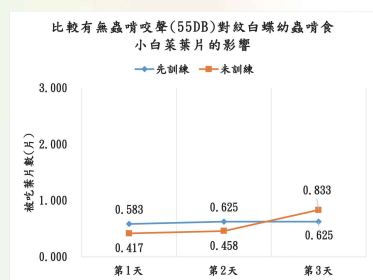


圖、比較是否預先以蟲啃咬聲刺激小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片(處於蟲咬啃食聲環境下)的影響

結果說明：

結果顯示，小白菜植株在有蟲啃咬聲環境下刺激三天，小白菜葉片被啃咬狀況在初期受到明顯抑制，但後期效果逐漸遞減。顯示對小白菜來說蟲咬聲預先刺激可以較有效引發小白菜防禦機制減少被啃咬機會。

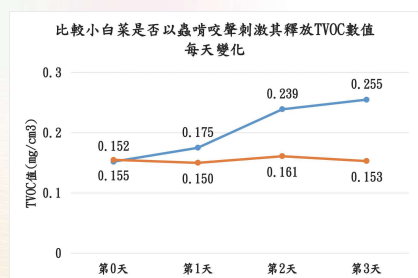
實驗九、比較有無蟲啃咬聲(55dB)對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響



結果討論：

結果顯示，小白菜植株在有蟲啃咬聲(55dB)環境下刺激三天，小白菜葉片被啃咬狀況受到些微抑制，顯示小白菜預先受到較低音量(55dB)蟲咬聲刺激對引發小白菜防禦機制效果不明顯。

實驗十、比較小白菜是否以蟲咬聲刺激其釋放TVOC每天數值的變化

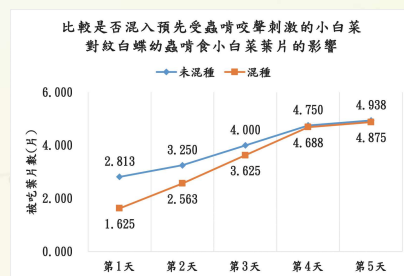


圖、比較小白菜是否以蟲咬聲刺激其釋放TVOC數值每天變化

結果討論：

結果顯示，小白菜會因受到蟲咬聲刺激其釋放TVOC，期數值隨著放置天數逐漸升高。

實驗十一、比較是否混入預先受蟲咬聲刺激的小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響



圖、比較是否混入預先受蟲咬聲刺激的小白菜對紋白蝶幼蟲啃食小白菜葉片的影響

結果討論：

結果顯示，將預先受蟲咬聲刺激的小白菜與未受蟲咬聲刺激的小白菜混合栽種於一個較為密閉環境(如有蓋飼養箱)，也能在一開始抑制紋白蝶幼蟲小白菜葉片的啃食。

陸、研究討論

本研究旨在探討自然環境中不同聲音(如流水聲、雨水聲及蟲咬聲)對植物生長向性與化學防禦的影響，並初步驗證「聲音農業」的應用潛力。研究結果顯示，聲音刺激對植物的向性生長與防禦反應具有顯著影響。

1. 水聲刺激與黑豆植株向性

實驗一至實驗五主要探討流水聲與雨水聲對黑豆根莖生長向性的影響。結果發現，在提供75dB的流水聲或雨水聲刺激下，黑豆發芽與植株根部生長傾向於向聲源方向生長，特別是在缺水狀態下，正向生長格數顯著高於反向。此外，雖然不同音量(55dB與75dB)以及頻率(高頻與低頻)的比較顯示兩者對向性影響差異不大，但低頻流水聲(500Hz以下)似乎較高頻流水聲(1000Hz以上)更能促進根部向聲源生長。這一結果支持了植物可能利用機械振動訊號進行方向性調控的假說。

2. 蟲咬聲刺激與小白菜防禦反應

實驗六至實驗九針對蟲咬聲對小白菜受紋白蝶幼蟲啃食情況進行評估。結果顯示，在75dB蟲咬聲刺激環境中，小白菜葉片被啃食的數量較對照組略有減少，顯示蟲咬聲可能干擾幼蟲進食或激發植物的初步防禦反應。然而，較低音量(55dB)下防禦效果不明顯，暗示刺激強度為調控植物防禦反應的關鍵參數。此外，預先刺激的實驗結果表明，先以75dB蟲咬聲刺激的小白菜在後續無聲環境中，仍能在初期明顯降低幼蟲啃食量，支持植物在接收到外部威脅訊號後可提前激活防禦機制的觀點。

3. 聲音誘導化學防禦—TVOC釋放

實驗十與實驗十一探討了蟲咬聲對小白菜釋放揮發性有機物(TVOC)的影響。結果顯示，播放蟲咬聲後，小白菜的TVOC數值隨時間逐漸上升，並在混種實驗中呈現出未預先受刺激組與預先受聲音刺激組混種仍能抑制幼蟲啃食的現象。這一發現支持了利用聲音作為「聲音農業」的概念，即通過誘導植物自身化學防禦來降低害蟲侵害，且能協助防禦其他未被蟲啃咬的植物，從而提供一種環保且低成本的農業防治策略。

4. 潛在作用機制與未來方向

綜合以上結果，可初步歸納出聲音刺激可能通過以下兩條路徑影響植物：

- 機械感受機制：流水或雨水聲產生的振動可能由植物細胞壁中類似壓電材料的結構感知，進而激活內部訊號傳導並改變基因表達，使根部向性生長得以調控。
- 防禦預激作用：蟲咬聲作為模擬外界威脅的訊號，能促使植物提前釋放防禦相關化學物質(如TVOC)，以減少害蟲啃食。

儘管本研究在模擬環境下獲得了正向結果，但樣本數與環境控制等仍有局限。有些問題須更進一步研究才能解釋，例如：為何雨水聲大小對黑豆植株根生長向性影響無明顯差異，可是蟲咬聲大小卻對小白菜防禦紋白蝶幼蟲咬有明顯差異？未來研究可進一步探討不同聲音參數(包括頻率、音量及持續時間)對植物內部分子機制的具體影響，並評估此技術在實際田間應用中的穩定性與效益，以期推動永續農業技術的發展。

柒、結論

1. 水聲影響向性生長：實驗發現，在流水聲和雨水聲環境下，黑豆發芽與植株的根部會傾向聲源方向生長，尤其在缺水情況下更為明顯，有助於提高水分吸收。
2. 聲音誘導防禦反應：播放75dB的蟲咬聲可促使小白菜提前啟動防禦機制，透過釋放揮發性有機物(TVOC)來減少害蟲啃食。
3. 聲音農業的應用潛力：利用自然聲音作為無污染、低成本的農業防治策略，具有取代傳統化學農業的潛力，有助於推動永續農業。
4. 未來研究方向：建議進一步在田間試驗不同聲音參數的效果，並從分子層面解析植物防禦機制，以確保該技術的穩定性與廣泛應用。

捌、參考文獻

1. 科普小學堂。(2016)。噪音對動物荷爾蒙的影響。台灣公衛學生聯合會。取自<https://fphsa.org.tw>
2. 國家地理雜誌。(2024)。花能聽到蜜蜂嗡嗡——這讓花蜜更香甜。取自<https://www.natgeomedia.com>
3. 動滋動滋——研究聲音對綠豆生長的影響。(2024)。屏東科技大學科學專題計畫。取自<https://sci.ptc.edu.tw>
4. 澳門教育暨青年發展局。(2024)。音樂對植物的影響。取自<http://mirror1.dsedj.gov.mo>
5. 環境資訊中心。(2024)。噪音也會影響植物生長：種子傳播與發芽受干擾。取自<https://e-info.org.tw>