

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

成果報告  
 期中進度報告

應用低溫高週波電漿於室內生物氣膠控制之研究

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2221-E-041-007-MY3

執行期間：96年8月1日至99年7月31日

執行機構及系所：嘉南藥理科技大學產業安全衛生與防災研究所

計畫主持人：黃小林 副教授

共同主持人：蔡政賢 教授

計畫參與人員：李建潢、張喬媚

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

- 赴國外出差或研習心得報告
- 赴大陸地區出差或研習心得報告
- 出席國際學術會議心得報告
- 國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

中華民國 99 年 7 月 31 日

# 目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
關鍵詞.....	III
報告內容	
一、前言.....	1
1.1 研究緣起.....	1
1.2 研究目的.....	1
二、文獻探討.....	1
2.1 生物氣膠.....	1
2.2 甲醛.....	1
2.3 電漿.....	1
2.4 電漿殺菌.....	2
三、材料及方法.....	2
3.1 研究方法.....	2
3.2 實驗系統.....	2
3.3 材料與研究變因.....	3
四、結果與討論.....	3
4.1 菌種差異.....	3
4.2 停留時間.....	4
4.3 相對濕度.....	4
4.4 電漿功率.....	5
4.5 電漿對甲醛破壞及殺菌之影響.....	5
4.6 濾材帶電性對生物氣膠過濾之影響.....	6
4.7 電漿放電電壓對生物氣膠過濾之影響.....	7
4.8 表面風速對生物氣膠過濾之影響.....	8
五、結論與建議.....	9
六、參考文獻.....	10
七、計畫成果自評.....	12

## 中文摘要

本研究之目的為利用低溫電漿來處理生物氣膠，以探討及評估電漿系統運用於室內空氣品質改善之可行性。本計畫針對生物氣膠菌種、電漿功率、相對濕度、滯留時間、甲醛、及濾材等變因來探討低溫電漿放電系統對高濃度之生物氣膠殺菌效果。研究結果發現低溫電漿系統對於生物氣膠殺菌效率大小為：大腸桿菌 $\approx$ 酵母菌 $>$ 青黴菌孢子 $>$ 枯草桿菌孢子。殺菌效果隨生物氣膠在電漿反應系統停留時間增加而增加；高相對濕度對細胞型態之生物氣膠殺菌影響較孢子型態之生物氣膠明顯。另外，電漿殺菌效率皆隨電漿功率增加而增加。

不管電漿產生與否，甲醛氣體破壞效力並不受生物氣膠存在之影響；然而在低電壓 15 kV 電漿尚未完全產生時，生物氣膠殺菌效力會受到甲醛存在影響而降低，而在電漿產生後(電壓 $\geq$ 16 kV)，生物氣膠殺菌效力則不受甲醛之影響。電漿結合濾材對生物氣膠過濾效率影響方面，不帶電濾材對大腸桿菌生物氣膠之過濾效率具有隨放電電壓或相對濕度提升而提高之趨勢，然而帶靜電纖維濾材並無此類似趨勢。無論濾纖維材是否帶靜電，增加表面風速皆會減少次微米大腸桿菌生物氣膠與濾材接觸時間而降低濾材對生物氣膠之收集效率。

低溫電漿系統之最佳完全殺菌條件為反應停留時間 10s、電漿輸出功率 20W。非熱電漿於電漿頻率 60 Hz、停留時間 1.5 秒時及電壓 $\geq$ 17 kV 時，不論相對溼度高低，對複合污染物(甲醛+生物氣膠)之生物氣膠殺菌或甲醛破壞效力均可達 90 % 以上。電漿後端串接帶電纖維濾材單元於表面風速 0.5m/s 下，可進一步將非熱電漿處理後殘存之氣膠量去除 80% 以上。綜合以上，本研究顯示低溫電漿系統具有高殺菌能力，未來若能加以評估試驗，將可運用於室內空調系統或高濃度生物氣膠作業場所來改善室內空氣品質，以減少生物氣膠對人體的危害。

關鍵詞：電漿、生物氣膠、甲醛、濾材、室內空氣品質、殺菌

## Abstract

The purposes of this study were to explore the sterilization efficiency on indoor bioaerosols by using low-temperature plasma system and to assess the feasibility of applying plasma system on indoor air quality improvement. Various bioaerosol species, input plasma powers, relative humidities, retention times, formaldehyde, and filter were selected to explore the sterilization effects on bioaerosols with highly concentrations using low-temperature plasma system in this research. The results indicated that the order of sterilization efficiency for four bioaerosol species by using plasma was *E. Coli*  $\approx$  *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*)  $>$  *Penicillium citrinum* (*P. citrinum*)  $>$  *Candida famata* (*C. famata*) var. *flareri*. The sterilization efficiencies for four bioaerosol species increased with increasing retention times in plasma reactor and input powers. The sterilization effects on vegetative cell type bioaerosols were significantly higher than those of spore type bioaerosols.

Regardless of plasma generation or no plasma, the destruction efficacies of formaldehyde were not affected by bioaerosols. However, the sterilization efficacies of bioaerosols were decreased owing to the present of formaldehyde gas at the applied voltage of 15 kV with no plasma generation. When plasma was generated at the applied voltage greater than or equal to 16 kV, the sterilization efficacies of bioaerosols were not affected by formaldehyde. For filtration efficiency of bioaerosols using combination system of plasma and filter, the collection efficiency of *E. Coli* bioaerosols through non-electret filter increased with applied voltage or relative humidity, however, electret filter didn't show the similar trend. Regardless of electret or non-electret fibrous filter, the filtration efficiency of *E. Coli* bioaerosols decreased with face velocity increased owing to the reduction of contact time between bioaerosols and fibers in filter.

The best operation conditions of the low-temperature plasma system to sterilize bioaerosols were retention time with ten seconds and input power with 20W in this study. The optimal operating conditions of non-thermal plasma system were controlled at power frequency of 60 Hz, retention time of 1.5 sec, and applied voltages of greater than or equal to 17 kV in this study. For single air pollutant (formaldehyde or bioaerosols) or complex air pollutants (formaldehyde and bioaerosols), the sterilization efficacy of bioaerosols and destruction efficacy of formaldehyde were all greater than 90 % regardless the effects of relative humidity. Higher than 80% of the residual *E. Coli* bioaerosols after non-thermal plasma system treatment can be further removed by the following filtration unit with electret fibrous filter at the face velocity of 0.5 m/s. In summary, this research has been proved that low-temperature plasma system has highly ability to sterilize bioaerosols. The plasma unit may be applied on air-conditioning system or working places with highly bioaerosol concentrations to improve indoor air quality and reduce bio-hazard to people through detailed testing and assessment in the future.

Keywords: plasma, bioaerosol, formaldehyde, filter, indoor air quality, sterilization

## 一、前言

### 1.1 研究緣起

近年來由於經濟發展與社會結構的改變，使得人們生活型態產生巨大變化。根據國內研究民眾活動模式型態之調查報告指出各年齡層之民眾處於不同室內環境的比例均大於90%以上 [1]。室內空氣污染物種類繁多，包括生物性污染物、化學性污染物、放射性物質、二手菸等。

長時間處於空氣品質不佳之室內環境，室內空氣污染物可能導致各種健康危害，狀況輕微者則出現如1982年世界衛生組織 (WHO) 所定義民眾處於建築物內而屢屢發生不適之徵狀，包括眼睛癢、鼻塞、咳嗽、胸悶、皮膚過敏、頭痛、疲勞、嘔吐和精神無法集中等，統稱為「病態建築物症候群」(Sick Building Syndrome, SBS) [2]。再嚴重者，室內空氣污染物可能會引起「建築相關疾病」(Building Related Illnesses, BRI)，最嚴重者可能會導致癌症、心臟病、慢性阻塞肺疾病。

電漿技術已廣泛應用在各種領域，但電漿殺菌技術的應用仍僅限於水、醫療及食品領域等，目前尚未應用在相關之室內生物氣膠污染物處理。本研究首度嘗試以低溫電漿系統來處理生物氣膠，以評估低溫電漿技術應用於控制及處理生物氣膠之可行性，期望未來能利用本研究發展之生物性空氣污染物控制系統來改善室內空氣品質。

### 1.2 研究目的

1. 將先建立低溫電漿系統與生物氣膠控制系統，並探討在不同條件下(電漿功率、相對濕度、氣膠停留時間等)，電漿對各種室內生物氣膠(細菌及真菌)控制效率之影響。
2. 探討甲醛氣體存在時生物氣膠控制的變化，以評估電漿系統同時處理生物氣膠及揮發性有機物之可行性。
3. 電漿系統結合濾材過濾系統，來探討生物氣膠經過低溫電漿作用後，對於後續室內空氣氣膠控制單元之微粒過濾效率及機制的影響。

## 二、文獻探討

### 2.1 生物氣膠

生物氣膠泛指懸浮在空氣中活的或是來自活的生物體之微粒，包括微生物(可培養、非培養及死掉的微生物)和其碎片或其產生的毒素及生物體產生的粒狀排泄物等[3]。生物氣膠對人體的危害包括過敏性疾病、感染性疾病、毒性效應等。因此生物氣膠所造成的室內空氣污染問題及健康危害是不容忽視的。

### 2.2 甲醛

甲醛是重要的環境污染物之一，有許多證據顯示其對人體有不良的影響，在回顧甲醛與癌症之相關研究中，多篇研究數據證實甲醛對人體具有致突變性或致癌性，如：鼻咽癌 (nasopharyngeal carcinoma)、口腔癌 (oral cancer)、肺癌 (lung cancer)、腦癌 (brain cancer)、及白血病 (leukemia) 等癌症，其中，又以鼻咽癌 (nasopharyngeal carcinoma) 最為顯著[4,5]。

### 2.3 電漿

電漿的生成是一種能量的轉移，電子因高電場加速而獲得動能，高能電子在移動過程中藉由彈性碰撞或非彈性碰撞與氣體分子撞擊，而發生能量轉移。介電質放電(DBD)電漿為常見的低溫電漿，又稱為寂靜放電或流光放電，介電質放電電漿典型的特色是最少有一電極以介電質覆蓋，或是在兩電極間置入高介電質常數之介電質物質，常用的介電質物質有玻璃、石英或陶瓷材料等。介電質物質可以

協助限制每一次微放電傳輸之電荷量，並將微放電均勻分布在電極區域，以產生穩定且較不受電極影響之放電，且其具有輝光放電之大體積激發及電暈放電之常壓下操作優點，考量原本規劃之高週波電漿在實際殺菌系統設計上有所困難，故本研究改選擇介電質放電電漿系統作為實驗反應系統[6,7]。

### 2.4 電漿殺菌

1968年Menashi是第一個使用電漿來殺菌者，其以脈衝式高週波電漿，使用氫氣為電漿氣體，用來作為藥水瓶內部表面殺菌用[8]。張[9]的實驗結果中顯示，空氣電漿比氧氣電漿殺菌效果要高，主要是認為空氣電漿比氧氣電漿多了220~280nm波長的紫外光。另外，Tanino et al.[10]使用DBD電漿比較溼式、乾式及乾式加水等方法，探討溼度高低對電漿殺菌影響結果顯示，溼式方法殺菌效果最好，其次是乾式加水方法，最差是乾式方法。造成此種結果推論，當有水份存在時，H<sub>2</sub>O經由電漿反應後會產生OH自由基，而OH自由基又具有殺菌的作用，且水份也有助於電流穿透及放電的能力，因此可提升殺菌效果。Mendis et al.為了瞭解帶電粒子在電漿殺菌所產生的殺菌機制，其使用一個dusty-plasma model，觀察帶電粒子在電漿放電中所產生之效應，實驗發現待電粒子會累積在細胞膜外部，在細胞膜無法承受外部靜電的張力時，細胞膜就會破裂，導致菌種失活死亡[11]。

## 三、材料及方法

### 3.1 研究方法

本研究最初規劃乃是使用低溫高週波電漿來探討生物氣膠處理之可行性，由於研究過程中高週波電漿必須處於抽真空的狀態，而此真空狀態導致在生物氣膠的採樣技術上遇到困難無法克服。因此，本研究經不斷嘗試探討各種低溫電漿系統後，決定改採同樣是低溫電漿之介電質放電系統來進行生物氣膠控制之研究，研究至今證明確實低溫介電質放電電漿為一可行的控制系統，因此整個計畫的研究將改以低溫介電質放電電漿來進行探討。

### 3.2 實驗系統

本研究電漿殺菌實驗系統如圖 3-1 所示，包括低溫電漿 DBD 反應裝置系統、生物氣膠產生裝置系統、乾淨空氣供應裝置系統及生物氣膠採樣裝置系統四大系統。電漿處理電漿及甲醛系統以及電漿結合濾材之研究系統如圖 3-2 及 3-3 所示。

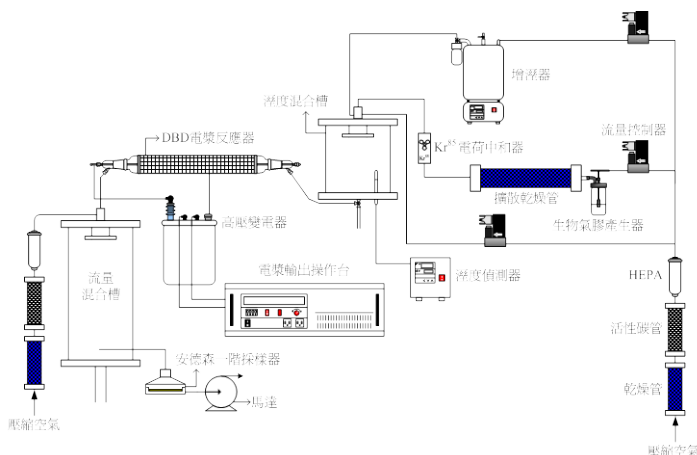


圖 3-1 電漿殺菌實驗系統圖[12]

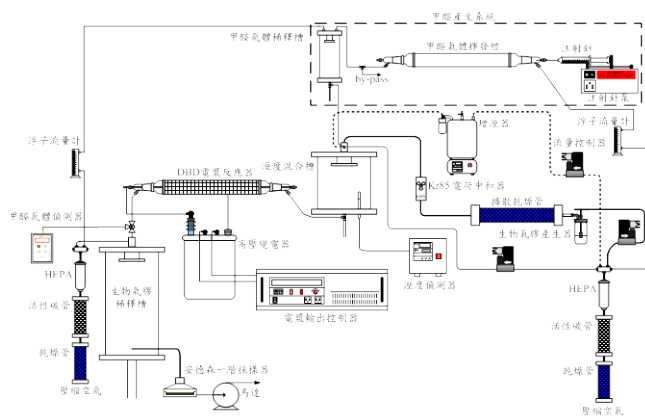


圖 3-2 電漿殺菌及處理甲醛實驗系統圖[13]

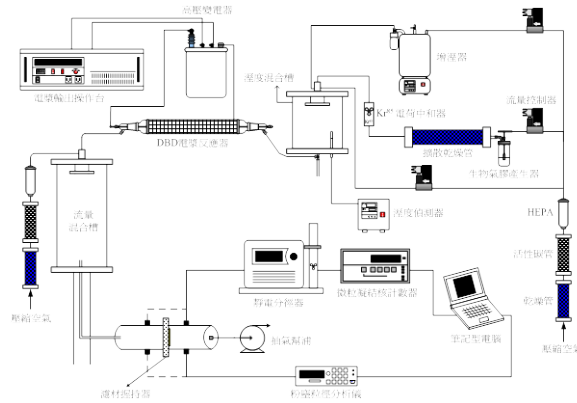


圖 3-2 電漿結合濾材殺菌實驗系統圖[14]

### 3.3 材料與研究變因

為了評估生物氣膠濃度是否有達實驗所需之  $10^6$  CFU/m<sup>3</sup>，經由多次前置實驗結果，各菌種菌液稀釋倍數約在 5~50 倍上下，依此經驗值配製實驗生物氣膠產生之濃度，以確保穩定維持實驗所需之  $10^6$  CFU/m<sup>3</sup> 濃度。實驗相關參數及條件如電漿功率(0~50W)、生物氣膠菌種(細菌及真菌各選擇兩種)、相對濕度(30~70%)、滯留時間(1~10 秒)、甲醛(0.1 ppm、1 ppm及 5 ppm)及濾材(不帶電與帶電)等變因。

## 四、結果與討論

### 4.1 菌種差異

從圖 4-1 結果發現，DBD 電漿對於大腸桿菌及酵母菌殺菌效果最好，其次為青黴菌孢子，枯草桿菌孢子殺菌效果最差，顯示 DBD 電漿對於實驗菌種之真菌殺菌效果較其細菌殺菌效果高(大腸桿菌 = 酵母菌 > 青黴菌孢子 > 枯草桿菌孢子)，產孢子菌種的耐受性較細胞型態菌種的耐受性高，且枯草桿菌孢子又較青黴菌孢子耐受性更強。

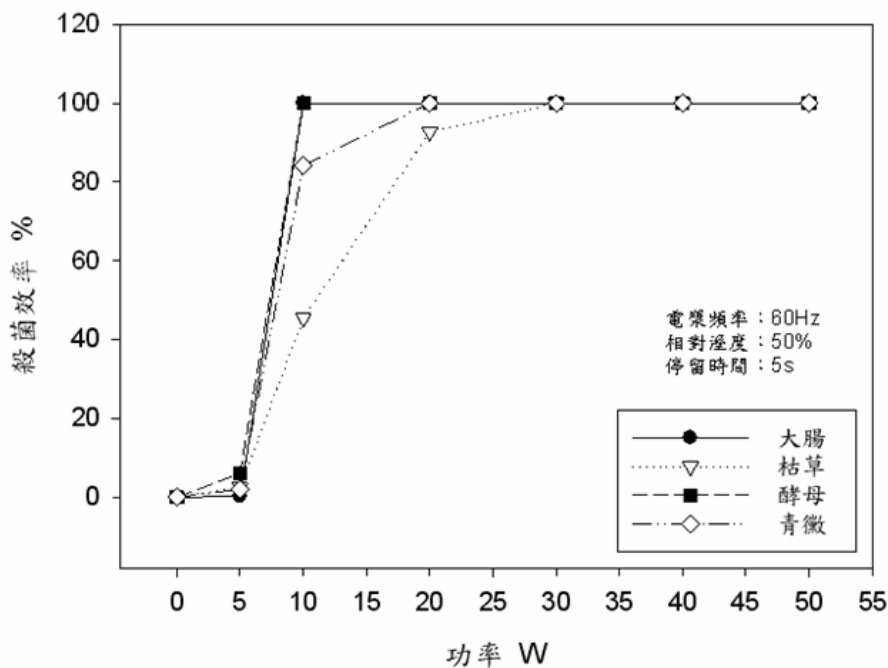


圖 4-1 菌種差異對於低溫電漿殺菌效率之影響

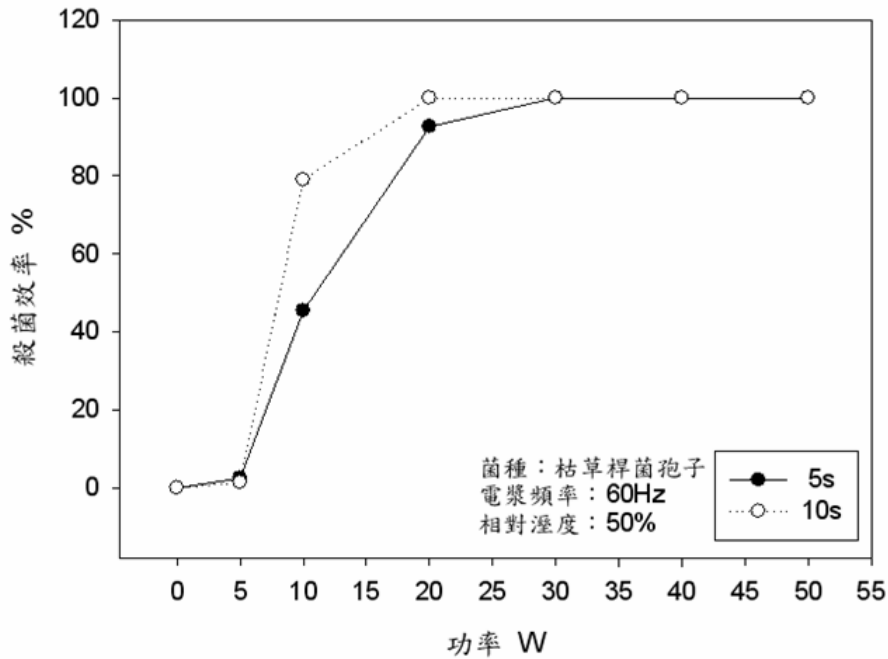


圖 4-2 停留時間對於低溫電漿殺菌效率之影響

#### 4.2 停留時間

以電漿殺菌效果差異較為明顯之枯草桿菌孢子來做說明，其結果如圖 4-2。當相同的電漿頻率及相對溼度下，在功率為 20W 時，停留時間 10 秒之條件已可完全殺菌完成，而停留時間 5 秒之條件須再將功率增加至 30W 下，方能殺菌完成，反應停留時間加長時，可提升其殺菌效果。

#### 4.3 相對溼度

圖 4-3 結果顯示，在不同相對溼度下，DBD 電漿對枯草桿菌孢子殺菌效果差異並不明顯，其三個不同的相對溼度皆能在功率 30W 的條件下殺菌完成；但比較值得注意的是，當相對溼度提高至 70% 時，有利於電漿在功率 5W 時產生放電，因此殺菌效果提升，此與文獻[10]結果相吻合，尤其對於耐受性較差的大腸桿菌效應較為明顯，如圖 4-4 所示。

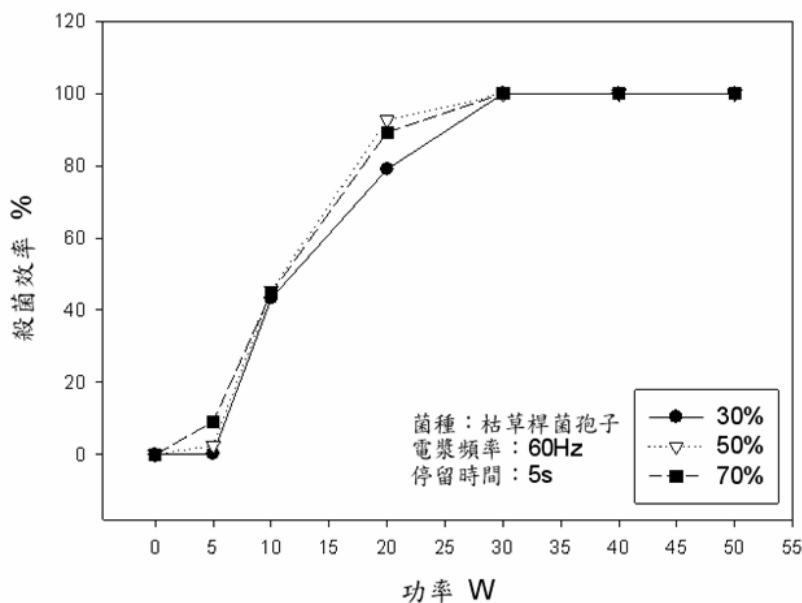


圖 4-3 相對溼度對於枯草桿菌殺菌效率之影響



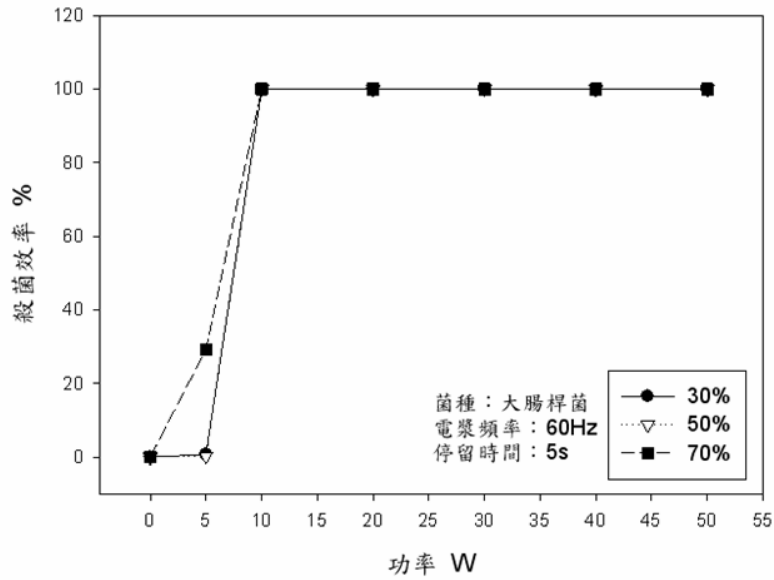


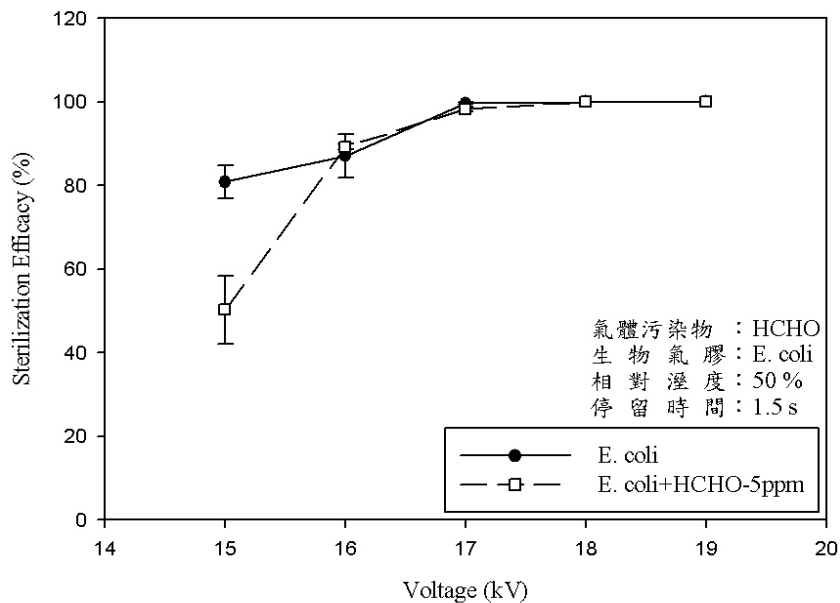
圖 4-4 相對溼度對於大腸桿菌殺菌效率之影響

#### 4.4 電漿功率

由前述圖 4-1~4-4 結果顯示，電漿殺菌效率皆隨電漿功率增加而增加；且由圖 4-1 得知，在電漿功率輸出至 30W 時，即可將實驗所有菌種殺菌完成，而細胞型態之菌種更只需要電漿輸出功率 10W 下，就能殺菌完成。

#### 4.5 電漿對甲醛破壞及殺菌之影響

在相對溼度為 50% 及在電漿反應器內停留時間為 1.5 秒時，放電電壓對大腸桿菌生物氣膠及甲醛氣體複合污染物殺菌及破壞之影響如圖 4-5(A)所示。在電壓 15 kV 時，電漿對含 5 ppm 甲醛之大腸桿菌生物氣膠之殺菌效力比不含甲醛之單獨大腸桿菌生物氣膠殺菌效力明顯降低，但當電壓達 16 kV 時，因電漿開始產生且帶有能量增加，因此足以同時處理兩種污染物，所以在電壓 $\geq 16$  kV 時之生物氣膠殺菌效力則不受甲醛氣體之影響。



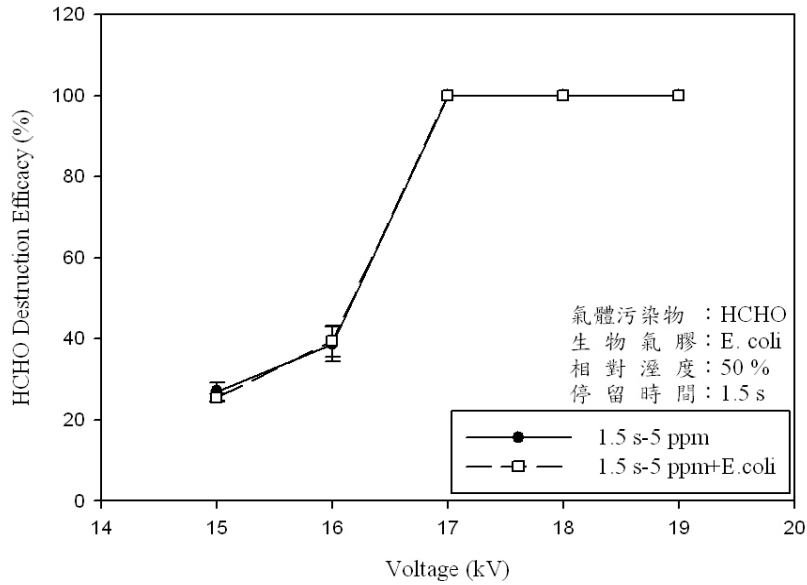


圖 4-5 大腸桿菌生物氣膠及甲醛複合污染物於不同放電電壓下之殺菌及破壞效力

圖 4-5(B)為電漿對含大腸桿菌生物氣膠之 5 ppm 甲醛氣體與單一 5 ppm 甲醛氣體於不同放電電壓下之破壞效力，結果顯示在放電電壓為 15 kV 及 16 kV 時，5 ppm 甲醛氣體污染物之破壞效力隨著放電電壓之增加而增加，而在各電壓下(15~19 kV)，含大腸桿菌生物氣膠之甲醛氣體與不含生物氣膠之單一甲醛氣體之破壞效力並沒有顯著差異(p-value > 0.05)，此代表生物氣膠之存在對於電漿破壞甲醛氣體之效力並沒有顯著影響。

#### 4.6 濾材帶電性對生物氣膠過濾效率之影響

在過濾表面風速 0.5 m/s、電漿區之相對濕度 30% 及 70% 及放電電壓 0~19kV 條件下，不帶電與帶電纖維濾材對大腸桿菌生物氣膠過濾效率之影響如圖 4-6~圖 4-7 所示。結果顯示在 30% 及 70% 兩個濕度下，不管在那個放電電壓之帶靜電纖維濾材對生物氣膠收集效率皆明顯高於不帶電濾材，市售帶電纖維濾材因靜電力之幫助下均大幅提高生物氣膠之收集效率至 80% 附近或甚至更高。

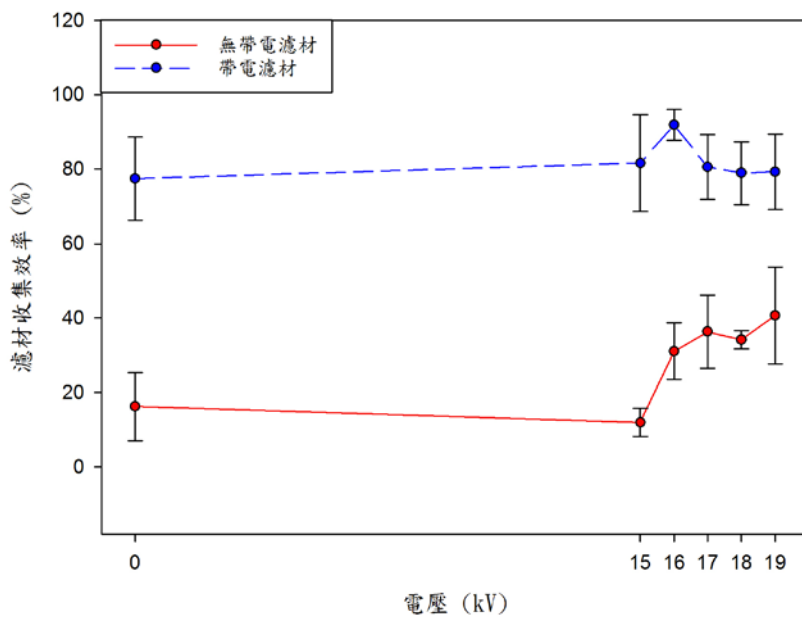


圖 4-6 不帶電與帶電濾材之生物氣膠收集效率(電漿區之相對濕度 30% 及表面風速 0.5 m/s)

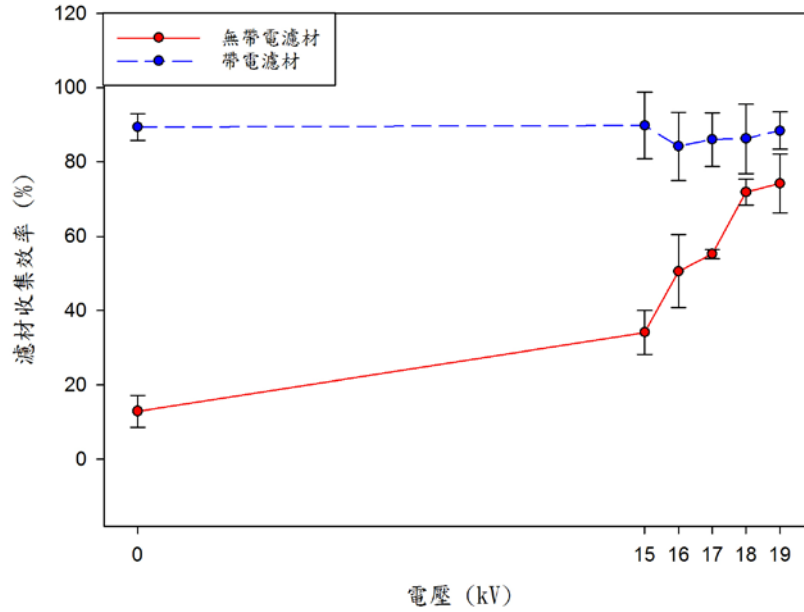


圖 4-7 不帶電與帶電濾材之生物氣膠收集效率(電漿區之相對濕度 70%及表面風速 0.5 m/s)

#### 4.7 電漿放電電壓對生物氣膠過濾效率之影響

在過濾表面風速 0.5 m/s 及電漿區之相對濕度 30% ~ 70% 條件下，電漿系統之放電電壓對濾材收集大腸桿菌生物氣膠效率之影響如圖 4-8 及 4-9 所示。圖 4-8 顯示在 30%、50% 及 70% 三個相對濕度下，不帶電濾材對生物氣膠之過濾效率皆具有隨放電電壓提升而提高之趨勢。但對於帶電纖維濾材來說，在 30%、50% 及 70% 三個相對濕度下，提升放電電壓卻沒有觀察到有增加生物氣膠過濾效率之趨勢(如圖 4-9 所示)。

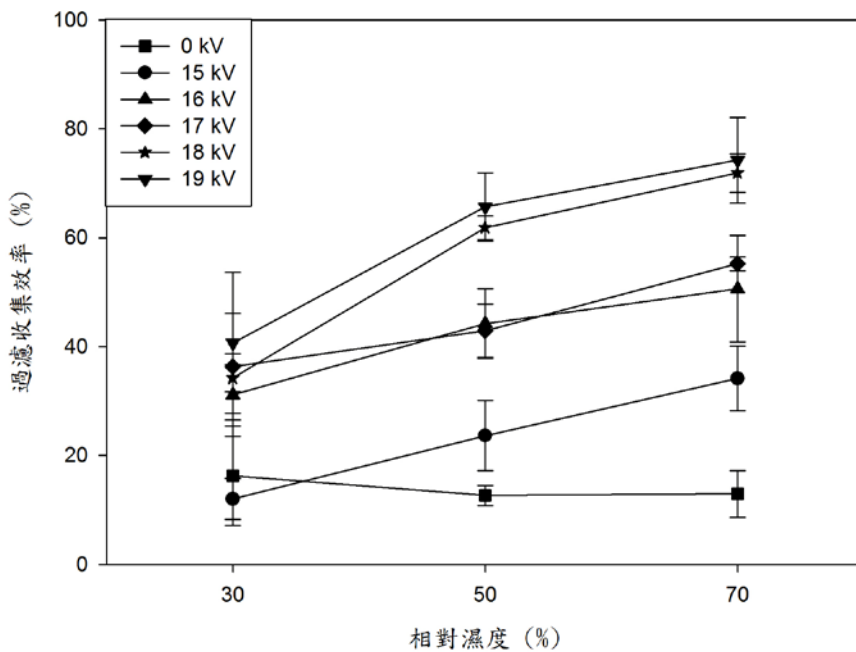


圖 4-8 不帶電濾材於不同電壓下之生物氣膠收集效率

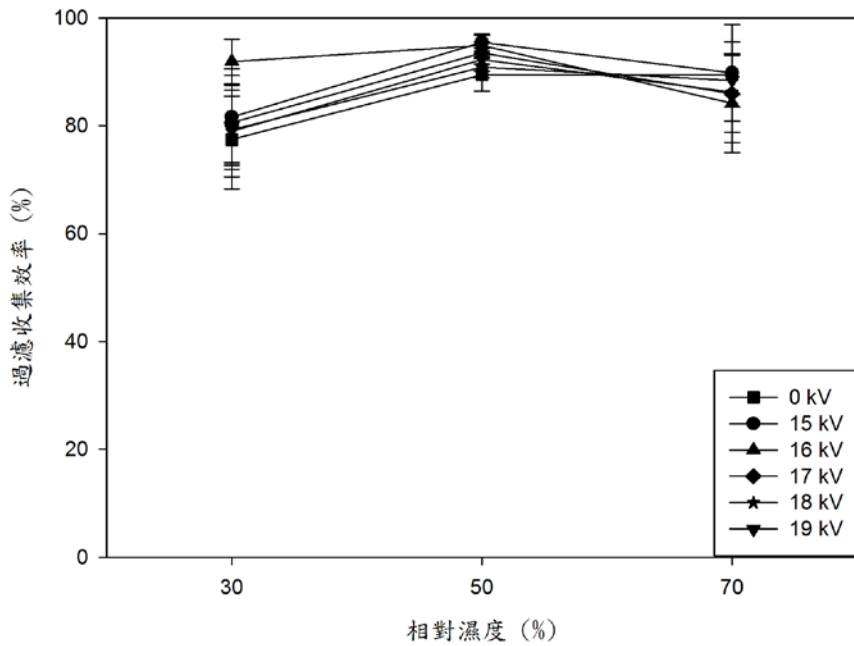


圖 4-9 帶電濾材於不同電壓下之生物氣膠收集效率

#### 4.8 表面風速對生物氣膠過濾效率之影響

在表面風速對濾材過濾收集生物氣膠的影響，圖 4-10 與圖 4-11 分別為未開啟電漿(放電電壓 0kV) 與開啟電漿系統之放電電壓為 16kV 時，帶電與不帶電濾材於不同過濾表面風速之大腸桿菌生物氣膠過濾效率。結果指出無論濾材有無帶電、有無電漿產生及 30%~70%任何濕度，濾材之大腸桿菌生物氣膠收集效率均隨著過濾表面風速之增加而降低，最主要的原因在於提高表面風速會使得生物氣膠於濾材纖維間的停留時間減少，因而降低收集效率[15,16]。

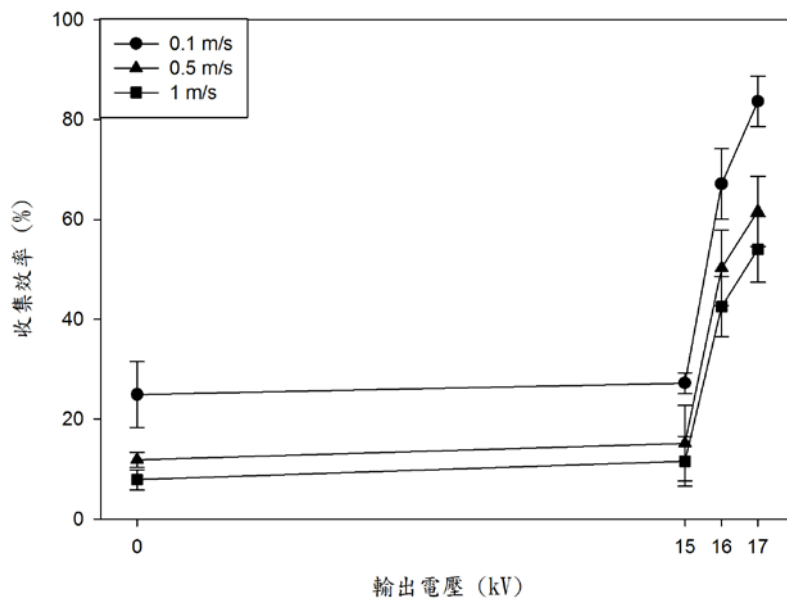


圖 4-10 不帶電濾材於不同表面風速之生物氣膠過濾收集效率

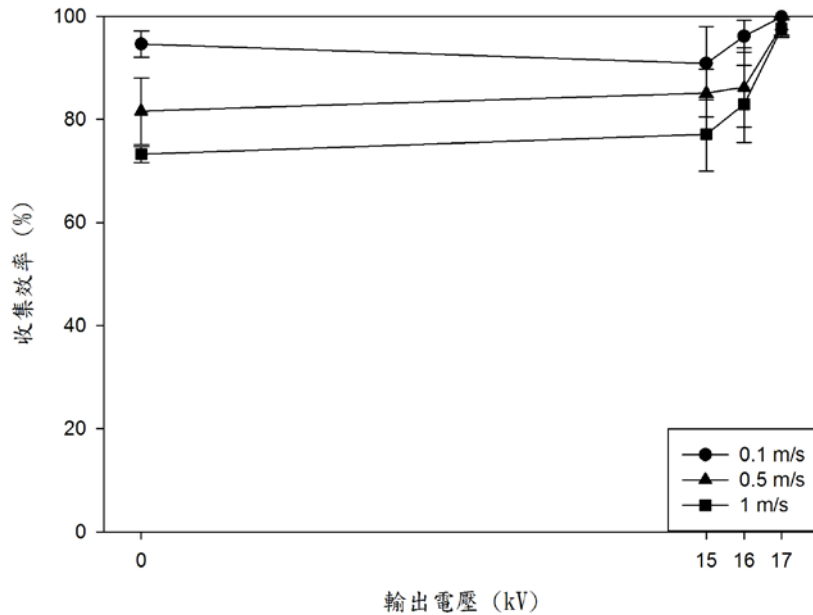


圖 4-11 帶電濾材於不同表面風速之生物氣膠過濾收集效率

## 五、結論與建議

1. DBD 電漿對於不同菌種殺菌效率大小為：大腸桿菌 $\approx$ 酵母菌 $>$ 青黴菌孢子 $>$ 枯草桿菌孢子。當生物氣膠與電漿反應停留時間加長時，可提升其殺菌效果；反應停留時間 10s $>$ 5s 之殺菌效果。
2. 在不同相對溼度下，DBD 電漿對枯草桿菌孢子殺菌效果差異並不明顯。但相對溼度提高至 70% 時，有利於電漿在功率 5W 時產生放電。相較於孢子型態之生物氣膠，對於耐受性較差的大腸桿菌或酵母菌氣膠，則會明顯增加其殺菌效率。
3. 當電漿功率增加時，其電漿殺菌效率也會增加，且在功率 30W 時，即可將實驗所有菌種殺菌完成，細胞型態之菌種更只需功率 10W 就能殺菌完成。本實驗最佳殺菌條件為反應停留時間 10s、電漿輸出功率 20W 時，即可將實驗菌種殺菌完成。
4. 不管電漿產生與否，甲醛氣體破壞效力並不受生物氣膠存在之影響；然而在低電壓 15 kV 電漿尚未完全產生時，放電產生之低能量需部分用於破壞甲醛氣體而導致生物氣膠殺菌效力會受到甲醛存在影響而降低，而在高能量電漿產生後(電壓 $\geq$ 16kV)，生物氣膠殺菌效力則不受甲醛之影響。
5. 經非熱 DBD 電漿處理後之帶負電荷大腸桿菌生物氣膠與帶正電纖維濾材因庫倫 靜電力作用導致其比不帶電濾材具有較高的微粒收集效率。
6. 無論濾纖維材是否帶靜電，增加表面風速皆會減少次微米大腸桿菌生物氣膠與濾材接觸時間而降低微粒因布朗運動沈積於濾材之機會，因而降低濾材對生物氣膠之收集效率。
7. 非熱 DBD 電漿系統具有高破壞甲醛氣體污染物之能力，未來可選擇不同種類之室內 VOCs 進行研究。
8. 雖然靜電濾材能提供更好的氣膠過濾效率，但隨著載負氣膠時間增加會中和掉濾材上原有之帶電量與提高壓力損失，進而影響後續生物氣膠收集效率，未來可嘗試研究濾材載負生物氣膠特性之關係。

## 六、參考文獻

1. 蘇慧貞、李俊璋及江哲銘 (2003)，室內/室外空氣污染物之國民健康風險評估及管制成本效益分析，行政院環保署研究報告。
2. Lahtinen, M., Huuhtanen, P., and Reijula, K. (1998) "Sick Building Syndrome and Psychosocial Factors-A Literature Review", *Indoor Air*, S4, 71-80.
3. Macher, J. (1999) *Bioaerosols: Assessment and Control*, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Cincinnati, USA.
4. Luoping Zhang, Craig Steinmaus, David A. Eastmond, Xianjun K. Xin, Martyn T. Smith (2009) "Formaldehyde exposure and leukemia: A new meta-analysis and potential mechanisms", *Mutation Research* 681, 150-168.
5. 張景泰(2003)，裝潢木工粉塵及甲醛暴露之健康效應評估，臺北醫學大學公共衛生學系碩士論文。
6. 蔡政賢(2002)，含硫氣體化合物於高週波電漿中之反應機制，國立成功大學環境工程學系碩士論文。
7. 李灝銘(2001)，以低溫電漿去除揮發性有機物之研究，國立中央大學環境工程研究所博士論文。
8. Moisan, M., Barbeau, J., Crevier, M.C., Pelletier, J., Philip, N., and Saoudi, B. (2002) "Plasma sterilization. Methods and mechanisms", *Pure Appl. Chem.*, 74(3), 349-358.
9. 張子青(2006)，電漿殺菌之物理機制分析，國立清華大學物理學系碩士論文。
10. Tanino, M., Xilu, W., Takashima, K., Katsura, S., and Mizuno, A. (2005) "Sterilization Using Dielectric Barrier Discharge at Atmospheric Pressure" *Industry Applications Conference*, 2005. Fourtieth IAS Annual Meeting, Conference Record of the 2005 IEEE, 2, 784-788.
11. Laroussi, M. (2002) "Nonthermal Decontamination of Biological Media by Atmospheric-Pressure Plasmas: Review, Analysis, and Prospects", *IEEE Transactions on Plasma Science*, 30(4), 1409-1415.
12. 林惠萍，「非熱電漿對生物氣膠殺菌效力之研究」，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系碩士論文，2008年。(註：與執行本研究有關之碩士論文)
13. 李政倫，「非熱電漿同時去除室內甲醛及生物氣膠之研究」，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系碩士論文，2009年。(註：與執行本研究有關之碩士論文)
14. 趙純興，「非熱電漿結合濾材對生物氣膠控制之研究」，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系碩士論文，2009年。(註：與執行本研究有關之碩士論文)
15. Bustnes, T. E., & Mackley, M. R. (2005) "The Capture and Release of Biomass Using a High Voidage Fibrous Filter (Marked Revision)", *Chemical Engineering Science* 60, 5206-5218.
16. Boskovic, L., Agranovski, I. E., Altman, I. S., & Braddock, R. D. (2008) "Filter Efficiency As a Function of Nanoparticle Velocity and Shape", *Journal of Aerosol Science*, 39, 635-644.
17. 黃小林、蔡政賢、林惠萍、李政倫、趙純興、戴志青，「非熱電漿去除大腸桿菌生物氣膠之研究」，第十五屆國際氣膠科技研討會，台北景文科技大學，民國九十七年九月。(註：與執行本研究有關之研討會論文)
18. 黃小林、蔡政賢、李灝銘、林惠萍，「常壓電漿應用於枯草桿菌生物氣膠控制之研究」，2008年空氣污染控制技術研討會，國立台灣大學，民國九十七年十一月。(註：與執行本研究有關之研討會論文)
19. 黃小林、陳鴻瑩、李美貴、魏榮男、戴仁軒、李建潢，「應用放電技術於室內空氣品質改善及生物安全危機處理」，2009第七屆危機管理學術研討會，嘉南藥理科技大學，民國九十八年十一月。(註：與執行本研究有關之研討會論文)
20. 黃小林、李美貴、魏榮男、趙純興、李建潢，「放電技術對室內生物氣膠控制效能之探討」，第二

屆環境衛生與永續發展研討會，稻江科技暨管理學院，民國九十九年五月。(註：與執行本研究有關之研討會論文)

21. 黃小林、郭昭吟、李政倫、戴仁軒、吳品萱，「應用放電技術控制室內甲醛氣體之研究」，第二屆環境衛生與永續發展研討會，稻江科技暨管理學院，民國九十九年五月。(註：與執行本研究有關之研討會論文)
22. 黃小林，蔡瀛逸，蔡政賢，陳鴻瑩，趙純興，「放電技術去除室內真菌生物氣膠之效能評估」，第十七屆國際氣膠科技研討會，台南成功大學，民國九十九年九月。(註：與執行本研究有關之研討會論文)

## 國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

### 1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

#### 達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

### 2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表  未發表之文稿  撰寫中  無

專利： 已獲得  申請中  無

技轉： 已技轉  洽談中  無

其他：（以 100 字為限）

### 3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

目前市面上雖已發展多種室內生物氣膠控制及處理技術，例如紫外光、臭氧、負離子、光觸媒、靜電集塵器或是過濾濾材等。然而這些控制技術並非對所有生物氣膠都有效或者存在殺菌效率不高的問題。因此本研究發展有別於以往的生物氣膠殺菌技術，利用新興的電漿殺菌技術來處理生物氣膠。電漿技術已廣泛應用在各種領域，但電漿殺菌技術的應用仍僅限於水、醫療及食品領域等，目前尚未應用在相關之室內生物氣膠污染物處理。本研究首度嘗試以低溫電漿系統來處理生物氣膠，結果顯示低溫電漿對於生物氣膠控制具有頗佳的效率，此結果在過去研究文獻皆未有探討，且經由本研究成果也顯示低溫電漿技術應用於控制及處理生物氣膠是可行性的，因此期望未來能利用本研究發展之低溫電漿系統應用於改善室內空氣品質。所以本研究成果無論在學術上或在室內空氣品質改善應用方面，皆是具有正面價值的。