

論文

高生物氣膠暴露職場之真菌及細菌特性調查

陳逸滄^{1,2} 蘇干田¹ 莊娛智¹ 陳叡瑜¹ 洪柏宸² 趙馨¹

¹ 臺北醫學大學公共衛生學系

² 勞動部勞動及職業安全衛生研究所

摘要

許多職業環境中常有高濃度的生物氣膠暴露，如養殖場、堆肥業等，工作者易有呼吸道感染、肺功能下降、過敏等健康危害，是重要的職業衛生問題。本研究進行高生物氣膠暴露職場調查，以瞭解工作者的生物氣膠暴露狀況。本研究針對我國五類作業場所進行調查，包括花店、養雞場、養菇場、蔬菜園及堆肥場。採樣使用IOM sampler搭配polycarbonate濾紙以及Andersen N6 sampler在工作者主要工作場所進行真菌生物氣膠及細菌生物氣膠的區域採樣，並以直讀式儀器進行環境因子監測。五類職場生物氣膠平均濃度範圍分別為可培養細菌 $279\sim 5.58\times 10^5$ CFU/m³，可培養真菌 $428\sim 5,132$ CFU/m³，內毒素 $15\sim 2,343$ EU/m³，總真菌孢子 $2,134\sim 4.60\times 10^5$ spores/m³，總細菌 $5.69\times 10^4\sim 1.27\times 10^6$ cells/m³。整體而言，養雞場的生物氣膠濃度最高，各類職場生物氣膠的濃度有很大的變異。在本研究中，五種職場的生物氣膠濃度都相當高，因此應加強環境控制降低工作者生物氣膠暴露，並鼓勵工作者使用適當的個人防護具。

關鍵字：生物氣膠、生物性職業危害、職業衛生

民國 103 年 11 月 5 日投稿，民國 104 年 1 月 29 日修改，民國 104 年 3 月 27 日接受。

通訊作者：趙馨，臺北醫學大學公共衛生學系，電子信箱：hchao@tmu.edu.tw。

緒論

生物氣膠為各種懸浮在空氣中的微生物，以及源自於生物體的碎片、廢棄物或代謝產物，可能造成感染、過敏、毒性反應等健康危害[1]。雖然一般民眾在日常生活中無法避免生物氣膠的暴露，但是在某些職業環境，如醫院、安養院、養殖場、木材加工廠等等，因受到工作特性影響，有相當高濃度的生物氣膠暴露。暴露於高濃度生物氣膠職場之工作者，易有呼吸道感染、肺功能下降、過敏等健康危害[2]，是相當重要的職業衛生問題。

國外早期的研究中即已觀察到香菇農場中高濃度真菌孢子的暴露[3,4]，也有研究在菇類培養場中發現工作者有較高罹患過敏性肺炎的風險[5]，因此該職業場所的真菌暴露職業危害相當值得探討。國外有相當多關於家禽養殖場的研究[6-9]，結果都指出家禽養殖場中生物氣膠濃度相當高。例如Senthilselvan et al. (2011) [10]在蛋雞場與肉雞場中分別發現內毒素的濃度為1,947.7~2,699.9 EU/m³與946.7~2,583.3 EU/m³，遠高於荷蘭的工作場所暴露建議濃度90 EU/m³[11]。而在另一篇德國養鴨場[12]的研究中，總細菌的濃度範圍從0.4~3×10⁵ CFU/m³，高於我國室內空氣品質標準規範細菌濃度的1,500 CFU/m³，以及加拿大魁北克IRSST (Quebec Occupational Health and Safety Research Institute) 所訂定農業、工業作業環境建議值(10,000 CFU/m³)。一個我國針對養雞場的研究結果指出，可培養性真菌濃度中位數為1.9×10³ CFU/m³[13]；另一個針對養鴨場的研究中，總細菌與總真菌濃度分別為290~6.91×10⁴ CFU/m³以及970~8,740 CFU/m³[14]。由此可見家禽養殖場生物氣膠暴露的嚴重性，但我國文獻鮮少關於家禽養殖場的調

查。在丹麥[15-17]、美國[18]、德國與西班牙[19]等多國的調查結果都發現在農業環境中有相當高的生物氣膠濃度。此外，農業活動中肥料的使用也不容忽視。有機肥的原理是利用嗜熱菌和耐熱微生物的作用[20]，將生的有機質製造成腐熟有機質。而用於製造堆肥的有機質材料很複雜，需要許多種微生物共同參與分解有機質才能發揮效能[21]。且在堆肥的培養過程中需要進行翻堆與攪拌等等容易造成微生物擾動的工作，而各種堆肥所使用的菌種與培養目的有所不同，對於人類產生的健康效應有待討論[22]。目前國外已有不少文獻觀察到堆肥場中有高濃度的生物氣膠[23-27]，而我國的堆肥場相關資料較少[28,29]，因此應進行進一步調查。花店屬於室內環境，有關的生物氣膠研究並不多，關於花卉的生物氣膠部分，較多研究著重於花卉溫室中[30]，國內僅有一篇關於花店的研究[31]。該研究結果發現花店中有相當高的總真菌濃度(1,162.83±1,193.65 CFU/m³)；根據我國室內空氣品質標準，室內真菌濃度應低於1,000 CFU/m³或總真菌濃度室內外比值≤1.3，該結果明顯超出標準。因此花店為另一值得探討的高生物氣膠職場。

根據上述文獻回顧結果，香菇農場、家禽養殖場、堆肥場、蔬菜園以及花店為重要的高生物氣膠職場，但我國資料較為不足，因此本研究針對此五類職場進行真菌、細菌等重要生物氣膠的濃度分佈及特性調查，以瞭解工作者的可能健康危害。

研究方法

1. 研究地點

研究地點的選取是根據文獻回顧結果，挑選出我國從業人員較多且生物氣膠濃度較高，

但資料較少的五類高生物氣膠暴露職場進行現場調查，包括花店、養雞場、養菇場、蔬菜園與堆肥場。

由於五類職場的工作性質與工作模式差異很大，因此本研究的職場選取採立意取樣，選擇願意配合及人數較多的職場，並且每類職場至少選取兩家，以瞭解不同場家的差異。一般花店與養雞場中工作者較少，多為2~4人，為能獲得足夠的樣本數，本研究選取較多間花店與養雞場進行採樣以增加代表性。本研究所選取的養菇場工作者人數較多，養菇場A中即有36位工作者，但為了瞭解其他養菇場的特性，因此亦進行養菇場B的採樣。在蔬菜園的部分，由於農作物的種類大不相同，且工作者數量可從2人到8人不等，因此選擇較多家的蔬菜園以增加環境暴露資料的代表性。各家採樣職場採樣地點的選擇，以工作者主要工作地點為主，並根據現場的環境狀況進行調整。

2. 環境監測及樣本分析

為瞭解工作環境中各類型區域的生物氣膠特性，本研究針對工作者主要工作地點進行一個完整工作天(約8個小時，視工作者工作時間調整)的區域採樣。採樣使用個人採樣器IOM Sampler (SKC Inc., Pennsylvania, USA) 搭配孔徑0.8 μ m的PC濾紙(25mm Nuclepore[®] Polycarbonate Filter, Whatman Japan KK, Tokyo, Japan)進行，流量為2L/min[32]。每次採樣前、後採樣器皆進行流量校正，以平均流量做為該次採樣流量。為模擬工作者工作時的呼吸帶，採樣器架設於離地面約1.5公尺處，並視工作情況調整高度。所有採集完成之空氣樣本在4 $^{\circ}$ C下貯存，立刻送回實驗室進行後續處理分析。

採樣後之PC濾紙，以無菌鑷子將其移至裝有5ml流洗液(無熱原水及0.01% Tween 80)的

離心管中，將樣本震盪(vortex)2分鐘後，進行15分鐘超音波震盪(ultrasonic agitation)，再進行後續分析，分析的生物氣膠包括可培養性細菌(culturable bacteria)、總細菌(total bacteria)、內毒素(endotoxin)、可培養性真菌(culturable fungi)及總真菌孢子(total fungal spores)等五類[32]。

在可培養性細菌部份，將各樣本的0.1 ml原液、10倍稀釋液及100倍稀釋液塗抹至Trypticase Soy Agar (TSA, BD Difco[™], Becton, Dickinson and Company, Maryland, USA)，於30 $^{\circ}$ C下培養2天後，利用解剖顯微鏡進行總菌落數的計算。在可培養性真菌部份，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Malt Extract Agar (MEA, BD Difco[™], Becton, Dickinson and Company, Maryland, USA)上，在25 $^{\circ}$ C下培養7天後進行計數及鑑定。可培養性細菌及真菌濃度的計算公式如下：

$$C_{\text{culturable}} = \text{CFU} \times D \times (V_1/V_2) / \text{採樣空氣體積} - C_{\text{culturable}} \text{ (CFU/m}^3\text{)} : \text{空氣中可培養性細菌或真菌濃度}$$

—CFU (Colony Forming Unit) : 培養基上之菌落數

—D : 抹盤使用樣本之稀釋倍數

—V₁ : 萃取使用的流洗液體積 (5ml)

—V₂ : 抹盤使用的原液或稀釋液體積 (0.1ml)

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

總細菌量的計數是將25mm的PC濾紙(孔徑0.2 μ m)放置在filter holder上，用無菌水潤濕後，添加1ml的原液進行過濾(每次500 μ l)，再添加1ml的acridine orange染劑(0.1mg/ml)染色10分鐘，接著使用無菌水沖去多餘染劑(5ml沖兩次)。用無菌鑷子將PC濾紙移至載玻片上，待乾後蓋上蓋玻片，使用指甲油封

住邊緣，再放置於螢光顯微鏡下進行總細菌計數。計數於400倍放大倍率下進行，選擇二條直徑（互相垂直），以固定間距每條直徑計數10個顯微鏡視野，共計數20個顯微鏡視野。總細菌濃度的計算公式如下：

$$C_{\text{total bac.}} = N \times (\pi R^2 / A) \times (V_1 / V_2) / \text{採樣空氣體積}$$

— $C_{\text{total bac.}}$ (cells/m³)：空氣中總細菌濃度

— N ：計數顯微鏡視野的平均細菌數量

— R ：PC濾紙的有效半徑（12.5mm）

— A ：顯微鏡視野的面積（mm²）

— V_1 ：萃取使用的流洗液體積（5ml）

— V_2 ：分析使用的原液體積（1ml）

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

在真菌孢子的部份，取1ml原液離心10分鐘，移除0.9ml上清液後，將樣本震盪2分鐘，取50μl溶液加至載玻片上，在加熱乾燥載玻片後，利用光學顯微鏡進行計數鑑定。真菌孢子濃度的計算公式如下：

$$C_{\text{total fungi}} = N \times (V_1 / V_2) \times 2 / \text{採樣空氣體積}$$

— $C_{\text{total fungi}}$ (spores/m³)：空氣中總真菌孢子濃度

— N ：計數所得的孢子數

— V_1 ：萃取使用的流洗液體積（5ml）

— V_2 ：分析使用的原液體積（1ml）

— 2：100μl / 50μl

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

內毒素分析是利用馬蹄蟹變形細胞溶解試驗分析法（Limulus Amebocyte Lysate, LAL）進行。細菌內毒素標準品及分析套組向Associates of Cape Cod, Inc. (MA, USA) 訂購。將定量的熱質呈色劑（Pyrochrome）加入樣本（50μl原液）中，於37°C下培養混合液，利用Multiskan Ascent ELISA reader（Thermo Electron Co., MA,

USA）在405nm之波長下讀取樣本和標準品的吸光值，依照標準品的吸光值及濃度製成檢量線，最後將讀取之吸光值利用檢量線推算出樣本濃度，再依照採樣流量換算成空氣中的內毒素濃度。標準品濃度包括50、10、5、1、0.5、0.05及0.005 EU/ml，檢量線R²>0.99。濃度計算公式如下：

$$C_{\text{endotoxin}} = N \times V / \text{採樣空氣體積}$$

— $C_{\text{endotoxin}}$ (Endotoxin Unit/m³, EU/m³)：空氣中內毒素濃度

— N ：LAL分析結果（EU/ml）

— V ：萃取使用的流洗液體積（5ml）

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

除了利用個人採樣器搭配濾紙採樣外，本研究亦利用Andersen N6 Sampler（Graseby Andersen, GA, USA）進行可培養性真菌及細菌的採樣。Andersen N6 Sampler的流量為28.3 L/min；採樣器在每次採樣前後皆會進行流量校正。每一次採樣同時使用兩個採集盤進行樣本收集（duplicates），採樣時間為0.5及1分鐘。採樣之真菌及細菌培養基分別使用MEA及TSA。採樣針對工作者主要工作地點進行區域採樣，在各採樣點上午及下午各進行一次。採集完成之空氣樣本在4°C下貯存，立刻送回實驗室進行後續分析。利用Andersen N6 Sampler收集的可培養真菌及細菌樣本，分別在25°C下培養7天及30°C下培養2天後進行鑑定。可培養真菌樣本先利用解剖顯微鏡進行總菌落數（total colony forming units, total CFU）的計算，並鑑定每一菌落（colony）之菌屬。若其形態不易辨認，則將該菌種製成玻片，利用光學顯微鏡觀察其菌絲及孢子之構造，進行分析鑑定。可培養細菌樣本則利用解剖顯微鏡進行總菌落數的計算。可培養性真菌及細菌的菌落

數不經positive hole correction；濃度是將重複樣本 (duplicates) 平均後進行計算。

本研究中樣本最低偵測極限 (Detection of Limit, LOD) 的計算方法為假設各分析方法中可以觀察到1個該類的生物氣膠，所計算出來的濃度。例如可培養細菌及真菌分析及總真菌孢子濃度的公式分別以1 CFU及1 spore代入；總細菌濃度的計算公式以1/20代入，即20個視野中有觀察到1細菌細胞；內毒素則以標準品的LOD 0.005 EU/ml代入公式中計算。IOM Sampler搭配濾紙的採樣分析方法，其LOD為可培養真菌及細菌52 CFU/m³、總真菌孢子3 spores/m³、總細菌10,742 Cells/m³及內毒素0.026 EU/m³。以上各生物氣膠濃度的LOD是假設採樣時間為8小時所計算得到的數值，由於各區域採樣時間並不固定，因此實際的LOD會稍有差異；若有進行重複採樣 (duplicates)，則LOD會再減半。使用Andersen N6 Sampler進行採樣的培養真菌及細菌，若採樣1分鐘時，單一樣本的LOD為35 CFU/m³，但因為採樣時皆有進行重複採樣，所以每次採樣的LOD為18 CFU/m³。

其他室內空氣品質因子測量項目包括溫度、相對濕度、CO₂、CO、揮發性有機化合物 (TVOC)、懸浮微粒 (包括PM_{2.5}、PM₁₀與TSP) 及風速，分別使用室內空氣品質監測器 (YESAIR 7 Channel Indoor Air Quality Monitor, Critical Environment Technologies Canada Inc., Delta, British Columbia, Canada)、懸浮微粒計數器 (Met One, Met One Instruments, Inc., Grants Pass, Oregon, USA) 及風速計 (VelociCalc Plus Air Velocity Meters 8836A, TSI Inc, Shoreview, Minnesota, USA) 進行測量。

3. 統計分析

本研究使用SAS v9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC) 進行統計分析。五類職場生物氣膠及其他環境因子的分佈，以Kruskal-Wallis Test檢定其差異；環境因子間的相關性以Spearman Correlation Coefficients分析。

結果

本研究針對五類高生物氣膠暴露職場共十四家作業場所進行採樣調查 (表1)。表2為五類職場生物氣膠濃度之比較。不論是濾紙採樣或是Andersen Sampler採樣，可培養性細菌、可培養性真菌與內毒素的平均濃度皆在養雞場最高；總真菌孢子濃度以養菇場最高。根據Kruskal-Wallis Test的檢定結果，區域採樣中除了濾紙採樣之可培養性真菌與總真菌孢子以外，其他生物氣膠的濃度在五類職場間皆呈現顯著差異 ($p < 0.05$)。表3為所有職場利用Andersen Sampler與濾紙進行採樣的結果，兩種採樣方法所監測到的主要可培養性真菌類別皆為*Cladosporium*及*Penicillium*；但於兩種採樣方式出現頻率小於50%之真菌種類相當不一致，在Andersen樣本中觀察到較多真菌生物氣膠的類別，而使用濾紙採樣所採得的平均真菌生物氣膠濃度較高。表4為五類職場中真菌孢子類別濃度分佈，其中出現濃度及頻率較高的真菌孢子種類為*Aspergillus/Penicillium*、Basidiospores、Ascospores及*Cladosporium*。

表5為五類職場環境因子監測資料分佈。各職場的平均微粒濃度皆低於我國工作者作業環境空氣中有害物容許濃度標準 (可呼吸性粉塵八小時日時量平均容許濃度5 mg/m³)；不過養雞場與養菇場之PM₁₀平均濃度高於我國環保署的室內空氣品質標準 (PM₁₀: 75µg/m³; PM_{2.5}: 35µg/m³)。所有測量的環境因子中，只有相對濕度 ($p=0.0226$)、PM₁₀

($p=0.0191$) 和TSP ($p=0.0399$) 在不同職業類別有統計上的顯著差異。相對濕度在堆肥場最高、花店最低；PM₁₀和TSP在養雞場最高、其次為養菇場，堆肥場最低。

表1 各採樣作業場所特性資料

作業場所	地區	面積大小	建築特性	採樣點數
花店				
花店A	北	7坪	位於1棟7層建築物的一樓	2
花店B	北	25坪	位於1棟17層建築物的一樓	2
花店C	北	10坪	位於1棟12層建築物的地下一樓	2
花店D	北	30坪	位於1棟5層建築物的一樓	2
養雞場				
養雞場A	北	2.8公頃(全養雞場)	為現代化養雞場，包括15間雞舍。	3
養雞場B	中	1,360坪(雞舍部份)	為傳統式養雞場，包括8間雞舍。	3
養雞場C	北	1,812坪(雞舍部份)	為傳統式養雞場，包括7間雞舍。	3
養菇場				
養菇場A	中	~17,000坪	廠區包括木屑存放區、全環控栽培室、無菌室、原料處理區、開包區、包裝區、回收區、行政區等等。	4
養菇場B	東	630坪	廠區包括木屑暫存區、木屑堆放區、傳統栽培室、接種室、包裝室及產品包裝區等。	4
蔬菜園				
蔬菜園A	北	380坪	包括12間網室菜園	3
蔬菜園B	北	3000坪	包括10個溫室(每間72坪)、工具間及堆肥場。	3
蔬菜園C	中	約1,500坪	包括5個菜圃	2
蔬菜園D	中	約1,500坪	包括5個菜圃	2
堆肥場				
堆肥場A	南	500坪	現代化生產有機肥料的堆肥場	4
堆肥場B	北	約500坪	為養雞場A中所設置的室內堆肥場	1
堆肥場C	北	約40坪	為蔬菜園B中所設置的室外堆肥場	1

表2 五類職場生物氣膠濃度比較

	花店	養雞場	養菇場	蔬菜園	堆肥場	p value*
平均值	324.69	5.58×10^5	643.54	935.02	3,976.23	
標準差	305.14	1.32×10^6	931.08	1,326.52	4,090.44	
中位數	261.42	8788.99	315.49	177.36	3,183.30	0.0389
最小值	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	52.11	
最大值	948.84	4.00×10^6	2,781.77	4,047.19	9,486.21	
平均值	279.22	9,801.55	1,062.73	1,854.90	1,942.31	
標準差	285.32	8,093.41	672.73	2,063.70	2,611.42	
中位數	232.08	6,600.71	1,015.89	1,020.96	855.77	<0.0001
最小值	<LOD	106.90	66.61	<LOD	<LOD	
最大值	1,342.76	25,655.94	2,732.06	7,409.52	6,307.69	
平均值	4,804.70	5,132.19	3,173.03	2,164.54	752.98	
標準差	8,232.60	4,572.69	3,265.98	2,576.07	502.62	
中位數	1,233.60	3,768.78	1,759.42	374.12	993.19	0.1011
最小值	292.67	163.40	286.97	102.27	<LOD	
最大值	2.43×10^4	1.51×10^4	9,559.29	6,192.10	1,025.54	
平均值	632.43	3,714.47	2,719.04	2,699.41	427.88	
標準差	578.57	2,742.62	1,993.73	2,227.28	362.95	
中位數	445.06	3,837.60	2,003.72	2,322.76	384.62	<0.0001
最小值	<LOD	137.36	421.93	<LOD	<LOD	
最大值	2,544.17	1.10×10^4	8,881.45	8,497.16	1,153.85	
平均值	33.50	2,342.65	105.37	15.11	53.59	
標準差	24.84	4,090.18	227.83	7.13	36.34	
中位數	33.98	336.60	17.41	16.95	63.14	0.0492
最小值	10.61	5.76	9.65	<LOD	3.22	
最大值	78.24	1.19×10^4	665.86	23.82	84.88	
平均值	3,420.05	5.41×10^4	4.60×10^5	2133.70	1.01×10^4	
標準差	2,366.70	1.03×10^5	1.27×10^6	1,900.50	7,856.39	
中位數	2,873.55	7,094.48	4,315.40	1,312.61	1.08×10^4	0.2244
最小值	316.82	206.35	1067.32	189.18	1,875.78	
最大值	6,295.84	2.91×10^5	3.60×10^6	5,366.20	1.75×10^4	
平均值	5.94×10^5	1.11×10^6	1.25×10^5	5.69×10^4	1.27×10^6	
標準差	3.63×10^5	1.90×10^6	1.16×10^5	4.44×10^4	8.51×10^5	
中位數	5.53×10^5	4.14×10^5	1.08×10^5	5.50×10^4	9.29×10^5	0.0003
最小值	1.30×10^5	8.67×10^2	<LOD	<LOD	6.85×10^5	
最大值	1.29×10^6	6.03×10^6	3.71×10^5	1.15×10^5	2.53×10^6	

—花店Filter n=8，Andersen n=16；養雞場Filter n=9，Andersen n=18；養菇場Filter n=8，Andersen n=16；蔬菜園Filter n=9(1個樣本漏失)，Andersen n=20；堆肥場Filter n=6，Andersen n=12。

*Kruskal-Wallis (Exact) Test檢定結果。

表3 所有職場可培養真菌生物氣膠類別濃度分佈

真菌生物氣膠類型	頻率	平均值	標準差	中位數	最小值	最大值
Andersen Sampler (n=82)						
<i>Cladosporium</i>	85.19	649.73	1,018.34	268.14	0.00	5,098.30
<i>Penicillium</i>	73.46	555.20	1,425.70	94.46	0.00	8,792.64
Non-sporulating	66.67	441.21	859.17	70.67	0.00	4,789.54
Yeast	61.73	412.89	1,164.68	69.13	0.00	7,654.13
<i>Aspergillus</i>	42.59	103.95	327.40	0.00	0.00	3,137.81
<i>Aspergillusfumigatus</i>	0.62	0.43	5.52	0.00	0.00	70.32
<i>Fusarium</i>	27.78	18.64	42.97	0.00	0.00	347.92
<i>Geotrichum</i>	21.60	48.71	329.92	0.00	0.00	4,148.69
<i>Rhizopus</i>	20.37	28.31	72.76	0.00	0.00	351.61
<i>Monilia</i>	11.11	5.90	43.18	0.00	0.00	310.85
<i>Curvularia</i>	9.88	4.95	17.63	0.00	0.00	105.48
<i>Trichoderma</i>	6.79	10.12	54.79	0.00	0.00	461.54
<i>Arthrinium</i>	4.32	1.68	8.40	0.00	0.00	50.98
<i>Alternaria</i>	3.09	1.10	7.10	0.00	0.00	69.58
<i>Verticillium</i>	3.09	1.52	9.92	0.00	0.00	101.97
<i>Colletotrichum</i>	1.85	1.06	8.08	0.00	0.00	70.67
<i>Ramichloridium</i>	1.85	0.79	6.68	0.00	0.00	70.67
<i>Cunninghamella</i>	1.23	0.81	8.08	0.00	0.00	97.29
<i>Cylindrocarpon</i>	1.23	0.26	2.48	0.00	0.00	28.27
<i>Absidia</i>	0.62	0.65	8.29	0.00	0.00	105.48
<i>Botrytis</i>	0.62	1.31	16.66	0.00	0.00	212.01
<i>Conidiobulus</i>	0.62	0.63	8.01	0.00	0.00	101.97
<i>Torula</i>	0.62	0.57	7.30	0.00	0.00	92.86
<i>Acremonium</i>	0.62	0.44	5.55	0.00	0.00	70.67
<i>Nigrospora</i>	0.62	0.44	5.55	0.00	0.00	70.67
<i>Stachybotrys</i>	0.62	0.44	5.55	0.00	0.00	70.67
<i>Paecilomyces</i>	0.62	0.43	5.52	0.00	0.00	70.32
<i>Mucor</i>	0.62	0.33	4.16	0.00	0.00	52.92
Unknown	0.62	0.26	3.33	0.00	0.00	42.40
<i>Spirosphaera</i>	0.62	0.21	2.65	0.00	0.00	33.73
<i>Periconia</i>	0.62	0.16	2.00	0.00	0.00	25.49
Total	97.53	2,283.65	2,230.77	1,458.03	0.00	1.10×10 ⁴
濾紙採樣 (n=40)						
<i>Penicillium</i>	87.50	884.86	1,711.18	264.87	0.00	8,690.26

表3 所有職場可培養真菌生物氣膠類別濃度分佈 (續)

真菌生物氣膠類型	頻率	平均值	標準差	中位數	最小值	最大值
<i>Cladosporium</i>	82.50	1,093.98	2,019.18	278.49	0.00	9,838.40
<i>Aspergillus</i>	52.50	357.90	969.29	49.64	0.00	4,629.84
<i>Aspergillusfumigatus</i>	2.50	15.09	95.47	0.00	0.00	603.79
Non-sporulating	47.50	112.28	186.89	0.00	0.00	697.81
Yeast	40.00	765.28	1,977.64	0.00	0.00	9,508.69
<i>Rhizopus</i>	32.50	59.82	145.37	0.00	0.00	709.98
<i>Fusarium</i>	25.00	25.93	51.97	0.00	0.00	232.67
<i>Trichoderma</i>	7.50	17.89	70.23	0.00	0.00	375.54
<i>Scopulariopsis</i>	5.00	6.42	31.82	0.00	0.00	192.28
<i>Monilia</i>	5.00	6.29	31.78	0.00	0.00	194.08
<i>Geotrichum</i>	5.00	2.48	10.97	0.00	0.00	52.11
<i>Verticillium</i>	2.50	159.15	1,006.56	0.00	0.00	6,366.02
<i>Paecilomyces</i>	2.50	1.42	9.01	0.00	0.00	56.98
<i>Alternaria</i>	2.50	1.38	8.75	0.00	0.00	55.36
Total	97.50	3,495.03	4,768.75	1,759.42	0.00	2.43×10 ⁴

單位: CFU/m³

表4 真菌孢子類別濃度分佈 (n=40)

真菌孢子類別	頻率	平均值	標準差	中位數	最小值	最大值
<i>Aspergillus/Penicillium</i>	95.00	1.03×10 ⁴	3.96×10 ⁴	862.51	0.00	2.32×10 ⁵
Basidiospores	87.50	9.26×10 ⁴	5.68×10 ⁵	153.73	0.00	3.59×10 ⁶
Ascospores	85.00	356.65	406.01	302.52	0.00	2,070.16
<i>Cladosporium</i>	82.50	1,093.98	2,019.18	278.49	0.00	9,838.40
Unidentified spores	70.00	0.70	0.46	1.00	0.00	1.00
<i>Fusarium</i>	25.00	25.93	51.97	0.00	0.00	232.67
<i>Cercospora</i>	17.50	13.28	33.27	0.00	0.00	144.06
Smuts	15.00	198.97	964.90	0.00	0.00	5,981.20
Rusts	7.50	7.30	27.95	0.00	0.00	128.76
<i>Alternaria</i>	2.50	1.38	8.75	0.00	0.00	55.36
<i>Polythrincium</i>	2.50	1.07	6.79	0.00	0.00	42.92
Total	100.00	1.20×10 ⁵	6.08×10 ⁵	2,873.55	189.18	3.60×10 ⁶

單位: spores/m³

表5 五類職場環境因子比較

	花店 (n=6)		堆肥場 (n=5)		養雞場 (n=4)		養菇場 (n=6)		蔬菜園 (n=5)		p value*
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差	
風速 (m/s)	0.14	0.08	0.14	0.13	0.15	0.16	0.16	0.09	0.35	0.22	0.3240
甲醛 (ppm)	0.03	0.03	0.04	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.3474
TVOC (ppb)	314.15	152.27	285.25	263.82	271.46	198.88	150.35	80.20	134.75	22.69	0.0987
溫度 (°C)	24.42	1.18	25.70	3.61	25.93	2.75	22.86	4.08	24.81	1.83	0.5595
RH (%)	58.53	8.68	84.45	9.71	74.21	7.56	73.55	11.06	78.27	8.33	0.0226
O3 (ppb)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5037
NO2 (ppm)	0.00	0.00	0.07	0.14	0.05	0.12	0.06	0.14	0.09	0.13	0.6620
CO (ppb)	2.08	1.41	5.95	11.80	0.88	1.08	1.03	1.24	0.37	0.73	0.2878
CO2 (ppm)	596.81	204.77	476.44	68.26	409.11	217.50	469.93	88.13	384.70	55.02	0.1399
PM2.5 (µg/m ³)	7.20	5.73	2.78	0.17	28.75	36.73	7.68	5.45	11.82	12.12	0.3135
PM10 (µg/m ³)	27.93	19.29	14.93	7.34	175.25	190.64	116.35	173.25	72.62	93.81	0.0191
TSP (µg/m ³)	71.98	105.12	24.34	19.83	227.63	166.54	158.43	291.13	95.18	114.95	0.0399

*Kruskal-Wallis (Exact) Test檢定結果

表6為生物氣膠濃度與其他環境因子間之相關性分析，表中呈現 $p < 0.1$ 之相關性結果。不論採樣介質，各類生物氣膠皆與多項其他種類生物氣膠及環境因子呈現顯著相關或是邊緣性顯著相關；整體而言，相同的生物氣膠類別（如真菌或細菌），以及使用相同採樣頻率及採樣介質時，生物氣膠濃度間相關性較高。

表6 生物氣膠與其他環境因子間之相關性

生物氣膠類別	其他環境因子	Corr. Coeff**	p value**
可培養性真菌(濾紙)	可培養性細菌(濾紙)	0.5789	0.0019
	內毒素	0.3812	0.0547
	可培養性真菌(Andersen)	0.4177	0.0377
	可培養性細菌(Andersen)	0.4131	0.0401
可培養性細菌(濾紙)	可培養性真菌(濾紙)	0.5789	0.0019
	內毒素	0.6145	0.0008
	可培養性細菌(Andersen)	0.6374	0.0006
	風速	-0.3617	0.0694
總細菌	總真菌孢子	0.5132	0.0073
	風速	-0.3301	0.0995
	甲醛	0.5264	0.0057
	Temperature	0.3757	0.0585
	CO ²	0.3299	0.0998
內毒素	可培養性真菌(濾紙)	0.3812	0.0547
	可培養性細菌(濾紙)	0.6145	0.0008
	可培養性細菌(Andersen)	0.3792	0.0615
	TVOC	0.5398	0.0044
	總細菌	0.5132	0.0073

表6 生物氣膠與其他環境因子間之相關性(續)

生物氣膠類別	其他環境因子	Corr. Coeff**	p value**
生物氣膠類別	總細菌	0.5132	0.0073
	Temperature	0.5036	0.0087
	CO	0.3579	0.0726
總真菌孢子	總細菌	0.5132	0.0073
	Temperature	0.5036	0.0087
	CO	0.3579	0.0726
可培養性真菌(Andersen)	可培養性真菌(濾紙)	0.4177	0.0377
	可培養性細菌(Andersen)	0.6600	0.0003
	甲醛	-0.4341	0.0301
可培養性細菌(Andersen)	可培養性真菌(濾紙)	0.4131	0.0401
	可培養性細菌(濾紙)	0.6374	0.0006
	內毒素	0.3792	0.0615
	可培養性真菌(Andersen)	0.6600	0.0003

*Spearman correlation coefficients。

**表格中列入 $p < 0.1$ 的相關性分析結果;粗體字表示 $p < 0.05$ 。

討論

根據文獻回顧結果，目前國際上較重要的職場生物氣膠建議值如下：內毒素90 EU/m³[11]；總細菌濃度1,000 CFU/m³（非農業或工業室內環境）及10,000 CFU/m³（農業或工業環境）[33]；總真菌濃度1,000 CFU/m³（非農業或工業室內環境）[34]。在本研究中，養雞

場及養菇場的平均內毒素超過90 EU/m³的建議值；此外，養雞場的可培養細菌濃度平均濃度（filter樣本）亦高於10,000 CFU/m³的建議值；長期暴露可能會造成工作者的健康危害。

根據本研究現場調查結果，有多種生物氣膠濃度皆在養雞場中最高。本研究進行採樣之三家養雞場，分別為現代化養雞場、半現代化養雞場與傳統養雞場。現代化與半現代化養雞場的雞舍地面材質皆為水泥，傳統式養雞場的雞舍地面材質則為一般土壤，每日進行鬆土作業；三類養雞場都會利用米糠紮實的鋪設於雞舍地面，雞隻生長的過程中並不會將沾有雞隻排泄物之米糠進行更換，而是直到成雞售出、雞舍淨空才會於雞舍中進行打掃作業。根據養雞場中環境觀察結果，高濃度的生物氣膠可能源自於雞隻的活動與飼料的供給，尤其是雞隻受到驚嚇而逃竄時揮舞翅膀與踩踏地面、雞隻飼料的補給所造成的揚塵、地面的鬆土等等都可能是導致本研究採樣得到高濃度生物氣膠的因素。

各類職場中高生物氣膠的種類並不一致，例如養菇場中的總真菌孢子濃度非常高，堆肥場中則是總細菌濃度最高，很可能是因為各職場中生物性物質來源、處理材料以及工作特性的不同，而產生不同種類的生物氣膠。根據Kruskal-Wallis Test的結果，可培養性細菌（Andersen Sampler與濾紙）、可培養性真菌（Andersen Sampler）、內毒素與總細菌的區域採樣結果在不同類型職場之間呈現顯著差異，這些差異可能如同前述原因所造成。此外，內毒素為革蘭氏陰性菌外膜的成份，但根據表2養雞場總細菌濃度（中位數 4.14×10^5 cells/m³）約為堆肥場（中位數 9.29×10^5 cells/m³）的一半，然而養雞場內毒素的濃度（中位數336.60 EU/m³）卻為堆肥場（中位數63.14 EU/

m³）的5倍，此差異可能是因為兩類職場細菌種類的差異，例如養雞場中，因大量散落的雞隻糞便，其中含有高濃度大腸桿菌與沙門氏桿菌等等，以革蘭氏陰性菌為主的腸桿菌科（Enterobacteriaceae）細菌[35]，進而有較高的內毒素濃度。

由於本研究各類型職場大多屬半封閉式環境，所以觀察到很多室、內外常見真菌，如*Aspergillus/Penicillium*、*Cladosporium*、Ascospores及Basidiospores。但依職場特性，還是有特殊真菌種類，例如養雞場和堆肥場中以*Aspergillus/Penicillium*濃度最高，可能與環境中有機污染物較多有關係；養菇場中的Basidiospores濃度非常高，因菇類產生的孢子即為Basidiospores，其中傳統養菇場（養菇場B）的濃度又比現代化養菇場（養菇場A）略高；蔬菜園以*Cladosporium*濃度最高，因為*Cladosporium*主要為戶外真菌，且土壤及植物為*Cladosporium*的重要來源。

本研究使用兩種方法進行可培養真菌及細菌的採樣：「濾紙」以及「Andersen Sampler」，採樣結果以濾紙採樣的濃度較高，但Andersen採樣的真菌生物氣膠種類較多。兩種採樣方式的濃度差異主要是因為採樣及分析方法的特性所造成。濾紙採樣是利用捕集的原理，以長時間乾式的方式進行採樣，可以完整了解工作者在一整天的工作過程中所暴露之生物氣膠總量，並可以進行多種生物氣膠的分析（例如內毒素、總真菌孢子與總細菌等等），然而在採樣期間長時間的乾燥，可能造成部分菌種不適合生長而死亡，因此進一步培養時，可生長的真菌種類較少。Andersen Sampler則是利用衝擊的方式直接將生物氣膠採集於培養基上，可以提供微生物養分以維持較佳的生長活性；但由於長時間採樣會使培養基表面過度

乾燥，或是造成菌落數過多而無法進行分析，所以通常只能進行短時間的採樣。兩種採樣方法各有其優缺點，未來的研究中應根據研究目標，例如是要進行長時間採樣（如工作者工作期間個人暴露評估），或是著重於生物氣膠的特性（如是否具活性及其菌種），再進一步選定適合的採樣方法。

根據結果，五類職場間相對溼度、PM₁₀與TSP呈現顯著差異。相對濕度以堆肥場濕度最高，進行採樣時觀察到堆肥翻堆過程中會加水以減少空氣中的揚塵，並維持堆肥所需濕度，以利肥料的熟成，可能因此造成環境中濕度較高。PM₁₀與TSP以養雞場平均濃度最高，主要可能因為雞隻的活動（如翅膀拍動），或是餵食雞隻時造成雞隻的驚嚇，而產生地面雞糞與粉塵的擾動，進而提高空氣中微粒的濃度。

本研究的主要研究限制為橫斷研究，現場調查只針對各職場進行一個工作天的採樣，因此無法包含該職場長期各種工作型態的暴露狀況；例如蔬菜園一年之中會有農閒期與農忙期的輪替；養雞場會有小雞、成雞與空舍等不同的工作時期；因此未來的研究可以進一步考慮調查職場長期生物氣膠濃度變化[36]。

結論

根據本研究調查五類高生物性危害職場的結果，可培養真菌、可培養細菌、總細菌及內毒素的濃度皆以養雞場最高，總真菌孢子濃度則在養雞場、養菇場及堆肥場較高，各類職場的生物氣膠濃度有很大的差異，不過整體而言，養雞場的生物氣膠暴露濃度最高。

根據本研究結果，由於生物氣膠採樣器所使用的原理與目的不盡相同，進行現場調查前，必須先確定所要進行採樣之目標種類、活性維持與攜帶之便利性等等因素，以確定選擇

採樣器之適當性。

在本研究中所調查的職場環境，都有非常高濃度的生物氣膠暴露，特別是養雞場中內毒素及可培養細菌的平均濃度都超過國際上的建議值，很可能會造成健康危害。因此有必要加強環境控制及使用適當個人防護具等，以降低工作者的相關暴露。

誌謝

本研究承蒙勞動部勞動及職業安全衛生研究所102年度研究計畫（IOSH102- H314）經費支持，特此致謝並對所有計畫參與者致上最誠摯的謝意，由於受訪作業場所的大力協助，本研究才得以順利進行。

參考文獻

- [1] Macher J, editor. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Bioaerosols: Assessment and Control. Cincinnati: ACGIH; 1999.
- [2] Douwes J, Thorne P, Pearce N and Heederik D. Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects. The Annals of Occupational Hygiene 2003; 47Suppl3: 187–200
- [3] Lenhart SW, Cole EC. Respiratory illness in workers of an indoor Shiitake mushroom Farm. Applied Occupational and Environmental Hygiene 1993; 8: 112-9.
- [4] Sastre J, Ibanez MD, López M, Lehrer SB. Respiratory and immunological reactions among Shiitake (*Lentinusedodes*) mushroom workers. Clinical and Experimental Allergy 1990;20: 13-9.
- [5] Tsushima K, Fujimoto K, Yoshikawa

- S, Kawakami S, Koizumi T, Kubo K. Hypersensitivity pneumonitis due to Bunashimeji mushrooms in the mushroom industry. *International Archives of Allergy and Immunology* 2005; 137Suppl3:241-8.
- [6] Liang R, Xiao P, She R, Han S, Chang L, Zheng L. Culturable airborne bacteria in outdoor poultry-slaughtering facility. *Microbes and Environments* 2013; 28: 251-6.
- [7] Lawniczek-Walczyk A, Gorny RL, Golofit-Szymczak M, Niesler A, Wlazlo A. Occupational exposure to airborne microorganisms, endotoxins and β -glucans in poultry houses at different stages of the production cycle. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 2013; 20: 259-68.
- [8] Brooks JP, McLaughlin MR, Scheffler B, Miles DM. Microbial and antibiotic resistant constituents associated with biological aerosols and poultry litter within a commercial poultry house. *Science of The Environment* 2010; 408:4770-7.
- [9] Rimac D, Macan J, Varnai VM, Vucemilo M, Matkovic K, Prester L, et al. Exposure to poultry dust and health effects in poultry workers: impact of mould and mite allergens. *International archives of occupational and environmental health* 2010; 83: 9-19.
- [10] Senthilselvan A, Beach J, Feddes J, Cherry N, Wenger I. A prospective evaluation of air quality and workers' health in broiler and layer operations. *Occupational and Environmental Medicine* 2011; 68: 102-7.
- [11] Health Council of the Netherlands. Endotoxins. Health-based recommended occupational exposure limit. Publication no.2010/04OSH. The Hague: Health Council of the Netherlands; 2010.
- [12] Martin E, Kampfer P, Jackel U. Quantification and identification of culturable airborne bacteria from duck houses. *The Annals of Occupational Hygiene* 2010; 54: 217-27.
- [13] Lee SA, Liao CH. Size-selective assessment of agricultural workers' personal exposure to airborne fungi and fungal fragments. *Science of The Total Environment* 2014; 466-467:725-32.
- [14] 楊心豪、林宜長、張振平、莊啟佑：農業生技產業生物氣膠暴露特性調查—以養鴨場為例。勞工安全衛生研究季刊2009；17：436-45。
- [15] Madsen AM, Tendal K, Frederiksen MW. Attempts to reduce exposure to fungi, β -glucan, bacteria, endotoxin and dust in vegetable greenhouses and a packaging unit. *Science of The Total Environment* 2014; 468-469:1112-21.
- [16] Hansen VM, Meyling NV, Winding A, Eilenberg J, Madsen AM. Factors affecting vegetable growers' exposure to fungal bioaerosols and airborne dust. *Annals of Occupational Hygiene* 2012; 56: 170-81.
- [17] Hansen VM, Winding A, Madsen AM. Exposure to bioaerosols during the growth season of tomatoes in an organic greenhouse using Supresivit (*Trichoderma harzianum*) and Mycostop (*Streptomyces griseoviridis*). *Applied and Environmental Microbiology* 2010; 76: 5874-81.
- [18] Adhikari A, Gupta J, Wilkins JR 3rd, Olds

- RL, Indugula R, Cho KJ, et al. Airborne microorganisms endotoxin and (\rightarrow 3)- β -D-glucan exposure in greenhouses and assessment of respiratory symptoms among workers. *The Annals of Occupational Hygiene* 2011; 55:272-85.
- [19] Riu E, Monsó E, Marin A, Magarolas R, Radon K, Morera J, et al. Occupational risk factors for rhinitis in greenhouse flower and ornamental plant growers. *American Journal of Rhinology* 2008; 22: 361-4.
- [20] Pankhurst LJ, Deacon LJ, Liu J, Drew GH, Hayes ET, Jackson S, et al. Spatial variations in airborne microorganism and endotoxin concentrations at green waste composting facilities. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2011; 214: 376-83.
- [21] 簡道南：堆肥的製作原理。台肥月刊；2003。網址：<http://www.taifer.com.tw/search/044006/61.htm>（最後上網日期：2014.6.15）
- [22] Wery N. Bioaerosols from composting facilities-a review. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 2014; 4:42.
- [23] Sykes P, Morris RHK, Allen JA, Wildsmith JD, Jones KP. Workers' exposure to dust, endotoxin and β - (1-3) glucan at four large-scale composting facilities. *Waste Management* 2011; 31, 423-30.
- [24] Persoons R, Parat S, Stoklov M, Perdrix A, Maitre A. Critical working tasks and determinants of exposure to bioaerosols and MVOC at composting facilities. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2010; 213: 338-47.
- [25] Nikaeen M, Hatamzadeh M, Hasanzadeh A, Sahami E, Joodan I. Bioaerosol emissions arising during application of municipal solid-waste compost. *Aerobiologia* 2009; 25: 1-6.
- [26] Fischer G, Albrecht A, Jackel U, Kampfer P. Analysis of airborne microorganisms, MVOC and odour in the surrounding of composting facilities and implications for future investigations. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2008; 211: 132-42.
- [27] Taha MPM, Drew GH, Longhurst PJ, Smith R, Pollard SJT. Bioaerosol releases from compost facilities: Evaluating passive and active source terms at a green waste facility for improved risk assessments. *Atmospheric Environment* 2006; 40: 1159-69.
- [28] 楊心豪、洪柏宸：堆肥作業人員生物危害評估。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；2013。
- [29] 洪雪芬：堆肥廠之生物氣膠特性及其危害性研究。行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告；2007。
- [30] 方煒、楊心豪、張明毅、洪柏宸、羅仕麟：溫室花卉產業從業人員之生物性危害評估與控制技術研究。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；2012。
- [31] 蔡榮賢：不同職業場所中真菌暴露評估（學位論文）。台灣：台北醫學大學公共衛生學研究所；2003。
- [32] Wang CH, Chen BT, Han BC, Liu AC, Hung PC, Chen CY, et al. Field Evaluation of Personal Sampling Methods for Multiple Bioaerosols. *PLoS ONE* 2015; 10: 3, e0120308.

- [33] Goyer N, Lavoie J, Lazure L, Marchand G. Bioaerosols in the workplace: evaluation, control and prevention guide. Montreal, Canada: IRSST; 2001.
- [34] Oppliger A, Hilfiker S, Duc TV. Influence of seasons and sampling strategy on assessment of bioaerosols in sewage treatment plants in Switzerland. *Annals of Occupational Hygiene* 2005;49: 393-400.
- [35] Chen Z, Jiang X. Microbiological Safety of Chicken Litter or Chicken Litter-Based Organic Fertilizers: A Review. *Agriculture* 2014; 4: 1-29.
- [36] Chien YC, Chen CJ, Lin TH, Chen SH, Chien YC. Characteristics of microbial aerosols released from chicken and swine feces. *Journal of Air & Waste Management Association* 2011; 61: 882-9.

Research Articles

Characteristics of Fungi and Bacteria in Occupational Environments with High Bioaerosol Exposure

Yi-Tsang Chen^{1,2} Chien-Tien Su¹ Ying-Chih Chuang¹ Ruey-Yu Chen¹
Po-Chen Hung² Hsing Jasmine Chao¹

¹ School of Public Health, Taipei Medical University

² Institute of Labor, Occupational Safety and Health, Ministry of Labor

Abstract

Various occupational environments have high bioaerosol exposure, such as poultry farms, composting facilities, etc. Exposure to high levels of bioaerosols at workplace is a significant occupational health issue, which might result in respiratory infections, decreased lung function and allergies of the workers. Therefore, we investigated occupational settings with high bioaerosol levels to evaluate the exposure of workers. Five kinds of important occupational settings were investigated, including florists, chicken farms, mushroom farms, vegetable fields, and composting facilities. Area samplings of airborne fungi and bacteria were performed using the IOM sampler with polycarbonate filters and Andersen N6 sampler at the main work sites of the workers. Other environmental factors were monitored using direct-reading instruments. According to the results, the ranges of average bioaerosol levels of all workplaces were: culturable bacteria $279\sim5.58\times 10^5$ CFU/m³, culturable fungi $428\sim5,132$ CFU/m³, endotoxin $15\sim2,343$ EU/m³, total fungal spores $2,134\sim4.60\times 10^5$ spores/m³, and total bacteria $5.69\times 10^4\sim1.27\times 10^6$ cells/m³. Overall, chicken farms had the highest bioaerosol levels. The concentrations of bioaerosols had significant variation at different occupational settings. In this study, the bioaerosol concentrations were high in all of the study occupational settings. Thus it is important to reduce bioaerosol exposure of the workers through environmental control and proper use of personal protection equipment.

Keywords: Bioaerosols, Biological occupational hazard, Occupational health.

Accepted 27 March, 2015

Correspondence to: Hsing Jasmine Chao, School of Public Health, Taipei Medical University, E-mail: hchao@tmu.edu.tw