

# 2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 200007

參展科別 環境工程

作品名稱 煙燻水製造機運用於作物生長、疫病防治與肥  
力之研究

就讀學校 國立西螺高級農業工業職業學校

雲林縣私立揚子高級中學

指導教師 劉宗旻、陳尚民

作者姓名 廖育晟、蔡承儒、蔡承祐

關鍵詞 稻梗、煙燻水

## 作者簡介



我的名字叫廖育晟，因為父親從事農業方面的工作而學校老師也對科展很有興趣，因為這些因素，讓我有可以完成這個主題，而因為對於機械、農業和實作有興趣，所以就讀西螺農工，雖然選擇綜高的社會科，但不影響我發明的動力，並且參加比賽來增加實力和了解自己的不足。

我的名字叫做蔡承儒，家裡有四名成員，爸爸和媽媽都是老師，現在就讀國立西螺農工機械科二年級，因為我喜歡動手實作和了解機器如何運作的原理，所以選擇了機械科就讀，雖然成績普通，但是因為喜歡自己就讀的科系所以高中的學業我表現還不錯，因為喜歡武術所以參加學校的螺陽武術社，因緣際會地認識了有同樣興趣的學長，邀請我參與了這個比賽，才能獲得參加了國際科展的資格，藉由這次機會讓我多多了解新的事物。

我是蔡承祐，從國中開始就參加各種科學相關比賽，現在就讀於揚子高級中學，擅長於資料的統整以及分析，並轉化為圖表，最近喜歡上實作，便藉由這次機會與西螺農工合作，並發揮自己的特長並且學習一些實作的技巧。透過多次的比賽經歷我也一次次改進自己不足的地方並且試著做到真正的「學以致用」，試著將課堂上的東西在實驗中獲得驗證，並加深印象。

## 摘要

本研究目的主要是研發煙燻水製造機，第三代煙燻水製造機，採用稻梗燃燒室與噴霧式煙燻水產生室，製作並實驗說明煙燻水對農作物驅蟲、防疫、種子萌芽與肥力效果。結果顯示，第三代煙燻水製造機，生產之煙燻水品質穩定，且符合環保署空氣排放規定，其生成之煙燻水成分以氣相層析質譜儀檢測結果，共測得 28 種化合物，主要是醇、內酯、乙醛、酸、酮、生物鹼和酚類等。其中 2(5H)-呋喃酮  $C_4H_4O_2$ ，可刺激小黃瓜種子萌發。酚類化合物  $C_{10}H_9N_3O$  對抑制真菌生長有效，且在煙燻水添加甲殼素與鈣粉，有助於農作物幼苗成長。

## Abstract

The main idea of this study is to develop a machine for producing smoke-water. The third generation smoke-water producing machine, which adopts rice stalk combustion chamber and spray-type smoke water producing chamber, and makes experiments to illustrate the effect of smoke water on insect repellent, epidemic prevention, seed germination and fertility of crops. The results showed that the quality of the smoke-water produced by the third generation smoke-water producing machine was stable and met the air emission regulations of the Environmental Protection Agency. The components of the smoke fumigated water produced by the third generation smoke-water producing machine were detected by gas chromatography mass spectrometer. A total of 28 compounds were detected, like alcohols, lactones, acetaldehyde, acids, ketones, alkaloids and phenols. Among them, 2(5H)- furanone  $C_4H_4O_2$  can stimulate the germination of cucumber seeds. Phenolic compound  $C_{10}H_9N_3O$  is effective in inhibiting the growth of fungi, and adding chitosan and calcium powder to the water of tobacco bottles is helpful for the growth of crop seedlings.

## 壹、研究動機

每次只要在水稻收割的時間點，會有人把它們紮成草堆，放田裡，曬乾之後，然後再挑回去、儲存起來，在更久以前，還會有人直接在田裡放火，讓火吞噬這些稻梗，剩下的灰就變成養分了，這樣雖然能增加土壤肥力，卻嚴重影響空氣品質，稻草這種農業廢棄物數量很多，本團隊決定拿稻梗做研究，發明一種無空氣汙染又能驅蟲增加土壤肥力的機器，確認目標後，尋找夥伴結合指導老師與家長，開始研發過程。

## 貳、研究目的

本發明目的為以下五點：

- 一、製造煙燻水機器，減少燃燒稻梗所產生的空氣汙染。
- 二、有效利用農業廢棄物製作煙燻水，轉換成農業可運用的資源。
- 三、分析煙燻水成分對農作物的影響，並討論驅蟲、防疫、肥力效果。
- 四、調配不同比例煙燻水與添加物，研究其對農作物的助益。
- 五、將煙燻水實地應用於玫瑰園與小黃瓜作物，探討其效果。

## 參、研究設備及器材

表 1、研究設備及其用途

編號	物品	數量	用途
一	筆記本、筆	1 本 2 支	實驗日記，紀錄觀察結果
二	數位相機	2 台	拍攝實驗過程
三	筆記型電腦	1 部	撰寫與製作電子檔
四	氣相層析儀	1 台	分析成分
五	超純水製造機	1 台	實驗用水
六	稻梗	1 頓	實驗樣本
七	玫瑰	200 株	實驗樣本
八	不鏽鋼	1 組	實驗機具材料
九	噴頭	20 組	實驗材料
十	馬達	1 組	實驗水循環
十一	抽氣設備	1 組	實驗光度
十二	小黃瓜	200 株	實驗樣本
十三	小白菜	200 株	實驗樣本
十四	培養皿	50 組	實驗用具
十五	塑膠桶	5 桶	裝煙燻水
十六	牡蠣殼	20 公斤	煙燻水添加物
十七	甲殼素	5 公斤	煙燻水添加物
十八	培養皿	100 組	種子發芽實驗
十九	無菌操作台	1 台	真菌實驗
二十	SEM 電子顯微鏡	1 台	真菌觀察
二十一	離心機	1 台	樣本萃取
二十二	滅菌釜	1 台	實驗器材殺菌

# 肆、研究過程與方法

## 一、研究流程



圖1.研究流程圖

## 二、文獻蒐集

煙燻水文獻探討農作物用途極少，大都用在食物調味為主，以下為本研究蒐集之文獻，作為煙燻水研究與機器製作依據：

**林妍志(2017)**：煙燻技術為水產品常見的加工方法之一。研究方法與傳統方法分別施予 1%、2%、3% 和 4% 的食鹽，進行鹽醃、乾燥及冷燻，分析各項物化參數，探討微米精鹽對煙燻魚製品入味程度的影響。

**林佩緯(2014)**：利用胡桃木煙燻粉配製成三種不同濃度（0.075%、0.15%、0.3%）胡桃木煙燻液，將含有鹽含量 5.8%台灣鯛魚片，分別在  $4\pm 3^{\circ}\text{C}$  下以靜置 15、30、45、60、120 秒、超音波處理 15、30、45、60 秒及儲藏 0、3、7、11、15 及 19 天後觀察產品物理化學之變化。

**黃于寧(2012)**：本試驗旨在探討臺灣土肉桂葉粉作為鴨胸肉製品燻煙材料之應用。取鋸木屑及臺灣土肉桂葉粉，應用冷水及熱水萃取方法，測定其總酚類化合物、1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 自由基清除能力、類黃酮含量、螯合亞鐵離子能力、還原能力及總抗氧化能力。其結果顯示：臺灣土肉桂葉粉熱水萃取液之總酚類及類黃酮含量顯著高於其他傳統方式。

**陳湄禎(2011)**：探討煙燻水對種子萌芽、幼苗生長及對真菌類病原菌的抑菌作用以及增進台農 2 號番木瓜採後品質之影響。分析煙燻水中的成分包含了酸類、植物所需的礦物營養、如重要的氮源銨態氮( $\text{NH}_4^+$ )，同時含有高量的抗真菌物質，如酚類化合物。以氣相層析儀 (GC-MS) 分析煙燻水的成分，可區分出 30 種成分，主要是醇、內酯、醛、酸、酮類、生物鹼以及酚類。

**林建利(2012)**：探討兩種亞洲常見稻作廢棄物（梗稻、秈稻），以 Chamber 三種不同燃燒方式（Flaming、Mixing、Smoldering）解析其排放特徵，討論包含三種不同粒徑（ $\text{PM}>10$ 、 $\text{PM}_{2.5-10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ ）粒子質量與其脫水醣類（Levogluconan、Mannosan、Galactosan）成份及十四種水溶性陰陽離子分佈，並解析其  $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$  氣狀污染物排放係數。

### 三、實驗過程與方法

我國每年產生的生物性農業廢棄高達 4,612,935 公噸(2018 農委會統計資料)，政府處理方式不外乎是衛生掩埋、焚化爐焚燒或發酵堆肥等，不論何種方式對環境造成的傷害皆不小，因此本研究以另類處理方式，將農業廢棄物轉換成具經濟效益又符合環保的物質，「煙燻水」成為本研究組題，針對煙燻物質作探討。

表 2. 我國 2018 年生物性農業廢棄物統計

項目	數量(公噸)	項目	數量(公噸)
農產廢棄物	137,220	禽畜糞	2,178,005
稻殼	335,513	畜禽屠宰後廢棄物	52,647
<b>稻稈</b>	<b>1,677,565</b>	死廢畜禽	44,759
廢棄菇包	124,142	批發市場廢棄物	29,285
漁業廢棄物	139,068	果菜殘渣	26,554
<b>牡蠣殼</b>	<b>139,068</b>	花卉殘渣	596
畜產廢棄物	2,275,410	漁產殘渣	2,135
合計			4,612,935

資料來源：農委會 107 年度「農業廢棄物排放量」統計。

比較以下各種農業廢棄物，考量其取得成本與實驗需求量以稻梗為實驗樣本，並採用牡蠣殼粉末為煙燻水鈣質添加物。

#### A.煙燻水製造機設計

##### 【實驗 A1】第一代煙燻水製造機設計

**前言：** 本研究煙燻水製造機的靈感，來自兩個日常生活事件，一是廟宇燒紙錢的火爐，另一個則是賣燒烤排煙設施，其製作主體包含燃燒室、集煙室、水循環設備、噴頭水霧設備、煙燻水生產區、排放設施與收集桶，以下為製作與改良過程。

**步驟：** 靈感來自於廟宇火爐，作為燃燒室參考，製作出第一代的機型，以下為設計圖與製作過程：

1. 進氣口：本研究以空氣泵浦由進氣口打入空氣，幫助燃燒桶內稻梗燃燒，進氣口設置於燃燒桶底部，利用煙囪效應將燃燒後煙霧擠入出氣口。
2. 燃燒桶：上蓋配置兩個扣環，蓋子中心接一個彎管作為出氣口，底座墊高 5 公分避免接觸地表，於燃燒室底部做一個進氣口裝置。
3. 出氣口：為彎管造型，目的減緩煙霧上衝的力道，迫使燃燒稻梗產生之煙霧，由出氣口排出，並且流入銜接管。
4. 銜接管：主要銜接出氣口與蓄水桶的 L 型裝置，銜接出口插入水中，藉由煙霧與水結合製造煙燻水。
5. 蓄水桶：主要用途為利用清水將排放的煙霧吸附，減少煙霧逸散至空氣中，且產生煙燻水。

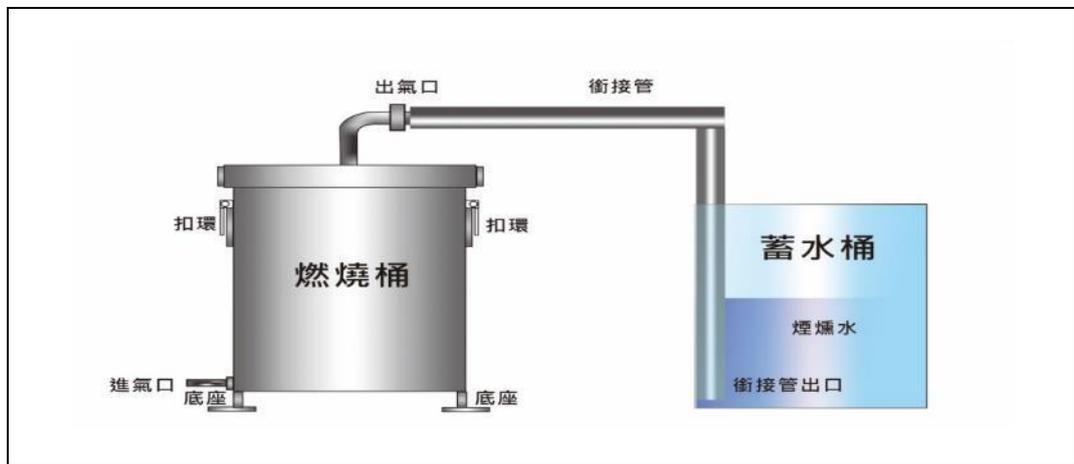


圖2. 第一代煙燻水設計初稿

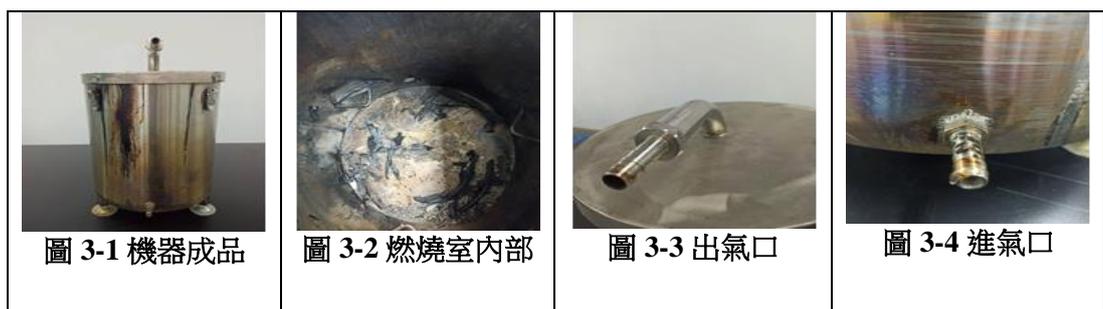


圖3. 第一代煙燻水內部構造

**結果：**

1. 稻梗處理量：燃燒桶內部有效容積 7250 立方公分，每次能燃燒的稻梗量約 2 公斤，所需處理時間 25 分鐘，對於大面積農耕地幫助微淺。

2. 煙燻水產量：燃燒時間與處理調配時間須將近 1 小時，煙燻水一次產生量為 15 公升，產量亦不夠。
3. 空氣汙染指數：本研究使用型號 T300-AQ 攜帶式空氣品質偵測器，CIAQ (Composite Index of Air Quality)，一般而言，CIAQ 數值愈低，空氣品質愈佳，第一代煙燻水製造機 CIAQ 指數為：49，對照 AQI 空氣品質指數落入 102，屬於不適於敏感人群，大約與香火鼎盛廟宇的空氣品質相等。

#### 討論：

1. 第一代煙燻水製造機，產量小，製作時間冗長，且空氣品質不佳，產生之煙燻水調配不易。
2. 經商討過後決定從新設計，改善產量、製作時間、空氣品質與煙燻水調配問題。

### 【實驗 A2】第二代煙燻水製造機設計

**前言：**由於第一代的容量非常不足，因此本研究改變設計，將稻梗燃燒部分和煙燻水冷凝部分加以分開並擴大容積。空氣泵浦改用變頻器風扇控制控制進風量，加以增快控制稻梗燃燒速度。煙燻水冷凝內部使用六個灑水噴頭，增加水霧在機器內的覆蓋面積，也能使稻梗燃燒的煙霧以最高效率冷凝。新增抽水馬達與繼電開關，得以讓清水不斷循環。

**步驟：**大幅修改前代設計，並加入馬達控制系統與排煙裝置，且使用噴水頭做冷凝裝置，以下為第二代儀器各部分詳述：

1. 燃燒室：由方形大容量獨立空間，腳架離地 15 公分，並以掀蓋方式方便稻梗置入，上接集煙室。
2. 集煙室：新增設計，其目的為將燃燒後煙霧集中，再流入煙燻水製造室內，為銜接下部燃燒室與左側煙燻水製造室的中繼帶。
3. 產生室：新增設計，主要目的是利用噴水方式將煙霧冷凝，進而調配出煙燻水，其他細部如下：
  - (1) 主體結構：由大容量方形不鏽鋼組成，主要處理集煙室流過來之煙燻物質，再透過其內噴水系統冷凝。
  - (2) 灑水噴頭：設計 6 個灑水噴頭，將集煙室流過來之煙霧，透過噴水冷凝方式收集煙燻水。

- (3) 收集桶：由主體下方裝設流動開關，將與清水充分混合後之煙燻水匯流至收集桶內。
4. 水循環設備：新增設計，利用抽水馬達將混合的煙燻水抽出再循環，重複循環可以控制煙燻水濃度。
5. 排放設備：設計位於煙燻水生產室頂部，彎管造型內部有空氣濾網，過濾煙燻水製程結束後產生的煙霧。

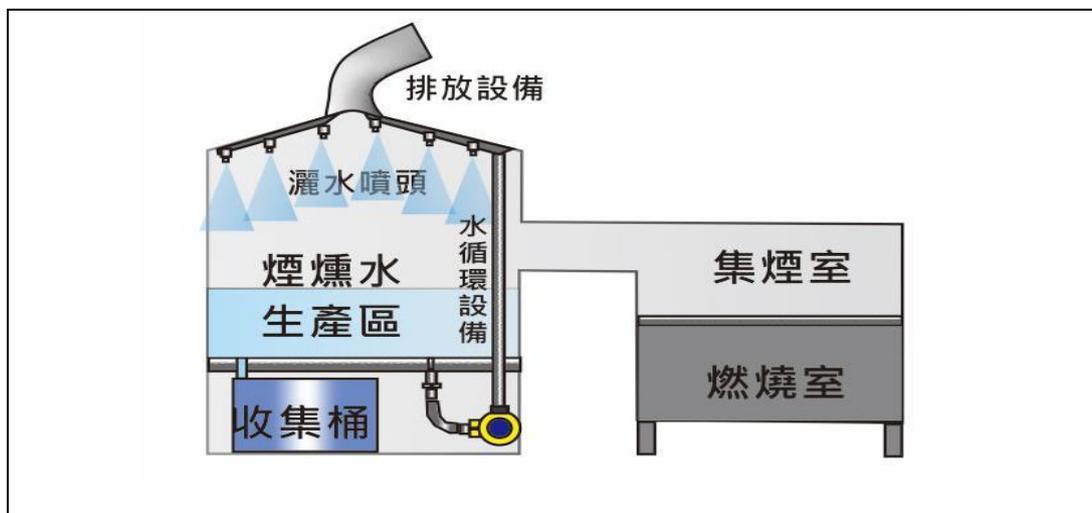


圖 4. 第二代煙燻水設計初稿

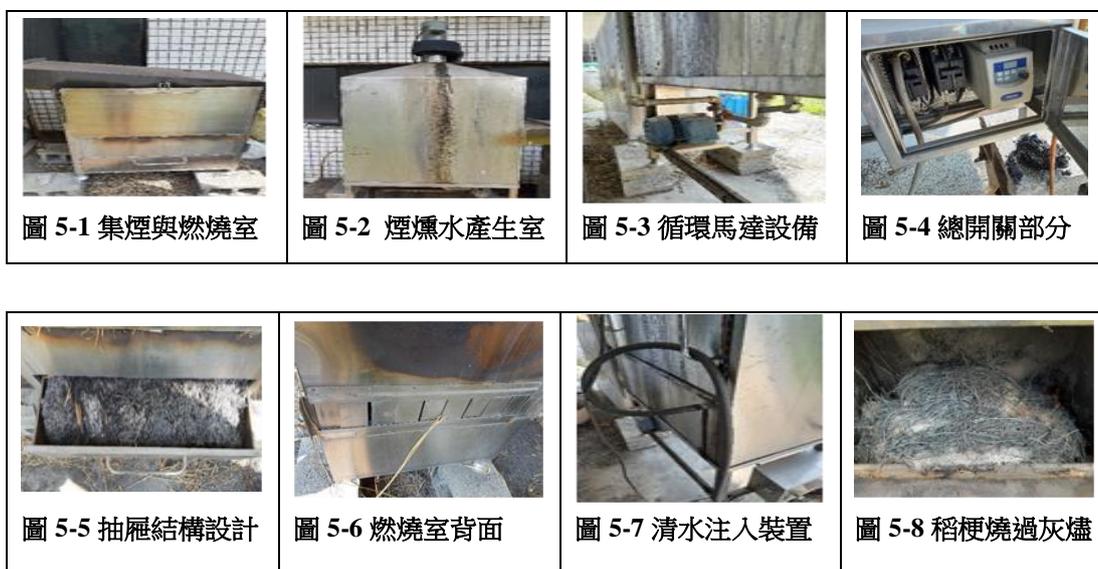


圖 5. 第二代煙燻水內部構造

**結果：**

1. 稻梗處理量：燃燒桶內部有效容積提升 1845000 立方公分，每次能燃燒的稻梗量約 8 公斤，所需處理時間 2 小時，可適用於大面積的農地。

- 2.煙燻水產量：燃燒時間與處理調配時間縮短至 2 小時，煙燻水一次產生量為 200 公升，產量充足。
- 3.空氣汙染指數：CIAQ ( Composite Index of Air Quality) ， 測試結果指數為：5 ， 對照 AQI 空氣品質指數落入 13 ， 屬於安全等級，符合環保規章。

### 討論：

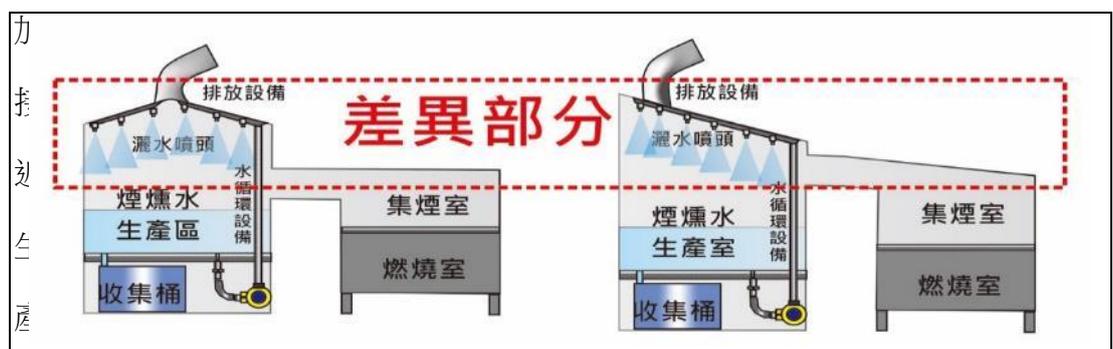
- 1.第二代煙燻水製造機，產量大，製作時間縮短，且使用抽水馬達循環煙燻水，濃度調整較易控制。
- 2.二代製造機大幅改良一代的缺失，唯一較大的缺失，集煙室與煙燻水生產室之間煙霧流動有瑕疵，煙霧會從燃燒室縫隙排出，針對煙霧流動路線問題，本實驗改良後設計出第三代。

### 【實驗 A3】第三代煙燻水製造機設計

**前言：** 第三代設計，主要改善煙霧流動問題，設計採用斜頂式，讓煙霧順著斜頂流動再由排放設備排出。

**步驟：** 本研究第三代，修改幅度主要在集煙室與煙燻水生產室頂部，以下為比較第二代與第三代差異：

- 1.本研究將第二代的集煙室與煙燻水產生室重新進行設計。從原來的平頂與尖頂改成斜頂式（如圖所示），讓煙的行經途徑更加地流暢，進而使煙和水冷凝效率更近進一步提升。而燃燒室和煙燻水生產室之間的通道，在近生產區的那邊更

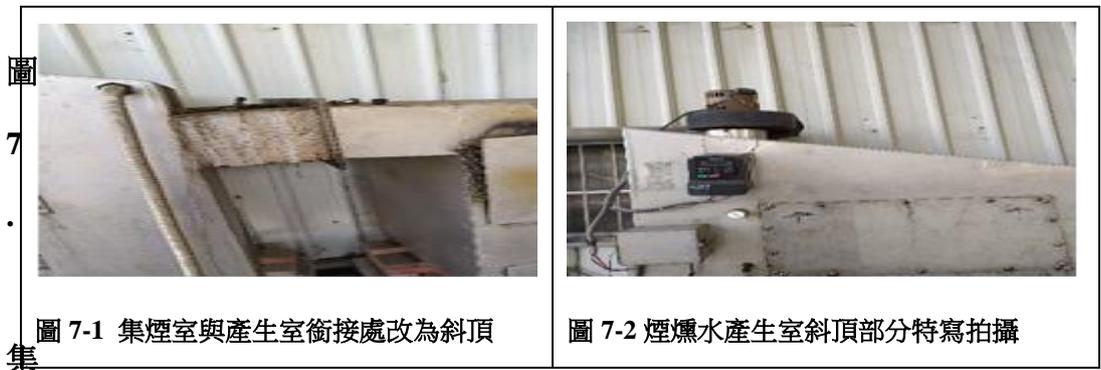


區

頂部。

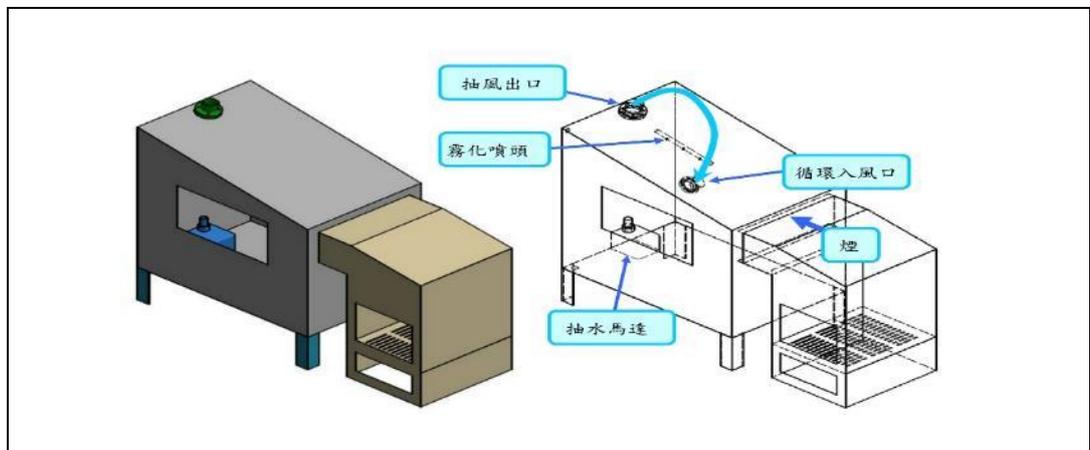
圖 6. 第二代與第三代設計差異部分。

2. 原二代變頻器和抽水馬達的開關，與總電源開關是分開設計，在操作和維修上會有諸多不便，第三代則將機電結構合併，集中在一個總控室方便操作。



煙室與煙燻水產生室。

3. 第三代設計細節，包含抽風出口、霧化噴頭、抽水馬達、循環入風口等，如下所示：



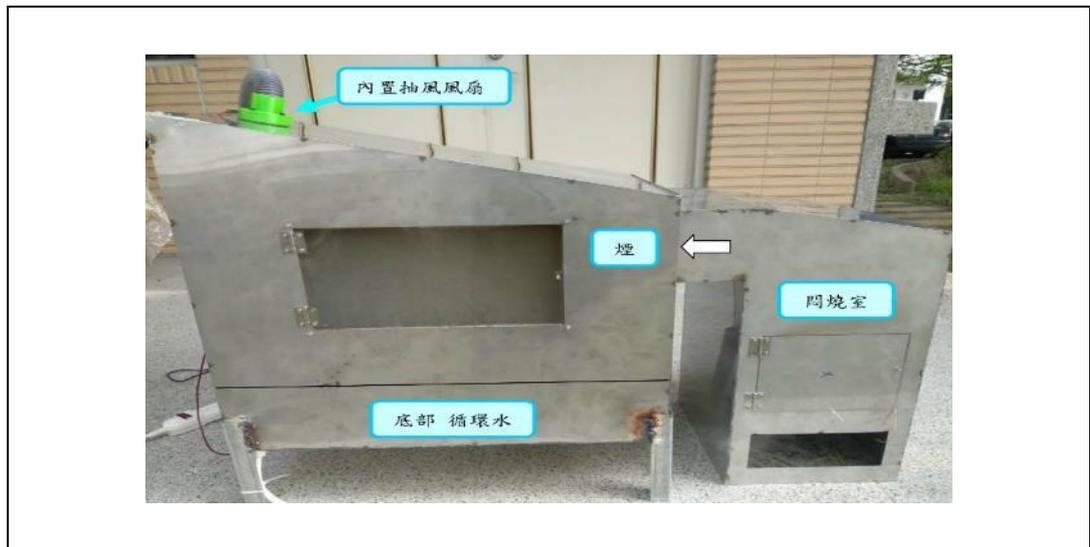


圖 8. 第三代細部設計與完成品

### 結果:

1. 稻梗處理量：燃燒桶內部有效容積稍稍提升 2001000 立方公分，每次能燃燒的稻梗量約 10 公斤，所需處理時間 3 小時，並無改變。
2. 煙燻水產量：燃燒時間與處理調配時間縮短至 3 小時，煙燻水一次產生量為 350 公升，產量充足。
3. 空氣汙染指數：CIAQ ( Composite Index of Air Quality)，測試結果指數為：5，對照 AQI 空氣品質指數落入 13，屬於安全等級，符合環保規章。

### 討論:

1. 第三代煙燻水製造機，有效改善煙霧路徑，達到良好的排煙效果，煙霧不再由燃燒室滲出。
2. 由於第二代抽風機的位置為煙燻水產生室正中間，可能有些氣體還沒完全經過冷凝就被排放出去，因此決定研發第三代。第三代和第二代最大的不同在於排放設備抽風機的位置和煙燻水產生室(如圖 4-2)，本研究將抽風機的位置換到距離燃燒室最上面的頂部(如圖 6-2)，而頂部的設計為了能夠符合熱空氣對流原理，改成傾斜的頂部。

## B. 煙燻水調配分析

### 【實驗 B1】煙燻水成分分析

**前言：** 本實驗藉由氣相層析質譜儀檢測煙燻水成分，希望了解煙燻水成分，並且分析成分中對農作物有益的化合物。

**步驟：**

1. 煙燻水的成分分析需使用到氣相層析質譜儀 (Gas Chromatography, GC)，由於本校並無氣相層析質譜儀，因此借助環球科技大學生科系設備來檢測成分，在此感謝環科大生科系師生們熱情贊助。
2. 煙燻水中混合物成分分析亦使用氣相層析質譜儀，同樣借助環球科技大學生科系設備分析完成。

**結果：**

**表 3. 煙燻水的成分分析**

Parameter	Value	Parameter	Value
pH	4.6	P	110ppm
EC	2.17ms/cm	K	200ppm
Sucrose	42.00ppm	Ca	2.4ppm
Fructose	25.00ppm	Mg	0.53ppm
Glucose	71.00ppm	Mn	0.03ppm
Tartaric acid	720ppm	Zn	0.52ppm
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.96ppm	B	6.51ppm
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	309.85ppm	F <sup>-</sup>	85.25ppm
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	6,135ppm	Cl <sup>-</sup>	12.17ppm
Total Soluble	1.98%	Totalphenolic compound	1,471ppm
Sugar		Total free amino acid	0.392 μmole/ml
Ethylene	1.7nmole C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /ml SW		

**表 4. 煙燻水中的混合物分析**

編號	保留時間	高峰區	峰鑑別	分子式	分子量
1	9.81	57455	2-Hydroxyethyl formate	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	90.0779
2	10.98	270596	2-Cyclopenten-1-one	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O	82.1000
3	11.38	81091	2-Cyclopenten-1-one,2-methyl-	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	96.1300
4	11.49	136325	1-Hydroxy-2-butanone	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88.1051
5	13.93	271228	2-Furancarboxaldehyde	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	96.0841
6	14.02	262396	2-propanone,1-(acetyloxy)-	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	116.1152

7	15.05	111193	Ethanone,1-(2-furanyl)-	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	110.1106
8	15.22	88496	1H-Imidazole,1-methyl-4-nitroso-5-phenyl-	C <sub>10</sub> H <sub>9</sub> N <sub>3</sub> O	187.1980
9	15.44	204924	3-Methyl-2-cyclopenten-1-one	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	96.1300
10	15.71	59570	2-Butanone,3,3-dimethyl-	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.1589
11	15.83	64465	2-Butanone,1-(acetyloxy)	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	130.1418
12	16.01	125455	2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	110.1560
13	18.09	155932	2(3H)-Furanone, dihydro-	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	86.0900
14	18.21	108117	3-ethylcyclopent-2-en-1-one-	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	110.1537
15	19.01	394461	2-Furanmethanol	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	98.0999
16	20.21	83367	4-Methyl-2(5H)-furanone	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	98.1000
17	21.01	138671	2(5H)-Furanone	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	84.0700
18	22.77	472586	2-Cyclopenten-1-one,2-hydroxy-3-methyl-	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	112.1265
19	23.39	608430	Phenol,2-methoxy-	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	124.1372
20	24.19	205682	2-Cyclopenten-1-one,3-ethyl-2-hydroxy	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	126.1531
21	25.38	168129	2-Methoxy-4-methylphenol	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	138.1662
22	26.38	1195701	Phenol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	94.1100
23	26.88	117515	Phenol,4-ethyl-2-methoxy-	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	152.1904
24	27.88	435442	Phenol,4-methyl-	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108.1378
25	28.03	309949	Phenol,3-methyl-	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108.1378
26	29.63	256928	Phenol,4-ethyl-	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	122.1644
27	29.98	86248	2-Methoxy-4-vinylphenol	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	150.1745
28	31.25	577767	Phenol,2,6-dimethoxy-	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	154.1632

### 討論:

1. 根據氣相層析質譜儀檢測，煙燻水中含有 28 多種的化合物，主要為醇、內酯、乙醛、酸、酮、生物鹼和酚類等等。其中 2(5H)-呋喃酮，能夠刺激種子發芽。而煙燻水中含有的 9 種酚類化合物，可抑制多種真菌生長。此外，化合物中含咪唑殺真菌劑 1H-Imidazole, 1-methyl-4-nitroso-5-phenyl-，可以抑制並殺死真菌。

2. 煙燻水呈酸性，且含有大量的食物營養素，例如高濃度的鉍可以增加種子及水果的產量，以及對農作物的品質進行改良。有相關文獻提到，濕地有某些特別的作物會優先吸收鉍，尤其是稻梗。另外煙燻水中含有高含量的抗真菌酚類化合物，可以抑制微生物的生長。
3. 分析煙燻水中含有的 28 種化合物後，有些化合物的化學結構類似於丁醇，簡單來說，這中東西被稱為是「丁醇化物」，其中一個例子是 2(5H)- 呋喃酮，這是一種被分類為內酯的雜環有機化合物，這種無色的液體是通過生化途徑合成的常見天然產物。
4. 丁烯內酯是一種具有四碳雜環結構的內酯，有時它被認為是草的氧化衍生物。最簡單可以看到的丁內酯是 2-呋喃酮，這是在大自然中常見的成分，有時被簡稱為呋喃酮，而且它們被發現是因為森林大火產生出來的。
5. 煙燻水之所以能夠降低真菌的活動，可能是因為酚醛化合物的存在，其中有九種是通過氣相層析質譜儀檢測後確定的。酚醛化合物可以由酚醛和黃酮或是酚類聚合的多酚化合物組成。這些化合物會建立類似於細胞壁的結構來防禦那些可以改變細胞壁的病原體。那些化合物可以使蛋白質產生反應，它們會創造出強力的鍵結和會使蛋白質變性的反應。
6. 在抑制真菌生長的實驗中可以，煙燻水萃取物中可能有某種抗真菌的化合物，其名為 1H-Imidazole, 1-methyl-4-nitroso-5-phenyl-。咪唑是一種有機化合物，這是一種芳香雜環化合物，且被分類為生物鹼的一種二氮唑。咪唑指的是母化合物，那個咪唑是一種類似於環狀結構的雜環分類，除了取代基，這個環狀的系統代表了在生物細胞中一個重要的部分，像是組胺酸，和相關的激素組織胺。咪唑可以當作基地和當作弱酸，有很多毒素包含環狀咪唑，像是抗真菌毒素，5-硝基咪唑和殺菌劑。

### 【實驗 B2】煙燻水濃度調配

**前言**：在進行其他的實驗之前，我們要知道在多少濃度下，煙燻水的效果是最好的，並且與純水比較。

**步驟**：

1. 準備好煙燻水母液、蒸餾水、滴管、量筒。
2. 將煙燻水母液與蒸餾水融合成不同濃度的煙燻水溶液。
3. 調配出 0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%、4%、4.5%、5%、10%及 20% 的煙燻水溶液。

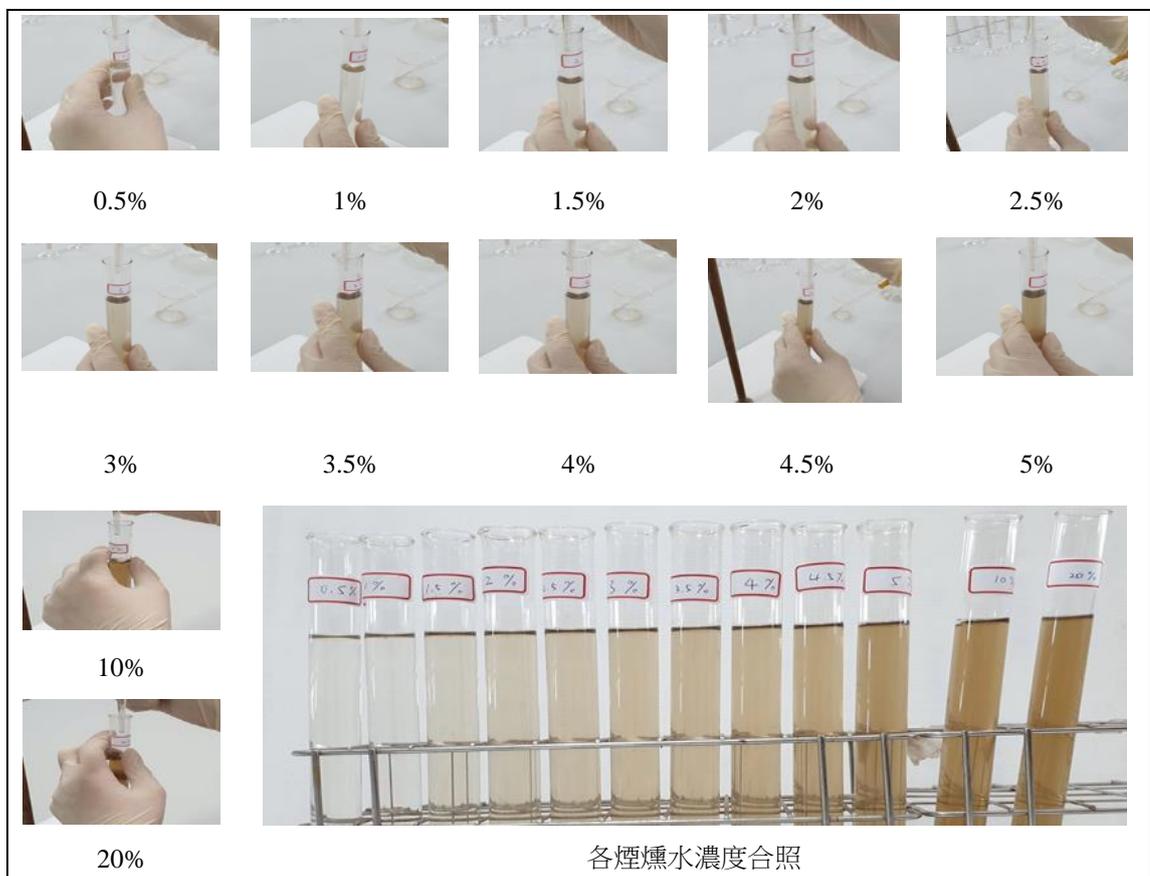


圖 9. 煙燻水濃度調配過程

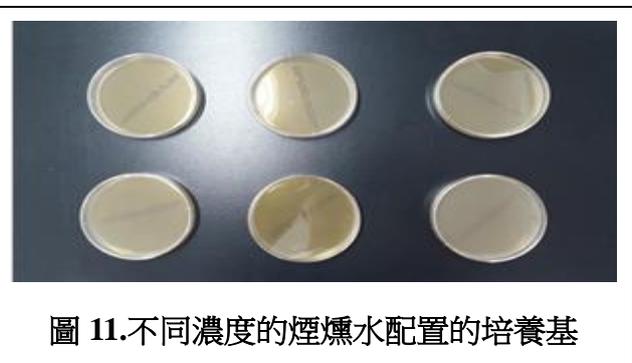
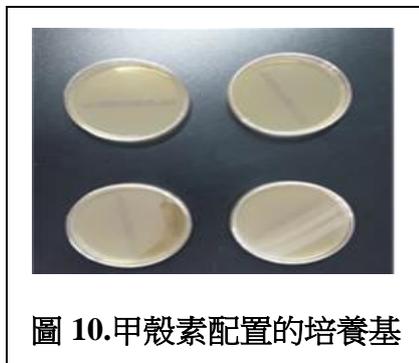
**結果**：我們發現在使用超過濃度 20%的煙燻水澆灌植物成株時，不但不會有更好的效果，反而對可能對植物有害，因為我們觀察植物兩週的結果，超過濃度 20%的煙燻水有導致植物逐漸枯萎以及生長緩慢等現象，在發現這些現象後我們就對其進行稀釋，所以後面的實驗我們全程使用低於濃度 20%的煙燻水進行實驗。

### 【實驗 B3】煙燻水添加實驗

**前言：**炭疽病及猝倒病是小黃瓜主要病害，本研究的目的是調查煙燻水或甲殼素在 V8 培養基下，評估其對真菌引起的炭疽病及猝倒病的預防效果。

**步驟：**

1. 以 0%、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5% 及 3% 的煙燻水或 0.5%、1%、1.5% 及 2% 的甲殼素配置培養基。
2. 使用配置好的培養基去培育真菌，並觀察真菌的生長情形。
3. 透過比對數據，找出最好的配置。



**結果：**

1. 菌絲生長：對於猝倒病而言，在不加煙燻水的狀況下，到了第三天，真菌菌絲的生長速度飛快，但是一但我們看到添加了煙燻水的培養基後，就可以發現，對猝倒病真菌病原的抑制能力非常明顯。而當濃度超過 5% 之後，可以發現，已經能夠完全地抑制猝倒病的發生。
2. 甲殼素添加：通過下圖的實驗記錄可以發現，未添加甲殼素的培養基，也能發現到，真菌的生長力非常好。在甲殼素濃度 1.5% 的時候，抑制炭疽病真菌病原生長的效果已經非常地明顯了，而到了濃度 2% 時，就能夠完全地抑制真菌生長。

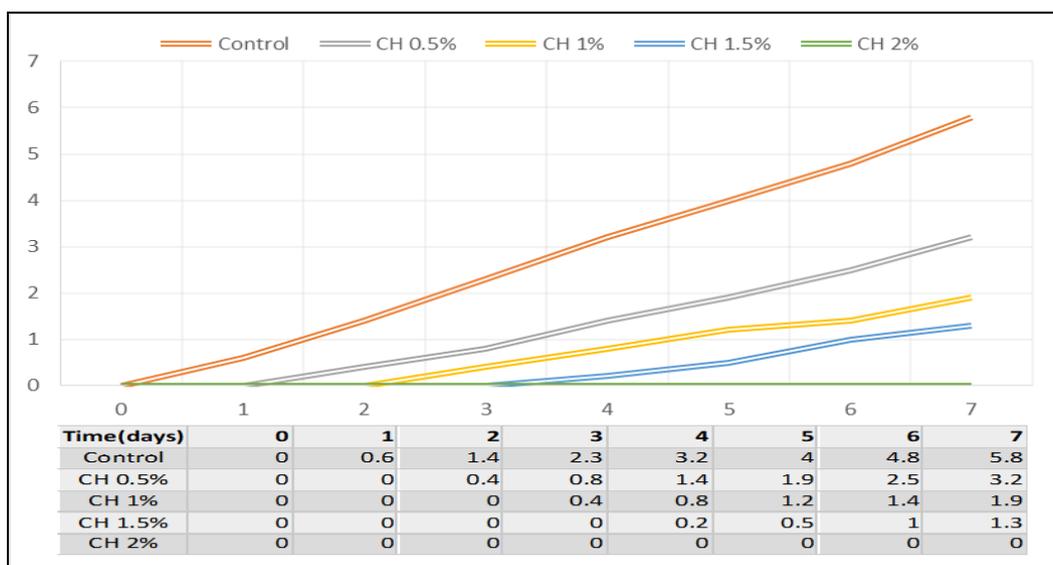


圖 12. 添加甲殼素對 A 病株真菌生長的影響

3. 甲殼素濃度比例：對猝倒病的真菌病源抑制效果更加地明顯，可以看到，即使只是添加了 0.5%的甲殼素，跟對照組相比，真菌的生長狀況已經抑制很多了。與上一個相同的是，只要甲殼素的濃度超過 2%的時候，就能夠完全抑制真菌病原的生長。

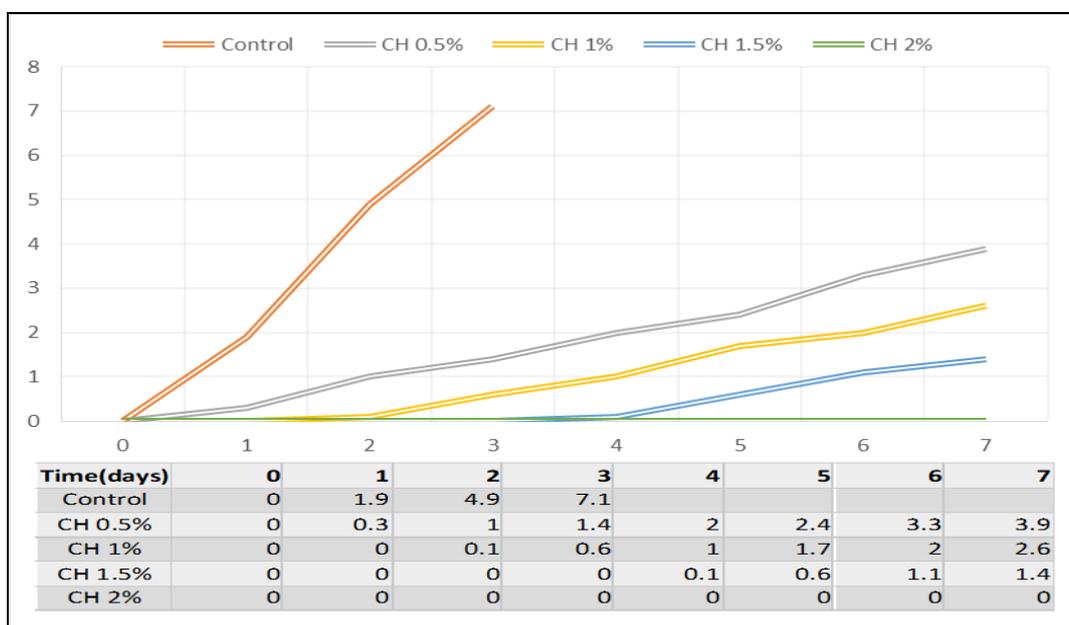


圖 13. 添加甲殼素對 B 病株真菌生長的影響

4. 煙燻水及甲殼素混合液：下圖為煙燻水及甲殼素混合液的實驗紀錄，從圖中可以看到比起單純只用煙燻水或是甲殼素的狀況，使用混合液的效果都更加地顯著，下圖中雖然沒有做到完全抑制炭疽病的生長，但是效果還是相當不錯的。

另外也提到了關於猝倒病的數據，猝倒病的生長速度似乎更為快速，但是似乎也更加地脆弱，在使用煙燻水、甲殼素及煙燻水及甲殼素混合液的實驗中發現，跟沒有添加煙燻水的對照組相比，抑制真菌生長的效果明顯好多了，一樣的是沒有做到完全抑制，不過也能在更低的濃度下獲得相同的效果。

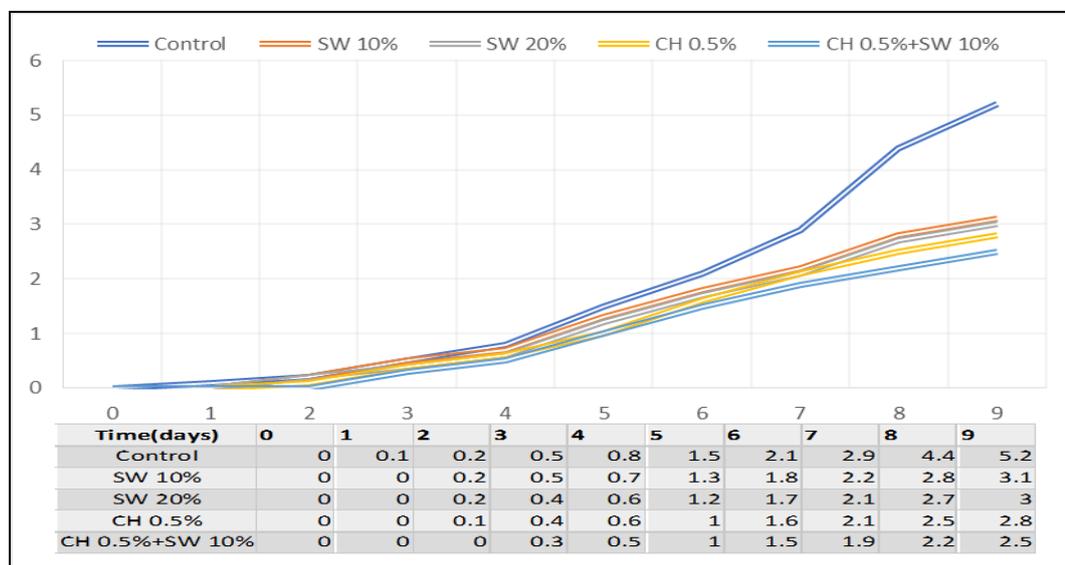


圖 14. 煙燻水及甲殼素混合液對 A 病株真菌生長的影响

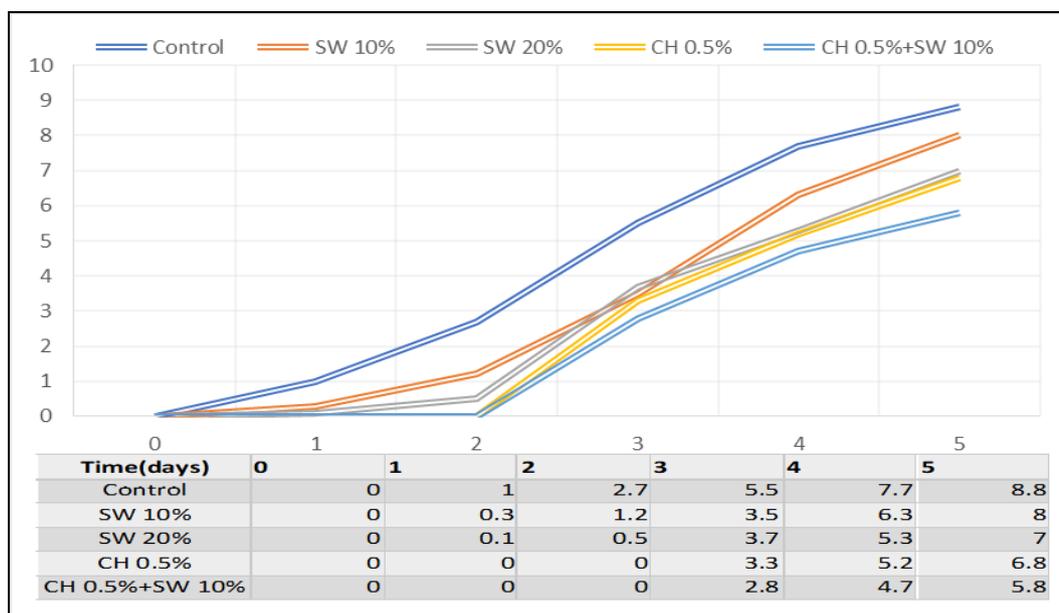


圖 15. 煙燻水及甲殼素混合液對 B 病株真菌生長的影响

#### 討論:

1. 煙燻水濃度只要超過 10% 就能夠有效的降低炭疽病的得病機率，故只需使用 10% 煙燻水。
2. 煙燻水濃度超過 5% 即可有效降低猝倒病的得病機率，故只需使用 5% 的煙燻水。

3. 甲殼素的濃度超過 2%即可降低以上兩種疾病的得病機率。

## C.農作物實驗

### 【實驗 C1】小黃瓜發芽實驗

**前言：**本研究想了解煙燻水對植物發芽的影響，在查詢資料後發現，小黃瓜種子泡水就可以發芽，能加快實驗速度，因而選擇小黃瓜作為實驗植物。

**步驟：**

1. 選取小黃瓜種子 1 組 6 顆，共 5 組平均放入培養皿中，加入 0.1%濃度的煙燻水與 5 組純水培養皿進行比較，放入生長箱觀察發芽速率。
2. 利用細線測量發芽長度，觀察四天並統計其成長量，比較其成長速度。
3. 本研究調配不同濃度之煙燻水，分別是 0.1%、0.5%及 1%，並透過實驗得出其成長差異。

表 5、不同濃度煙燻水對小黃瓜種子發芽的影響

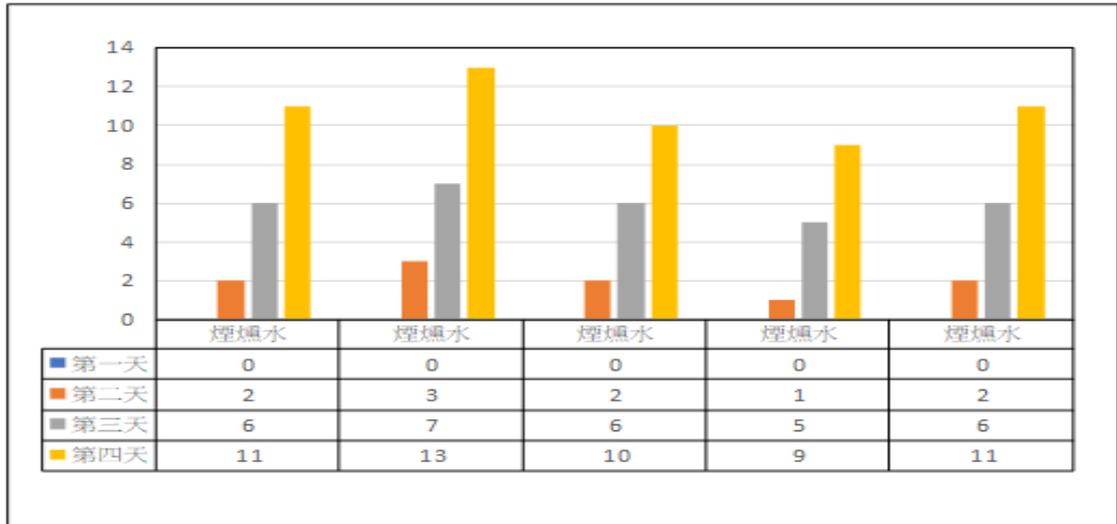
	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天
2%					
3%					
4%					



結果：

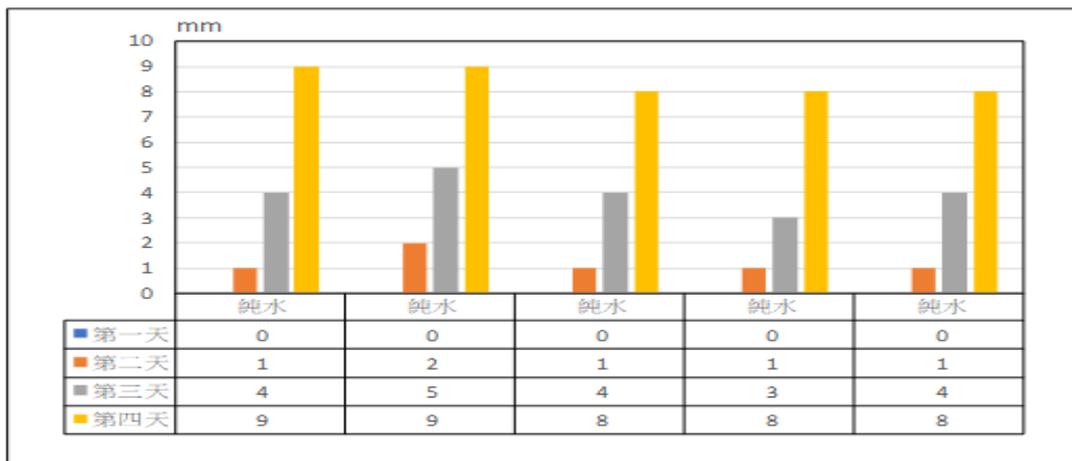
圖

16. 煙燻水發芽成長速度柱狀圖。



驗結果 6 組煙燻水發芽成長速度如下所示：

2. 實



煙

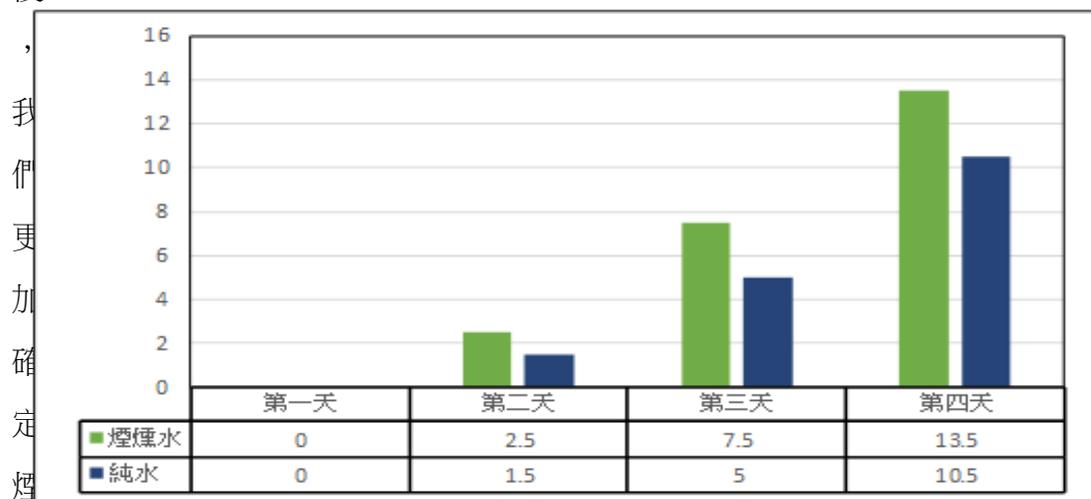
燻水發芽成長速度如下所示：

圖 17. 純水發芽成長速度柱狀圖。

圖 18. 純水發芽成長速度柱狀圖。

3. 實驗將煙燻水 6 組數據取平均值後，在與 6 組平均值純水相比較，結果顯示生長在煙燻水中的小黃瓜發芽成長速度明顯優於純水，其統計如下所示：

**討論：** 實驗結果如表 1，本研究發現不同濃度的煙燻水，對植物的發芽也有不同的成果。這個濃度現象值得探討，決定就不同濃度的煙燻水進行深入探討。在數次實驗後



煙水濃度對植物的影響深刻，我們用 0.1%、0.5%、1% 濃度的煙燻水進行接下來的實驗，在第六天記錄。

### 【實驗 C2】農作物驅蟲實驗

**前言：** 本研究為了確定煙燻水真的能夠驅蟲，而不是只對紅蜘蛛有效果，查詢資料後發現粉介殼蟲喜歡棲居於枝椏、葉背、葉腋及果實等部位，所以我們選取有粉介殼蟲的番石榴樹，每日以煙燻水噴撒，觀察其驅蟲情形。

**步驟：**

1. 選取多顆有粉介殼蟲的番石柳樹。
2. 以天為單位噴灑煙燻水。
3. 以週為單位紀錄粉介殼蟲的數量。

#### 4. 數據資料的收集與驗證。

**結果：**根據實驗我們得知，煙燻水能夠驅逐害蟲，但是煙燻水不是一灑就見效，須定期不斷地噴灑，才能有效的抑制害蟲的生長以及驅逐害蟲。

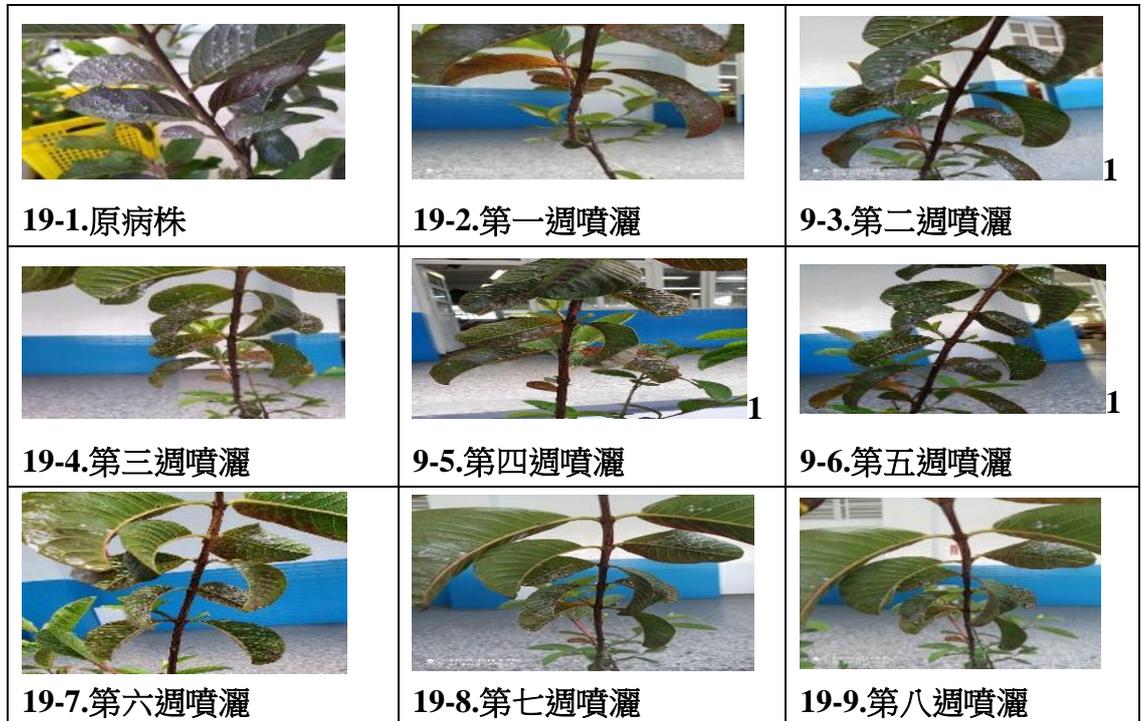


圖 19. 煙燻水驅蟲實驗

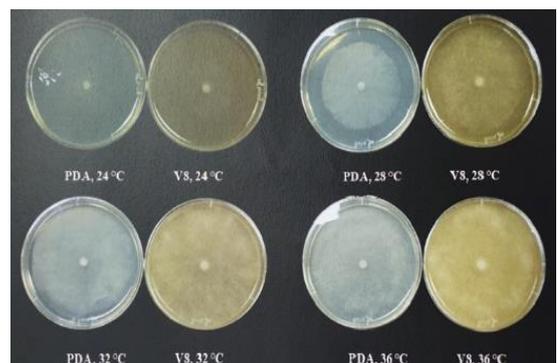
**討論：**煙燻水雖然能夠驅蟲，但需噴灑一段時間才奏效，本研究建議在田中設置多個灑水設備，以取代人力去噴灑，因為大多數害蟲都是躲在葉子的背面，一般的灑水系統是以拋物線將水灑出，因此要設計出能夠直接噴灑葉子背面的灑水設備。

#### 【實驗 C3】煙燻水疫病實驗

**前言：**我們找了 A 病株和 B 病株，並將其病葉進行提煉，且在培養皿中培養，觀察煙燻水能不能夠抑制或治癒植物的病症。

**步驟：**

1. 調製不同比例的煙燻水(0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%, 3.5%, 4%, 4.5% 和 5%)。
2. 從病葉中提煉真菌，放置於培養皿中。



3. 使用不同濃度的煙燻水滴真菌。
4. 使用 V8 培養基和 PDA 培養基兩種介質培養真菌。
5. 使用不同濃度的煙燻水澆灌真菌。
6. 透過掃描式電子顯微鏡觀察。

**結果:**

**表 6.不同介質對於真菌的生長速度**

培養基	菌絲的生長長度(毫米)		生長速率 (毫米/小時)
	12h	24h	
24°C			
PDA	7.19±0.15 b	34.10±0.11 b	2.52±0.01 b
V8	10.54±0.17 a	37.84±0.17 a	2.85±0.01 a
28°C			
PDA	16.08±0.22 b	49.22±0.16 b	2.76±0.02 b
V8	21.58±0.11 a	58.24±0.33 a	3.06±0.03 a
32°C			
PDA	25.56±0.08 b	68.71±0.15 b	3.60±0.01 b
V8	35.46±0.17 a	80.50±0.00 a	3.75±0.01 a
36°C			
PDA	28.74±0.29 b	71.61±0.47 b	3.57±0.05 a
V8	36.44±0.09 a	80.50±0.00 a	3.67±0.01 a
培養基	菌絲的生長長度(毫米)		生長速率 (毫米/小時)
	12h	24h	
PDA	20.53±0.10 b	50.70±0.11 b	2.52±0.01 b
V8	24.32±0.17 a	58.54±0.14 a	2.85±0.01 a

在不同的介質中，真菌的生長速度也不盡相同。結果顯示，在 25°C 的 V8 培養基放置 24 小時，12 小時到 24 小時之間，菌絲的成長長度從 24.32 毫米長到 58.54 毫米，生長速率為 2.84 毫米/小時，在 25°C 的 PDA 培養基同樣放置 24 小時，菌絲的生長長度從 20.53 毫米增長到了 50.70 毫米，生長速率為 2.51 毫米/小時。結果顯示，真菌在 V8 培養基中的生長速度明顯快於 PDA 培養基，兩種培養基在 36°C 的生長速度最快。

**表 7. 煙燻水濃度對真菌生長的影響**

煙燻水濃度	菌絲的生長長度(毫米)			生長速率 (毫米/小時)
	12hr	24hr	36hr	

對照組	14.24±0.11 a	40.85±0.37 a	69.13±0.12 a	2.29±0.01 a
0.5%	88.8±0.11 b	32.64±0.17 b	55.34±0.24 b	1.93±0.01 b
1%	5.26±0.07 c	21.30±0.06 c	36.40±0.08 c	1.30±0.01 c
1.5%	2.69±0.03 d	15.76±0.08 d	23.26±0.15 d	0.86±0.01 d
2%	2.05±0.08 e	11.22±0.14 e	16.53±0.17 e	0.60±0.01 e
2.5%	0.63±0.06 f	5.09±0.03 f	12.27±0.11 f	0.49±0.00 f
3%	0.00±0.00 g	1.07±0.09 g	2.93±0.11 g	0.16±0.01 g
3.5%	0.00±0.00 g	0.00±0.00 h	0.00±0.00 h	0.00±0.00 h
4%	0.00±0.00 g	0.00±0.00 h	0.00±0.00 h	0.00±0.00 h
4.5%	0.00±0.00 g	0.00±0.00 h	0.00±0.00 h	0.00±0.00 h
5%	0.00±0.00 g	0.00±0.00 h	0.00±0.00 h	0.00±0.00 h

不論是以多少濃度的煙燻水澆灌真菌，都能發現病菌的卵孢子明顯的減少。根據觀察，只有煙燻水的濃度在超過 1.5% 的時候就能夠完全抑制病菌的生長。不同濃度的煙燻水對病菌的生長也是有影響的。所有的煙燻水處理實驗中，12 到 36 小時是菌絲生長率降低最為明顯的，而 3.5% 到 5% 的煙燻水則可以有效地預防菌絲生長。透過掃描式電子顯微鏡觀察，真菌在經過煙燻水澆灌後，它原本的結構就被煙燻水破壞了。在兩種培養基中培育的不同病株的真菌，經過整理成圖表後可以發現，無論是以多少濃度的煙燻水澆灌，都能得到比對照組好的效果。

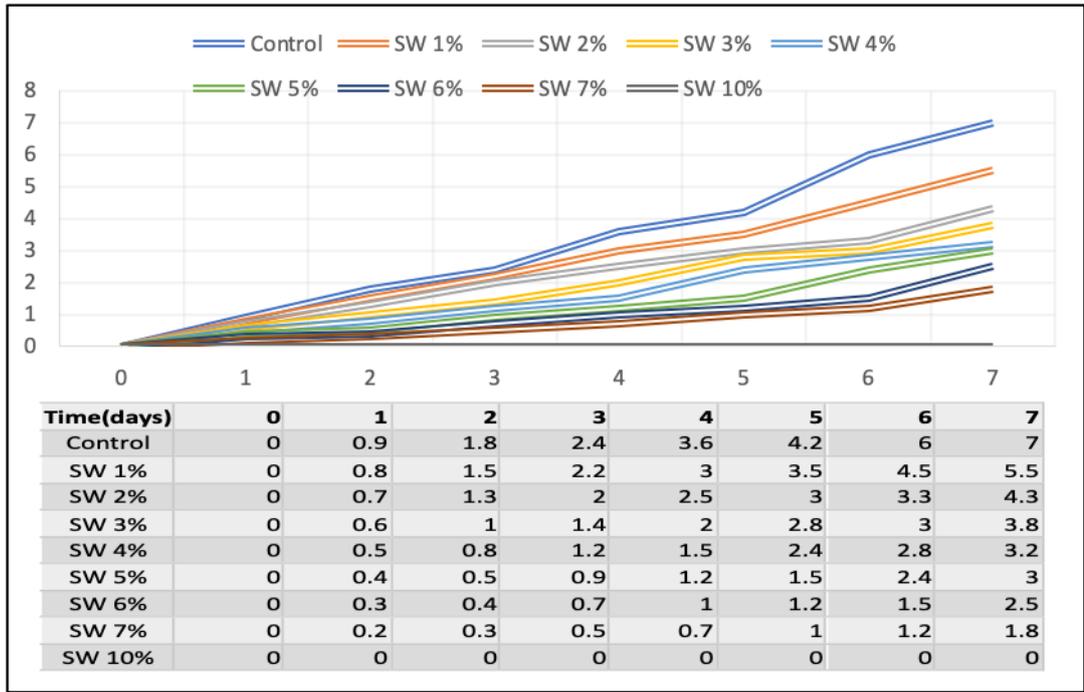


圖 21. 煙燻水不同濃度下對 A 病株真菌生長的影響

對於 B 病株真菌而言，在不加煙燻水的狀況下，到了第三天，真菌菌絲的生長速度飛快，但是一但我們看到添加了煙燻水的培養基後，就可以發現，對真菌的抑制能力非常明顯。而當濃度超過 5% 之後，可以發現，已經能夠完全地抑制 B 病株真菌的發生。

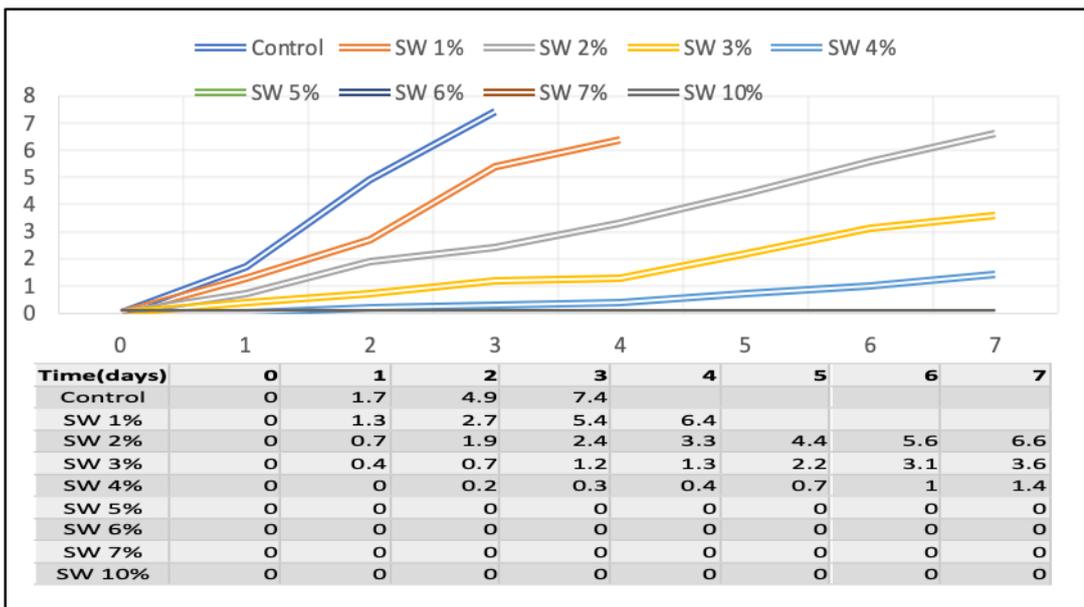


圖 22. 煙燻水不同濃度下對 B 病株真菌生長的影響

## 討論：

1. 實驗結果顯示，煙燻水的濃度在超過 3.5% 後，能夠完全地抑制病菌生長。
2. 透過觀察 A 病株及 B 病株，我們推測它可能的病應該為炭疽病及猝倒病。
3. 煙燻水濃度只要超過 10% 就能夠有效的降低 A 病株病毒的病毒生長，故只需使用 10% 煙燻水。
4. 煙燻水濃度超過 5% 即可有效降低 B 病株病毒的生長，故只需使用 5% 的煙燻水。
5. 甲殼素的濃度超過 2% 即可降低以上兩種病毒的生長。
6. 使用煙燻水及甲殼素混合液能夠在更低的濃度下達到一樣的效果。

## D. 實地應用實驗

### 【實驗 D1】玫瑰園實用狀況

**前言：**為了證明我們的煙燻水不只有數據顯示可行，我們還找了玫瑰花農與我們合作進行實驗，本研究拜託了南投縣埔里鄉的玫瑰花農，並且請他使用一年由我們的煙燻水製造機所製造的煙燻水進行灌溉。

## 步驟：

1. 提供煙燻水製造機給玫瑰花農。
2. 定期回訪玫瑰花農煙燻水的使用效果。
3. 比較使用煙燻水前後的外觀差異。
4. 比較使用煙燻水前後的成本差異。

## 結果：

### (1) 煙燻水在玫瑰花園的實際使用效果

與我們合作的玫瑰花園在實際使用上，與我們的實驗結果幾乎沒有什麼差異，除了能夠縮減玫瑰花的發芽時間之外，最明顯可以感受到的變化是蟲害的部分，由於害蟲會害怕煙燻水的味道而驅離，另一方面，有些昆蟲較喜好乾燥的環境，所以在噴灑煙燻水後，整體的濕度提升，這也是另一個使害

蟲驅離的原因之一。

(2)使用煙燻水後玫瑰園的外觀差異

使用煙燻水後，得益於玫瑰得病的機率降低，玫瑰花的整體美觀程度提升，種植出來的玫瑰也會比較健康，開花時間也會比較長。

(3)使用煙燻水後玫瑰園的成本差異

根據我們定期回訪玫瑰花農的一些談話內容，我們可以知道對玫瑰花農而言，因為煙燻水可以在一定程度上取代農藥以及肥料的一部分效果，所以在農藥以及肥料的成本上約節省三分之一，整體收益也提升了三分之一左右。



圖 23. 煙燻水噴灑前病蟲害情形



圖 24. 煙燻水噴灑幾週後病蟲害減緩情形

**討論：**上面的實驗說明了煙燻水不是只能夠應用在蔬果上，同時能夠應用在花卉上，由於種植花卉時會遇到的病蟲害非常多種，花農以藥劑來殺蟲或驅蟲，蟲也會產生抗藥性，因此要不斷的改變調配，而煙燻水是以濃烈的氣味來驅蟲，所以應用在驅蟲上不會有抗藥性的問題。

**【實驗 D2】空氣品質鑒定**

**前言**：藉由空氣品質檢測器來檢驗煙燻水製造機在生產煙燻水時的廢氣排放量是否符合環保局標準。

分類	低	低	低	中	中
指標等級	1	2	3	4	5
PM2.5 濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0 - 11	12 - 23	24 - 35	36 - 41	42 - 47

分類	中	高	高	高	非常高
指標等級	6	7	8	9	10
PM2.5 濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	48 - 53	54 - 58	59 - 64	65 - 70	> 71

表 9. PM2.5 的排放量分類

資料來源:彙整環保局網站

**步驟**：

1. 使用空氣品質檢測儀檢測尚未開啟機器時的空氣品質。
2. 啟動煙燻水製造機開始製造煙燻水。
3. 使用空氣品質檢測儀檢測機器附近的空氣品質。
4. 收集各項數據，統計後進行分析。

	剛開始	30 分鐘	1 小時	2 小時	燃燒的餘煙
當時 空氣 品質					
機器 旁					



圖 25. 空氣品質距離檢測變化圖

**結果：**實驗結果表明，使用煙燻水製造機跟露天燃燒稻草相比，降低了很多 PM2.5 的排放量，而在降低 PM2.5 排放量的同時，不只是在環保上有效果，就經濟層面上來說，花果農的成本降低、收益提高，在多個方面都有良好的效果。下面的圖表正是說明我們的實驗數據。

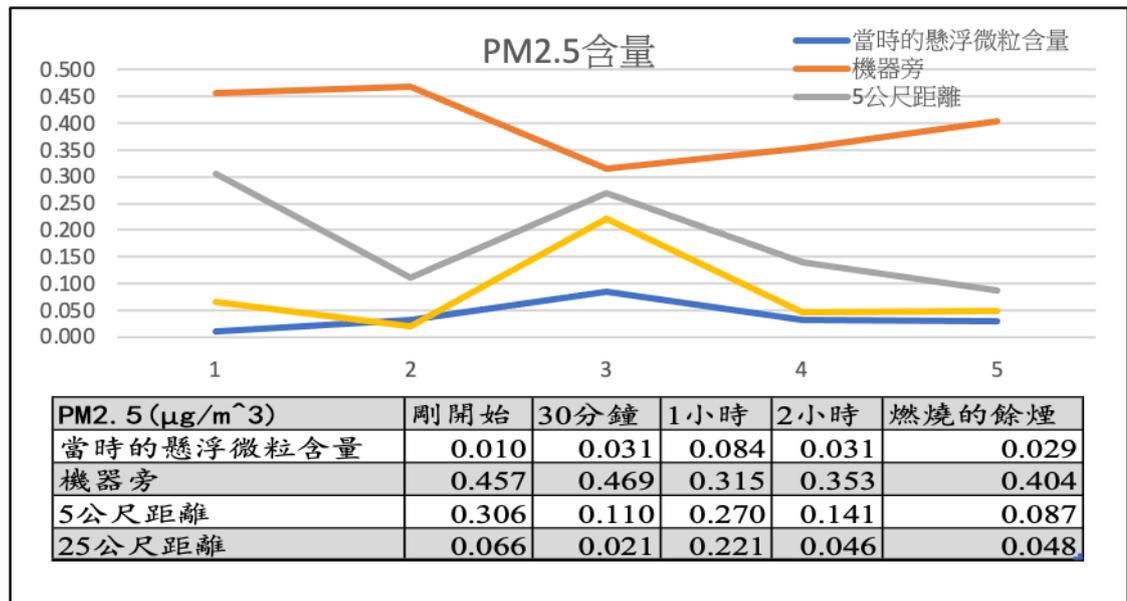


圖 26. 煙燻水排放量數據變化

**討論：**

1. 實驗結果顯示，製造煙燻水時，是符合固定污染源空氣污染物排放標準的。
2. 尋找其他方法使煙燻水製造機的污染再進一步降低。
3. 針對煙燻水製造機所排放的廢氣，還是要進行更進一步的處理，以保證將污染降到最低。

## 伍、結論

- 一、 煙燻水對於一開始直接焚燒稻梗的空氣汙染量來說，在空氣品質檢定實驗中，煙燻水製造機在露天情況下只要距離機器 5 公尺，其空氣品質是符合國家標準的，而傳統焚燒是大面積的汙染空氣。在稻梗的處理速度上，煙燻水的速度相對緩慢，而稻梗耗量上，煙燻水也相對少了很多。
- 二、 稻梗一般是以焚燒、發酵堆肥、掩埋等處理方式，但煙燻水這樣的處理方式，是相對能夠減少對環境的傷害，而且同時能夠對植物和土壤帶來好處。
- 三、 煙燻水內有 28 種化合物，內有能抑制真菌生長的酚類化合物，可刺激植物萌芽的呋喃酮，而煙燻水成為酸性，且含有大量營養素，對植物來說是一個有益無害的東西。
- 四、 煙燻水能添加甲殼素和牡蠣殼粉，能夠為煙燻水提升抑制真菌生長的能力，而在煙燻水疫病實驗中，3.5%到 5%濃度煙燻水中，能夠有效預防真菌生長。但對於不同植株，煙燻水的濃度調配也有所不同，向 A 病株必須使用 10%的煙燻水濃度，而 B 病株只需要 5%，因此要對症下藥，才能真正發揮煙燻水的實力。
- 五、 與合作的農民，對於煙燻水這項產品的回饋相當滿意，而且有效做到減少農藥量的噴灑，這樣能夠減少大量農藥成本，並且讓農民更輕鬆地通過農藥殘留檢定，還能賣出更漂亮的價格。

## 陸、參考資料及其他

- 一.林妍志(2017)。微米精鹽專利技術對冷燻鮭魚及鱈魚入味程度與口感之影響，國立臺灣海洋大學食品科學系碩士論文。
- 二.林佩緯(2014)。低溫超音波水浴處理液燻台灣鯛魚片之品質特性探討，國立澎湖科技大學食品科學研究所碩士論文。
- 三.黃于寧(2012)。臺灣土肉桂葉粉作為鴨胸肉製品燻煙材料之應用，國立嘉義大學動物科學系研究所碩士論文。
- 四.陳湄禎(2011)。煙燻水對台農二號番木瓜種子發芽、幼苗生長、抗真菌性病害及採收後果實品質的影響，國立中興大學園藝學系所博士論文。
- 五.林建利(2012)。稻作種類Chamber燃燒粒子特徵暨碳排放研究。國立雲林科技大學環境與安全衛生工程碩士論文

## 【評語】 200007

本作品研製與改良煙燻水製造機，以實驗說明煙燻水對於農作物驅蟲、防疫、種子萌芽與肥力效果等效果等，經檢測後分析出煙燻水的 28 種化合物，多種對生物種子萌發、抑制真菌生長等，確有成效。建議可多參考空污洗滌塔之資料，以強化與環境工程之關係。