

嘉南藥理大學 105 年度教師研究補助計畫成果報告

重點研究總計畫名稱：無人飛行載具應用於污染探空之研發

計畫編號：CN10513-15

子計畫二：大氣傳輸變異之空間生物氣膠垂直剖面流布研究

計畫編號：CN10514

執行期限：民國 105 年 01 月 01 日至 105 年 12 月 31 日

子計畫主持人：黃小林 副教授

執行單位：職業安全衛生系

參與人員：施承遠、許佳慧

摘要

大氣微粒(particulate matter, PM)已是大氣環境中組成最複雜及健康危害最大的污染物。由於生物氣膠係屬大氣總氣膠的一部份，可單獨存在或附著在微粒上，其可能帶有過敏原或病原體，對於孩童、老年人及免疫力較差的民眾而言，可能會導致呼吸系統疾病、傳染病和癌症等疾病。在 PM2.5 空污事件發生頻繁的情形下，愈來愈多的流行病學研究皆已指出細懸浮微粒確實會誘發不良健康效應，但這些相關的研究多數在探討微粒之物理或化學特性，對於生物性微粒的影響卻少有著墨。國內也僅有少數針對生物性污染物長程傳輸進行探討，但對於不同成因之細懸浮微粒污染事件之空間不同高度之生物氣膠濃度分佈的基本資料付之闕如。因此本子計畫將針對不同高度的生物氣膠特性做探討。本研究特利用無人飛行載具 UAVs 裝載輕便之鈕釦型生物氣膠採樣器，進行不同高空之細菌及真菌生物氣膠採樣與分析。結果顯示空氣中真菌生物氣膠於不同高度之分佈並無一定規律，但細菌生物氣膠卻顯示隨著高度增加，濃度則呈現遞減趨勢。由於採樣次數有限，空氣中 PM2.5 及 PM10 對生物氣膠濃度之影響難以評估，未來可於不同空氣污染事件日，增加採樣次數，以進一步評估可能影響大氣生物氣膠濃度分佈之因素。此初步研究結果可提供做為評估大氣生物性暴露、健康危害風險與預防之基本資料參考。



一、前言

一直以來，我國空氣污染不良事件日主要為臭氧及懸浮微粒(particulate matter, PM)濃度偏高所致。尤其近年空氣污染事件中($PSI > 100$)，又以細懸浮微粒(小於或等於 $2.5 \mu\text{m}$ 的粒子，稱為 $PM_{2.5}$)問題最為嚴重， $PM_{2.5}$ 濃度超過 $PM_{2.5}$ 空氣品質指標之紫爆的頻率增加而更受到民眾與政府的關心。由於細懸浮微粒的直徑不到人的頭髮絲粗細的 $1/28$ ，懸浮於空氣中的生命週期可達數周，且傳送距離更可超過 1000 公里，其已嚴重影響生活品質，對人體健康產生危害，例如誘發呼吸道疾病、心血管疾病甚至增加罹癌率及死亡率等[1]。此外，細懸浮微粒亦會導致能見度降低，影響交通安全，還會造成酸沉降及生態破壞甚至影響氣候變遷，因此， $PM_{2.5}$ 之管制越來越受到國際重視[2]。 $PM_{2.5}$ 主要受當地、跨區及境外傳輸污染所影響，依據國內研究，全臺 $PM_{2.5}$ 國內原生性、衍生性及境外傳輸貢獻分別各約占 $1/3$ ，各地又因地理位置與區域特性不同而略有差異。透過環保署空氣污染物排放清冊掌握國內污染源排放狀況，原生性 $PM_{2.5}$ 中以營建及道路揚塵占最大宗，其次為工業與機動車輛；衍生性 $PM_{2.5}$ 前驅物中硫氧化物以工業排放為主，氮氧化物則是機動車輛最高，工業排放居次[3]。在境外傳輸方面，我國鄰近世界工廠中國大陸，近年經濟發展迅速，工業污染排放大幅上升，加上中國大陸居民燃煤取暖及機動車輛排放產生各種空氣污染物，導致中國大陸霾害事件漸趨嚴重。而中國大陸霾害於冬季(每年 11 月至隔年 3 月)往往隨著東北季風或冷氣團南下影響臺灣，是影響我國秋冬季 $PM_{2.5}$ 濃度較高的原因之一，有時甚至會與我國本地污染反應或加成作用，造成 $PM_{2.5}$ 在短時間內迅速惡化；而日本、韓國的工業污染與東南亞國家生質燃燒污染也會隨大氣環流或季風傳送至我國[1]。

面對頻繁發生的霾害或沙塵暴造成的空氣污染，導致 $PM_{2.5}$ 濃度上升嚴重影響人體健康與生活環境品質。由於細懸浮微粒來源眾多，其成分組成也大不相同，其無固定成分，由懸浮在空氣中的固態與液物質混合組成，可能含有元素碳、有機碳、硝酸鹽、硫氣成分相異且毒性會依據成分而定[4]。目前針對霾害之懸浮微粒研究仍多數是針對 $PM_{2.5}$ 之化學及物理特性做探討。實際上，這些懸浮微粒組成亦含有生物性微粒，其可能單獨以微粒形式存在(例如真菌孢子)，亦有可能會附著在微粒上(例如細菌、真菌、病毒、細菌內毒素、代謝物、黴菌毒素和微生物片段等)。免疫力較差的民眾暴露在這些高濃度的生物氣膠下，可能會導致呼吸系統疾病、傳染病和癌症等疾病。這些生物氣膠除了來自當地活動產生外，亦會經由懸浮微粒之跨區域及長程傳輸而增加，但至目前為止國內對高濃度 $PM_{2.5}$ 事件日中的生物性微粒特性卻顯少探討，僅有趙[5,6]、方[7]、陳[8]及蔣[9]針對台

灣北部沙塵暴與非沙塵暴日空氣中的真菌、流感與禽流感病毒及細菌做探討，其結果皆指出長程傳輸卻實有可能會增加及影響北台灣空氣中的生物氣膠菌種或濃度。

由於高濃度細懸浮微粒成因不同，PM_{2.5}組成亦十分複雜，有鑑於國內僅有少數研究於沙塵暴引起之事件日進行生物氣膠的探討，且其皆於地面定點之環保署空氣品質監測站位置進行採樣分析，對於空間不同高度之生物氣膠濃度分佈情形及各種造成 PM_{2.5} 濃度增加之事件日的生物氣膠分佈狀況皆並未做探討與瞭解。因此，本研究目的即是將利用無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicles, UAVs)，針對空間中的空氣微生物特性及其與空氣參數之相關性做探討，以期提供做為霾害發生時，評估微生物氣膠引起環境效應與健康風險之基礎資料。

二、文獻回顧與探討

2.1 國內外 PM_{2.5} 之健康危害研究

目前台灣及國際上已有許多研究指出暴露於大氣中的細懸浮微粒會增加人體的健康風險。Pope et al. [10]進行 120 萬人前瞻性死亡率研究指出，每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 細懸浮微粒之空氣污染，約分別增加總、心肺及肺癌死亡率 4%、6%及 8%。Pope et al. [11]追蹤美國都市區五百萬人 16 年，結果發現 PM_{2.5} 每 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的增加與心臟衰竭、心搏停止、缺血性中風及節律障礙相關死亡率 8% 至 18%的增加有關。Qiu et al. [12]收集香港 2000 至 2005 年之 PM_{2.5} 濃度資料，發現四天內之 PM_{2.5} 移動平均濃度每上升 10.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，因呼吸系統疾病而緊急住院之發生率顯著上升 1.94%。Dockery & Brunekreef [13]於美國聖路易斯得到每增加 PM_{2.5} 濃度 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，致死率會增加 17-23%。Schwartz [14]分析收集美國哈佛六城市之數據，得到 M_{2.5} 與致死率都有顯著相關，每增加 PM_{2.5} 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，總死亡率增加 1.5%。

國內臺大公衛學院林先和副教授研究團隊[15]發現進行追蹤新北市參加健檢的民眾長達 6.7 年，利用住家地址推估居民的空氣汙染暴露量，評估空汙與結核病發病的風險。結果顯示，每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的 PM_{2.5} 暴露量，結核病發生率的風險會增加 39%，PM_{2.5} 是同時造成慢性傳染病與非傳染病疾病負擔的重要危險因子。此外，由中研院與陽明、成功大學合作[16]，在台灣本島、澎湖 5 縣市收案 2 萬多名 30 歲以上成人，平均追蹤 16.9 年後，有 464 人罹肝癌，再比對居住地與環保署 PM_{2.5} 監測資料，發現本島與澎湖 PM_{2.5} 濃度，每各增 13.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 0.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，罹肝癌風險約提高 2 成 2。這是台灣領先全球發表的最新研究發現，長期暴露於 PM_{2.5} 會使肝臟發炎，且證實無慢

性病毒性肝炎、不菸不酒者，吸髒空氣也會增加罹肝癌風險。

2.2 沙塵長程傳輸及霧霾之生物氣膠

到目前為止，細懸浮微粒之研究多數還是針對微粒之物理及化學特性做探討，對於生物氣膠的研究較少。在生物氣膠長程傳輸之研究方面，Brown & Hovmøller[17]指出病原菌會透過空氣及風，經由長距離的傳輸擴散，因而造成其他地區植物或作物生病而產生嚴重疫情。Prospero et al.[18]研究發現非洲的土壤粉塵會透過長程傳輸將活性細菌及真菌傳送到較遠的加勒比，且微生物之長程傳輸可能與氣候變異有關。Rosselli et al.[19]證實存在於空氣中粉塵微粒上的細菌，會從非洲經過地中海而傳送至歐洲，此長程傳輸確實會豐富下風處受影響地區之腸道菌群及增加當地之生物多樣性。

在霧霾天氣空氣中微生物之研究方面，Cao et al.[20]研究中國北京市嚴重霧霾天氣下，PM_{2.5}和PM₁₀之可吸入性微生物中，細菌所佔比例皆比真菌、古細菌及病毒高。微粒中會導致人體過敏或致病性微生物(例如肺炎鏈球菌、煙曲黴菌等)濃度，隨著懸浮微粒濃度增加而增加。Gao et al.[21]進一步針對中國北京市進行四季灰霾日與非灰霾日空氣中可培養之細菌及真菌採樣及分析，結果顯示生物氣膠濃度隨著霾害的嚴重性增加而減少，且在嚴重之灰霾日，生物氣膠粒徑分佈則轉移至較大氣動直徑。Gao et al.[22]指出中國北京市出灰霾日與非灰霾日之生物氣膠粒徑分佈雖有些許差異，但細菌及真菌主要分佈在大粒徑，且真菌粒徑分佈呈現高斯分配。空氣中總細真菌及可呼吸性細真菌濃度皆與PM_{2.5}或PM₁₀空氣品質指標成負相關。Li et al.[23]指出中國西安秋季灰霾日空氣中的細菌及真菌濃度明顯高於非灰霾日，且在灰霾日之微粒中皆驗出非灰霾日未鑑定出的致病菌種，灰霾日下有更高的生物氣膠暴露風險。

在國內過去幾年，僅有少數針對台灣北部沙塵暴與非沙塵暴日空氣中的生物氣膠做探討。趙[5,6]進行大台北地區生物性微粒監測調查，並評估長程傳輸對生物性微粒成分及濃度的影響。結果顯示沙塵暴事件確實會影響北台灣的真菌種類的濃度。陳[8]於平日及東亞沙塵暴影響前後期間採集生物氣膠，其結果指出六次疑似沙塵事件日中，偵測到三次疑似沙塵事件日期間，空氣中A型流感病毒濃度升高，同時，石門與新莊兩測站，也均觀察到疑似沙塵事件日之A型流感病毒濃度顯著高於定期監測期間之A型流感病毒濃度。蔣[9]分析台灣北部都市和近郊空氣中細菌、腸病毒及流感病毒於背景日及長程傳輸事件時之濃度，結果顯示富貴角測站的細菌及A型流感病毒濃度增加情形受長程傳輸之影響大於台大測站。



三、研究方法與步驟

3.1 研究設計

本研究於台南市安南區選擇一合適地點，配合 UAVs 進行地面及不同高度空間之細菌及真菌生物氣膠採樣，以探討不同高度生物氣膠分佈特性之差異，進而瞭解 PM_{2.5} 因子對生物性微粒濃度的影響。另，也將配合大氣監測之空氣參數，進行生物氣膠濃度與空氣污染物等因子之相關性探討，以評估生物性微粒與物理性及化學性空氣參數之相關性。

3.2 生物性微粒之監測與採樣方法

3.2.1 採樣地點及時機

本研究擬採不同高度(0~100 公尺)空間的生物性微粒，考量配合本校應用空間資訊系無人飛行載具 UAVs 於不同飛行高度之操作運行，以及方便於生物氣膠採樣後立即進行後續培養，因此生物氣膠採樣地點將於安南區觀夕平台，坐標位置為(22.994076, 120.144156)，此為較為空曠不受到周圍建築物影響 UAVs 飛行及氣膠採樣的區域。由於大氣 PM_{2.5} 濃度的變化不定，本計畫隨機共進行兩次採樣，分別於 2017.02.15 及 2017.03.15 上午至中午時段，進行不同高度(0~100m)生物氣膠採樣。

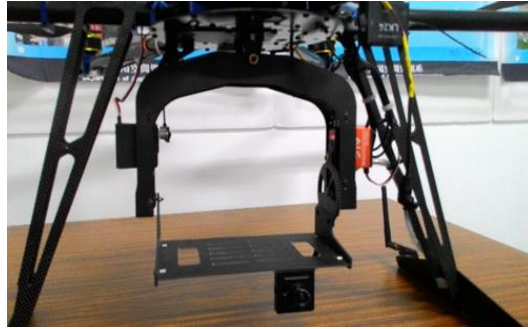
3.2.2 採樣方法

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicles, UAVs) 或稱無人飛機系統，俗稱無人機或無人飛機(圖一)，為不需駕駛員在機內駕駛的飛機，為近年來航太產業的熱門項目之一。UAVs 乃指藉由遙控或自動駕駛技術，來進行科學觀測、戰場偵查...等任務的飛行載具，具有比傳統有人飛機操作成本低、運用彈性大、支援裝備少...等特性。本研究先將生物氣膠採樣器裝載於 UAVs 雲台上(圖二)，於 UAVs 飛行任務前先進行航線規劃，航線規劃可從 Google Earth 載入欲飛行範圍，在此範圍內設定航點，此航點為高空生物氣膠採樣點之坐標與高度，之後將航線資料上傳到 UAVs 飛控電腦，UAVs 即可準備起飛，在起飛點以手動或自動升空後，即可進入自動導航模式，UAVs 將循先前規劃之航線(不同高度)進行飛行任務，飛抵定點高度後，即進行預先設定好的採樣模式進行生物氣膠採樣，如此流程重複進行，直到飛行任務結束後，UAVs 將自動返航到航線規劃中的返航點並自動降落。後續取出生物氣膠採樣器，將濾膜送至實驗室進行後續培養分析。所使用無人飛行載具為大疆 dji S1000+八軸旋翼機，載具基本規格如下：機架對角軸距為 1045mm，發動機功率為 500W，最大功率消耗 4000W，空機重量為 4.4Kg，搭載 6S 22000mAh LiPo 電池，電池重量 2.5Kg，起飛重量為 6~11Kg，在 9Kg 起飛重量下，懸停(滯空)時間約 20 分鐘，雲台經由改裝可攜載空氣品質檢驗與微生物檢驗相關設備。





圖一、八軸無人飛行載具



圖二、UAVs 下方裝載儀器之雲台

考量其他子計畫一起進行空氣採樣，受限於 UAVs 所能承載之重量，因此本研究採用重量較輕的 Button aerosol sampler 搭配直徑 25mm 的 Gelatin filter 來採集細菌及真菌生物性微粒。採樣器的流量為 4 L/min，採樣前後採樣器皆需進行流量校正，以平均流量做為該次採樣流量。採樣前 Button aerosol sampler 先以 121°C、15 分鐘高溫高壓滅菌。採樣高度預計為 0 m、25m、50 m、75m、100 m，採樣時間為 3 分鐘。

3.2.3 生物氣膠培養分析

採樣後的 Gelatin 濾紙以無菌鑷子移至 5 ml 流洗液(0.01% Tween 80)中使其完全溶解後，製備 10 倍及 100 倍稀釋液進行後續分析。在可培養性細菌及真菌部份，分別將各樣本 0.1 ml 原液、10 倍稀釋液及 100 倍稀釋液分別塗抹至細菌培養基 TSA(Tryptone Soya Agar)及真菌培養基 MEA(Malt Extract Agar)上，並分別於 30±1°C 培養 48±2 小時及 25±1°C 培養 4-5 天後，計數生長於培養基上之菌落數，並換算為每立方公尺空氣中的細、真菌濃度。可培養性細菌及真菌濃度的計算公式如下：

$$C_{\text{culturable}} = \text{CFU} \times D \times (V_1/V_2) / \text{採樣空氣體積}$$

其中：

$C_{\text{culturable}}$ (CFU/m³)：空氣中可培養性細菌或真菌濃度

CFU：培養基上之菌落數

D：抹盤使用樣本之稀釋倍數

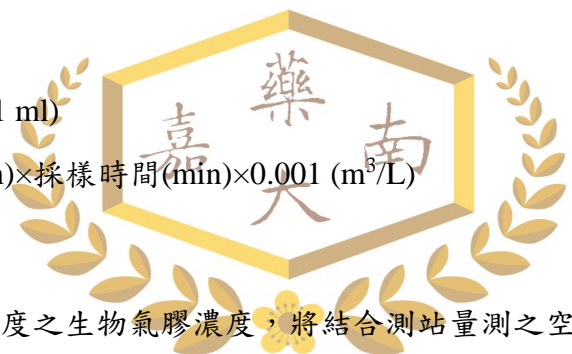
V_1 ：萃取使用的流洗液體積(5 ml)

V_2 ：抹盤使用的原液或稀釋液體積(0.1 ml)

採樣空氣體積(m³)：採樣器流量(L/min)×採樣時間(min)×0.001 (m³/L)

3.3 生物氣膠與空氣參數之相關性分析

本子計畫測得之不同 PM_{2.5} 濃度之事件日下各高度之生物氣膠濃度，將結合測站量測之空氣參數(如溫度、相對濕度、CO₂、微粒質量及粒數濃度等)進行統計模式分析。利用描述性資料分析，



彙整所測量生物性濃度之分佈，並評估其不同高度、不同細懸浮微粒事件日效應。生物氣膠濃度與空氣參數間的相關性。

四、結果與討論

4.1 細菌及真菌生物氣膠濃度分佈

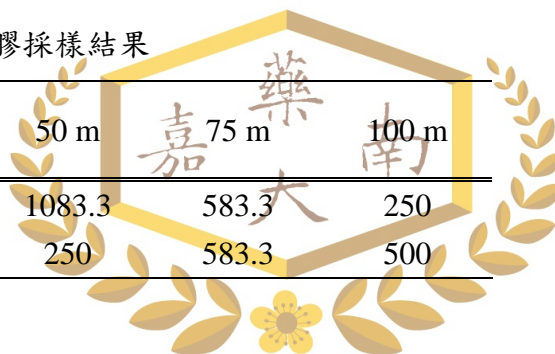
表一及表二為兩次採樣之不同高度下之生物氣膠濃度分佈，第一次於 106.02.15 採樣，由於僅距離地面 5 公尺及 10 公尺兩個高度採樣，細菌生物氣膠濃度顯示 10 公尺測得濃度高於 5 公尺，但真菌生物氣膠則是 5 公尺高於 10 公尺。由於僅有兩個採樣點，因此難以判斷高度對於生物氣膠分佈之影響。有鑑於此，接著於 106.03.16 進行五個高度採樣，分別距離地面 0 m、25 m、50 m、75 m 及 100 m 處採集細菌及真菌生物氣膠。表二顯示除了地面濃度外，從 25 m 往上，細菌生物氣膠濃度分佈隨高度上升濃度漸減；但真菌生物氣膠濃度分佈則隨高度呈現不規則變化，並無觀察到隨高度增加而下降。兩種生物氣膠分佈結果明顯不同(如圖三所示)，整體來說，高度愈高，細菌生物氣膠濃度愈低；但真菌生物氣膠則是位於高空(75 m 及 100 m)之濃度高於較低之高度(25 m 及 50 m)。在地面量測到之細菌及真菌生物氣膠濃度，由於位於地面，可能受到地面人為活動及車輛等影響，因此其濃度分佈與不同高度測得之結果不同。

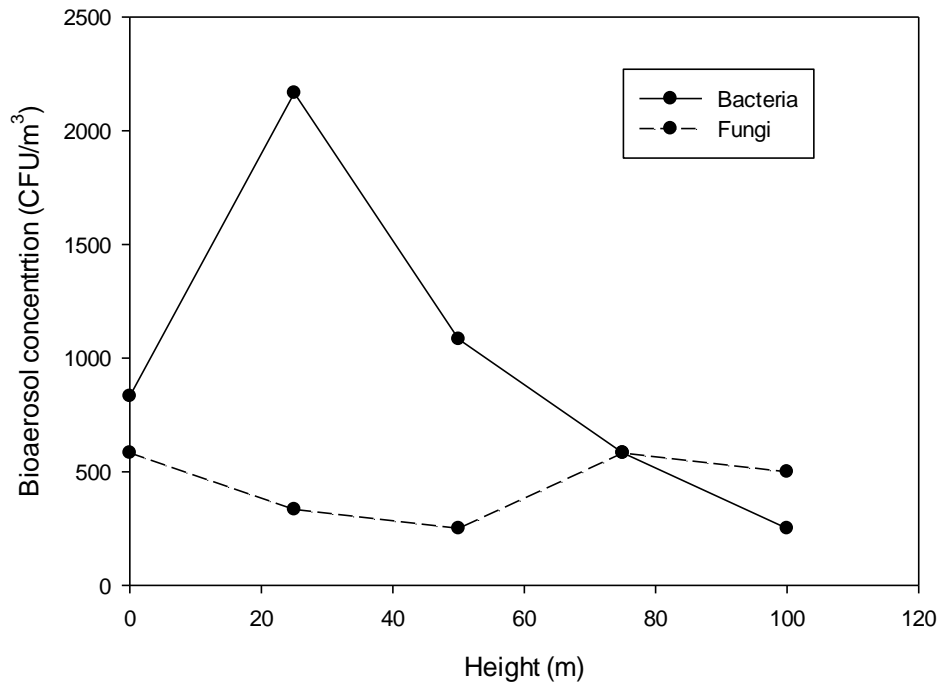
表一、第一次生物氣膠採樣結果

採樣日期	5 m	10 m
2017.02.15		
細菌	583.3	750
真菌	1500	1333.3

表二、第二次生物氣膠採樣結果

採樣日期	0 m	25 m	50 m	75 m	100 m
2017.03.16					
細菌	833.3	2166.7	1083.3	583.3	250
真菌	583.3	333.3	250	583.3	500





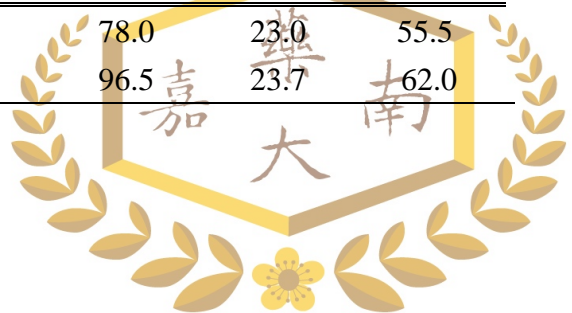
圖三、不同高度之生物氣膠濃度分佈

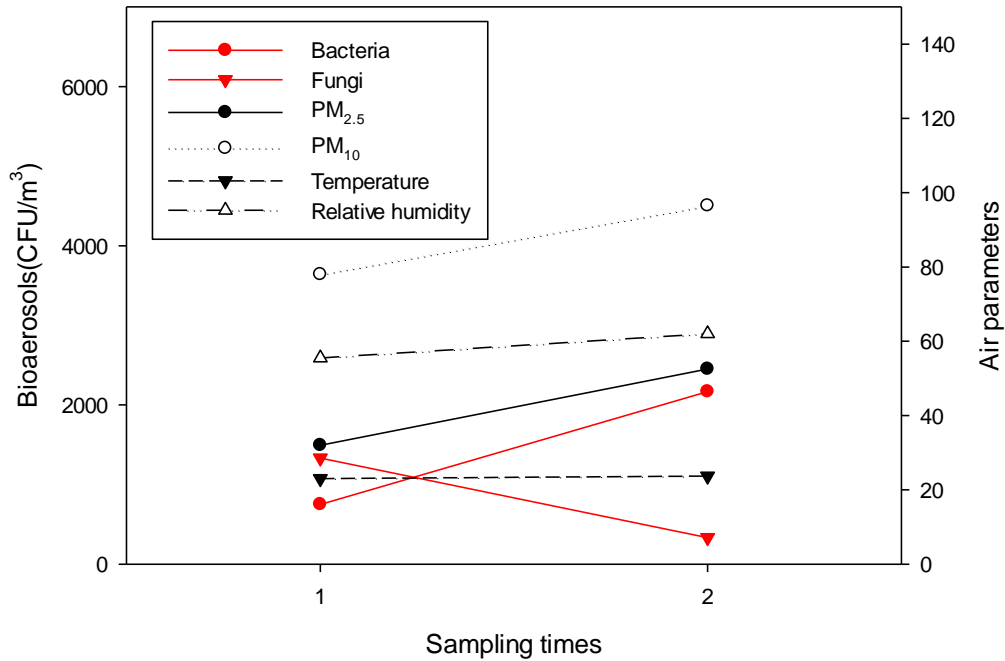
4.2 生物氣膠濃度與空氣品質測站其他空氣參數之相關性

表三為兩次生物氣膠採樣日之平均 PM₁₀、PM_{2.5}、溫度及相對濕度。由於安南空氣品質監測站之採樣口高度為 15.4 公尺，因此以第一次生物氣膠採樣高度 10 公尺及第二次採樣高度 25 公尺得到之生物氣膠濃度與測站資料作比較及分析。圖四為生物氣膠濃度與各項空氣參數之分佈圖，結果顯示細菌生物氣膠濃度變化皆與 PM₁₀、PM_{2.5}、溫度及相對濕度等四項空氣參數變化相同，細菌濃度皆與四項參成正比；但卻與真菌生物氣膠濃度成反比變化。由於本計畫僅進行兩次採樣，因此得到之結果尚不足以證明生物氣膠濃度與各項參數之相關性。

表三、安南空氣品質監測站測得之空氣參數與生物氣膠濃度

空氣參數	細菌 (CFU/m ³)	真菌 (CFU/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	溫度 (°C)	相對濕度 (%)
第一次採樣	750	1333.3	32.0	78.0	23.0	55.5
第二次採樣	2166.7	333.3	52.5	96.5	23.7	62.0





五、結論

本研究計畫首度採用 UAVs 無人飛機進行不同高度之細菌及真菌生物氣膠採樣，細菌濃度隨距離高度增加，濃度漸減；而真菌生物氣膠濃度則是高空測得之濃度高於低空之濃度。若與靠近採樣地點之環保署空氣品質安南監測站測得之資料作比較分析，得到細菌生物氣膠濃度與四項空氣參數成正比，但真菌生物氣膠則成反比。由於本研究受限於諸多因素，最後僅能進行兩次採樣，在資料有限的情形下，生物氣膠之高度分佈及與各項空氣參數之相關性，仍有待未來進行更多採樣實驗並獲得足夠數據後，進一步做更嚴謹的統計分析後才可得知。本研究是首次利用 UAVs 從事生物氣膠採樣，雖然數據有限，但仍可得知不同高度環境之生物氣膠分佈特性確實有所差異。建議未來可依照環保署發佈空氣品質預警訊息，於高濃度細懸浮微粒事件日與非事件日進行地面至高空的微生物採樣及分析，以探討各種不同成因(長程傳輸與國內污染)之高濃度 PM_{2.5} 污染事件間，生物氣膠分佈特性之差異，進而瞭解造成高濃度 PM_{2.5} 因子對生物性微粒濃度的影響。另，也可進行比較細懸浮微粒污染事件日與非事件日之生物氣膠特性差異，以瞭解高濃度 PM_{2.5} 對生物氣膠濃度的影響。最後再配合測站監測之空氣參數，進行生物氣膠濃度與空氣污染物等因子之相關性探討，以評估生物性微粒與物理性及化學性空氣參數之相關性。



致謝

本計畫承蒙嘉南藥理大學計畫編號 CN10514 的經費支持得以順利完成，藉表謝忱。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，認識細懸浮微粒，民國 104 年 10 月。
2. 行政院環境保護署，清淨空氣行動計畫(104 年至 109 年)，民國 104 年 8 月。
3. 行政院環境保護署，臺灣空氣污染物排放清冊 TEDS8.1，民國 105 年 1 月取自空氣污染排放量查詢系統 http://teds.epa.gov.tw/new_main2-0-1.htm。
4. 行政院衛生福利部國民健康署，細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 參考資訊，民國 105 年 1 月取自 [http://www.hpa.gov.tw/BHPNet/Portal/File/ThemeDocFile/201502161108224442/細懸浮微粒\(PM_{2.5}\)參考資訊 0427.pdf](http://www.hpa.gov.tw/BHPNet/Portal/File/ThemeDocFile/201502161108224442/細懸浮微粒(PM2%205)參考資訊 0427.pdf)。
5. 趙馨(2004)，台灣地區空氣長程傳輸中微粒微生物調查與健康效應評估計畫，行政院環保署 EPA-93-L105-02-207 成果報告。
6. 趙馨(2005)，超級測站生物性微粒特性資料之彙整分析，行政院國科會 NSC-94-EPA-Z-038-001 成果報告。
7. 方盈禎(2016)，台北地區大氣中真菌孢子與真菌過敏原之粒徑分佈與特性探討，台北醫學大學碩士論文。
8. 陳培詩(2006)，空氣長程傳輸中微粒之流感與禽流感病毒偵測與健康效應評估，行政院環保署 EPA-95-FA11-03-A010 成果報告。
9. 蔣岳崇(2015)，沙塵暴對台灣北部地區空氣中病毒及細菌濃度之影響，國立成功大學碩士論文。
10. Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, 287(9), 1132-1141.
11. Pope, C. A., Burnett, R. T., Thurston, G. D., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., & Godleski, J. J. (2004). Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation*, 109(1), 71-77.



12. Qiu, H., Yu, I. T. S., Tian, L., Wang, X., Tse, L. A., Tam, W., & Wong, T. W. (2012). Effects of coarse particulate matter on emergency hospital admissions for respiratory diseases: a time-series analysis in Hong Kong. *Environmental health perspectives*, 120(4), 5.
13. Dockery, D. W., & Brunekreef, B. (1996). Longitudinal Studies of Air Pollution Effects on Lung Function. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 154, S250-S256.
14. Schwartz, J., Dockery, D. W., & Neas, L. M. (1996). Is daily mortality associated specifically with fine particles?. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46(10), 927-939.
15. Lai, T. C., Chiang, C. Y., Wu, C. F., Yang, S. L., Liu, D. P., Chan, C. C., & Lin, H. H. (2016). Ambient air pollution and risk of tuberculosis: a cohort study. *Occupational and environmental medicine*, 73, 56-61.
16. Pan, W. C., Wu, C. D., Chen, M. J., Huang, Y. T., Chen, C. J., Su, H. J., & Yang, H. I. (2016). Fine particle pollution, alanine transaminase, and liver cancer: A Taiwanese prospective cohort study (REVEAL-HBV). *Journal of the National Cancer Institute*, 108(3), djv341.
17. Brown, J. K., & Hovmøller, M. S. (2002). Aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease. *Science*, 297(5581), 537-541.
18. Prospero, J. M., Blades, E., Mathison, G., & Naidu, R. (2005). Interhemispheric transport of viable fungi and bacteria from Africa to the Caribbean with soil dust. *Aerobiologia*, 21(1), 1-19.
19. Rosselli, R., Fiamma, M., Deligios, M., Pintus, G., Pellizzaro, G., Canu, A., ... & Cappuccinelli, P. (2015). Microbial immigration across the Mediterranean via airborne dust. *Scientific reports*, 5.
20. Cao, C., Jiang, W., Wang, B., Fang, J., Lang, J., Tian, G., ... & Zhu, T. F. (2014). Inhalable microorganisms in Beijing's PM_{2.5} and PM₁₀ pollutants during a severe smog event. *Environmental science & technology*, 48(3), 1499-1507.
21. Gao, M., Jia, R., Qiu, T., Han, M., Song, Y., & Wang, X. (2015). Seasonal size distribution of airborne culturable bacteria and fungi and preliminary estimation of their deposition in human lungs during non-haze and haze days. *Atmospheric Environment*, 118, 203-210.
22. Gao, M., Qiu, T., Jia, R., Han, M., Song, Y., & Wang, X. (2015). Concentration and size distribution of viable bioaerosols during non-haze and haze days in Beijing. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(6), 4359-4368.

23. Li, Y., Fu, H., Wang, W., Liu, J., Meng, Q., & Wang, W. (2015). Characteristics of bacterial and fungal aerosols during the autumn haze days in Xi'an, China. *Atmospheric Environment*, 122, 439-447.

