

# 自走式土壤蒸汽消毒機之開發<sup>1</sup>

楊清富、潘佳辰、黃瑞彰<sup>2</sup>

## 摘 要

楊清富、潘佳辰、黃瑞彰。2022。自走式土壤蒸汽消毒機之開發。臺南區農業改良場研究彙報 80：68-77。

近年來許多農地長期連續使用，導致連作障礙影響作物生長。無論土傳性病蟲害或土壤理化性質劣化問題，現行防治方法均有不具足之處。土壤蒸汽消毒不僅能減少殺菌劑、殺蟲劑及殺草劑的施用，且利用物理方法無化學藥劑殘留問題，能降低農藥對環境的污染問題，且可提高作物產量及品質。相較於其他土壤處理方法，蒸汽處理消毒在短時間內即可獲得防治成效。本研究配合產業需求已完成「自走式土壤蒸汽消毒機」研發，作業機臺採用電力驅動無空氣汙染，適合在溫室內進行作業。利用履帶式載臺吊掛蒸汽釘床，批次式進行消毒作業。作業時遮罩式釘床罩在畦面上，蒸汽釘管插入土層深處釋放蒸汽，蒸汽侷限在遮罩內不易逸散而能使土層快速升溫。蒸汽處理過之土壤經採樣分析結果顯示，土壤電導度及有機質處理前後未達到顯著差異。有效性磷、交換性鉀在蒸汽處理後皆有下降的趨勢，並於處理 1 個月後回升。蒸汽處理後 FDA (Fluorescein diacetate hydrolysis) 減少達到顯著差異。放線菌群並未因蒸汽處理而減少，溶磷菌則受到蒸汽處理影響。本技術未來可應用於降低土傳性病蟲害、殺滅雜草種籽及改善連作障礙。

**現有技術：**現行蒸汽消毒之做法於畦面上鋪設蒸汽管，其上方再覆蓋耐熱帆布，使高溫蒸汽由畦面滲入土層進行消毒，作業方式費時費工。

**創新內容：**機臺利用電力驅動操作簡便，無空氣汙染及噪音，適合在溫室內進行作業。

**對產業影響：**本技術可應用於降低土傳性病蟲害、改善連作障礙及殺滅雜草種籽，能減少化學藥劑使用及降低人工成本。

**關鍵字：**自走式、蒸汽消毒、土壤

**接受日期：**2022 年 8 月 18 日

---

1. 行政院農業委員會臺南區農業改良場研究報告第 552 號。

2. 行政院農業委員會臺南區農業改良場副研究員、助理研究員、副研究員。712009 臺南市新化區牧場 70 號。

## 前 言

土壤傳播性病害防治的方法有：淹水、輪作、土壤燻蒸、土壤添加處理、抗病育種、太陽能消毒、蒸汽消毒及綜合防治等<sup>(8)</sup>。淹水、輪作、土壤添加處理，受栽培習慣、耕作制度及耕作環境影響，受限因子多。土壤燻蒸使用溴化甲烷，因有環保考量已在禁用之列。太陽能消毒受天候條件影響，且需要較長的處理時間。蒸汽消毒不受環境影響、處理時間短、無化學成份殘留問題及具多效防治效果，近年來研究顯示蒸汽消毒對土壤的物理、化學結構破壞性低。利用高溫蒸汽來對土壤消毒滅菌<sup>(11,12,14)</sup>，已被大量應用農業土傳性病害防治。劉<sup>(7)</sup>應用蒸汽機產生之高壓蒸汽，進行菊花苗床之沙土消毒，結果顯示蒸汽消毒能同時防治菊花莖腐病、根腐病及軟腐病等菊花育苗期土壤傳播性病害。王等<sup>(2)</sup>利用蒸汽處理土壤，觀察東方甜瓜植株從幼苗至採收過程之生長情形。結果顯示土壤經過蒸汽處理後對東方甜瓜植株及果實生育均具正面效果。李與呂<sup>(4)</sup>以葵百合 (*Lilium oriental hybrid cv. Stargazer*) 利用蒸汽消毒防治百和黃化型病毒。結果顯示蒸汽消毒除能防治病害外，且可持續每年連續兩次百合之生產，解決百合無法連作之問題。陳<sup>(5)</sup>以 80℃ 之蒸汽處理百合 (*Lilium hybridum Hort.*) 栽培介質 30 分鐘，結果消毒後之介質未測得病原菌，使百合植株黃化枯死率平均由 16.3-25.6% 降至 1.9 ~ 3.7%。Jarvis<sup>(11)</sup> 研究顯示蒸汽溫度在 60 ~ 80℃ 下可使大部分之病原真菌或細菌死亡，但仍有其他較耐高溫之非病原性菌類存在，具選擇性殺菌效果，且溫度降得快，可解決連作問題。劉等<sup>(6)</sup>使用高壓蒸汽消毒土壤，以 60℃ 維持 30 分鐘，或以 80℃ 維持 20 分鐘可消除預藏於土壤內唐菖蒲與青蔥球莖的根蟻。王<sup>(1)</sup>以溫度 60 ~ 80℃ 之蒸汽對介質進行 20 ~ 30 分鐘之燻蒸，消毒前舊介質含有鐮胞菌 (*Fusarium spp.*)、腐黴菌 (*Pythium spp.*)、立枯絲核菌 (*Rhizoctonia spp.*) 等多種病原菌，消毒後僅可測出少許鐮胞菌 (*Fusarium spp.*) 殘存。pH 值及與導電度 EC 值消毒前、後均無明顯變化且適合花卉栽植。土壤蒸汽消毒具有無農藥殘留及環境污染的優點，除植物病原菌外，蒸汽消毒同時可殺死地下害蟲及雜草種子，能減少甚至不用殺蟲劑及殺草劑，降低化學藥劑對環境生態的影響。土壤生物相及雜草之致死溫度<sup>(8)</sup>詳如表 1，蒸汽消毒後植物病原真菌、細菌及線蟲均被消滅，絕大部分病毒不活化，殘存的微生物多為具產生抗生素潛力的細菌及放射線菌<sup>(9)</sup>。目前國內蒸汽消毒常

表 1. 土壤生物相及雜草之致死溫度 (處理時間：30 分鐘)

Table 1. Lethal temperature of soil biophase and weeds (Treatment time: 30 minutes)

溫度℃	致死之土壤生物相
100	所有病原為生物雜草
93	耐熱性的病毒、雜草
82	大多數雜草及病毒；所有植物病原細菌
60 ~ 71	大多數植物病原真菌及細菌
49 ~ 60	立枯絲核菌
49	線蟲
38 ~ 49	水生藻類

鄭等，1997

見的方法<sup>(9)</sup>有：在畦面上鋪設蒸汽管，為避免熱蒸汽外散，其上方再覆蓋耐熱帆布。使高溫蒸汽由畦面滲入土層進行消毒，作業方式頗費時且費工。蒸汽需較長時間才能由表面抵達深層土壤，同時有溫度分布不均的情形，導致消毒效果不佳。另有方法是以蒸汽管如犁耙般深入土層，利用自動捲線器緩速拖拉，蒸汽管一邊移動一邊釋出蒸汽。此法雖然蒸汽噴出位置較深層，但蒸汽持溫時間較短，往往消毒效果不如預期。現行做法無論是布管、覆蓋耐熱帆布或搬動蒸汽釘床，均需仰賴大量人力，付出高額人工成本。本研究研發電動載臺解決蒸汽消毒移動性及操作性的問題，能使蒸汽消毒作業更為簡便。

## 材料與方法

### 一、試驗材料

自走式蒸汽消毒機由履帶式行走載臺、遮罩式蒸汽釘床、控制單元及蓄電池所組成。履帶式行走載臺由龍門式車架、履帶驅動組及直流馬達減速機組成(圖1)。蒸汽釘床由不銹鋼遮罩、蒸汽管道及管針所組成(圖2)。控制單元由無線遙控模組及配電盤組成。蒸汽釘床附掛於龍門車架下方，由電動推桿進行升降控制。當抵達消毒作業位置時，蒸汽釘床藉由自重及電動推桿向下施力壓入畦面，接妥蒸汽管後即可進行消毒作業。完成定點消毒後，控制電動推桿向上即可將蒸汽釘床向上拉升。再控制載臺行走一個釘床長度，並重複下壓釘床、導通蒸汽、拉升釘床，即可逐步完成消毒作業。作業時需由額外蒸汽鍋爐配合產生高溫蒸汽。本試驗蒸汽鍋爐採用潔康公司生產之貫流型蒸汽鍋爐(型號：CK200)，蒸發量為 200 kg/h；傳熱面積 4 m<sup>2</sup>；使用壓力 4 kg/m<sup>2</sup>；限制壓力 10 kg/m<sup>2</sup>。

### 二、試驗方法及步驟

#### (一) 蒸汽消毒土層溫度監測

為瞭解蒸汽消毒土層溫度變化，以 GRAPHTEC GL-240 資料紀錄器配合熱電偶(Thermocouple K Type, 圖3)。將溫度探頭預先埋設於土壤表層、深度 5 cm 及深度 10 cm 處，設定採樣周期 10 秒，蒸汽消毒時進行溫度量測及記錄。

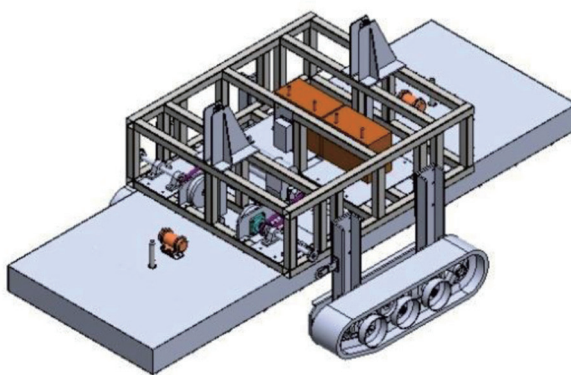


圖 1. 自走式土壤蒸汽消毒機

Fig. 1. Self-propelled soil steam sterilizer



圖 2. 蒸汽釘床  
Fig. 2. Steam Nail Bed



圖 3. GRAPHTEC GL-240 資料紀錄器  
Fig. 3. GRAPHTEC GL-240 Data logger

## (二)自動作業流程

蒸汽消毒作業為批次作業，作業時操作人員不斷重複定位、下降釘床、蒸汽燻蒸 10 分鐘、抬升釘床、移動 3 米的程序。對於這種重複的作業流程，非常適合透過單版微電腦進行作業控制。歸納作業流程如圖 4 所示，本研究利用 Arduino Uno 板作為控制核心，輸出/輸入埠連接感測器傳輸訊號及控制相應之致動器 (Actuator) 建構自動作業控制系統，外接感測器接線如圖 5 所示。主要感測器為偵測釘床位置

之極限開關(圖 6)，及利用光遮斷檢測模組檢測行走距離(圖 7)。土壤蒸汽消毒透過自動作業能大幅改善人工操作性及作業效率。

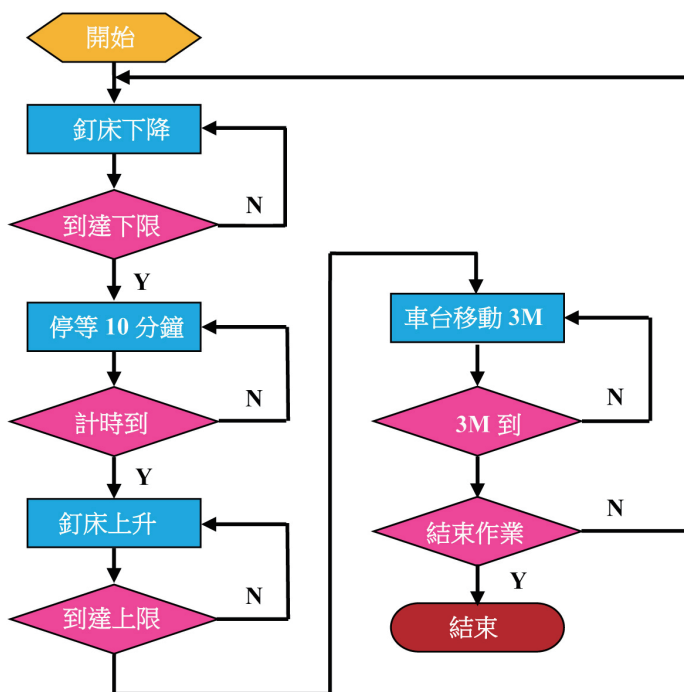


圖 4. 土壤蒸汽消毒機作業流程圖

Fig. 4. Flow chart of soil steam sterilizer operation

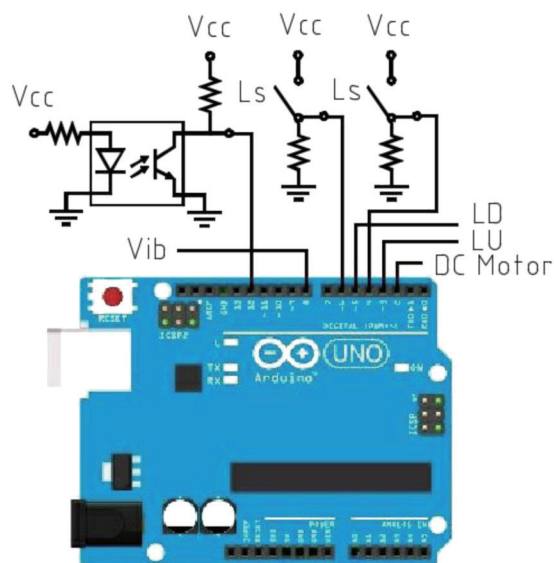


圖 5. 單板微電腦控制接線圖

Fig. 5. Single board microcomputer control wiring diagram

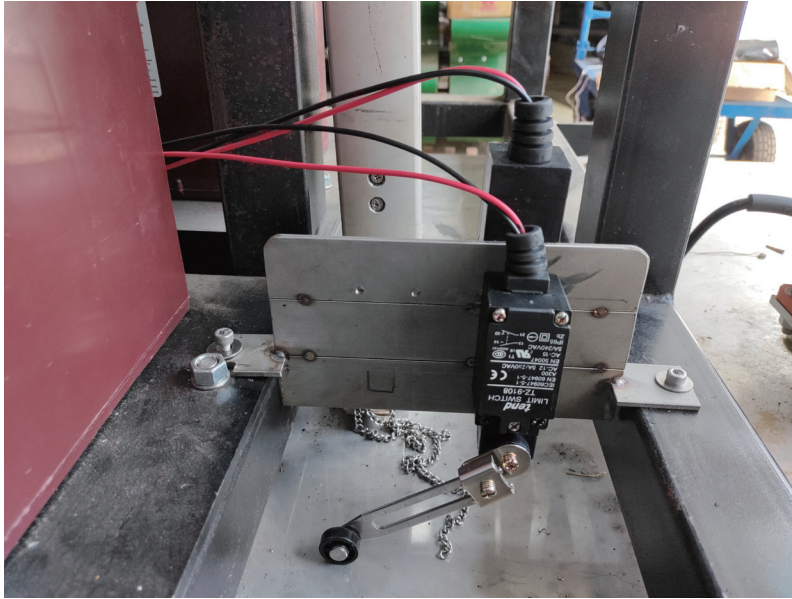


圖 6. 極限開關偵測釘床上下限位置

Fig. 6. The limit switch detects the position of the nails bed

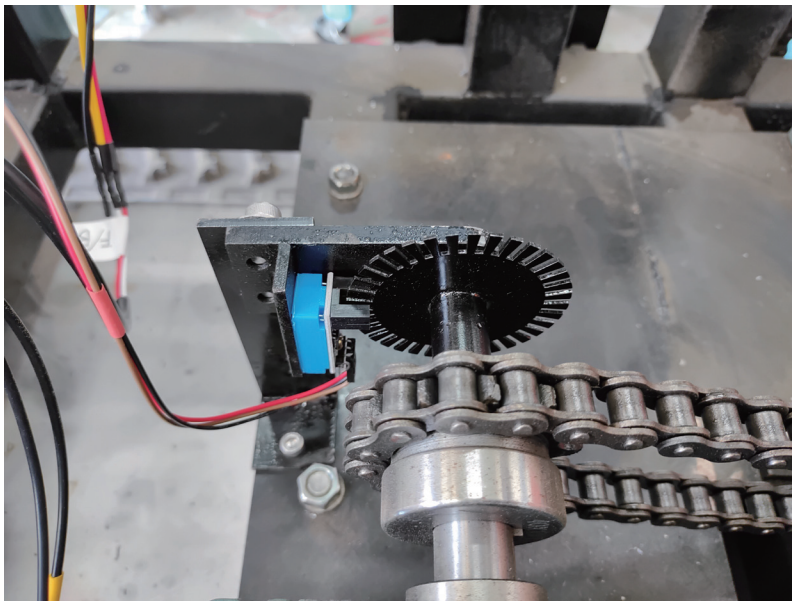


圖 7. 光遮斷模組檢測行走距離

Fig. 7. The photo-interruption module detects the moving distance

### 三、土壤採樣

配合太康有機蔬菜園區栽培試驗，將採樣時間分為處理前、處理後及處理後 1 個月，每一區採集 3 處 0 ~ 15 公分表土。土壤先分為新鮮土及陰乾土。陰乾土經陰乾、粉碎及過篩後備用；新鮮土壤儲存於 4° C 備用。

#### 四、土壤肥力調查

陰乾土壤進行土壤酸鹼值、導電度、有機質、交換性磷、鉀、鈣、鎂分析<sup>(10)</sup>。

#### 五、微生物調查

秤取新鮮土 10 公克加入 95 毫升無菌水，經震盪、過濾、連續稀釋後，取稀釋倍數  $10^{-4}$ 、 $10^{-3}$ 、 $10^{-2}$  之稀釋液塗膜於無氮培養基 (Himedia, M372)、溶磷菌培養基 (Himedia, M520) 及放線菌培養基 (starch casein agar)。溫度條件皆為 28°C；無氮、SCA 培養條件培養 4 天、溶磷菌培養基 7 天後計算菌數。

#### 六、螢光二乙酸水解法 (Fluorescein diacetate hydrolysis, FDA)

修改自 Sanchez-Monedero<sup>(13)</sup>。秤取新鮮土壤 1 g 依序加入 10 mL 磷酸鉀緩衝液及 200  $\mu$ L FDA 基質置於 30°C 恆溫震盪箱 20 分鐘 (200 rpm)。震盪後加入 10 mL 丙酮終止反應並充分混合約 10 秒。以 Waterman No.2 濾紙過濾。取出 1 mL 濾液放入 1.5 mL 離心管離心 5 分鐘。取上清液 200  $\mu$ L 於樣品盤中以分光光度計 (490 nm) 進行分析，記錄讀值，供判定土壤中微生物活性高低比較。

## 結果與討論

- 一、土壤蒸汽消毒能將有害的植物病原族群降到最低，留下耐熱性的微生物。同時亦可殺死地下害蟲、微生物及雜草種子。因而減少或甚至不用殺蟲劑及殺草劑，降低農藥對環境生態的影響。
- 二、蒸汽消毒後土壤溫度降至常溫就可以進行種植，相較於其他方法更具時效上的優勢。
- 三、本研究利用蒸汽鍋爐產生 105°C 蒸汽於田區進行試驗。透過預置溫度計進行檢測，土層溫度變化如圖 8 所示。持續供應蒸汽 10 分鐘後停供，測得深度 10 cm 土壤 1 分鐘內可升溫至 75°C。停供蒸汽 30 分鐘後土溫仍可維持在 75°C 以上。降至常溫 (25°C) 約需 8 ~ 9 小時。
- 四、透過管針進行土壤蒸汽消毒時，蒸汽從土壤深層排出，可確保深層土壤消毒效果。蒸汽向水平及垂直滲透，使土壤溫度快速升溫並均勻分布，同時藉由土壤的低熱傳導性獲得較長的保溫效果。藉此，本研究以每次燻蒸 10 分鐘的方式，亦可使土壤升溫至 75°C 以上並保持 30 分鐘以上達到土壤消毒的條件<sup>(8)</sup>。
- 五、燻蒸後進行土壤取樣檢驗線蟲數量及試驗後觀察雜草萌芽狀況。結果顯示殺滅根瘤線蟲及雜草種子均具良好成效。
- 六、土壤蒸汽處理對於土壤指標之影響經採樣分析，結果如表 2。總體密度於處理後由 1.2  $\text{g cm}^{-3}$  提升到 1.32  $\text{g cm}^{-3}$ 。土壤電導度處理前後約為 0.38  $\text{dS m}^{-1}$ ，於處理後 1 個月提升到 0.42  $\text{dS m}^{-1}$ ，但未達到顯著差異，然種植過程中有所施加的肥料可能為土壤電導度增加的原因。有效性磷、交換性鉀在蒸汽處理後皆有下降的趨勢，並於處理 1 個月後回升。土壤有機質處理前後未有顯著的差異。游離固氮菌群、溶磷菌群皆於處理前有最高的菌數，並隨時間逐漸下降。FDA 為評估分解蛋白質、脂質、酯類之酵素活性指標之一，蒸汽處理後 FDA 減少至 2.8 並達到顯著差異，表示相關微生物活性受到限制，然於 1 個月後提升至 16.9，微生物活性可能受到根圈分泌物、施肥或是其他操作而活化。石<sup>(3)</sup>指出部份放線菌具有耐高溫能力的的能力，故在本次調查中放線菌群並未因蒸

汽處理而減少；反之，溶磷菌則受到蒸汽處理影響。

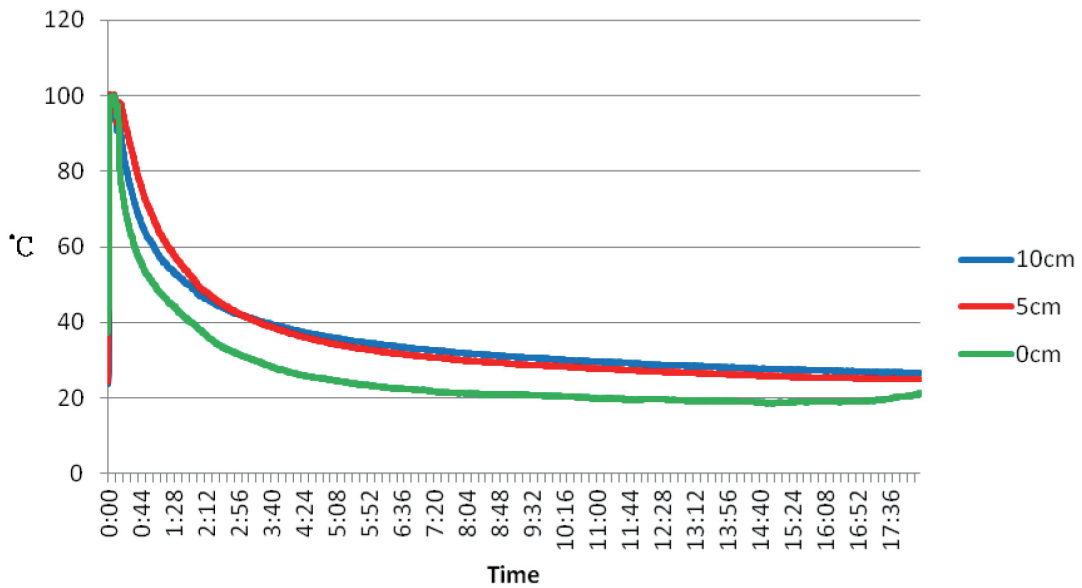


圖 8. 蒸汽消毒土層溫度記錄

Fig. 8 Temperature record of steam disinfection soil layer

表 2. 蒸汽處理對於土壤品質指標之影響及變化

Table 2. Effects and changes of steam treatment on soil quality indexes

		處理前	處理後	處理 1 個月後
物理性質	總體密度	1.20 b	1.32 a	1.33 a
	EC(dS/m)	0.38 a	0.39 a	0.42 a
化學性質	pH	7.59 a	7.70 a	7.59 a
	有效性磷	62.7 b	54.0 b	81.2 a
	交換性鉀	112.9 a	100.2 a	113.1 a
生物性質	有機質, %	1.95 a	2.07 a	2.00 a
	FDA, µg fluorescein/g dry soil/h	7.4b a	2.8 c	16.9 a
	游離固氮菌群, CFU	$7.35 \times 10^5$ a	$4.53 \times 10^5$ a	$1.20 \times 10^5$ a
	溶磷菌群, CFU	$1.20 \times 10^4$ a	$6.52 \times 10^3$ ab	$1.83 \times 10^3$ b

註：同一列內所附英文字母相同者係經鄧肯氏多變域測定差異不顯著 (P = 0.05)。

## 結 論

設施內機具長時間發動引擎作業，容易因空氣汙染影響人體健康。因此近年來對於採用電力驅動的機具逐漸受到青睞。本研究開發電動自走式蒸汽消毒機，除解決人力搬運問題外，無空氣汙染及噪音，適合在溫室內作業。本技術採用密封式遮罩能減少蒸汽逸散並使熱



力侷限在遮罩內。利用蒸汽釘管從深層導入蒸汽，能使土壤快速升溫並於停供蒸汽後藉土壤保溫維持溫度提高消毒效果，同時減少蒸汽供應量降低燃料成本。土壤蒸汽消毒對於土壤指標之影響包括：土壤蒸汽處理後有效性磷、交換性鉀在有下降的趨勢，處理 1 個月後回升。土壤有機質處理前後未有顯著的差異。蒸汽處理後 FDA 減少達到顯著差異，表示相關微生物活性受到限制，然於 1 個月後大幅提升，顯示土壤蒸汽消毒能為耐熱菌種或後續導入之菌種提供更有利之生長環境。試驗調查放線菌群並未因蒸汽處理而減少；反之，游離固氮菌、溶磷菌則受到蒸汽處理影響。經測試本機臺電瓶充滿電約可運轉 8 ~ 10 小時，每日 (8 小時) 約可完成 216 m<sup>2</sup> 面積之消毒作業，燃油消耗率約為每小時 10 ~ 12 L。未來將可應用於殺滅雜草種子、降低土傳性病蟲害及改善連作障礙。

## 引用文獻

1. 王雪香。1999。利用蒸汽消毒讓盆栽廢棄舊介質回收再利用。中華盆花 27：6-8。
2. 王毓華、蘇俊峰、楊智凱、林毓雯、林禎祐、魏夢麗。2011。土壤蒸汽處理對溫室東方甜瓜生育之影響。臺灣農業研究 60(3)：167-177。
3. 石信德。2001。放線菌在永續農業的應用。輔導有機農業經營－作物有機栽培管理技術。農業試驗所刊物。
4. 李敏郎、呂理桑。1998。土壤蒸汽消毒防治百合黃化型病害。植保會刊 40：251-264。
5. 陳任芳。1999。蒸汽與藥劑處理栽培介質對百合黃化枯萎之影響。花蓮區研究彙報 17：43-51。
6. 劉達修、黃玉瓊、涂振鑫、謝正雄。1998。蒸汽消毒土壤對根蟎之防治效果。植保會刊 40：241-249。
7. 劉興隆。2007。蒸汽消毒防治菊花育苗期土壤傳播性病害。臺中區農業改良場研究彙報 96：53-62。
8. 鄭安秀、李敏郎。1997。蒸汽消毒在植物病害防治上之應用。臺南區農業專訊 22：4-7。
9. 鄭安秀、陳紹崇、李敏郎。1999。應用蒸汽消毒防治植物病害。臺南區農業改良場技術專刊 88-3(NO.89)。
10. 潘佳辰、江汶錦、王瑞章、陳琦玲。農業長期生態系之水旱田輪作對土壤肥力的影響：以雲林分場水旱田輪作試驗區為例。臺南區農業改良場研究彙報 75：77-87。
11. Jarvis, W. R. 1992. Managing disease in greenhouse crops. APS. Press, St. Paul, Minnesota, USA. 288pp.
12. Ratts, P. A. C. 1998. Disinfection of soils with steam. Acta Horti. 222: 117-119.
13. Sanchez-Monedero, M. A., C. Mondini, M.L. Cayuela, A. Roig, M. Contin, and M. de Nobili. 2008. Fluoresceindiacetate hydrolysis, respiration and microbial biomass in freshly amended soils. Biol. Fertil. Soils 44: 885-890.
14. Ucko, O., A. Maduel, A. Grinstein, and J. Katan. 1992. Combined methods of soil disinfestation for controlling melon collapse with reduced methyl bromide dosages. Phytoparasitica 20: 229-230.

# Development of Self-propelled Soil Steam Sterilizer<sup>1</sup>

Yang C. F., C. C. Pan and J. C. Huang<sup>2</sup>

## Abstract

In recent years, the long-term continuous use of many farmlands has resulted in continuous cropping obstacles affecting crop growth. Regardless of soil-borne diseases and insect pests or the deterioration of soil physical and chemical properties, the current control methods have shortcomings. Soil steam treatment can not only reduce the application of fungicides, insecticides and herbicides, but also using physical methods to eliminate the problem of chemical residues, reduce the pollution of pesticides to the environment, and improve crop yield and quality. Compared with other soil treatment methods, steam disinfection can achieve effectiveness of pest control in a short time. This research has accomplished the aim of development of "self-propelled soil steam sterilizer" for agricultural needs. Since the working machine is driven by electricity without air pollution, it is suitable for working in the greenhouse. The crawler-type carrier is used to carry the steam nail bed, and the disinfection operation is carried out in batches. During operation, the nail bed with cover is placed on the bed surface, and the steam nail tube is inserted deeply into the soil to release steam. The steam is confined within the cover and heat dissipation is prevented, causing the soil to heat up rapidly. The results of sampling and analysis of the steam-treated soil showed that there was no significant difference in soil conductivity and organic matter before and after treatment. Both available phosphorus and exchangeable potassium tended to decrease after steam treatment, and recovered 1 month after treatment. The FDA reduction after steam treatment reached a significant difference. The actinomycetes were not reduced by the steam treatment, while the phosphorus-dissolving bacteria were affected by the steam treatment. The technology can be applied to reduce soil-borne diseases and insect pests, kill weed seeds and improve continuous cropping obstacles in the future.

### What is already known on this subject?

The current practice of steam sterilization is to lay steam pipes on farmland and cover them with heat-resistant canvas, so that high-temperature steam penetrates into the soil layer from the surface for sterilization, which is time-consuming and labor-intensive.

### What are the new findings?

The working machine is driven by electric power, which is easy to operate, has no air pollution and noise, and is suitable for operation in the greenhouse.

### What is the expected impact on this field?

The technology can be applied to reduce soil-borne diseases and insect pests, improve continuous cropping obstacles and kill weed seeds, and can reduce the use of chemical agents and labor costs.

**Key words:** Self-propelled, Steam disinfection, Soil

Accepted for publication: August 18, 2022

- 
1. Contribution No. 552 from Tainan District Agricultural Research and Extension Station.
  2. Associate Researcher, Assistant Researcher and Associate Researcher, Tainan District Agricultural Research and Extension Station. 70 Muchang, Hsinhua, Tainan 712009, Taiwan, R.O.C.