

太陽能雙效滅菌應用於有機土壤處理技術之研究

曾維雄¹ 李孝貽¹ 王廣靖² 胡宸浩³ 孔明隆³ 顏泓凱³

¹ 國立高雄應用科技大學電機工程學系

² 國立高雄應用科技大學電子工程學系

³ 空軍航空技術學院一般學科部航空電子科

摘要

本研究是太陽能滅菌系統，主要是利用陽光來對介質做滅菌，例如土壤、種子…等等。使用不鏽鋼板反射陽光，讓陽光集中在銅管上，就可集中對於土壤滅菌，滅菌速度快效果好，也更省力省時，一般的土壤都是使用直接曝曬，一般曝曬的落菌數約 400 左右，用了滅菌系統出來的土壤落菌數約 10 左右，從此數據可知滅菌效果更好，許多溫室栽培的土壤使用過一次便會丟掉，對於高附加價值的土壤更有效益，滅完菌的土壤可重新培養好菌再次使用，對於農夫是省了一筆重大的成本。

本作品利用金屬弧面的聚光原理和光的反射，使太陽的光輻射，可以集中在銅管內，藉由銅管外的玻璃管滾動，將輸入的土壤均勻加溫，達到殺菌的功效，目的在於利用太陽的紫外線，可以把輻射滅菌與高溫滅菌同時應用於土壤的加熱滅菌系統，將可形成高速率能滅菌系統。

關鍵詞：太陽能、光輻射能、土壤滅菌。

I. 前言

高附加價值的有機植物栽培系統中，讓植物根部賴以支撐及養分孕育的土壤介質，是一最重要的基礎介質，這樣的土壤介質往往單價頗高，故非一次性使用而拋棄，但這樣的土壤介質往往於高密集度的耕作下，累積了各種細菌與可能造成後續病蟲害傳染的微生物，尤其在溫室栽培中，土壤高溫環境濕潤，更容易造成病害的擴散。

土壤滅菌技術是一種殺滅土壤中細菌的技術，降低土壤中所有可能導致動植物感染的微生物的措施和過程。其目的為解決高附加值作物的連作問題，並能提高作物的產量和品質。

II. 研究動機與目的

常見的土壤介質滅菌消毒法是通過向土壤中施用化學農藥，以殺滅其中病菌等有害生物。但如果大量應用化學與藥劑的方法，常有衍生的後續化學毒害，這在先進國家的無毒食品安全是極高的禁忌。而於新興世界的高度糧食需求成長地區則有經濟性與量產性的困難。

所以選擇土壤介質的滅菌法，需同步取得食品安全性、環保性、經濟性、效率性等多方面思維。

本研究，希望能採用物理性的方法如高溫蒸氣、紫外線照射等方法以達到土壤滅菌的效果，將是對食品安全最佳的選擇。

如果又能以天然資源與能源來取得對土壤介質加熱的方法，則是同步滿足環保性與經濟性的要求。如果又能設計良好的傳輸與操作模式則可事半功倍。

III.研究方法

常見的土壤介質滅菌消毒方法

1. 燒土法，因土壤局部過熱而使土質變形，土壤之安定化大受影響，不利於作物之生長。

2. 化學藥劑消毒法，使用溴化甲烷消毒，消毒後飛散於上空，產生臭氧層破裂，而破壞全球環境。若使用替代之藥劑，也可能影響人體及自然環境，農藥衍生的後續化學藥劑毒害，甚至延伸不明之疾病。

3. 高度科技的紫外線法、高壓高溫滅菌法則於高度糧食需求成長地區有經濟性與量產性的困難。

從以上的現有各種土壤滅菌方式來看，可發現各種方法有各其效用，而太陽能為一同時具有輻射性與熱量性的綠色能量，充分利用其能源及特性後，而應用於土壤滅菌上，故本研究最大的目的為以綠能與物理的方法，發展出一太陽能土壤加熱滅菌系統，以研究出具有經濟性、環保性、食品安全性的新興技術。

太陽能雙效滅菌系統可依使用目標設計為熱煤流體加熱或介質直接加熱，將此熱能透過對流與傳導應用於土壤介質的加熱滅菌，因高度的熱集中，達 65°C 即可滅菌，超過 125°C 更可高速高溫滅菌，而將加熱器改為受光透光管，那更可形成加熱與輻射滅菌管，同時兼具紫外光滅菌與加熱滅菌之功能

本研究針對太陽能雙效滅菌在馬達轉速、銅管溫度、滅菌時間、保溫時間的四個製程參數下，對滅菌量方面作探討。利用冷光儀做金黃色葡萄球菌、大腸桿菌及黴菌的菌落數分析，且使用田口式品質設計方法，有效的減少實驗的次數來進行製程參數的研究。

[1]

太陽能雙效滅菌系統的研究架構如圖 1 所示。



圖 1 太陽能雙效滅菌系統的研究架構

一、拋物反射面

太陽能雙效滅菌系統之拋物反射面，如圖 2 所示：

1. 耐蝕性、結構性與反射性均佳
2. 高反射性的不銹鋼金屬鏡面
3. 能轉換太陽光能 90% 以上

$Y = 1 / (4 \times F) X^2$ 寬度 600mm 的不銹鋼板

計算得

焦距 125mm

中點 125mm

其剛好位為柱狀正中心軸

與旋轉軸中心

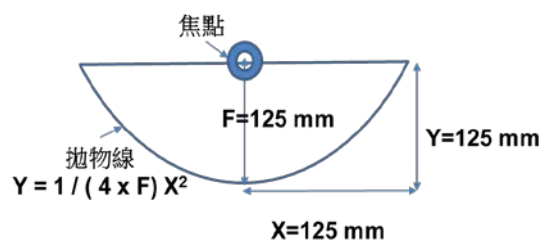


圖 2 拋物反射面

二、品質特性

因為太陽能土壤滅菌系統所要求的是菌落數越小則滅菌率愈高，因此其品質特性則應為望小的品質特性。

三、控制因子

太陽能雙效滅菌系統之控制因子，如表 1 所示。

自由度之和 $= (3-1) \times 4 = 8$
故選擇 $L_9(3^4)$ 的直交表

表 1 太陽能雙效滅菌系統之控制因子

控制因子/水準數			水準1	水準2	水準3
A	馬達轉速	rpm	7	18	36
B	銅管溫度	°C	75	85	95
C	滅菌時間	分	3	5	10
D	保溫時間	小時	1	1.5	2

四、直交表實驗配置及結果

太陽能雙效滅菌系統之直交表實驗配置，如表 2 所示。

望小特性(Smaller is Better)

$\eta = S/N$ 比 訊號雜訊比(越大越好)

$$S / N_s = -10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^2)$$

表 2 直交表實驗配置

因子	A	B	C	D	實驗數據	實驗數據	實驗數據	實驗數據	實驗數據	實驗數據	實驗數據	實驗數據	實驗數據	實驗數據	實驗數據
L9	馬達轉速	銅管溫度	滅菌時間	保溫時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1	1	1	1	234	235	236	237	239	236	235	234	232		
2	1	2	2	2	90	91	90	90	92	95	91	90	90	88	
3	1	3	3	3	17	19	17	18	18	20	18	18	17	16	
4	2	1	2	3	195	193	199	201	198	203	196	195	194	193	
5	2	2	3	1	61	59	63	65	64	66	59	62	65	63	
6	2	3	1	2	33	34	32	35	32	33	34	32	35	32	
7	3	1	3	2	55	56	57	56	55	58	57	55	56	58	
8	3	2	1	3	120	123	121	124	121	125	123	122	124	120	
9	3	3	2	1	26	27	25	26	24	29	27	26	24	23	

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i^2)$$

$$\eta = S / N_s = -10 \log_{10} MSD$$

太陽能雙效滅菌系統之直交表實驗結果，如表 3 所示。

表 2 直交表實驗結果

因子	A	B	C	D	y(平均)	MSD	η	S
L9	馬達轉速	銅管溫度	滅菌時間	保溫時間				
1	1	1	1	1	235.9	55648.8	-47.455	1.89737
2	1	2	2	2	91.6	8390.56	-39.238	1.82878
3	1	3	3	3	19.1	364.81	-25.621	1.13529
4	2	1	2	3	197.9	39164.4	-45.929	3.4335
5	2	2	3	1	64	4096	-36.124	2.45176
6	2	3	1	2	34.6	1197.16	-30.782	1.22927
7	3	1	3	2	57.9	3352.41	-35.254	1.1595
8	3	2	1	3	124	15376	-41.868	1.76698
9	3	3	2	1	27.5	756.25	-28.787	1.76698
					94.7222		$\eta_{ave} =$	-36.784

$$\eta_{ave} = \bar{\eta} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \eta_i$$

五、回應表

雙效滅菌系統之回應表及回應圖，如表 4 圖 3 所示。

表 4 太陽能雙效滅菌系統之回應表

因子	A	B	C	D	
水準度1	1	-37.44	-42.88	-40.03	-37.45
水準度2	2	-37.61	-39.08	-37.98	-35.09
水準度3	3	-35.30	-28.40	-32.33	-37.81
Max-Min		2.31	14.48	7.70	2.72
最佳組合為 A3 B3 C3 D2					

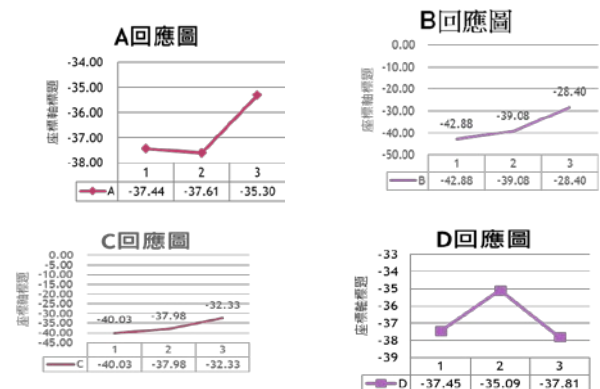


圖 3 太陽能雙效滅菌系統之回應圖

六、變異數分析

太陽能雙效滅菌系統之變異數分析，如表 5 所示。

$F_{0.01}(2, 6) = 10.9$ ， $B: 29.42 > 10.9$ ，故 99% 有效。

$F_{0.05}(2, 6) = 5.14$ ， $C: 8.30 > 5.14$ ，故 95% 有效。

F 分布表經過變異數分析後得知 B 與 C 才是真正影響品質特性的因子

表 5 太陽能雙效滅菌系統之變異數分析

	S	DOF	S_A / S_T	$S_A / F_{\alpha} \cdot e_t$	V_A / V_{e_t}	S_A / S_T
因子	變異	自由度	變異V.	純變異	變異比	貢獻度p
S_A	9.91661	2	4.96			
S_B	338.278	2	169.14	326.78	29.42	71.54%
S_C	95.4719	2	47.74	83.97	8.30	18.38%
S_D	13.0827	2	6.54			
誤差 E	5.5E-12	0				
誤差和 $e_t =$	22.9993	4	5.75	46.00		10.07%
S_T	456.749	8		456.749		100%
CF	12177.6		$V_{e_t} = S_{e_t} / F_{\alpha}$			
$\eta_{ave} =$	-36.78		最佳組合為 A3B3C3D2			
$\eta_{opt} =$	-23.94					
$(\eta_{opt} = \eta_{B3} + \eta_{C3} + \eta_{ave})$						

七、最佳水準組合驗證

由最佳水準組合 A3、B3、C3、D2 再用冷光儀作金黃色葡萄球菌、大腸桿菌及黴菌的菌落數分析，模擬結果如表 6 所示，菌落數平均為 14.6RUL 確實為最小菌落數結果。

表 6 最佳水準組合模擬結果

因子	A	B	C	D	實驗數1	實驗數2	實驗數3	實驗數4	實驗數5	實驗數6	實驗數7	實驗數8	實驗數9	實驗數10	平均	MSD	F
1.9	高反射鏡面鋼板溫度	高反射鏡面鋼板溫度	高反射鏡面鋼板溫度	高反射鏡面鋼板溫度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVE	94.2223	36.284
	3	3	3	2	13	14	14	13	14	15	14	13	13	12	13.6	94.8	33.516

最佳推定值 $\eta_{opt} = -23.94$

未改善前為 A2B3C1D2 $\eta = -30.78$

最佳組合為 A3B3C3D2 $\eta = -23.29$

IV. 實驗方法

現有農業的化學性消毒方法，往往造成食品安全問題嚴重，本研究的目標在研發出一組可利用太陽的熱能與紫外線，即可達滅菌效果的系統如圖 4 所示。本研究分成三大關鍵系統分述如下：

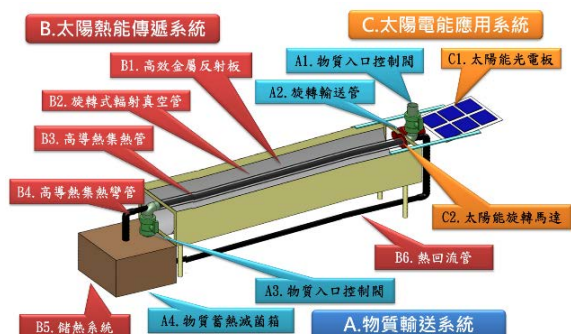


圖 4 太陽能雙效滅菌系統

第一部分為太陽能集中系統：

本項研發採用 TracePro 光學機構設計分析軟體來模擬太陽能集中系統如圖 5 所示，以高反射性的鏡面鋼板形成拋物面，形成可把太陽能量聚焦於拋物面的焦點上如圖 6 所示[2]，我們採用拋物形鏡面不銹鋼板，可直接將 95% 的太陽能反射集中在導熱管上。

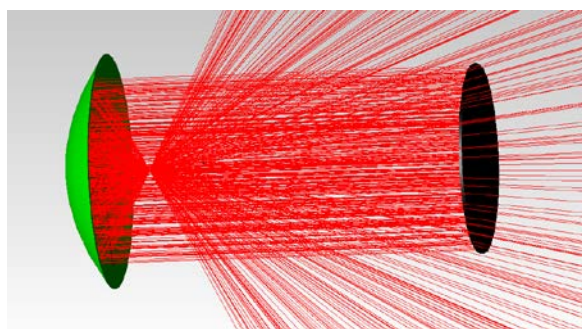


圖 5 TracePro 光學軟體 simulation 第二部分為太陽能雙效滅菌接收系統：

本項研發是於焦點上設計一可旋轉的加熱與紫外線接收管，如圖 7 所示，可將欲滅菌物質於管內被翻轉與輸送，導熱管採用高導熱性的銅，表面覆蓋上一層黑色吸收膜，以增加吸熱效果[3]，如圖 8 所示。

第三部分為太陽能量轉換與儲存系統：

本項研發是利用太陽光能轉換成電力以驅動可旋轉的接收器，並利用熱能輸送與儲存管槽將已被加熱與紫外線滅菌的物質持續於保溫系統中持續加熱滅菌。

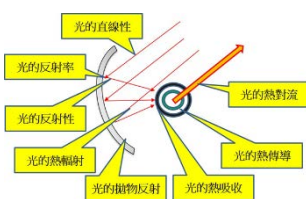


圖 6 把太陽能量聚焦於拋物面的焦點

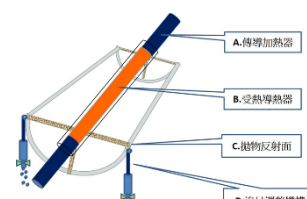


圖 7 可旋轉的加熱與紫外線接收管



圖 8 導熱管覆蓋上一層黑色吸收膜

研究之系統外層是以玻璃管或高透明度壓克力管罩住,可減少熱逸散.太陽能驅動馬達可讓此管旋轉,可翻動裡面的種子或土壤,以達到最佳的滅菌效果[4]。

太陽能雙效滅菌系統之實際操作過程分述如下：

1. 設定太陽能雙效滅菌系統的方向與角度，如圖 9 所示。
2. 倒入土壤，以進入熱交換管，如圖 10 所示。
3. 太陽能會驅動馬達旋轉高透明度壓克力管，使裡面的土壤都能夠照射到陽光，如圖 11 所示。



圖 9 設定太陽能雙效滅菌系統的方向與角度



圖 10 熱交換管



圖 11 驅動馬達旋轉玻璃管

土壤可於儲存箱中保溫，大約 20-30 分鐘便能達到滅菌效果這樣就能很簡單的完成滅菌過程。

太陽能雙效滅菌系統 RUL (菌落總數) 測試

使用儀器：測試 RUL 的冷光儀，如圖 12 所示。

酵素測試棒：裡面含有酵素能夠和土壤作反應，如圖 13 所示。



圖 12 測試 RUL 的冷光儀

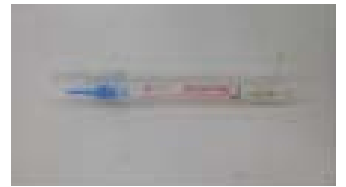


圖 13 酵素測試棒

太陽能雙效滅菌系統測試實驗方法分述如下：

1. 我們採集土水做測量，如圖 14 所示。

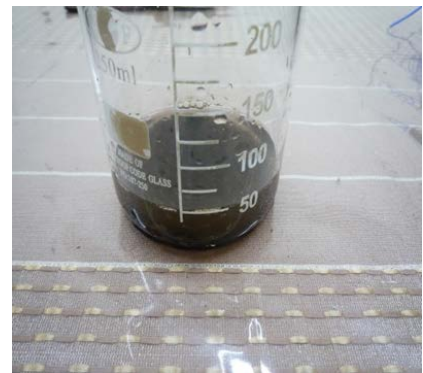


圖 14 採集土水做測量

2. 將採集土水加入測試棒中，裡面含有酵素能夠和土壤作反應。
3. 然後把測試棒放進冷光儀裡，等 15 秒。
4. 冷光儀即可顯示太陽能雙效滅菌系統測試之結果如圖 15 所示。

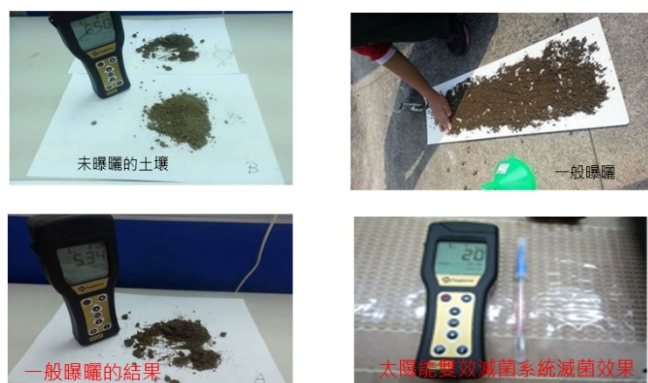
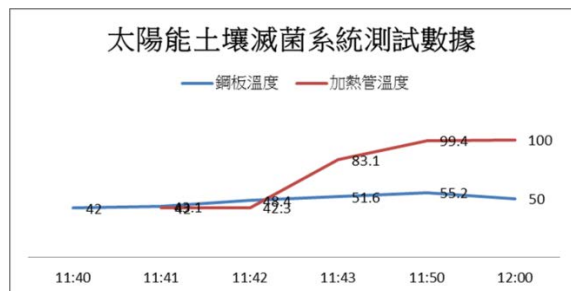


圖 15 冷光儀顯示太陽能雙效滅菌系統測試結果

V. 實驗結果與討論

經實驗發現太陽能土壤滅菌系統在 1 分鐘以內可以從 42 度直接升高為 85 度，5 分鐘後可以達到 100 度以上，要將土壤滅菌的溫度約 60 度，所以太陽能土壤滅菌系統可以在 5 分鐘內就達到滅菌的效果，非常有效率，如圖 16 所示。



土壤	RO水	加熱溫度	時間 (s)	RUL	滅菌率
50克	50克	95	300	2	98.4%
50克	50克	85	300	7	94.4%
50克	50克	75	300	10	92.1%
50克	50克	65	300	20	84.1%
50克	50克	50	300	39	69.0%
50克	50克	20	300	126	0.0%

圖 16 滅菌的效果分析圖表

實驗結果顯示滅菌後的土壤菌數明顯減少，本研究除可集中熱能與紫外線於此農業土壤介質滅菌外，亦可於農產品的乾燥、種

子滅菌與其他栽培介質之滅菌。並可應用於民生加熱應用，如熱水供應、炊煮加熱、暖氣供應與製冷等應用。

VI. 結論

現有農業的化學性消毒方法，往往造成食品安全問題嚴重。我們的作品是將太陽能雙效滅菌系統應用於農糧處理的技術。

本研究分成三大關鍵系統分述如下：

第一部分為太陽能集中系統，此以高反射性的鏡面鋼板形成拋物面，形成可把太陽能量聚焦於拋物面的焦點上。

第二部分為太陽能雙效滅菌接收系統，此為於焦點上設計一可旋轉的加熱與紫外線接收管，可將欲滅菌物質於管內被翻轉與輸送。

第三部分為太陽能量轉換與儲存系統，此為利用太陽光能轉換成電力以驅動可旋轉的接收器，並利用熱能輸送與儲存管槽將已被加熱與紫外線滅菌的物質持續於保溫系統中持續加熱滅菌[5]。

本研究成功的以太陽能與物理的方法，開發出兼具有食品安全性、環保性、經濟性、效率性的農糧滅菌技術。

VII. 參考文獻

- [1] 周至宏，最佳化方法課程講義，國立高雄應用科技大學，電機研究所，台灣 2015。
- [2] 任宏琛，太陽能技術，化學工業出版社，北京 2006。
- [3] 張廣順，太陽能熱水系統手冊，化學工業出版社，北京 2008。
- [4] 何梓年，熱管式真空管太陽能集熱器及其應用，化學工業出版社，北京 2011。
- [5] 田琦，太陽能噴射式制冷，科學出版社，北京 2007。

Study of double-effect solar sterilization system applied to organic soil treatment technology

Wei-Hsiung Tseng¹ Hsiao-Yi Lee¹ Kuang-Ching Wang²
Chen-Hao Hu³ Ming-Long Kong³ Hung-Kai Yan³

¹ **Department of Electrical Engineering, National Kaohsiung University of Applied Sciences , Taiwan**

² **Department of Electronics Engineering, National Kaohsiung University of Applied Sciences , Taiwan**

³ **Department of Aeronautical Electronics, Air Force Institute of Technology, Taiwan**

ABSTRACT

This study is a solar disinfection system. It kills bacteria on the medium, such as soil, seeds, and so on, with sunlight. With a stainless steel sheet, sunlight is reflected and focused on copper pipes to kill bacteria in the soil. It is efficient and effective, saves labor and time. Soil is usually disinfected by exposing under direct sunlight. This method reduces bacteria to about 400 cfu/m³. With the solar disinfection system, bacteria can be reduced down to about 10 cfu/m³, suggesting that it is very effective. Many greenhouses dump their soil after using it for only one time. This system becomes is more useful for soil with higher added value. Disinfected soil can be reused for culturing beneficial soil-dwelling bacteria to help farmers to save cost significantly.

This work use metal arc converging principle of reflected light, so that the sun's light radiation, can be concentrated in the brass, brass outer glass tube by rolling the soil evenly heating the input to achieve sterilization effect, the purpose is to use the sun's ultraviolet rays, radiation sterilization can be applied simultaneously with the high-temperature sterilization sterilizing soil heating system, it will be able to form a high rate sterilization systems.

Keywords: Solar energy, sun's light radiation, Soil sterilization.

