

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 農業與食品學科

佳作

052207

「毒」善其身 —— 探討植物的毒他作用在 空
心蓮子草與大花咸豐草的防治和農業上的應用

學校名稱：國立新竹高級中學

作者： 高二 吳丞桀 高二 李重廷 高二 姚家瑋	指導老師： 林清和 楊詠筑
---	-----------------------------

關鍵詞：毒他作用 (Allelopathy)、空心蓮子草
(*Alternanthera philoxeroides*)、大花咸豐
草 (*Bidens alba*)

摘要

近年入侵外來種植物問題嚴重，造成農業損失，我們也在校園中發現某些樹木下方有雜草不易生長的現象，透過文獻探討得知許多常見植物皆有毒他作用。因此決定將其應用在雜草抑制層面，我們萃取常見植物（樟樹、榕樹、鳳凰木、金絲竹、血桐）的葉，施澆在作物（小白菜、九層塔及綠豆）和入侵外來種植物（空心蓮子草及大花咸豐草），觀察其萌發率和生長狀況。從實驗結果得知有些植物之毒他物質萃取液，能抑制入侵外來種植物而不影響作物生長，同時也利用土壤分析技術證明毒他物質不會影響土壤 pH 及電導率。本研究旨在找出種植不同作物的最佳雜草抑制方法，找出最適合之植物毒他物質萃取液種類與濃度，並發現毒他物質會影響植物根毛和維管束細胞的生長。

壹、研究動機

在校園中，有的地方雜草橫生，但唯獨在樟樹、血桐、榕樹、鳳凰木以及金絲竹的樹下，雜草數量寥寥無幾。(圖 1 (1)) 及 (圖 1 (2)) 分別為校園中相距約 10 公尺的同一片草皮上大花咸豐草的生長情形。可以觀察到，在有樟樹生長的區域，大花咸豐草的數量明顯減少了。



圖 1 (1) 在有樟樹的草皮上雜草的生長情形 圖 1 (2) 在無樟樹的草皮上雜草的生長情形

從文獻中 (John Robert Schenk, 2009; Zhongyang Jiang et al., 2014; Mei-Huims Tseng et al., 2003; Chang-Hung Chou et al., 1992; 周昌弘, 2006) 得知，植物的枝葉具有毒他物質以利植物本身在大自然中競爭。植物毒他作用 (Allelopathy) 是指植物在生長的過程，經代謝產生出某些種化學物質，這些化學物質會抑制植物的種子萌發、植株生長或開花結果等，避免其周遭植物競爭共同資源，是一種植物競爭求生存的方式，而又大致分為下列四種(洪昆源、潘富俊, 2006): 淋溶作用 (Leaching)、根泌作用 (Root exudation)、植物殘留分解作用 (Decomposition of plant residues) 與揮發作用 (Volatilization)。

空心蓮子草 (*Alternanthera philoxeroides*) 和大花咸豐草 (*Bidens alba*) 為農地常見、難以根除的雜草。空心蓮子草除了可經由種子繁殖外，其莖節亦能發根。如果農民欲以鬆土、翻耕等方式除草而不施用農藥，其莖節容易被斬斷，反而會進而促進其蔓延，更加難以剷除，在許多國家被列為世界性入侵物種；大花咸豐草是全台最常見四大外來種植物之一，成熟後的黑色瘦果具倒刺毛，可藉由動物和風力傳播。它繁殖快速，除了容易影響育種樹苗的生存外，也威脅到本土植物的生存空間。在台灣不難在田間發現它們的蹤跡，每年農民需耗費大量金錢與體力除草，甚至需要噴灑農藥以減少農損。

本實驗將聚焦於上述兩種入侵植物上，希望藉由植物毒他作用應用於農民最頭痛的問題

——雜草防治。樟樹、血桐、榕樹、鳳凰木以及金絲竹於台灣低海拔地區隨處可見，運輸與採集成本低，植株的葉量多，對於農民採集容易。於是我們選擇使用上述五種植物的毒他作用進行實驗。

另外，為了確認毒他作用是否也會和常見的作物造成生長影響，因此除了空心蓮子草和大花咸豐草外，也選擇了幾種常見作物作為代表進行實驗。和雜草作為對照的作物選擇為小白菜 (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*)、九層塔 (*Ocimum basilicum*) 和綠豆 (*Vigna radiata*)。小白菜屬於十字花科 (*Brassicaceae*) 植物，台灣許多常見的食用的蔬菜大多出自於本科，亦為台灣農民主要之經濟作物；九層塔屬於唇形科 (*Lamiaceae*)，唇形科是被子植物中僅次於菊科 (*Asteraceae*)、蘭科 (*Orchidaceae*)、豆科 (*Fabaceae*)、茜草科 (*Rubiaceae*)、禾本科 (*Poaceae*) 的第六大科，大多為香草植物；綠豆為豆科 (*Fabaceae*)，豆科植物為世界上重要的糧食及經濟作物。上述三種科別的植物在各國農民的經濟活動佔有一席之地，故選擇這三種常見的作物與皆為田間常見的入侵物種空心蓮子草與大花咸豐草比較。希望藉由此次實驗，找出抑制入侵種但對常見作物影響最少的方法。

貳、研究目的

- 一、 探討不同植物（樟樹、榕樹、鳳凰木、金絲竹、血桐）的毒他物質對植物的影響。
- 二、 對比入侵外來種植物（大花咸豐草、空心蓮子草）和常見農作物（小白菜、九層塔、綠豆）在受到毒他作用（Allelopathy）下的生長情況。
- 三、 探討植物毒他物質的粗萃取液濃度高低對毒他作用的效果。
- 四、 探討空心蓮子草和大花咸豐草的根系是否會因逆境躲避毒他物質萃取液。
- 五、 探討空心蓮子草經毒他液澆灌後，根莖的細胞變化。
- 六、 探討不同植物的毒他物質萃取液是否影響土壤原有 pH 值和電導度（EC 值）。
- 七、 找出對農作物和對土壤環境影響最小，並可以有效抑制入侵外來種植物的方法。

參、研究設備及器材

一、研究植物種類：

(一) 作為毒他物質萃取液的植物：樟樹 (*Cinnamomum camphora*)、榕樹 (*Ficus macrocarpa*)、

血桐 (*Macaranga tanarius*)、鳳凰木 (*Delonix regia*)、金絲竹 (*Bambusa vulgaris* var. *striata*)。

表一 樟樹、榕樹、血桐、鳳凰木和金絲竹的主要毒他物質列表

植物種類	主要毒他物質 (Allelochemicals)	參考資料
樟樹	桉樹腦、樟腦	(John Robert Schenk, 2009)
榕樹	2-丙基苯酚	(Zhongyang Jiang et al., 2014)
血桐	離層素 (ABA)	(Mei-Huims Tseng et al., 2003)
鳳凰木	4-羥基苯甲酸、綠原酸	(Chang-Hung Chou et al., 1992)
金絲竹	對羥基苯甲酸、間香豆酸	(周昌弘, 2006)

(二) 接受毒他物質萃取液澆灌的植物：

空心蓮子草 (*Alternanthera philoxeroides*)、大花咸豐草 (*Bidens alba*)、九層塔 (*Ocimum basilicum*)、小白菜 (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*)、綠豆 (*Vigna radiata*)。

表二 受測植物簡介

植物種類	代表科別	特色
空心蓮子草	莧科 (<i>Amaranthaceae</i>)	多年生草本植物，主要利用匍匐莖無性生殖，若藉由翻土除草，截斷的莖會快速蔓延，在乾溼環境皆可快速繁殖，是世界公認的惡性雜草之一。
大花咸豐草	菊科 (<i>Asteraceae</i>)	被列為國內二十大危害程度最高的外來植物，四季都會開花，成熟後的黑色瘦果，具倒刺毛呈現披針型，可藉由動物和風力作為傳播媒介，繁殖速度快。
小白菜	十字花科 (<i>Brassicaceae</i>)	人類食用的蔬菜大多出自本科，營養價值與經濟價值高，為農民常種作物。
綠豆	豆科 (<i>Fabaceae</i>)	黃豆、綠豆、大豆和紅豆等物種具有高度經濟價值，屬國內外常見作物。
九層塔	唇形科 (<i>Lamiaceae</i>)	常見的香草植物大多出自本科，大多有揮發性精油，可製香料。

二、實驗器材

表三 實驗工具、耗材與儀器

工具			耗材		儀器	
分度吸量管	LED 燈管	篩網	紗布	培養土	pH 測定儀	微量天秤
安全吸球	酒精溫度計	容量瓶	濾紙	塑膠滴管	EC 值檢測計	複式顯微鏡
電子游標尺	刮勺	玻璃棒	夾鏈袋	保鮮膜	低溫培養箱	
高速果汁機	燒杯	透明箱	培養皿	滅菌棉花	植物生長箱	
盆栽	剪刀	量筒			烘箱	

肆、研究過程

一、實驗架構

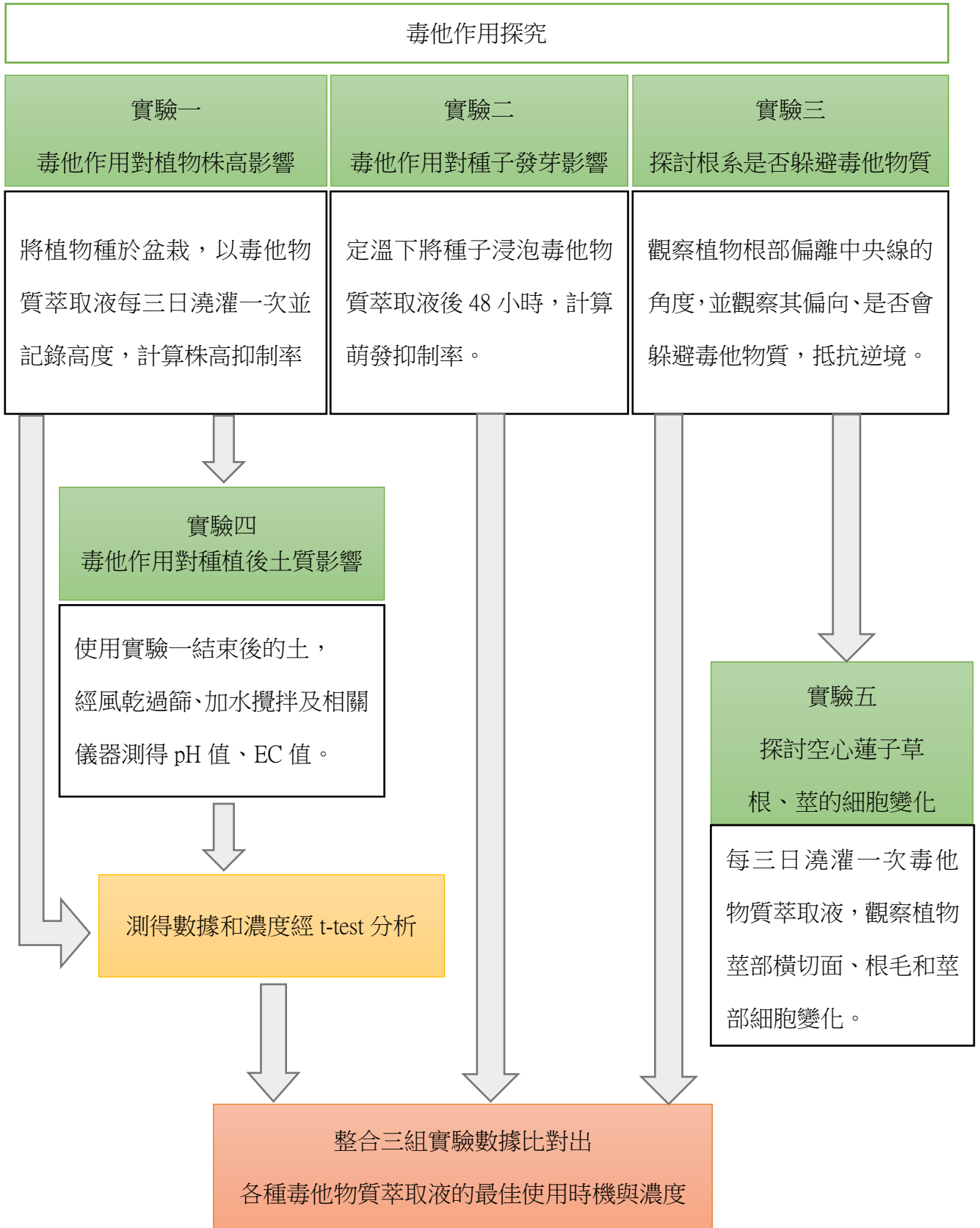


圖 2 實驗架構圖

二、毒他物質萃取液的配製

- (一) 先將採集後的樟樹、榕樹、血桐、鳳凰木和金絲竹的新鮮葉片剪成細碎狀。
- (二) 精秤 15 克、30 克、45 克、60 克，由於大部分的毒他作用的化學物質可溶於水，選擇以水為萃取液。
- (三) 各組分別 15 克加水 285 毫升、30 克加水 270 毫升、45 克加水 255 毫升、60 克加水 240 毫升，以果汁機高速打碎。配製出 5%、10%、15%、20% 的粗萃取液。
- (四) 將混和均勻的萃取液以紗布過濾殘渣。

三、實驗植物的種植

- (一) 空心蓮子草、大花咸豐草種子採集於野外田間，並購買小白菜、九層塔、綠豆的種子。
- (二) 種植於盆栽，種子先以能否沉水為初步篩選標準，若浮於水，則將其排除，而空心蓮子草其主要的繁殖方式為匍匐莖分節生長，故將母株利用剪刀將分節截斷，作為單位植株，替代種子。
- (三) 皆以培養土每盆種植 20 棵，種植於能夠平均照到日光的水平平台，確保每一盆的生長環境相同，遇到下雨天則不澆水。
- (四) 每種植物搭配做 5 組，共 121 組，每組分別為 0%（對照組，僅以水灌溉）、5%、10%、15%、20%。
- (五) 毒他物質萃取液的澆灌與澆水：毒他物質萃取液三天澆灌一次，澆灌時間為下午四點，每次以分度吸量管精準測量 50 毫升加入盆栽，其餘天數則每次以 50 毫升的水澆灌。

四、植株高度測量與雜草的株高抑制率分析

- (一) 待芽長出土面超過 3 mm 後，開始以電子式游標尺每天中午測量植株高度，從土壤頂部量至植株的莖頂部（量測總莖長，不含葉片）。共測 6 天，由於每一種植物的生長速度不同，有的植物生長幅度變化很小，因此空心蓮子草、大花咸豐草、綠豆為每天測量，九層塔為兩天測量一次，小白菜為三天測量一次。
- (二) 透過 t-test 分析，檢測各實驗組的生長高度與對照組相比是否具有顯著差異(P 值<0.05)。
- (三) 藉由（崔洪霞等人，2017）文獻提出之株高抑制率公式：

IR （株高抑制率）= $(T_0 - T_1) \times 100 / T_0$ 找出對空心蓮子草與大花咸豐草抑制率最高的

毒他物質萃取液。其中 T_1 為實驗組， T_0 為對照組，當 $IR > 0$ 時表示具抑制效果。

五、萌發率測量與種子萌芽抑制率分析

- (一) 以濾紙作為植物發芽的介質，將濾紙置於培養皿中。
- (二) 取大花咸豐草、九層塔、綠豆和小白菜的種子各 25 顆，空心蓮子草使用分節的莖作為單位植株。將大花咸豐草、九層塔、綠豆和小白菜的種子各 25 顆及空心蓮子草分節的莖 25 段，分別置於鋪有濾紙之培養皿中。
- (三) 實驗組培養皿：加入 15 毫升毒他物質萃取液；對照組培養皿：加入 15 毫升的水。
- (四) 定義發芽為胚根長出種皮超過 1 mm。在定溫攝氏 25 度下，置於培養箱中放置 48 小時，測量五種植株對上不同種毒他液的最終萌發率。
- (五) 計算各組的平均抑制率並分析。

$$\text{種子萌發抑制率 (\%)} = (1 - (\text{實驗組萌發率} / \text{對照組萌發率})) \times 100\%$$

此計算公式參考自(呂易芳, 2021)，以此公式作為萌發抑制率量化標準，找出對於入侵外來種有顯著抑制，並且對於作物抑制率低於 10% 的組別。

六、探討空心蓮子草與大花咸豐草的根系是否會躲避毒他物質萃取液

- (一) 找出對於空心蓮子草及大花咸豐草的株高抑制率最高的毒他物質萃取液。
- (二) 將土壤裝入透明箱中，並找尋生長情況相似的植株，將植株置於透明箱中種植如(圖 3) 所示。第一天先澆水使植株適應土壤環境。
- (三) 植株分為左右兩側，植株一側為每天僅施澆水；另一側為三天施澆一次毒他溶液，其餘時間施澆水。
- (四) 兩個星期後觀察植物根部偏離中央線的角度(利用 ImageJ 分析)，與根部生長情形。

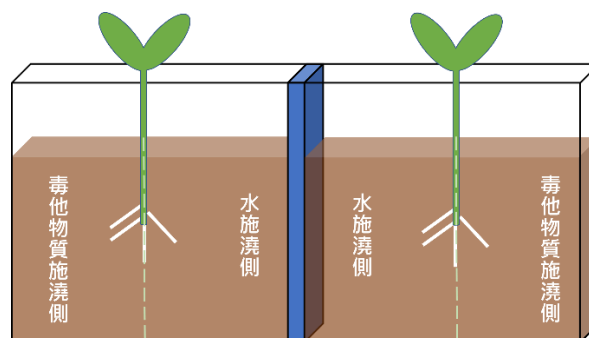


圖 3 透明箱的種植示意圖

透明箱（圖 3）雖然已經在中間放置隔板以阻隔兩側的土壤，但為確保兩側不同的毒他物質不會相互影響，我們將在內側使用水進行澆灌實驗，以確保實驗結果的準確性。

七、探討空心蓮子草經毒他液澆灌後，根、莖的細胞變化。

- (一) 皆以培養土每盆種植 5 株，分為施澆毒他液的實驗組以及只施澆水的對照組，種植於能夠平均照到日光的水平平台，確保每一盆的生長環境相同，遇到雨天則不澆水。
- (二) 毒他物質萃取液每三天澆灌一次，澆灌時間為下午四點，每次以分度吸量管精準測量 50 毫升加入盆栽，其餘天數則每次以 50 毫升的水澆灌，持續三周。
- (三) 將土以及空心蓮子草分離，暫時將空心蓮子草泡在水中以免其死亡。尋找未木質化的根直接將其切斷，以及空心蓮子草的莖，以橫切的方式切下，放在複式顯微鏡下進行觀察，比對實驗組以及對照組的差異。

八、土壤的酸鹼值（pH）和電導率（EC）的測定

(一) 土壤酸鹼值測定（pH）：

土壤 pH 檢測方法參考自（黃玉舜，2017）。將土壤樣品放入烘箱烘乾，並以篩網過篩處理，秤取 20 g 過篩之樣品於 50 mL 燒杯內，加入 20 mL 的水並持續攪拌 5 分鐘，使土壤均勻懸浮。然後蓋上保鮮膜，讓土壤懸浮液靜置 1 小時，使大部分固體沉澱，接著使用 pH meter 測量澄清液之 pH 值，並利用 t-test 檢測施加不同濃度毒他物質萃取液的實驗組 pH 值是否與對照組的 pH 值有顯著差異。在使用 pH meter 前，需先以緩衝溶液校正。

(二) 土壤電導率測定（EC）：

土壤 EC 值檢測方法參考自（黃玉舜，2017）。將土壤樣品放入烘箱烘乾，並以篩網過篩處理，秤取 20 g 過篩之樣品於 250 mL 燒杯內，加入 100 mL 的水，持續攪拌 5 分鐘使土壤均勻懸浮。然後蓋上保鮮膜，讓土壤懸浮液靜置 1 小時，使大部分固體沉澱，接著使用土壤 EC 值檢測儀測定澄清液之 EC 值，並利用 t-test 檢測施加不同濃度毒他物質萃取液的實驗組土壤電導率是否與對照組的土壤電導率有顯著差異。

伍、研究結果

一、植株高度測量與分析

(一) 樟樹毒他物質萃取液濃度與待測植物生長高度的關係

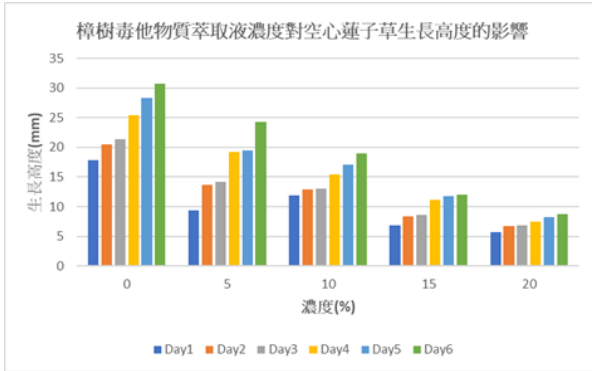


圖 4 樟樹毒他液濃度對空心蓮子草生長高度的影響

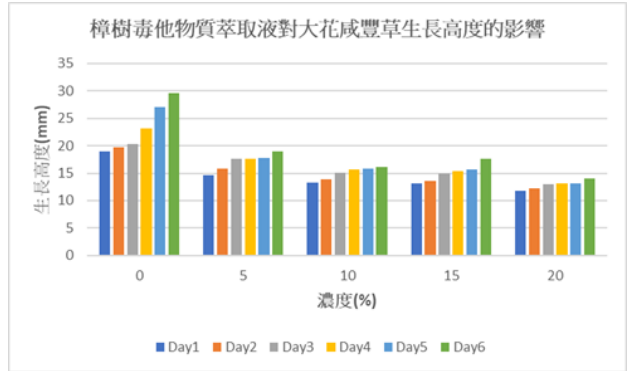


圖 5 樟樹毒他液濃度對大花咸豐草生長高度的影響

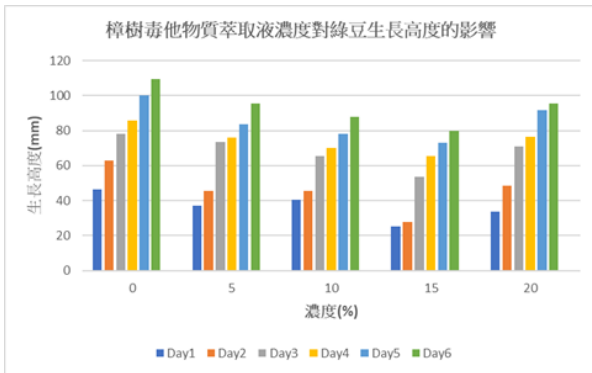


圖 6 樟樹毒他液濃度對綠豆生長高度的影響

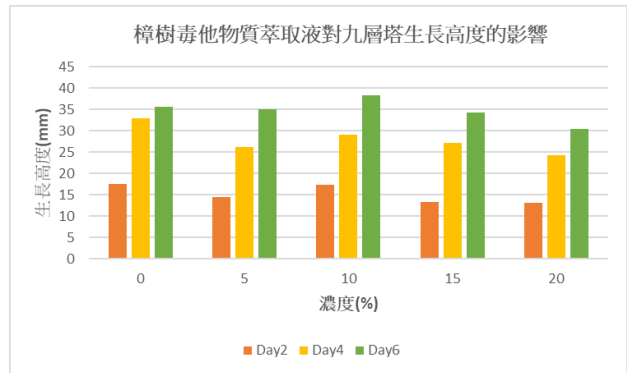


圖 7 樟樹毒他液濃度對九層塔生長長高度的影響

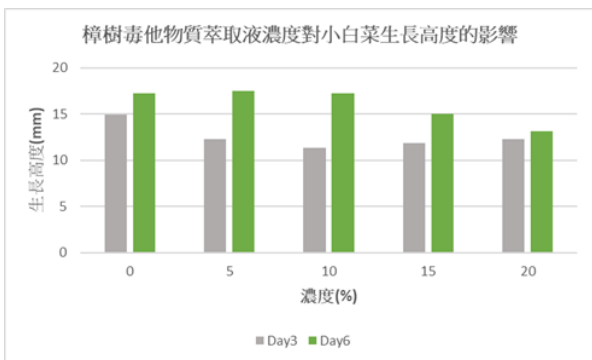


圖 8 樟樹毒他液濃度對小白菜生長高度的影響

透過 t-test 分析施加不同濃度樟樹毒他物質的植株高度與對照組 (0%) 植株高度的差異，結果顯示空心蓮子草、大花咸豐草和綠豆的不同實驗組與對照組之間有顯著差異 ($P < 0.001$)，而且隨著濃度提高，植株生長高度呈現降低的趨勢，而小白菜與九層塔的實驗組與對照組之間沒有顯著差異 ($P > 0.05$)。可知樟樹毒他物質萃取液會抑制空心蓮子草、大花咸豐草及綠豆。

(二) 榕樹毒他物質萃取液濃度與待測植物生長高度的關係

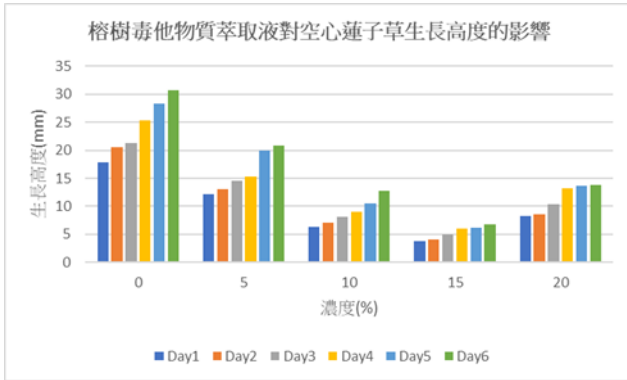


圖 9 榕樹毒他液濃度對空心蓮子草生長高度的影響

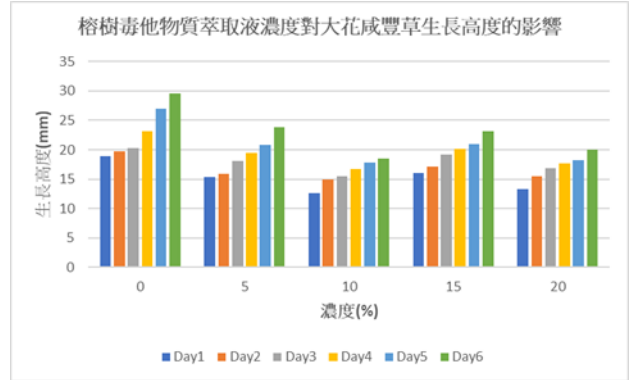


圖 10 榕樹毒他液濃度對大花咸豐草生長高度的影響

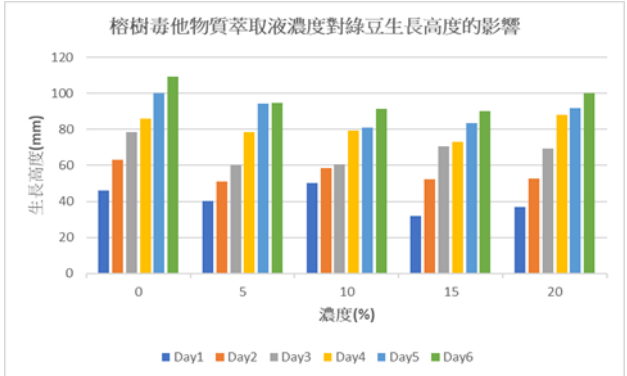


圖 11 榕樹毒他液濃度綠豆對生長高度的影響

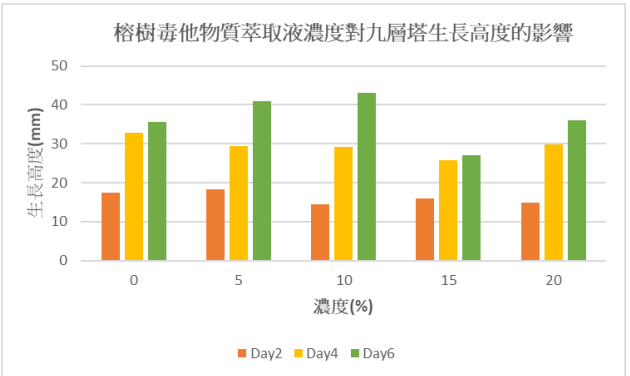


圖 12 榕樹毒他液濃度對九層塔生長高度的影響

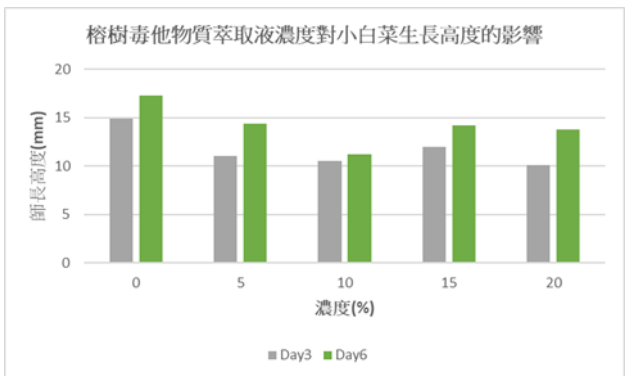


圖 13 榕樹毒他液濃度對小白菜生長高度的影響

透過 t-test 分析施加不同濃度榕樹毒他物質的植株高度對於對照組植株高度的差異。經過 t-test 分析後，結果顯示空心蓮子草植株高度與對照組植株生長高度之間有顯著差異 ($P < 0.0001$)；大花咸豐草植株高度與對照組植株高度之間有顯著差異 ($P < 0.01$)；但綠豆實驗組與對照組也有顯著差異 ($P < 0.05$)。隨著毒他物質萃取液的濃度增高，空心蓮子草和大花咸豐草生長高度隨之降低。至於九層塔和小白菜則無顯著差異 ($P > 0.05$)。由此可知榕樹毒他物質萃取液會抑制空心蓮子草、大花咸豐草及綠豆。

(三) 血桐毒他物質萃取液濃度與待測植物生長高度的關係

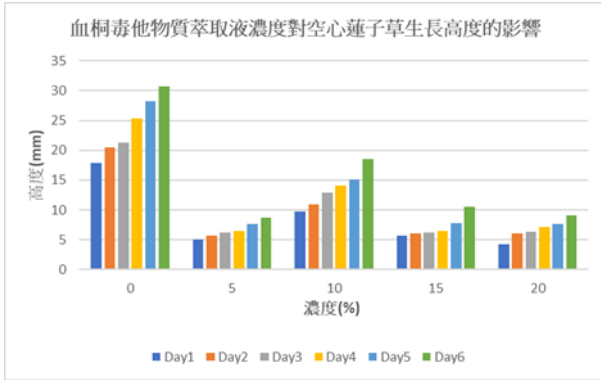


圖 14 血桐毒他液濃度對空心蓮子草生長高度的影響

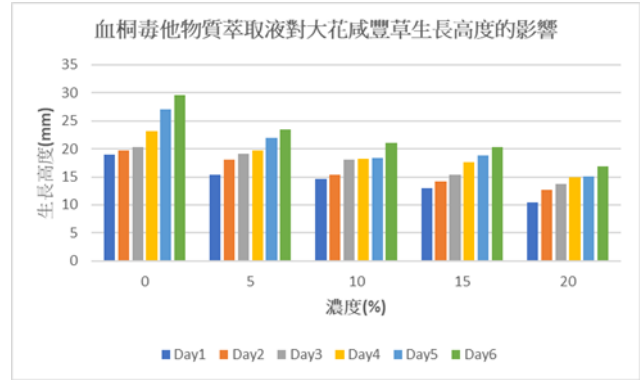


圖 15 血桐毒他液濃度對大花咸豐草生長高度的影響

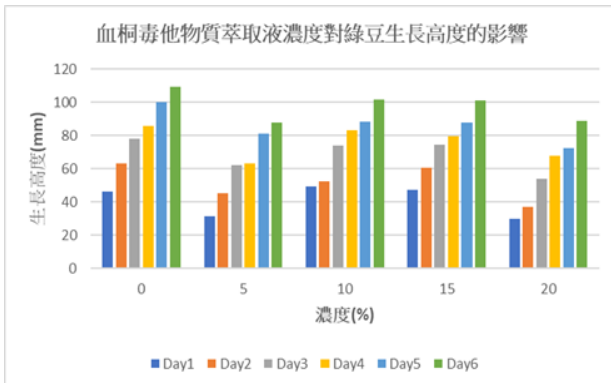


圖 16 血桐毒他液濃度對綠豆生長高度的影響

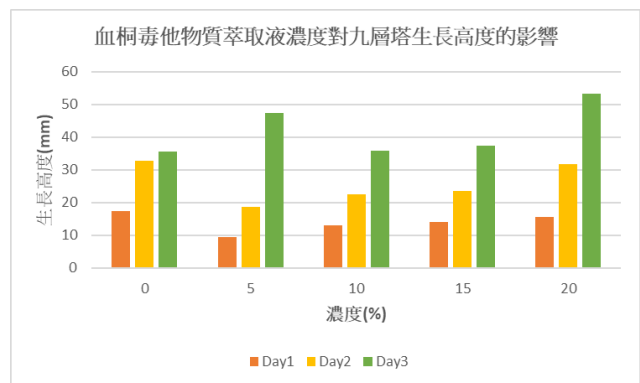


圖 17 血桐毒他液濃度對九層塔生長高度的影響

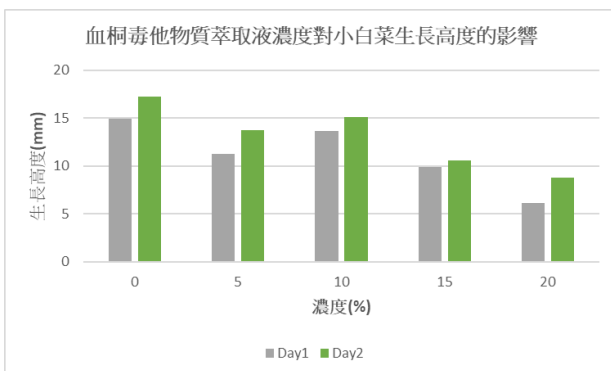


圖 18 血桐毒他液濃度對小白菜生長高度的影響

透過 t-test 分析施加不同濃度血桐毒他物質的植株高度對於對照組植株高度的差異，結果顯示空心蓮子草生長高度與對照組植株高度有顯著差異 ($P < 0.0001$)；大花咸豐草與對照組植株高度有顯著差異 ($P < 0.01$)，隨著毒他物質萃取液的濃度增高，空心蓮子草和大花咸豐草生長高度隨之降低。但綠豆與對照組也有顯著差異 ($P < 0.05$)，至於九層塔則無顯著差異 ($P > 0.05$)，而施加 20% 萃取液的小白菜高度則與對照組有顯著差異 ($P < 0.05$)。可知血桐毒他物質萃取液會抑制空心蓮子草、大花咸豐草及綠豆，而 20% 的萃取液則會抑制小白菜。

(四) 鳳凰木毒他物質萃取液濃度與待測植物生長高度的關係

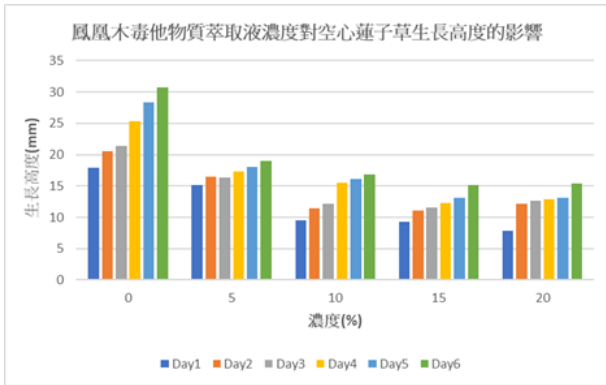


圖 19 鳳凰木毒他液濃度對空心蓮子草生長高度的影響

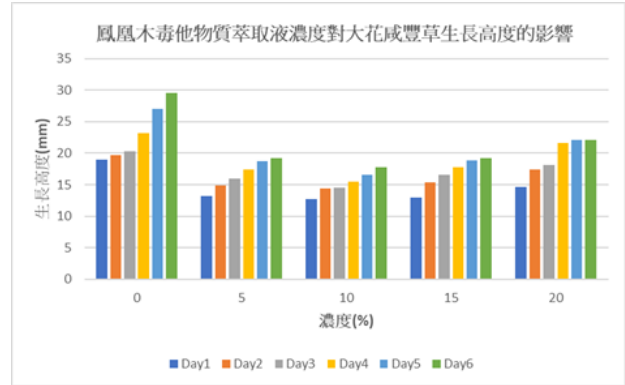


圖 20 鳳凰木毒他液濃度對大花咸豐草生長高度的影響

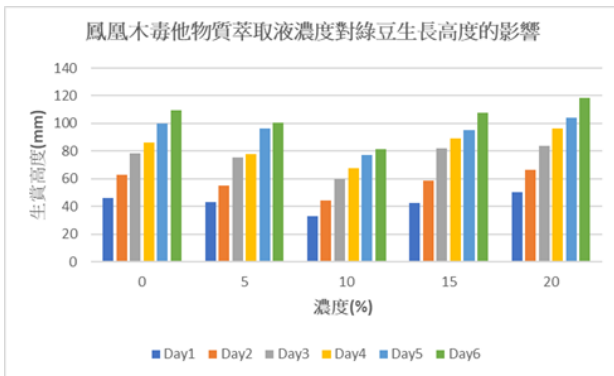


圖 21 鳳凰木毒他液濃度對綠豆生長高度的影響

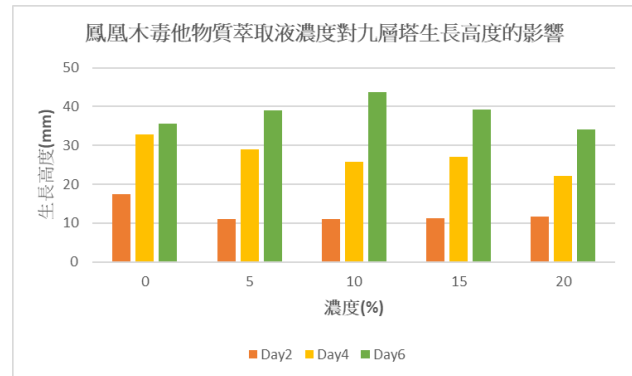


圖 22 鳳凰木毒他液濃度對九層塔生長高度的影響

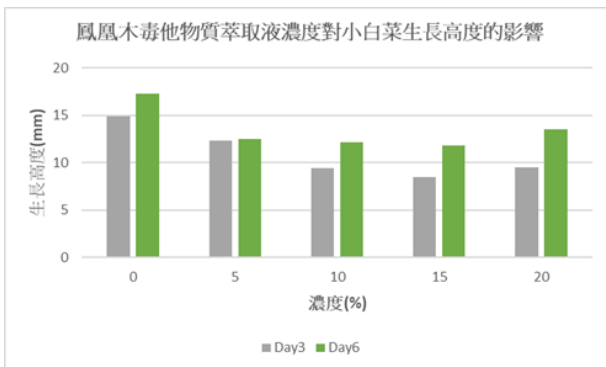


圖 23 鳳凰木毒他液濃度對小白菜生長高度的影響

透過 t-test 分析施加不同濃度鳳凰木毒他物質的植株高度對於對照組植株高度的差異，結果顯示空心蓮子草生長高度與對照組植株生長高度有顯著差異 ($P < 0.01$)，大花咸豐草與對照組植株高度有顯著差異 ($P < 0.01$)，隨著毒他物質萃取液的濃度增高，空心蓮子草和大花咸豐草生長高度隨之降低。但綠豆與對照組也有顯著差異 ($P < 0.05$)，至於九層塔則無顯著差異 ($P > 0.05$)，而施加 15% 萃取液的小白菜高度則與對照組有顯著差異 ($P < 0.05$)。可知鳳凰木毒他物質萃取液會抑制空心蓮子草、大花咸豐草及綠豆，而萃取液濃度 15% 會抑制小白菜。

(五) 金絲竹毒他物質萃取液濃度與待測植物生長高度的關係

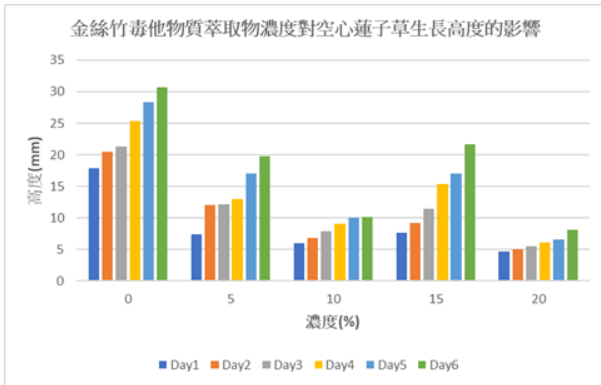


圖 24 金絲竹毒他液濃度對空心蓮子草生長高度的影響

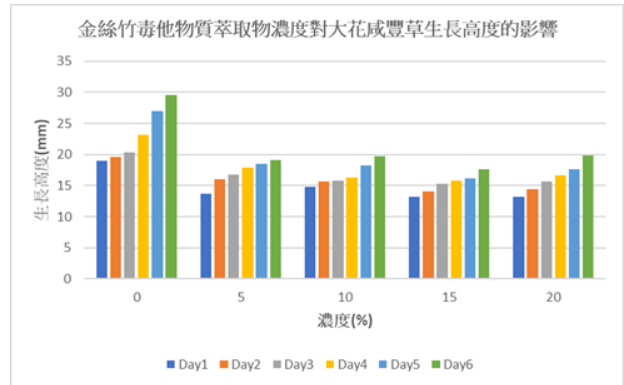


圖 25 金絲竹毒他液濃度對大花咸豐草生長高度的影響

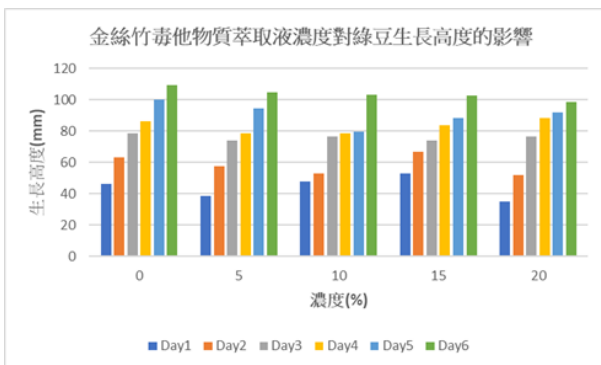


圖 26 金絲竹毒他液濃度綠豆對生長高度的影響

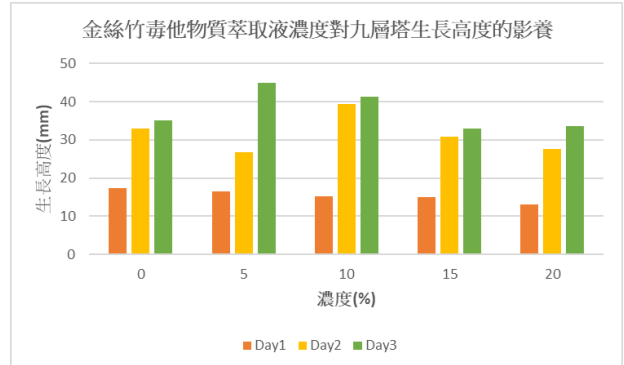


圖 27 金絲竹毒他液濃度對九層塔生長高度的影響

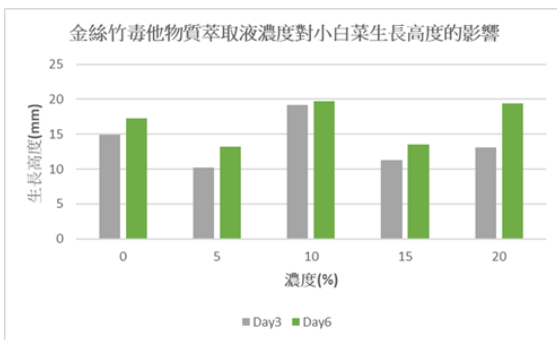


圖 28 金絲竹毒他液濃度對小白菜生長高度的影響

透過 t-test 分析施加不同濃度金絲竹毒他物質的植株高度對於對照組植株高度的差異。經過 t-test 分析後，結果顯示空心蓮子草生長高度與對照組植株高度有顯著差異 ($P < 0.0001$)；大花咸豐草與對照組植株有顯著差異 ($P < 0.01$)，隨著毒他物質萃取液的濃度增高，空心蓮子草和大花咸豐草生長高度隨之降低。施加 20% 萃取液之綠豆與對照組有顯著差異 ($P < 0.05$)，至於九層塔則無顯著差異 ($P > 0.05$)，而施加 15% 萃取液的小白菜高度則與對照組有顯著差異 ($P < 0.05$)。可知金絲竹毒他物質萃取液會抑制空心蓮子草及大花咸豐草，其萃取液濃度 20% 會抑制綠豆。

二、毒他物質萃取液對空心蓮子草與大花咸豐草的株高抑制率分析

為了找出對空心蓮子草與大花咸豐草株高抑制效果最強的毒他物質萃取液，以株高抑制率 $IR = (T_0 - T_1) \times 100 / T_0$ （崔洪霞等人，2017）這條公式作為量化標準，找出對於空心蓮子草與大花咸豐草抑制率最高的幾種毒他物質萃取液。其中 T_1 為實驗組的生長高度， T_0 為對照組的生長高度（僅以水澆灌），當株高抑制率 $IR > 0$ 時表示存在抑制效果。

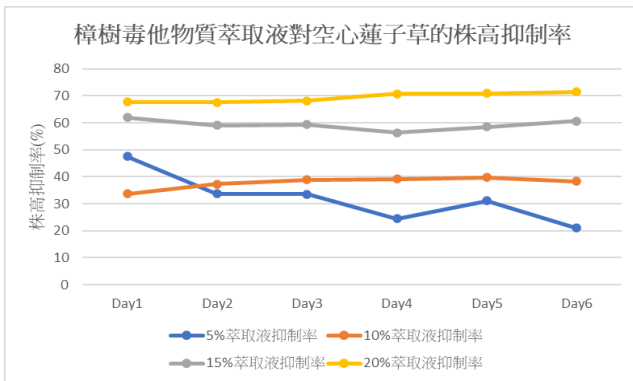


圖 29 樟樹毒他液對空心蓮子草的株高抑制率

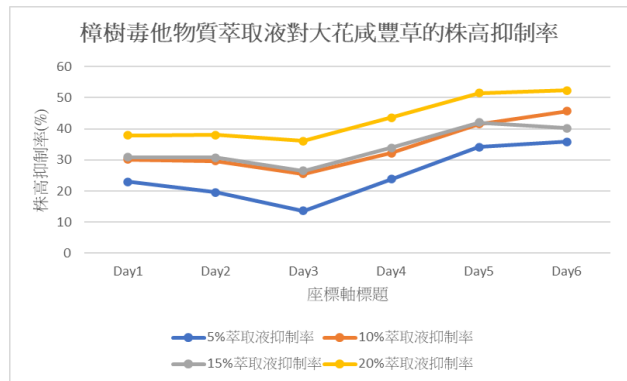


圖 30 樟樹毒他液對大花咸豐草的株高抑制率

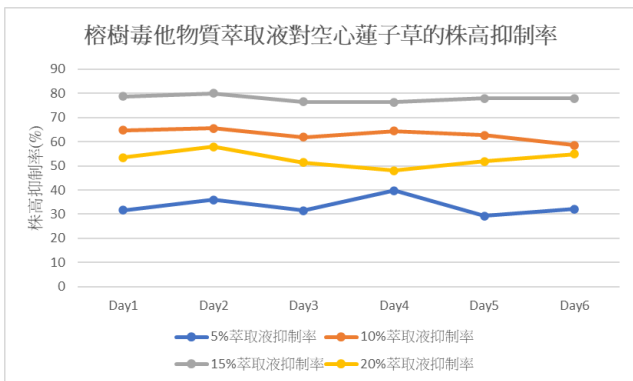


圖 31 榕樹毒他液對空心蓮子草的株高抑制率

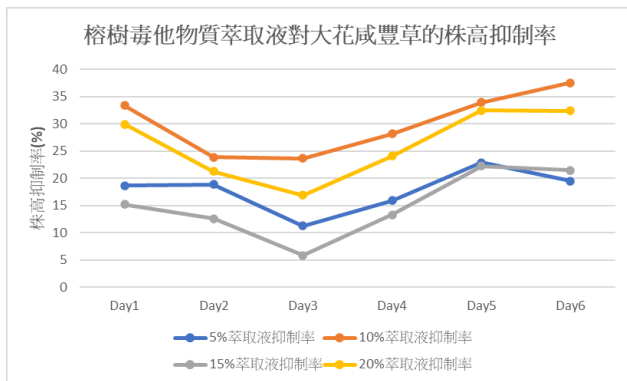


圖 32 榕樹毒他液對大花咸豐草的株高抑制率

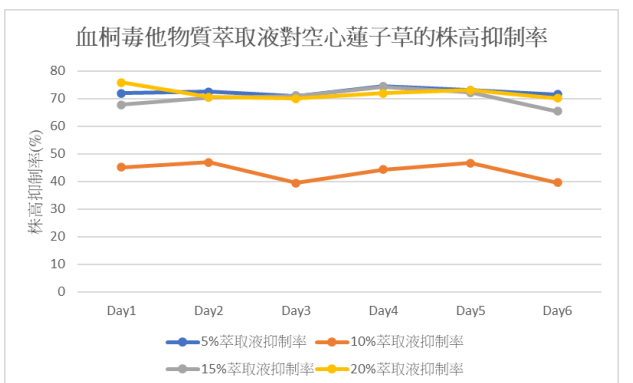


圖 33 血桐毒他液對空心蓮子草的株高抑制率

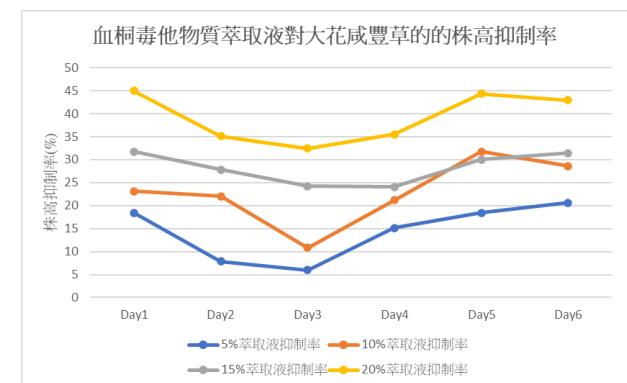


圖 34 血桐毒他液對大花咸豐草的株高抑制率

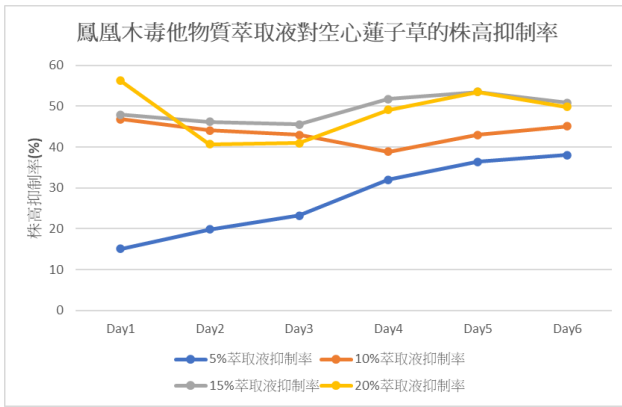


圖 35 鳳凰木毒他液對空心蓮子草的株高抑制率

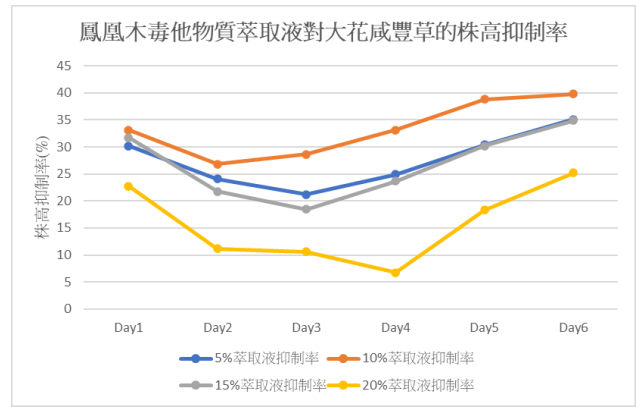


圖 36 鳳凰木毒他液對大花咸豐草的株高抑制率

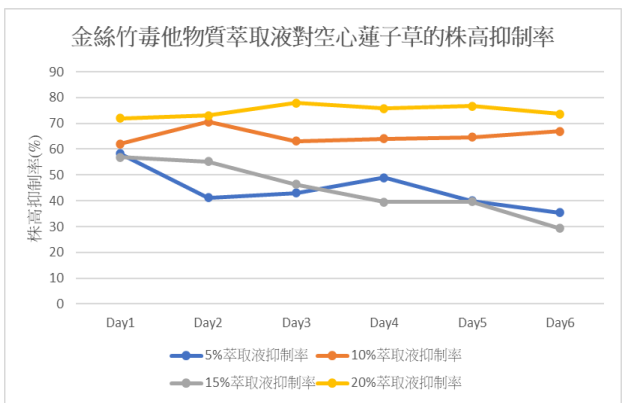


圖 37 金絲竹毒他液對空心蓮子草的株高抑制率

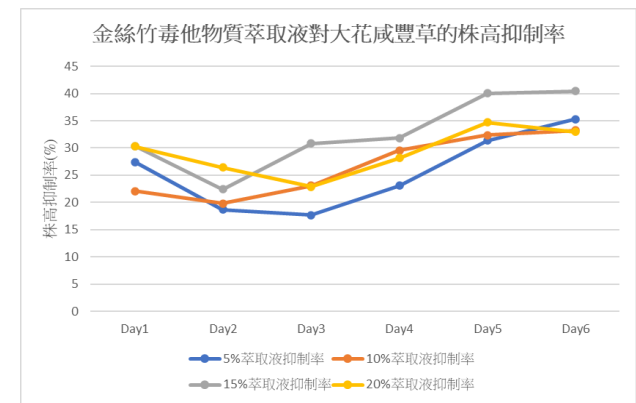


圖 38 金絲竹毒他液對大花咸豐草的株高抑制率

樟樹毒他物質萃取液對於空心蓮子草的株高抑制率有隨著濃度增加的趨勢，且萃取液濃度 5% 以上具有穩定的抑制效果；榕樹毒他物質萃取液對於空心蓮子草的四種濃度皆可保持穩定的抑制；以血桐毒他物質萃取液對空心蓮子草的株高抑制率來看，發現 5%、15%、20% 的抑制效果相當，可穩定抑制；鳳凰木對空心蓮子草的株高抑制率萃取液濃度 10%、15%、20% 的抑制效果相仿，可穩定抑制；金絲竹對空心蓮子草的株高抑制率有隨著濃度增加的趨勢，且四種濃度皆可大致保持穩定抑制。

在五種毒他物質萃取液對大花咸豐草的株高抑制影響分析顯示，樟樹和血桐的毒他物質萃取液的抑制效果有隨著濃度增加而變強的趨勢；而榕樹和鳳凰木的毒他物質萃取液的最佳抑制濃度為 10%；金絲竹毒他物質萃取液的最佳抑制濃度為 15%。且在樟樹、榕樹、血桐和鳳凰木對大花咸豐草的株高抑制實驗結果中發現第 1 天至第 3 天的抑制率皆明顯下降，而第 3 天至第 6 天抑制率上升，這個現象可能與我們每三天（第 0 天、第 3 天）施澆一次毒他物質萃取液有關，毒他物質可能會因為土壤分解或是受到植物自身代謝而使作用效果減弱，建議農民若要持續抑制大花咸豐草，可維持三天施澆一次的頻率。

大致趨勢上來看，毒他物質萃取液對空心蓮子草與大花咸豐草的株高抑制率隨著濃度增加，其中對於空心蓮子草株高抑制率最高的三種萃取液分別為榕樹 15% 萃取液、血桐 5% 萃取液和金絲竹 20% 萃取液；對於大花咸豐草株高抑制率最高的三種萃取液分別為樟樹 20% 萃取液、樟樹 10% 萃取液和血桐 20% 萃取液。

三、萌發率測量與種子萌發抑制率分析

種子萌發抑制率 (%) = (1 - (實驗組萌發率 / 對照組萌發率)) × 100%。種子萌發抑制率公式參考自 (呂易芳, 2021)。

表四 樟樹萃取液濃度對於各植物之種子萌發抑制率。

樟樹萃取液濃度	5%	10%	15%	20%
空心蓮子草抑制率 (%)	20	20	28	32
大花咸豐草抑制率 (%)	50	75	85	85
綠豆抑制率 (%)	4	0.0	4.0	20
九層塔抑制率 (%)	-14.3	-28.6	-7.1	-28.6
小白菜抑制率 (%)	44	100	100	100

不同濃度的樟樹毒他物質萃取液對於入侵外來種的種子萌發都有明顯的抑制效果，但只要濃度大於 10%，反而會完全抑制小白菜的種子萌發，而綠豆種子萌發則沒有明顯受抑制，但對於九層塔種子來說卻有促進發芽的效果。

表五 榕樹萃取液濃度對於各植物之種子萌發抑制率。

榕樹萃取液濃度	5%	10%	15%	20%
空心蓮子草抑制率 (%)	20	32	40	40
大花咸豐草抑制率 (%)	50	75	85	85
綠豆抑制率 (%)	4	4	4	0
九層塔抑制率 (%)	-7.1	-21.4	0	-35.7
小白菜抑制率 (%)	52	60	100	100

不同濃度的榕樹毒他物質萃取液對於入侵外來種植物的種子萌發抑制率都高於 20%，而在不同濃度下對於綠豆的種子萌發抑制率皆小於 10%，但對於九層塔種子來說反而有促進發芽的效果，然而對小白菜種子卻明顯抑制其萌發。

表六 血桐萃取液濃度對於各植物之種子萌發抑制率。

血桐萃取液濃度	5%	10%	15%	20%
空心蓮子草抑制率 (%)	32	36	80	60
大花咸豐草抑制率 (%)	60	50	85	90
綠豆抑制率 (%)	0	4	12	8
九層塔抑制率 (%)	-38.5	-46.2	-15.4	-46.2
小白菜抑制率 (%)	36	88	88	100

不同濃度的血桐毒他物質萃取液對於入侵外來種植物的抑制率都高於 20%，是五種毒他植物中對空心蓮子草種子萌發抑制率最強的一種。在不同濃度下，對於綠豆的種子萌發抑制率皆小於 10%，但對於九層塔種子卻有促進發芽的效果，然而明顯抑制小白菜種子萌發。

表七 鳳凰木萃取液濃度對於各植物之種子萌發抑制率。

鳳凰木萃取液濃度	5%	10%	15%	20%
空心蓮子草抑制率 (%)	36	40	52	52
大花咸豐草抑制率 (%)	50	80	95	100
綠豆抑制率 (%)	4	20	12	12
九層塔抑制率 (%)	-14.3	71.5	71.5	64.3
小白菜抑制率 (%)	20	20	28	20

鳳凰木毒他物質萃取液對於入侵外來種植物的種子萌發抑制率都高於 20%，濃度 5%以上對於綠豆種子萌發抑制率大於 10%，且對九層塔種子萌發具有顯著抑制效果，對小白菜種子發芽的抑制效果雖然較為和緩，但仍大於 20%。

表八 金絲竹萃取液濃度對於各植物之種子萌發抑制率。

金絲竹萃取液濃度	5%	10%	15%	20%
空心蓮子草抑制率 (%)	16	36	40	36
大花咸豐草抑制率 (%)	45	70	70	90
綠豆抑制率 (%)	8	4	8	16
九層塔抑制率 (%)	-21.4	-7.1	-7.1	-28.6
小白菜抑制率 (%)	4	8	0	16

金絲竹毒他物質萃取液只要大於 10%，即可對外來種有大於 20%的種子萌發抑制率，且濃度只要低於 20%，對於作物種子萌發則無顯著抑制，而其中對於九層塔的發芽有促進發芽效果。

四、探討空心蓮子草與大花咸豐草的根系是否會躲避毒他物質萃取液

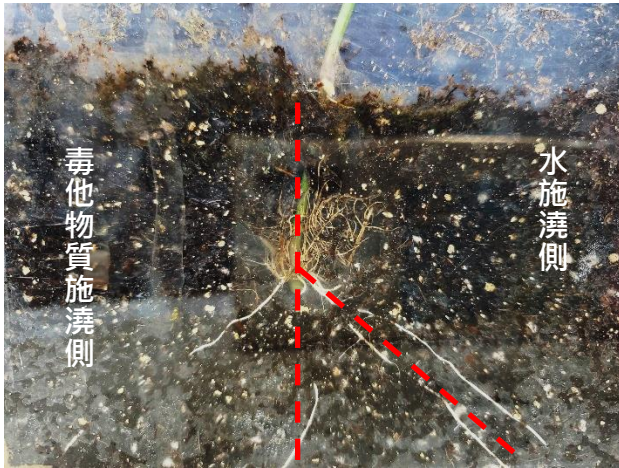


圖 39 榕樹毒他物質萃取液 15%對空心蓮子草根系的影響（圖中右側為水施澆側）

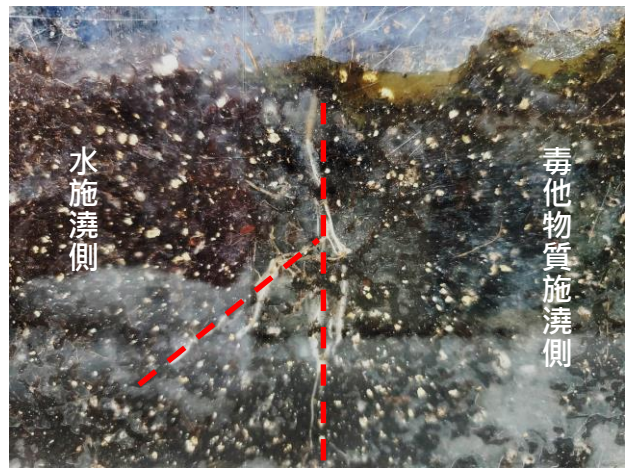


圖 40 樟樹毒他物質萃取液 20%對大花咸豐草根系的影響（圖中左側為水施澆側）

經過影像分析軟體 ImageJ 分析過後，發現空心蓮子草（圖 39）的根系在毒他物質濃度較低的地方支根生長數量較多且較長，並且主要支根與中心線（虛線處）偏折 46.70 度；至於大花咸豐草（圖 40），其根系幾乎都往毒他物質濃度較低處生長，並且往毒他物質濃度較低的方向偏折，且主要支根與中心線（虛線處）偏折 49.66 度。總結來說，空心蓮子草和大花咸豐草在受到毒他物質的刺激下，會盡可能的逃避其受到毒他物質抑制的風險。

五、探討空心蓮子草根、莖的細胞變化

（一）莖部的維管束細胞大小（放大 100 倍）



圖 41 施澆毒他液後的莖部橫切面



圖 42 未施澆毒他液的莖部橫切面

對比（圖 41）和（圖 42），可以發現兩圖皮層部分無明顯差別，但是維管束細胞右圖明顯較左圖生長的大，且左圖細胞的細胞壁和右圖相對照，有增厚的現象（Fang Cheng, Zhihui Cheng, 2015）。

（二）莖部橫切面的小紅點(僅施澆毒他液的實驗組有觀察到)

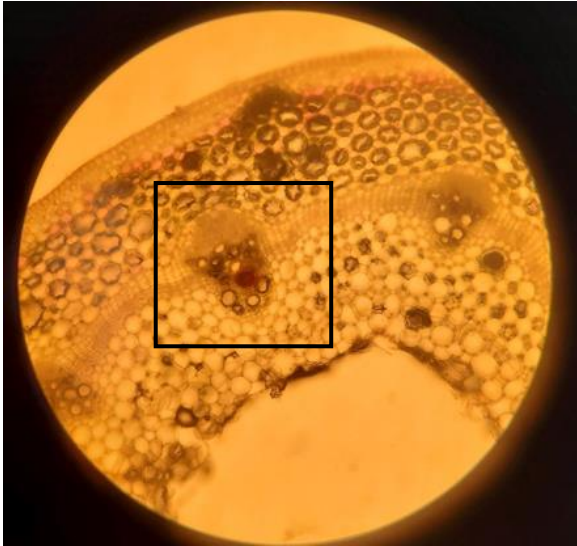


圖 43 施澆毒他液後的莖部橫切面（放大 100 倍）

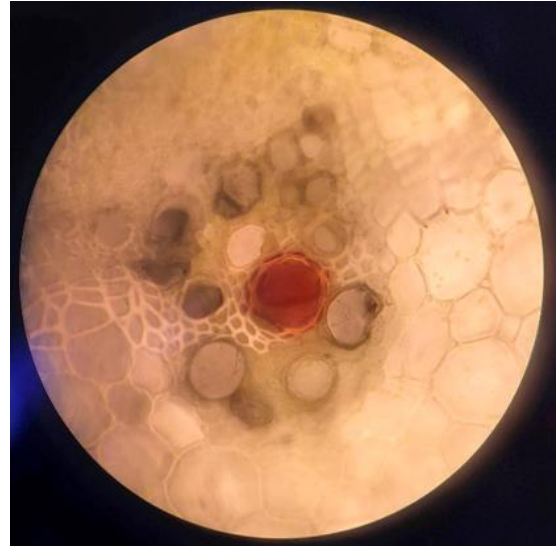


圖 44 放大黑框發現的小紅點（放大 400 倍）

經過觀察後，我們發現施澆毒他液後，少數的維管束細胞會出現小紅點，經文獻探討後推測可能是植物遇到受傷或逆境會積累酚類物質，因氧化導致的褐化現象（詹品晟，2020）。

（三）根毛數量（100X）



圖 45 施澆毒他液後的根毛生長情形

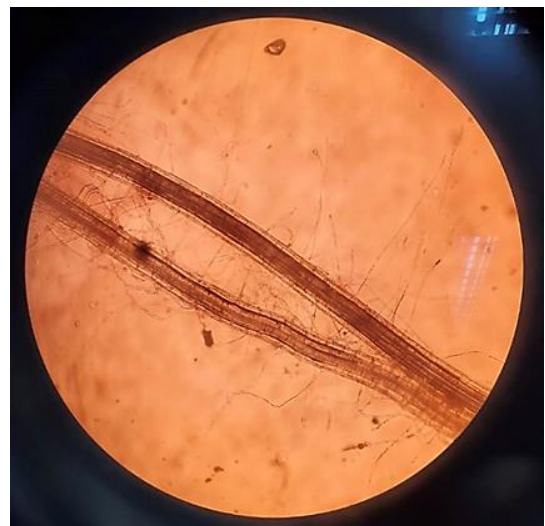


圖 46 未施澆毒他液的根毛生長情形

就根毛長度和密度而言，施澆毒他物質萃取液的根毛長度與密度均低於未施澆毒他物質

萃取液的對照組。根毛若多且長，其主動運輸吸收之能力會比較好，植物生長會比較旺盛，而毒他液會造成其減少且變短，可能為毒他物質對空心蓮子草生長產生的負面效果（Fang Cheng, Zhihui Cheng, 2015）。

五、確認毒他物質萃取液是否影響土壤既有的酸鹼值（pH）與電導率（EC）

（一）毒他物質萃取液濃度是否和土壤 pH 值有顯著差異

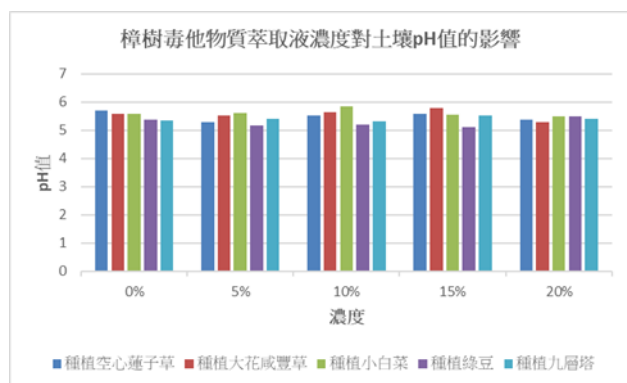


圖 47 樟樹毒他物質萃取液對土壤 pH 值的影響

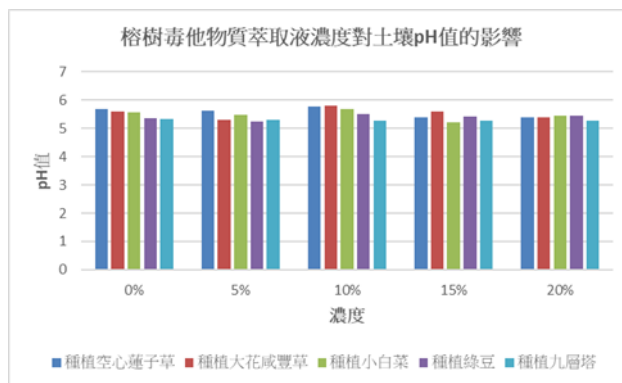


圖 48 榕樹毒他物質萃取液對土壤 pH 值的影響

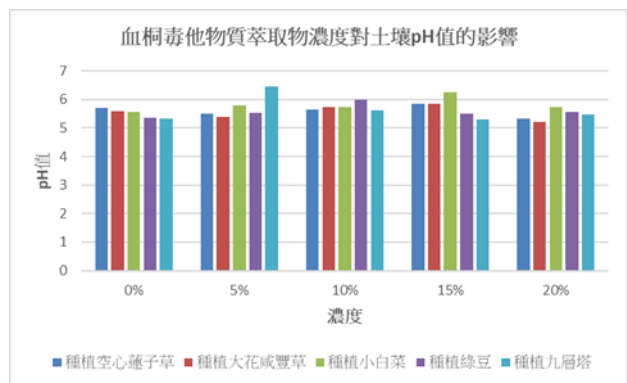


圖 49 血桐毒他物質萃取液對土壤 pH 值的影響

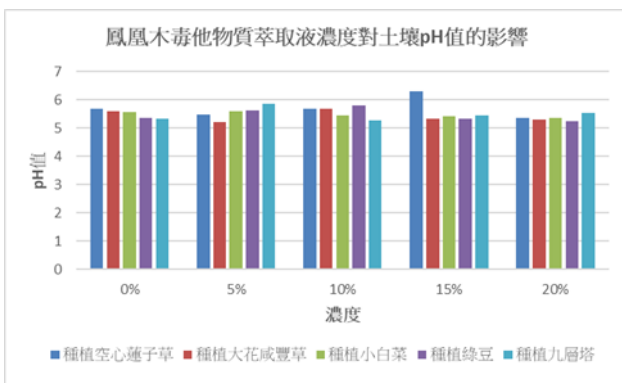


圖 50 鳳凰木毒他物質萃取液對土壤 pH 值的影響

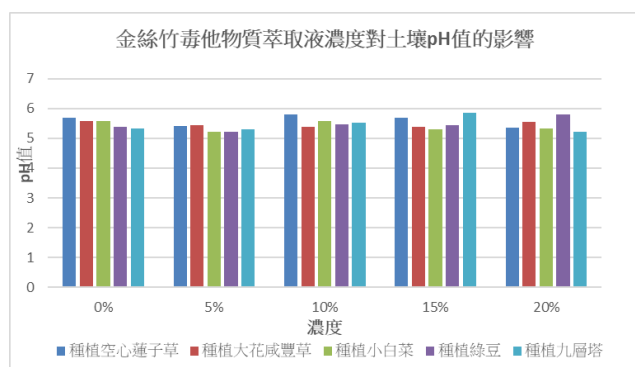


圖 51 金絲竹毒他物質萃取液對土壤 pH 值的影響

為了確認毒他物質萃取液的澆灌不會影響土壤原本 pH 值，透過 t-test 分析比較施加不同濃度毒他物質萃取液與對照組（0%）之間的差異。結果顯示大部分施加毒他物質萃取液之實

驗組均與對照組沒有顯著差異，僅榕樹 5% 萃取液和金絲竹 5% 萃取液與對照組相比對於土壤 pH 的影響具有顯著差異 ($P < 0.05$)，代表大部分不會因澆灌毒他物質萃取液而影響土壤 pH 值。

(二) 毒他物質萃取液濃度是否和土壤電導率測定 (EC) 是否有顯著差異

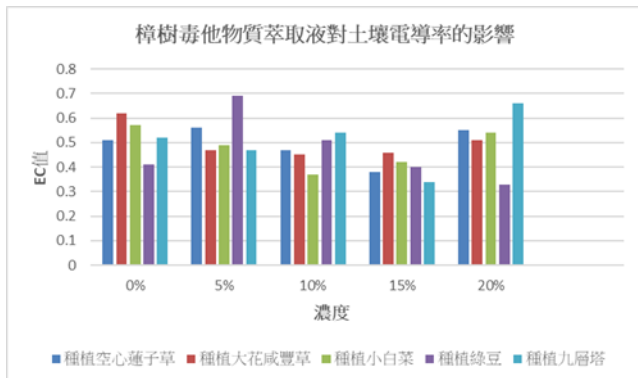


圖 52 樟樹毒他物質萃取液對土壤電導率的影響

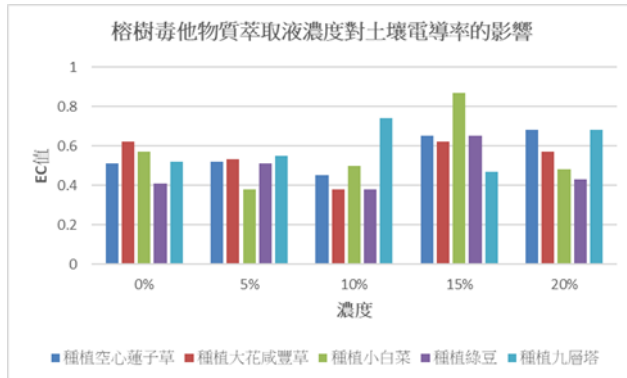


圖 53 榕樹毒他物質萃取液對土壤電導率的影響

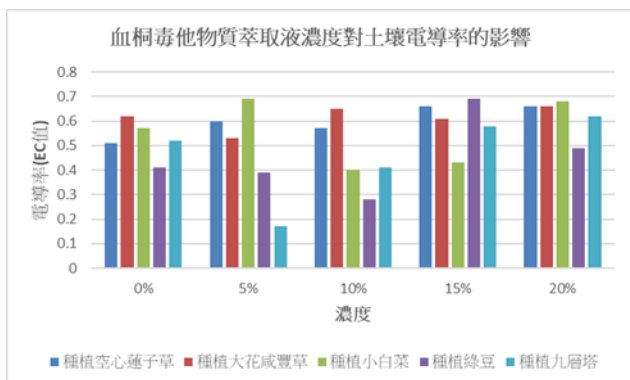


圖 54 血桐毒他物質萃取液對土壤電導率的影響

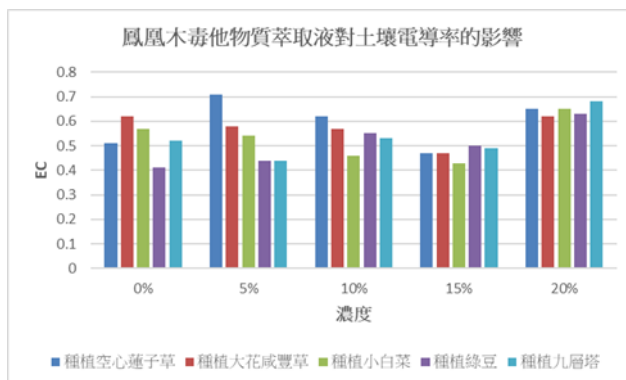


圖 55 鳳凰木毒他物質萃取液對土壤電導率的影響

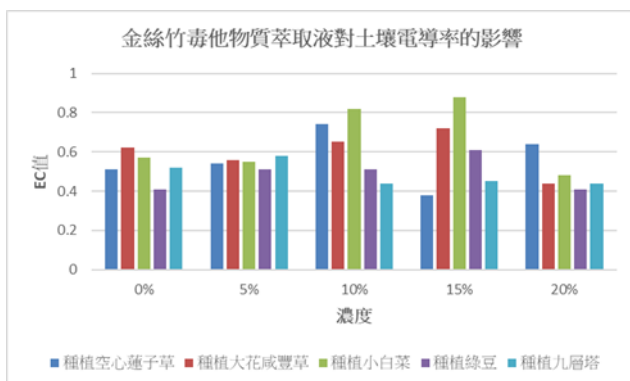


圖 56 金絲竹毒他物質萃取液對土壤電導率的影響

接下來要確認毒他物質萃取液的澆灌不會影響土壤原本的 EC 值，透過 t-test 分析比較施加不同濃度毒他物質萃取液與未施加毒他物質萃取液的對照組 (0%) 之間的差異，結果顯示大部分施加毒他物質萃取液之實驗組均與對照組沒有顯著差異，代表不會因為澆灌毒他物質萃取液而影響土壤電導率。僅血桐 20% 萃取液、鳳凰木 20% 萃取液和樟樹 15% 萃取液之組別

與對照組相比的土壤電導率呈現顯著差異 (P<0.05)。

陸、討論

一、植株高度測量與分析實驗

透過前述植株高度實驗，藉由 t-test 分析，以 P 值是否小於 0.05 作為是否對於受測植物有抑制效果的分界線。

表九 植株生長高度抑制效果統整。

	空心蓮子草	大花咸豐草	綠豆	九層塔	小白菜
樟樹 5%	○	○	○	X	X
樟樹 10%	○	○	○	X	X
樟樹 15%	○	○	○	X	X
樟樹 20%	○	○	○	X	X
榕樹 5%	○	○	○	X	X
榕樹 10%	○	○	○	X	X
榕樹 15%	○	○	○	X	X
榕樹 20%	○	○	○	X	X
血桐 5%	○	○	○	X	X
血桐 10%	○	○	○	X	X
血桐 15%	○	○	○	X	X
血桐 20%	○	○	○	X	○
鳳凰木 5%	○	○	○	X	X
鳳凰木 10%	○	○	○	X	X
鳳凰木 15%	○	○	○	X	○
鳳凰木 20%	○	○	○	X	X
金絲竹 5%	○	○	X	X	X
金絲竹 10%	○	○	X	X	X
金絲竹 15%	○	○	X	X	○
金絲竹 20%	○	○	○	X	X
有顯著抑制 (P<0.05) : ○					
無顯著抑制 (P>0.05) : X					

由上表可看出，所選的五種具有毒他作用的植物對於空心蓮子草、大花咸豐草具有顯著生長抑制的效果，但如果要抑制入侵外來種的生長高度，而不影響到作物的為金絲竹 5%和

10%萃取液；但如果作物只選擇綠豆，則可以選擇金絲竹 5-15%萃取液；若要種植九層塔，則所有選擇都可以；至於若要種植小白菜，則除了血桐 20%萃取液、鳳凰木 15%萃取液和金絲竹 15%萃取液外，其他都有抑制空心蓮子草和大花咸豐草但不影響作物的效果。

二、毒他物質萃取液對空心蓮子草與大花咸豐草的株高抑制率分析

表十 株高抑制率效果統整

毒他物質 萃取液		對空心蓮子草的抑制效果	對大花咸豐草的抑制效果
樟樹	株高抑制率趨勢	萃取液濃度 5 % 以上具有穩定的抑制效果，隨著濃度增加	隨著濃度增加的趨勢，施澆三天後抑制率下降
	最佳濃度	20%萃取液	20%萃取液
	最佳濃度下第 6 天株高抑制率	71.51%	52.39%
榕樹	株高抑制率趨勢	四種濃度皆可穩定抑制，抑制效果沒有因時間下降	施澆三天後抑制率下降，最佳抑制濃度 10%
	最佳濃度	15%萃取液	10%萃取液
	最佳濃度下第 6 天株高抑制率	77.87%	37.53%
血桐	株高抑制率趨勢	四種濃度皆可穩定抑制，抑制效果沒有因時間下降	隨著濃度增加的趨勢，施澆三天後抑制率下降
	最佳濃度	5%萃取液	20%萃取液
	最佳濃度下第 6 天株高抑制率	75.13%	42.98%
鳳凰木	株高抑制率趨勢	萃取液濃度 5 % 以上具有穩定的抑制效果。	施澆三天後抑制率下降
	最佳濃度	15%萃取液	10%萃取液
	最佳濃度下第 6 天株高抑制率	50.81%	39.83%
金絲竹	株高抑制率趨勢	抑制率整體來看與濃度呈正相關，最高抑制濃度為 20%	抑制率有逐日增加的趨勢
	最佳濃度	20%萃取液	15%萃取液
	最佳濃度下第 6 天株高抑制率	73.59%	32.96%

根據上表，可以發現並非濃度越高的抑制效果越好，這可能是因為特定濃度的萃取液的成分與土壤微生物之間發生了交互作用所導致的抑制效果 (C.H. Kong et al., 2009)。以空心蓮子草來說，大部分的毒他物質萃取液可以持續穩定地抑制；而對大花咸豐草來說，毒他物質

可能會因為土壤分解或是受到植物自身代謝而導致其作用效果減弱，建議三天施澆一次以維持持續抑制的效果。

三、萌發率測量與萌芽抑制率分析

表十一 種子萌發抑制率總整理：

	空心蓮子草	大花咸豐草		綠豆	九層塔	小白菜
樟樹 5%	*	***	樟樹 5%	◎	◎	!
樟樹 10%	*	***	樟樹 10%	◎	◎	!
樟樹 15%	**	***	樟樹 15%	◎	◎	!
樟樹 20%	**	***	樟樹 20%	!	◎	!
榕樹 5%	*	***	榕樹 5%	◎	◎	!
榕樹 10%	**	***	榕樹 10%	◎	◎	!
榕樹 15%	**	***	榕樹 15%	◎	◎	!
榕樹 20%	**	***	榕樹 20%	◎	◎	!
血桐 5%	**	***	血桐 5%	◎	◎	!
血桐 10%	**	***	血桐 10%	◎	◎	!
血桐 15%	***	***	血桐 15%	!	◎	!
血桐 20%	***	***	血桐 20%	◎	◎	!
鳳凰木 5%	**	***	鳳凰木 5%	◎	◎	!
鳳凰木 10%	**	***	鳳凰木 10%	!	!	!
鳳凰木 15%	***	***	鳳凰木 15%	!	!	!
鳳凰木 20%	***	***	鳳凰木 20%	!	!	!
金絲竹 5%	*	**	金絲竹 5%	◎	◎	◎
金絲竹 10%	**	***	金絲竹 10%	◎	◎	◎
金絲竹 15%	**	***	金絲竹 15%	◎	◎	◎
金絲竹 20%	**	***	金絲竹 20%	!	◎	!
10% < 雜草萌芽抑制率 ≤ 20% : *			作物萌芽抑制率 < 10% : ◎			
20% < 雜草萌芽抑制率 ≤ 50% : **			作物萌芽抑制率 > 10% : !			
雜草萌芽抑制率 > 50% : ***						

由上表可知，五種毒他物質萃取液對於空心蓮子草和大花咸豐草的種子萌發皆有抑制，當萃取液濃度提高，抑制率也隨之提升。若要抑制入侵外來種而對三種作物抑制率低於 10% 者，金絲竹 10% 和 15% 萃取液為佳。若需要抑制外來種萌芽效果 > 50% 且分別種植綠豆、九層塔、小白菜，種植綠豆：施用血桐 15% 和 20% 萃取液為佳；種植九層塔：施用鳳凰木 15% 和 20% 萃取液為佳；至於種植小白菜：施用金絲竹 10% - 20% 萃取液最佳。

四、綜合討論

(一) 植株高度測量與分析

由實驗數據經過 t-test 後得知，不論施加哪種植物毒他物質萃取液，對於空心蓮子草與大花咸豐草的生長高度與未施加的對照組生長高度都具有顯著差異，且隨著濃度增高，植株有愈來愈矮的趨勢，可推知當萃取物濃度愈高，抑制效果愈強。下圖（圖 57、圖 58）以樟樹萃取液對空心蓮子草與大花咸豐草植株生長高度的關係為例：

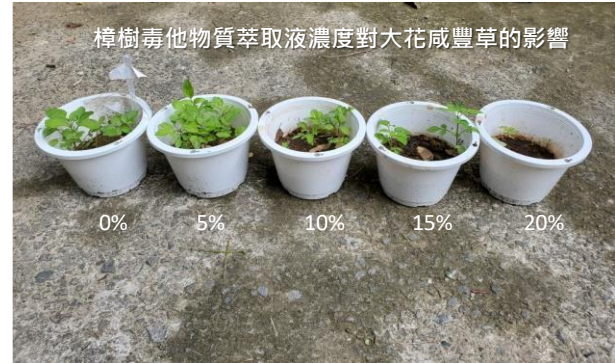
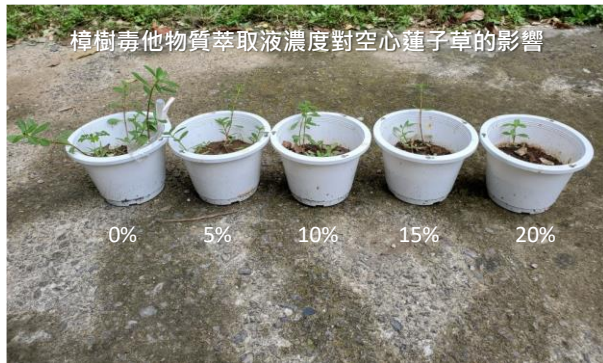


圖 57 樟樹毒他液濃度對空心蓮子草的影響

圖 58 樟樹毒他液濃度對大花咸豐草的影響

而九層塔的情況則相反，不管是哪一種萃取液均對其生長高度無顯著差異。至於綠豆及小白菜，則有較多討論空間，以下論述之：

1. 綠豆：

由（表九）植株生長高度抑制效果統整中，可看出綠豆除了金絲竹 5% - 15% 萃取液對其生長高度無顯著差異，較無抑制效果外，其餘毒他物質萃取液對綠豆均有抑制。其中金絲竹 20% 對綠豆具有顯著抑制，推估金絲竹 20% 萃取液濃度太高，而產生抑制效果。

2. 小白菜：

由（表九）得知，小白菜施加血桐 20%、鳳凰木 15% 及金絲竹 15% 萃取液之組別與對照組相比，其生長高度具有顯著差異。而其中血桐 20% 萃取液的抑制效果高，推估係因濃度太高導致抑制。而鳳凰木 15% 及金絲竹 15% 萃取液之組別則是可能是特定濃度萃取液所含物質，會與土壤中的微生物產生交互作用，而導致抑制（C.H. Kong et al., 2009）。

(二) 種子萌發測量與抑制率分析

由實驗數據及（表十一）中可看出，每種萃取液對於空心蓮子草與大花咸豐草均具有大於 10% 的種子萌發抑制率，其中對於大花咸豐草的種子萌發抑制率最為明顯，以大花咸

豐草為例，下圖（圖 59-63）為各種毒他物質萃取液對於大花咸豐草的抑制情形。



圖 59 金絲竹萃取液濃度對抑制率的影響



圖 60 鳳凰木萃取液濃度對抑制率的影響

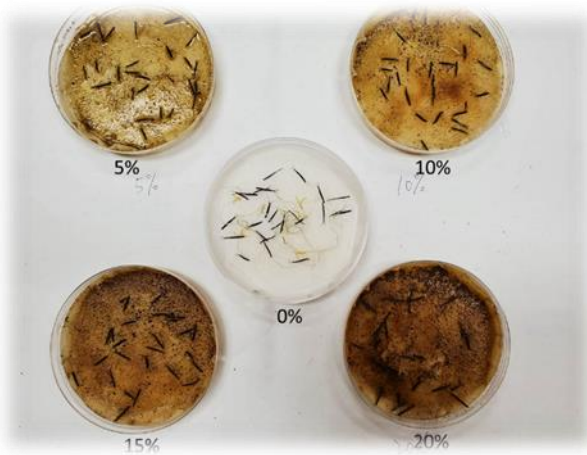


圖 61 血桐萃取液濃度對抑制率的影響

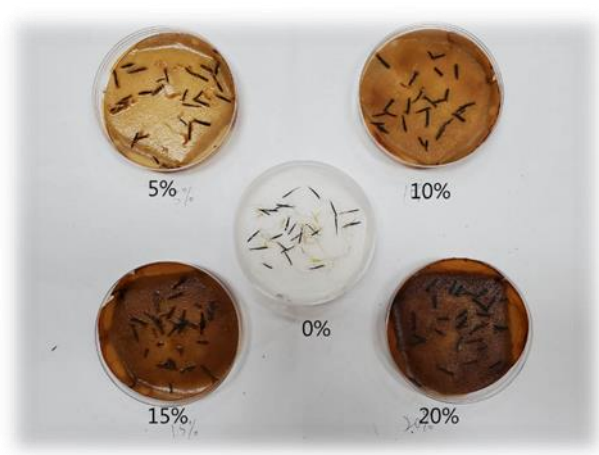


圖 62 榕樹萃取液濃度對抑制率的影響

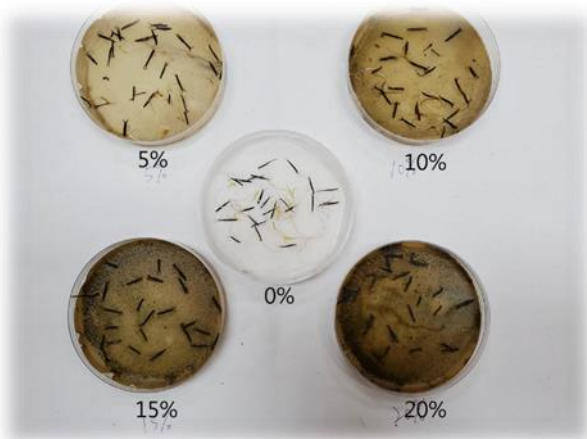


圖 63 樟樹萃取液濃度對抑制率的影響

對於空心蓮子草與大花咸豐草之種子萌發抑制率與毒他物質萃取液濃度呈正相關，隨著毒他物質萃取液濃度的提高，種子萌發抑制率也隨之增加。至於作物種子發芽抑制方面，則發現和（表九）有相反之處，代表毒他物質萃取液有可能只影響植物萌發率而不影響生長高度，反之，亦可能只影響生長高度卻不抑制萌發率。以小白菜為例最為明顯，小白菜的生長

高度僅有血桐 5% 萃取液、血桐 20% 萃取液、鳳凰木 10% 萃取液及金絲竹 15% 萃取液對其具有顯著抑制，然而到了萌發抑制率的實驗，卻僅有金絲竹 5%、10%、15% 萃取液對小白菜之種子萌發抑制率小於 10%，其餘的抑制率均大於 10%，幾乎與生長高度的結果相反。初步推估應為種子發芽需要大量水分，而促使水溶性的毒他物質加速滲透進入種皮而影響發芽。這些化學物質可以影響種子萌發、胚芽生長和根系發育，甚至會導致種子死亡。例如，一些毒他物質可以抑制種子萌發和根系生長，進而抑制植物生長（Han, C. M. et al., 2008）。

(三) 確認毒他物質萃取液是否影響土壤既有的理化性質

從比較毒他物質萃取液對於土壤 pH 值和 EC 值的影響後，得知大部分施加毒他物質萃取液之實驗組均與對照組沒有顯著差異，僅有金絲竹 5% 萃取液和榕樹 5% 萃取液與對照組相比對於土壤 pH 值有顯著差異（ $P < 0.05$ ）。藉由前人文獻（C.H. Kong et al., 2009）中提及水稻的毒他物質萃取物提供的碳可供土壤微生物使用並與其產生交互作用，此外來自水稻的毒他物質可以改變土壤菌落，因此初步推測為該特定濃度的毒他物質萃取液會和土壤中的微生物進行交互作用，而超過特定濃度的範圍時，毒他物質萃取液和土壤共生菌的交互作用會變得不明顯所致。至於土壤電導率和濃度的關係，大部分施加毒他物質萃取液之實驗組均與對照組沒有顯著差異，只有施加鳳凰木 20% 萃取液、血桐 20% 萃取液和樟樹 15% 萃取液之組別與對照組有顯著差異，由於有差異者皆為濃度較高的組別，故推測因為萃取液濃度提高，萃取液中的電解質和可溶性鹽類濃度提升導致土壤電導率有所增加。

(四) 觀察根部受到毒他物質刺激後的表現

在受到毒他物質萃取液的刺激後，空心蓮子草和大花咸豐草的根系都會避開毒物質較濃的一側，而偏向只有水的一側，根據（圖 39）和（圖 40）的結果，我們推斷植物會產生一種對抗逆境的機制，以逃離逆境的影響。另外，我們也確定了毒他物質萃取液不會對土壤 pH 和電導率產生顯著的影響，因此，我們可以排除滲透壓不同所導致的結果，並確定根系彎曲是受到毒他物質的影響，而非滲透壓的影響。

(五) 觀察根、莖部受到毒他物質刺激後的細胞表現

在受到毒他物質萃取液的刺激後，空心蓮子草的根毛平均長度和密度都有所下降，我們

推測是因為毒他物質萃取液降低其主動運輸的能力。根據（圖 41）和（圖 42）的結果，我們發現空心蓮子草的維管束細胞壁有增厚的趨勢，而且未施澆毒他液的維管束細胞明顯比施澆毒他液的大，藉由前人的文獻（Fang Cheng, Zhihui Cheng, 2015），可以推測是由毒他物質萃取液而造成空心蓮子草的根和莖的細胞變化。

（六）未來展望

1. 前人文獻（C.H. Kong et al., 2009）中提及水稻的毒他物質萃取物可供土壤微生物使用並與其產生交互作用，並造成土壤菌相改變。希望日後能繼續探討樟樹、榕樹、鳳凰木、血桐和金絲竹對於土壤菌相造成之影響以及主要的作用機制。
2. 本實驗農作物從十字花科植物中選用小白菜作為代表；而豆科植物選用綠豆作為代表；唇形科植物則使用九層塔作代表。期望日後能夠使用更多植物進行實驗，找出能普遍應用於各種科別的植物毒他物質萃取液而非僅限定於單一物種。
3. 期待能更深入研究植物生理應對毒他物質之反應（如：不同部位細胞型態變化、植物體內激素含量的變化等），且將其拓展至其他雜草並且研究其與常見作物的不同之處。

柒、結論

一、空心蓮子草和大花咸豐草受毒他液作用所產生的現象

（一）根部躲避毒他物質的現象

從（圖 39）和（圖 40）中，可以明顯發現空心蓮子草和大花咸豐草的根系會往毒他物質濃度較低的一側生長，以躲避毒他物質所帶來的逆境，所以農民在抑制這兩種雜草時，建議均勻噴灑農地，避免其躲避毒他物質而影響防治效果。

（二）根莖部位的細胞變化

從（圖 41）到（圖 46），我們發現空心蓮子草的根毛和莖部的維管束的細胞型態會因毒他作用而發生改變，如細胞壁增厚、細胞變小與根毛數量減少等現象。因此可以綜合以上推論出毒他物質萃取液可能會影響空心蓮子草的養分和水分運輸功能，進而影響其生長。

二、最佳的防治方法

為了找出適合農民防治空心蓮子草及大花咸豐草等入侵外來種，同時不影響作物，以及不改變土壤環境的前提（改變土壤環境，可能連帶影響棲息於土壤中的生物），綜合先前所討論的數據結果，以不影響土壤酸鹼度與電導率的前提，列出下列六種解決方法。

表十二 六種最佳的解決方法

欲種植作物	作物狀態	綜合最佳選擇	說明
綠豆 (豆科)	未發芽	鳳凰木 5%	空心蓮子草的萌芽抑制率：20% ~50%； 大花咸豐草的萌芽抑制率 > 50%。
	已發芽	金絲竹 10%-15%	可有效抑制空心蓮子草及大花咸豐草， 同時不影響綠豆的生長發育。
小白菜 (十字花科)	未發芽	金絲竹 10%以上	可有效抑制空心蓮子及大花咸豐草， 不影響小白菜的生長發育。
	已發芽	榕樹 15% 樟樹 20%	榕樹 15% 對於空心蓮子草抑制效果最佳； 樟樹 20% 對於大花咸豐草抑制效果最佳。
九層塔 (唇形科)	未發芽	血桐 15% 鳳凰木 15%	大多數種類的毒他溶液促進其發芽。 播種前噴灑毒他液，有利於九層塔植株萌芽。
	已發芽	榕樹 15% 樟樹 20%	榕樹 15% 對於空心蓮子草抑制效果最佳； 樟樹 20% 對於大花咸豐草抑制效果最佳。

捌、參考資料

- 一、Chou, C., & Leu, L. (1992). Allelopathic Substances and Interactions of *Delonix Regia* (Boj) Raf. *Journal of Chemical Ecology*, 18 (12), 2285 - 2303.
- 二、Han, C. M., Pan, K. W., Wu, N., Wang, J. C., & Li, W. (2008). Allelopathic effect of ginger on seed germination and seedling growth of soybean and chive. *Journal of Plant Nutrition*, 31(3), 330-336.
- 三、Jiang, Z., Guo, peiyong, Chang, C., Gao, L., Li, S., & Wan, J. (2014). Effects of Allelochemicals from *Ficus Microcarpa* on *Chlorella Pyrenoidosa*. *BRAZILIAN ARCHIVES OF BIOLOGY AND TECHNOLOGY*, 57 (4), 595 - 605.
- 四、Kong, C. h., Wang, p., Zhao, H., Xu, x.h., & Zhu, Y. d. (2008). Impact of Allelochemical Exuded from Allelopathic Rice on Soil Microbial Community. *Soil Biology & Biochemistry*, 40 (7), 1862 - 1869.
- 五、Fang Cheng, Zhihui Cheng (2015). Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy. College of Horticulture, Northwest A&F University
- 六、Schenk, J. R. (2009). Phytochemistry, allelopathy and the capability attributes of camphor laurel

- (*Cinnamomum camphora* (L.) Ness & Eberm.) (Doctoral dissertation, Southern Cross University).
- 七、Tseng, M., Kuo, Y., Chen, Y., & Chou, Chang-hung. (2003). Allelopathic Potential of *Macaranga Tanarius* (L.) Muell. - Arg. Journal of Chemical Ecology, 29, 1269 - 1286.
- 八、呂易芳 (2021)。荔枝葉水萃液對雜草的生長抑制效果。國立嘉義大學生化科技學系。
- 九、陳嘉慶 (2007)。土壤 pH 值與有機組成分對芘溶出影響之研究。朝陽科技大學環境工程與管理系。
- 十、黃玉舜 (2017)。田菁 (*Sesbania roxburgii* (Merr.)) 對土壤物理性質及雜草生長影響研究。國立中興大學土壤環境科學所。
- 十一、周昌弘 (2006)。農業廢棄物之利用與環保：植物相剋作用在永續農業之利用。中國醫藥大學生物多樣性研究中心。
- 十二、袁秋英 (2016)。植物相剋化合物於雜草管理之應用。行政院農委會農業藥物毒物試驗所。
- 十三、洪昆源、潘富俊 (2006)。森林下層植物之相剋作用與生物量關係及其在林業上之應用。台灣林業，32 (3)，64 - 67。
- 十四、陳巍中、涂家豪 (2017)。魚菜共生系統－探討水中電導值與酸鹼值對萵苣生長的影響。修平科技大學能源與材料科技系實務專題論文。
- 十五、陳登颺 (2013)。流體化床副產石灰與紅壤混合填平窪地再利用於造林之研究。朝陽科技大學環境工程與管理系。
- 十六、崔洪霞、石雷、夏菲、姜男、李慧、白紅彤、柴敏 (2015)。中華人名共和國專利號 CN104938515B。北京：中華人民共和國知識產權局。
- 十七、詹品晟 (2020)。水萍在高鹽、營養缺乏及水楊酸處理下黃酮類化合物的累積情形。國立台南大學生物科技學系。

【評語】 052207

- (1) 本實驗試圖利用植物萃取物對空心蓮子草與大花咸豐草的防治，在防治效果上會對根毛和莖部有影響，為良好的實驗動機。
- (2) 針對植物葉比較好採集，唯萃取方式以及濃度的定義需要改進，並方便向農民推廣。
- (3) 可能考慮萃取物噴撒於植物，且初步分析萃取物對土壤的 pH 值和電導度的影響，此已初步分析萃取物對土壤的交互作用。
- (4) 綠豆與九層塔之相反效應之機制，此是否和萃取物的濃度有關，不過針對菜(小白菜、九層塔和綠豆)的選擇是否考慮葉菜類。
- (5) 由於不同植物葉片的含水率可能不同，pH 值可能不同，會造成濃度的誤差，在不同固液比之比例之下，濃度呈現易有誤或不完全。
- (6) 澆灌溶液方式，無法完全排除滲透可能互相干擾的情形發生。
- (7) 幾種測試的植物粗萃物，雖然具有不同程度抑制兩種入侵植物之生長效果，但這些植物均不可食用，其粗萃物中是否含有有毒物

質，會被作物吸收殘留，而造成對人食用後的毒性，需要謹慎評估。

作品海報

「毒」善其身—

探討植物的毒他作用在空心蓮子草與大花咸豐草
的防治和農業上的應用



摘要

近年入侵外來種植物問題嚴重，造成農業損失，我們也在校園中發現某些樹木下方有雜草不易生長的現象，透過文獻探討得知許多常見植物皆有毒他作用。因此決定將其應用在雜草抑制層面，我們萃取常見植物（樟樹、榕樹、鳳凰木、金絲竹、血桐）的葉，施澆在作物（小白菜、九層塔及綠豆）和入侵外來種植物（空心蓮子草及大花咸豐草），觀察其萌發率和生長狀況。從實驗結果得知有些植物之毒他物質萃取液，能抑制入侵外來種植物而不影響作物生長，同時也利用土壤分析技術證明毒他物質不會影響土壤pH及電導率。本研究旨在找出種植不同作物的最佳雜草抑制方法，找出最適合之植物毒他物質萃取液種類與濃度，並發現毒他物質會影響植物根毛和維管束細胞的生長。

研究動機

在樟樹、血桐、榕樹、鳳凰木以及金絲竹的樹下，雜草的數量寥寥無幾。以樟樹為例，（圖1）及（圖2）為校園中同一片草皮上相距約10公尺有生長樟樹的區塊與無生長樟樹的區塊大花咸豐草的生長情形。從文獻中得知其枝葉萃取物皆具有毒他物質以利植物本身在大自然中競爭。加上這幾種植物於台灣低海拔地區隨處可見，運輸與採集成本低，植株的葉量多，對於農民採集容易。本實驗選擇在防治上最為棘手的空心蓮子草和大花咸豐草。聚焦於這兩種入侵植物上，希望透過植物毒他作用並將其應用於雜草防治層面。希望藉由此次實驗，找出有效抑制入侵種但對常見作物影響最少的方法以解決農民最頭大的問題——雜草防治。



圖1 有樟樹的草皮上雜草的生長情形



圖2 無樟樹的草皮上雜草的生長情形

目的

- (一) 探討不同植物的毒他物質對植物的影響。
- (二) 對比入侵外來種植物和常見農作物在受到毒他作用下的生長情況。
- (三) 探討植物毒他物質的粗萃取液濃度高低對毒他作用的效果。
- (四) 探討空心蓮子草和大花咸豐草的根系是否會因逆境躲避毒他物質萃取液。
- (五) 探討空心蓮子草經毒他液澆灌後，根莖的細胞變化。
- (六) 探討不同植物的毒他物質萃取液是否影響土壤原有的 pH 值和電導度（EC值）。
- (七) 找出對農作物和對土壤環境影響最小，並可以有效抑制入侵外來種植物的方法。

實驗方法

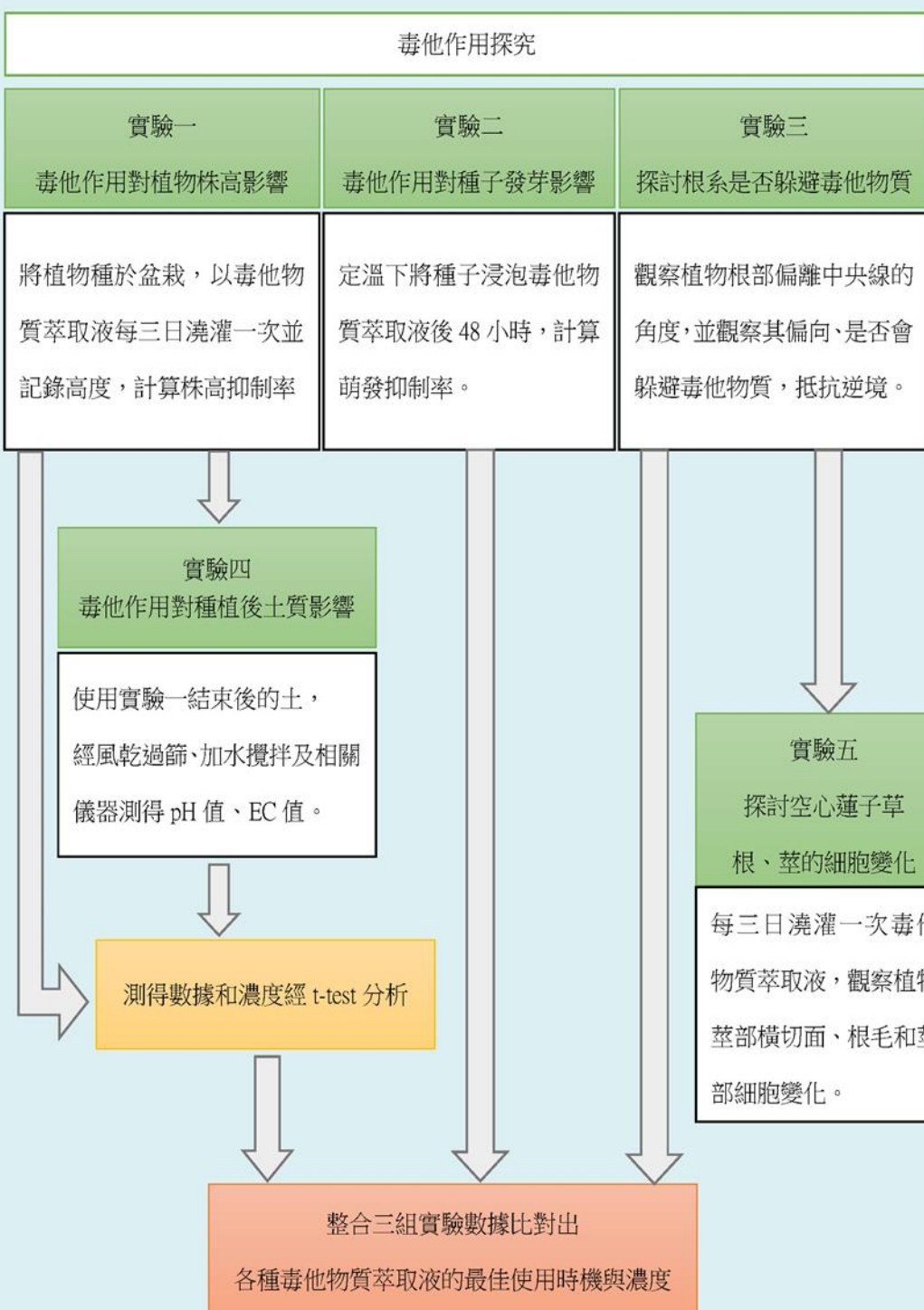


圖3 實驗架構圖

一、配製毒他物質萃取液

二、種植實驗植物

三、植株高度測量與雜草的株高抑制率分析

四、萌發率測量與種子萌芽抑制率分析

五、探討根系是否會躲避毒他物質萃取液

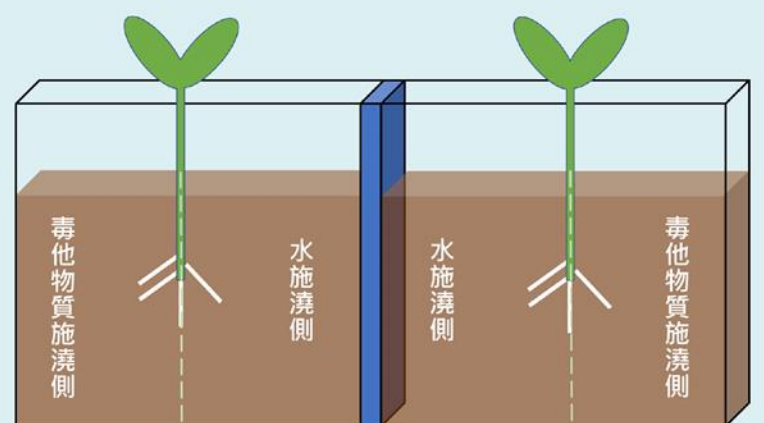


圖4 透明箱的種植示意圖

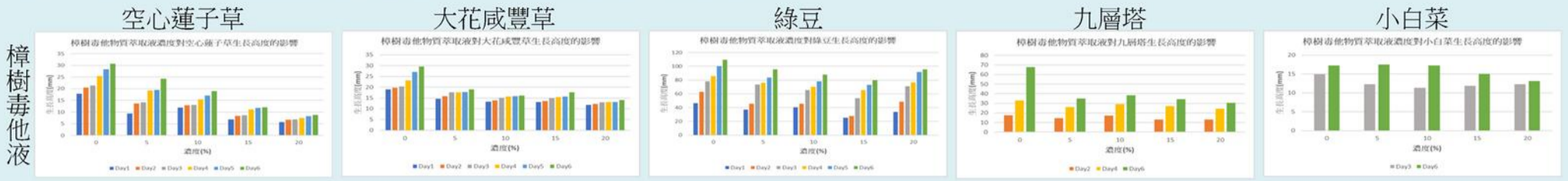
六、經毒他液澆灌後的空心蓮子草根、莖細胞變化

七、土壤的酸鹼值（pH）和電導率（EC）的測定

研究結果

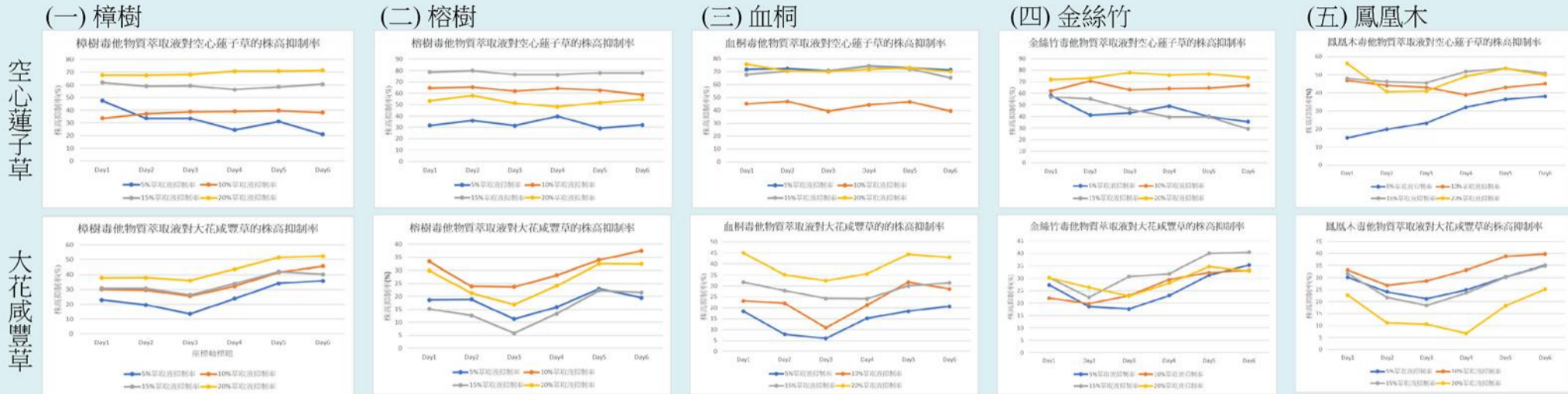
一、植物高度測量與分析

表一、毒他物質萃取液濃度與待測植物生長高度的關係（以樟樹為例）



二、毒他物質萃取液對空心蓮子草與大花咸豐草的株高抑制率分析

表二、株高抑制率。 $(株高抑制率 IR = (T_0 - T_1) \times 100 / T_0)$ ，其中 T_1 為實驗組， T_0 為對照組，當 $IR > 0$ 時表示具抑制效果。



三、萌發率測量與種子萌發抑制率分析

表三、各植物萃取液對種子萌發抑制的影響。 $(種子萌發抑制率(\%) = (1 - (\text{實驗組萌發率} / \text{對照組萌發率})) \times 100\%)$ 。

(一) 樟樹	萃取液濃度				
	抑制率(%)	5%	10%	15%	20%
空心蓮子草	20	20	28	32	
大花咸豐草	50	75	85	85	
綠豆	4	0.0	4.0	20	
九層塔	-14.3	-28.6	-7.1	-28.6	
小白菜	44	100	100	100	

(二) 榕樹	萃取液濃度				
	抑制率(%)	5%	10%	15%	20%
空心蓮子草	20	32	40	40	
大花咸豐草	50	75	85	85	
綠豆	4	4	4	0	
九層塔	-7.1	-21.4	0	-35.7	
小白菜	52	60	100	100	

(三) 血桐	萃取液濃度				
	抑制率(%)	5%	10%	15%	20%
空心蓮子草	32	36	80	60	
大花咸豐草	60	50	85	90	
綠豆	0	4	12	8	
九層塔	-38.5	-46.2	-15.4	-46.2	
小白菜	36	88	88	100	

(四) 鳳凰木	萃取液濃度				
	抑制率(%)	5%	10%	15%	20%
空心蓮子草	36	40	52	52	
大花咸豐草	50	80	95	100	
綠豆	4	20	12	12	
九層塔	-14.3	71.5	71.5	64.3	
小白菜	20	20	28	20	

(五) 金絲竹	萃取液濃度				
	抑制率(%)	5%	10%	15%	20%
空心蓮子草	16	36	40	36	
大花咸豐草	45	70	70	90	
綠豆	8	4	8	16	
九層塔	-21.4	-7.1	-7.1	-28.6	
小白菜	4	8	0	16	

四、確認毒他物質萃取液是否影響土壤既有的酸鹼值 (pH) 與電導率 (EC)



表四、各毒他液對土壤pH值與電導率的影響

大部分施加毒他物質萃取液之實驗組土壤pH值及電導率(EC)與對照組無顯著差異。

五、探討空心蓮子草與大花咸豐草的根系是否會躲避毒他物質萃取液

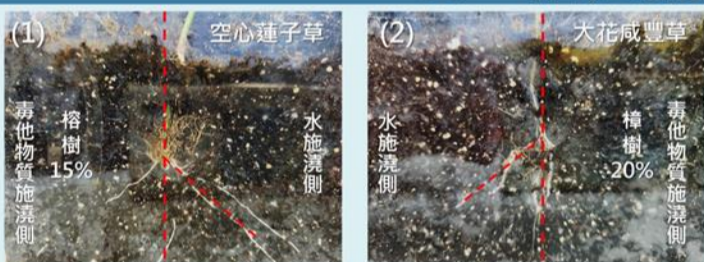


圖5 毒他液對空心蓮子草、大花咸豐草根系的影響

當受到毒他物質萃取液的刺激之後，空心蓮子草和大花咸豐草的根系都會避開毒物質濃度較高的一側，而偏向水的一側，如（圖 5）。另外，我們也確定了毒他物質萃取液不會對土壤 pH 值和電導率產生顯著的影響，因此確定根系彎曲是受到毒他物質的影響。

六、探討空心蓮子草根、莖在施澆毒他液後的細胞變化

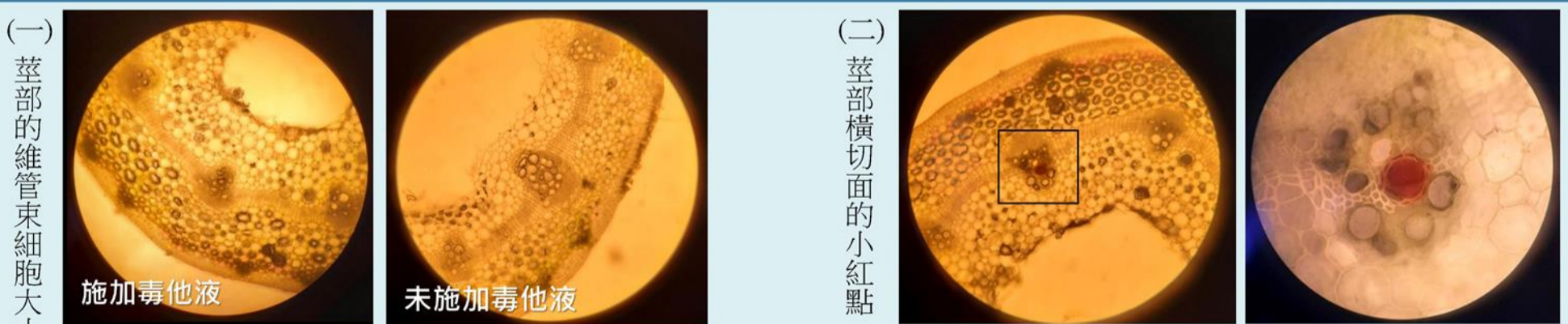


圖6 空心蓮子草莖部橫切面

圖7 空心蓮子草莖部橫切面

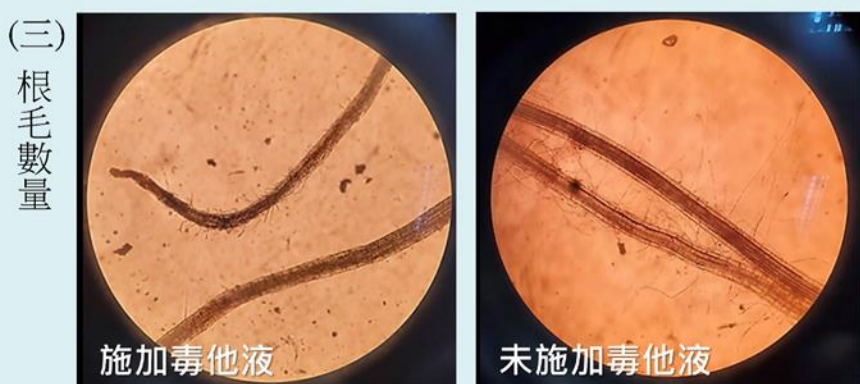


圖8 空心蓮子草根毛生長情形

(一) 施加毒他液的維管束細胞明顯較未施加毒他液的植株來得小，且細胞有增厚的現象 (Fang Cheng, Zhihui Cheng, 2015)。
 (二) 僅有在施澆毒他液的實驗組觀察到少數的維管束細胞會出現小紅點，經文獻探討後推測可能是植物遇到受傷或逆境會積累酚類物質，再因氧化導致的褐化現象 (詹品晟, 2020)。
 (三) 施澆毒他液的根毛長度與密度均低於未施澆毒他液的對照組。推測此為毒他物質對空心蓮子草生長產生的負面效果 (Fang Cheng, Zhihui Cheng, 2015)。

討論

表五、株高抑制率效果統整

毒他萃取液		對空心蓮子草的抑制效果	對大花咸豐草的抑制效果
樟樹	株高抑制率趨勢	濃度 5% 以上抑制效果穩定	隨著濃度增加，施澆 3 天後抑制率下降
	最佳濃度	20%	20%
	最佳濃度下第6天株高抑制率	71.51%	52.39%
榕樹	株高抑制率趨勢	四種濃度皆可穩定抑制，抑制效果沒有因時間下降	施澆 3 天後抑制率下降
	最佳濃度	15%	10%
	最佳濃度下第6天株高抑制率	77.87%	37.53%
血桐	株高抑制率趨勢	四種濃度皆可穩定抑制，抑制效果沒有因時間下降	隨著濃度增加，施澆 3 天後抑制率下降
	最佳濃度	5%	20%
	最佳濃度下第6天株高抑制率	75.13%	42.98%
鳳凰木	株高抑制率趨勢	濃度 5% 以上抑制效果穩定	施澆 3 天後抑制率下降
	最佳濃度	15%	10%
	最佳濃度下第6天株高抑制率	50.81%	39.83%
金絲竹	株高抑制率趨勢	抑制率與濃度呈正相關，最高抑制濃度為 20%	抑制率有逐日增加的趨勢
	最佳濃度	20%	15%
	最佳濃度下第6天株高抑制率	73.59%	32.96%

表六、種子萌發抑制率總整理

	空心蓮子草	大花咸豐草		綠豆	九層塔	小白菜
樟樹	5%	*	樟樹	5%	◎	!
	10%	*		10%	◎	!
	15%	**		15%	◎	!
	20%	**		20%	!	!
榕樹	5%	*	榕樹	5%	◎	!
	10%	**		10%	◎	!
	15%	**		15%	◎	!
	20%	**		20%	◎	!
血桐	5%	**	血桐	5%	◎	!
	10%	**		10%	◎	!
	15%	***		15%	!	!
	20%	***		20%	◎	!
鳳凰木	5%	**	鳳凰木	5%	◎	!
	10%	**		10%	!	!
	15%	***		15%	!	!
	20%	***		20%	!	!
金絲竹	5%	*	金絲竹	5%	◎	◎
	10%	**		10%	◎	◎
	15%	**		15%	◎	◎
	20%	**		20%	!	!
10% < 雜草萌芽抑制率 ≤ 20% : *			作物萌芽抑制率 < 10% : ◎			
20% < 雜草萌芽抑制率 ≤ 50% : **			作物萌芽抑制率 > 10% : !			
雜草萌芽抑制率 > 50% : ***						

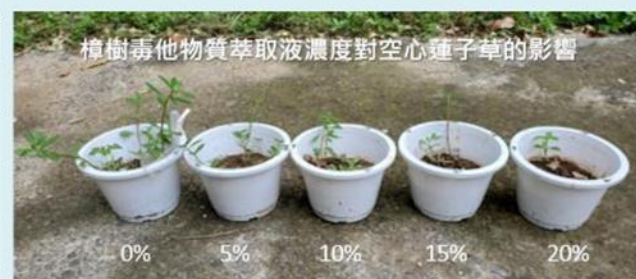


圖9 不同濃度的樟樹毒他液對空心蓮子草的影響

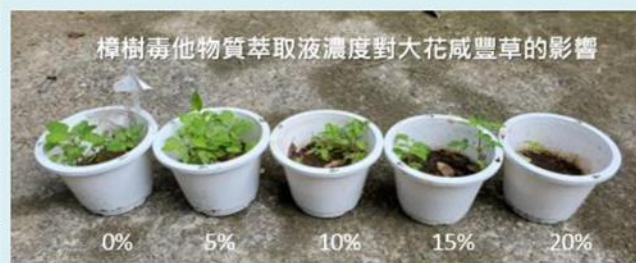


圖10 不同濃度的樟樹毒他液對大花咸豐草的影響

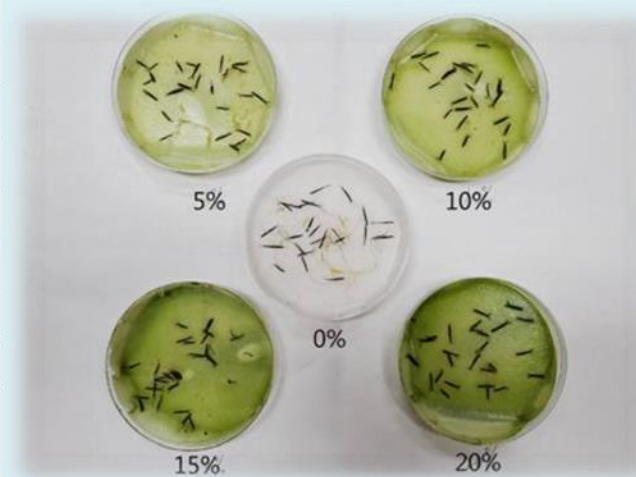


圖11 不同濃度的金絲竹萃取液對大花咸豐草種子萌發抑制率的影響

結論

生理變化	維管束細胞	根毛	特殊變化
施加毒他液	較小	較少較短	細胞壁增厚，產生褐化物的小紅點
未施加毒他液	較大	較多較長	無明顯變化

欲種植作物	作物狀態	綜合最佳選擇	說明
綠豆 (豆科)	未發芽	鳳凰木5%	對於空心蓮子草的萌芽抑制率：20%至50%之間；對於大花咸豐草的萌芽抑制率 > 50%。
	已發芽	金絲竹10%-15%	有效抑制空心蓮子草及大花咸豐草，同時不影響綠豆生長。
小白菜 (十字花科)	未發芽	金絲竹10%以上	有效抑制空心蓮子及大花咸豐草，不影響小白菜生長發育。
	已發芽	榕樹15%、樟樹20%	空心蓮子草抑制效果：榕樹15%萃取液最佳；大花咸豐草抑制效果：樟樹20%萃取液最佳。
九層塔 (唇形科)	未發芽	血桐15%、鳳凰木15%	大多數種類的毒他溶液促進其發芽。播種前噴灑毒他物質萃取液，有利於九層塔植株萌芽。
	已發芽	榕樹15%、樟樹20%	空心蓮子草抑制效果：榕樹15%萃取液最佳；大花咸豐草抑制效果：樟樹20%萃取液最佳。

參考文獻資料

- Chou, C., & Leu, L. (1992). Allelopathic Substances and Interactions of *Delonix Regia* (Boj) Raf. *Journal of Chemical Ecology*, 18 (12), 2285 – 2303.
- Kong, C. h., Wang, p., Zhao, H., Xu, x.h., & Zhu, Y. d. (2008). Impact of Allelochemical Exuded from Allelopathic Rice on Soil Microbial Community. *Soil Biology & Biochemistry*, 40 (7), 1862 – 1869.
- 黃玉舜 (2017)。田菁 (*Sesbania roxburgii* (Merr.)) 對土壤物理性質及雜草生長影響研究。國立中興大學土壤環境科學所。