

論文

木材加工場之細菌性生物氣膠特性研究

林雅惠^{1,2} 黃凱鈴¹ 陳俊璋^{3,5} 洪粕宸³ 溫欣然¹ 湯豐城⁴ 賴全裕^{1,*}

¹ 中山醫學大學職業安全衛生學系

² 中山醫學大學附設醫院檢驗科

³ 勞動部勞動及職業安全衛生研究所

⁴ 彰化基督教醫院職業醫學科

⁵ 財團法人食品工業發展研究所

摘要

本研究選擇以木材鋸屑作業環境，進行細菌菌種鑑定及內毒素暴露採樣調查。實驗利用安德森六階、Biosampler、AGI-30及SKC鉛製旋風分離器搭配PC濾紙，以評估木材加工廠細菌在環境中濃度，及評估其可呼吸性木塵濃度。

研究結果顯示：工廠所採集之細菌經鑑定後發現以*Bacillus spp.*及*Staphylococcus spp.*為主要優勢菌種。以革蘭氏陽性菌為多數，其中以*Bacillus spp.*為優勢菌屬。在細菌濃度方面：裁切區大於原木堆置區之濃度，應與裁切時木材鋸屑飛散有關。根據統計結果顯示：革蘭氏陽性菌與生物氣膠採樣器種類有顯著差異（ p 值為0.0002）。溫、濕度部分則與革蘭氏陰性菌濃度有顯著差異（ $p < 0.05$ ）。在生物安全等級分類部分，第二級之細菌生物氣膠佔51.7%。在作業環境中，所有生物氣膠採樣器均顯示以*Pantoea agglomerans*（培養出）所偵測到內毒素含量較高，為 0.8053 EU/m^3 。以SKC旋風分離器搭配PC濾紙，所採集之總內毒素濃度範圍為 $2.1639 \times 10^{-6} \sim 5.1850 \times 10^{-6} \text{ EU/m}^3$ 。目前作業環境空氣中，可呼吸性木塵濃度及內毒素暴露濃度，並無完整規範。建議未來可加以規範，以防範過量職業暴露。

關鍵字：木塵、生物氣膠、內毒素

民國 104 年 5 月 29 日投稿，民國 104 年 9 月 9 日修改，民國 105 年 3 月 2 日接受。

通訊作者：賴全裕，中山醫學大學職業安全衛生學系，40201台中市南區建國北路一段110號，

電子郵件信箱：cylai@csmu.edu.tw。

前言

台灣四季溫暖潮濕，對細菌生長而言十分有利，且內毒素對人體健康構成很大的威脅[1]。國際癌症研究機構(International Agency for Research on Cancer, IARC)在流行病學的證據下，將木塵(wood dust)歸類為人類致癌因子(Group 1)[2]。而鋸木、伐木與森林大火等等都是木塵的主要逸散來源，但國內對於木材加工廠之相關木塵及生物氣膠研究較為少見，然而在不同氣候條件下、木材種類之加工處理過程中所可能逸散的木塵、生物氣膠及其生物性危害部分，值得進一步探討。本研究在木材加工廠進行木材粉塵採樣，以瞭解木材加工廠鋸屑作業過程中所產生之可呼吸性粉塵、細菌的特性及濃度比例，並透過細菌之菌種鑑定及內毒素之分析，評估可能對人體之暴露危害，並利用統計分析進行採樣器及溫濕度對於細菌採樣結果之相關性探討。

1. 木塵的定義與危害

根據美國職業安全衛生署(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)的定義，木塵為木材刨磨和切割時所形成，並藉由空氣傳播的木顆粒[3]；美國國家職業安全衛生研究院(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)引用OSHA對木材鋸屑定義，說明木塵為指任何木材加工或處理木材所產生的木顆粒[4]。木材粉塵是由於木材在進行削片、鋸切、鑽孔和刨磨時所產生。其中刨磨流程最容易產生細小顆粒的木材粉塵，甚至某些顆粒連口罩都無法完全過濾阻隔，導致勞工吸入進鼻腔、鼻竇甚至深入肺部中。

在1991年，美國政府工業衛生師協會(American Conference of Governmental Industrial

Hygienists, ACGIH)提到勞工暴露於木材粉塵，會造成眼睛的刺激和皮膚的過敏及呼吸系統的問題，症狀包含了過敏、氣喘、肉芽腫性肺炎(granulomatous pneumonitis)或急性呼吸道阻塞，嚴重的話會造成癌症的發生。暴露於木材粉塵會造成接觸性的皮膚炎[5]。IARC在具有顯著的致癌4大類因素中，木塵被列為第一類。已有大量的研究證明接觸到危險的灰塵，與鼻腔癌和鼻竇癌有關。1983年Giuseppe等人有意大利錫耶納省研究木材及家具行業中的工人，其接觸灰塵與鼻腔癌的風險，收集了1963到1981年間所有有關鼻子和鼻竇的惡性腫瘤病例，再將病人的職業和抽菸習慣區分，結果顯示黏液素狀腺癌(Mucinous adenocarcinoma)之致癌媒介物為木塵[6]。2005年Barcenas等人利用病例對照法研究木塵暴露工人與肺癌的關係，證明木塵暴露是肺癌的潛在危險因素[7]。

2002年Rosenberg等人研究暴露於以松(Pinus silvestris)和杉(Picea abies)的木材為主的鋸木場工人，利用全區和個人可吸入粉塵採樣器收集其工人之呼吸帶，採樣時間為連續三天下午工班時間，並於不同的季節採樣；其以IOM(Institute of Occupational Medicine personal sampler)採樣器收集可吸入性粉塵之重量測定，而其結果顯示：磨松木過程之可吸入性粉塵平均濃度為 $0.5\sim 2.2\text{mg}/\text{m}^3$ ；磨杉木過程之可吸入性粉塵平均濃度為 $0.4\sim 1.9\text{mg}/\text{m}^3$ ，都小於暴露標準的一半($5\text{mg}/\text{m}^3$)。而木塵對於眼睛和呼吸道的影響較為嚴重，不同的木材有不同的影響，但不同的季節則危害差別不大。其中於整理／包裝的部門為濃度最高的地方。而與松木有關的結果指出主要來自單帖烯(Monoterpene)之暴露，而與杉木有關的則主要來自木塵暴露[8]。

而處理紅杉木枝鋸木業者或傢俱業者發生

氣喘的盛行率約為4%，其誘發因子為大側柏酸(plicatic acid)[9]。根據加拿大的研究資料顯示：伐木工人中與暴露於紅西洋杉(western red cedar)相關的疾病有職業性氣喘(occupational asthma)；2003年張景泰提到在杉木中主要的刺激物是大側柏酸[10]，而在西洋紅杉木中的含量是比東洋白杉木(eastern white cedar)及日本杉木為高。而暴露在這種大側柏酸之下會造成氣喘或是會使原有的氣喘更為惡化，在人類或動物產生鼻炎或結膜炎。在伐木工廠的氣喘病人持續暴露於杉木之下，會隨著暴露時間越長而更加的嚴重，因此ACGIH針對西洋紅杉木的標準較為嚴格。而松木的主要刺激是來自樅酸(abietic acid)的暴露，松木的產品常包含了松脂(pine resin)也叫做松香。松脂通常用作黏著劑、油漆、亮光漆、墨水、紙板和紡織品[11]。樅酸會引起過敏反應，接觸空氣會造成氧化產生其他化合物成為接觸性的過敏原[10,12,13]。

2. 生物氣膠來源及危害

生物氣膠(Bioaerosol)一般泛指氣膠化的生物體或其所產生之物質，其組成包含細菌、真菌、花粉、昆蟲等有生命的物體，以及動植物碎片與代謝產物等不具生命的物體[5]。台灣地區一年四季多處於高溫高濕的環境，極利於生物氣膠的生長和繁殖，且對人健康影響頗大，因此生物氣膠的危害越來越受到重視。而透過生物氣膠的採樣，以瞭解空氣中的生物氣膠濃度，更是迫切的課題。

在職業的肺部疾病，革蘭氏陰性細菌之內毒素已被確認為一個重要的因素，包括病因氣喘和有機塵毒綜合症[14-18]。吸入內毒素和有機粉塵已被證明可誘發哮喘[19]。而有研究認為農業中相關的生物性空氣汙染可能是散發在

空氣中的內毒素(endotoxins)[20]。因此本研究也一併探討內毒素的影響。

3. 內毒素(endotoxin)

內毒素(endotoxin)是指革蘭氏陰性細菌細胞壁上的脂多醣體(lipopolysaccharide, LPS)，其化學結構主要可分為脂質A(lipid A)、多醣類核心(core polysaccharides)、O-多醣類(O-polysaccharides)三部份。其中脂質A與O-多醣類會引起人體的免疫反應，經由細胞素產生(production of cytokines: IL1、IL6、IL8、TNF...etc.)凝集反應活化(activation of the coagulation cascade)、補體系統活化(activation of the complement cascade)，造成人體發熱、低血糖、低血壓乃至於瀰漫性血管內凝集血栓症(dessiminatedintia vascular coagulation thrombosis)、敗血性休克等嚴重症狀。流行病學研究也已經證明，在50-100EU/m³濃度，內毒素可引起呼吸道的影響，此類毒素的釋出主要由於細胞溶解(lysis)的結果，若工作人員大量吸入內毒素時，可引起發燒發冷等類似感冒之急性症狀與肺功能受損的現象，以及過敏性肺炎與慢性支氣管炎。[21-22]

綜合上述，本研究在木材加工廠進行木材粉塵採樣，以瞭解木材加工廠鋸屑作業過程中所產生之可呼吸性粉塵、細菌的特性及濃度比例，並透過細菌菌種鑑定，評估可能對人體之暴露危害，並分析其中細菌之內毒素含量。

研究方法

1. 採樣地點

本研究選擇中部木材加工廠進行採樣。在此木材加工廠規畫鋸木工作區域（採樣點A—工作時）及原木堆置區（採樣點B—室內）及

現切木材鋸屑堆（採樣取樣點C），以同一個點同一時間，安排各式採樣器兩台同時進行生物氣膠採樣及可呼吸性木塵採樣。而採樣點C為直接拿取裁切區之木材鋸屑進行離心脫附培養細菌之實驗。下圖1為區域採樣點及平面圖。廠房為半開放式，裁切機台有裝設局部抽氣裝置。

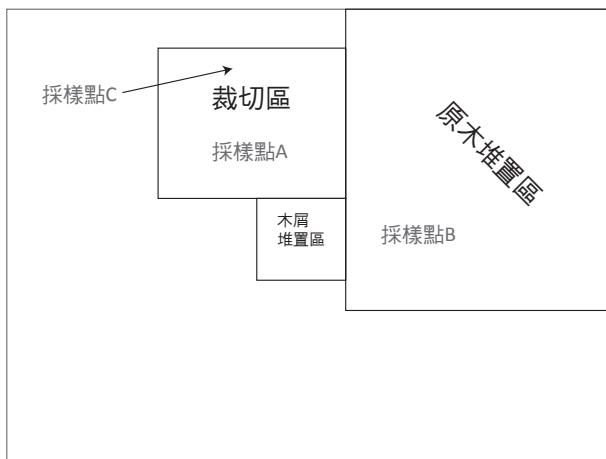


圖1 木材加工廠之平面圖及區域採樣點設計

2. 生物氣膠採樣

本研究將利用三種生物氣膠採樣組合：安德森六階、Biosampler及AGI-30以評估木材加工廠細菌存在環境中濃度、粒徑分布及菌種鑑定。並選用SKC鋁製旋風分離器及微孔均勻沉積衝擊器(Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor, MOUDI)，進行可呼吸性木材粉塵之區域採樣。生物採樣的變項包含了溫度和濕度的變化。下圖2為本研究之採樣流程：

採樣時間：七月安德森六階十分鐘、AGI-30及Biosampler為三十分鐘，但因採樣濃度過高，因此九月及十月三種採樣器之採樣時間減半。採樣高度為勞工呼吸區域約離地1.5公尺高。

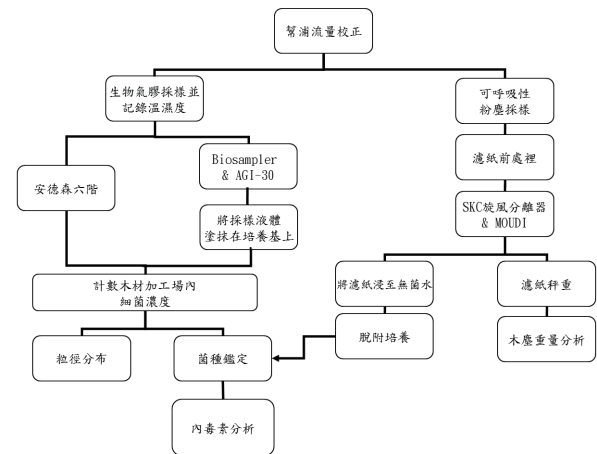


圖2 實驗採樣流程

3. 木材鋸屑脫附方式

為了找出木材鋸屑脫附細菌之最佳方式，本實驗參考于等人在2006之研究，利用離心機(model: Hsiangtai, CN-3600)及試管震盪器(model: Digisystem, VM-2000, Taipei, Taiwan)，比較在相同狀況（同樣溫濕度）下，可使各式菌類脫離木材鋸屑之最佳方法。

首先，分別將木材鋸屑堆置區之木材鋸屑，取5公克置入含滅菌水20mL之離心管中，接下來使用離心機將細菌脫附10分鐘。最後以試管震盪器震盪懸浮液1分鐘，並將其抹在培養基上，培養24小時後數菌。離心轉速的部分，則選擇轉速1000、1500、2000、2500、3000rpm，離心力(RCF)的部分為159.8g、359.7g、639.5g、999.2g、1438.8g進行離心比較測試，將離心完後之懸浮液抹在培養基上，培養24小時後數菌，並觀察比較其細菌在不同轉速下之存活率，即可選擇適當之離心轉速進行實驗。並與生物氣膠採樣器所採樣到之菌種進行菌種種類之比較。由於脫附出的菌屬可能因物理因素造成生存菌屬稀少，結果顯示出在轉速3,000rpm，離心力1,438.8g之轉速中能脫附出最高值之濃度，可能再脫附出木屑較深

層細菌及真菌，因此本實驗中，選擇以轉速3,000rpm，離心力1,438.8g為脫附木材鋸屑之轉速。

由於各種離心機轉子的半徑或者離心管至旋轉軸中心的距離不同，離心力會受其變化，RCF(relative centrifugal force)就是實際離心場轉化為重力加速度的倍數。下列為公式：

$$RCF = \frac{4\pi^2 N^2 r m}{3600 m g} \dots\dots (1)$$

$$= \frac{4\pi^2 N^2 r}{3600 \times 980} = 1.118 \times 10^{-5} N^2 r (x g)$$

其中r為離心轉子的半徑距離；g為地球重力加速度(980cm/sec²)；N為轉子每分鐘的轉數(rpm)[23]。

4. 細菌鑑定

在生物氣膠菌種鑑定方面：本研究將使用革蘭氏染色法，配合API Coryne、Phoenix組合試劑及全自動微生物鑑定，和藥敏性試驗分析儀進行菌種鑑定。

5. 內毒素檢測

本研究細菌內毒素和黴菌毒素的分析是利用LAL試驗。Pyrochrome以人工多肽為反應基質，當存在內毒素時，LAL反應會將基質切開釋出黃色發色劑，可以光學密度(optical density, O.D.)測量。當內毒素濃度愈高時，O.D.值增加愈快。最大靈敏度0.005EU/ml。以下簡列實驗相關分析儀器、器材及實驗步驟：

- (1) 實驗試劑：CAPE COD, USA
 CSE：Lot No. 249019, 23EU/ng
 LAL：Lot No. 2041201
 Buffer：Lot No. BU0411
 無熱原水LAL Reagent water: Lot No. AXA30070

- (2) 實驗分析儀器：Multiskan FC (Thermo) Nephelometer(440910, BD, USA)
- (3) 其他實驗所需器具：96孔盤，1,000μl、200μl、50μl的pipette，1,000μl、200μl的無熱原pipette tip，震盪器，封口膠膜(parafilm)，計時器及無熱原的聚苯乙烯材質加蓋試管。
- (4) 樣本配置：
 樣本由培養盤上取下置於4ml的無熱原水中配置成0.5McF的樣本液。
 (0.5McF=1.5*10⁸CFU/ml)
- (5) 藥品配製：
 A. CSE(Control standard Endotoxin)標準溶液配置
 CSE加水後配置成50EU/ml的濃度，需要震盪，依據濃度高低，震盪時間依序減少，濃度高者最好持續一分鐘以上，且CSE溶液配置好後，使用前亦均需震盪，標準液濃度依序稀釋成8倍、40倍、200倍、1,000倍、5,000倍。本研究的標準液濃度依序為6.25EU/ml、1.25EU/ml、0.25EU/ml、0.05EU/ml、0.01EU/ml。稀釋步驟如下：
 - a. 吸取4.6ml的無熱原水，滴入裝有230EU/vial的CSE試劑罐中，用parafilm封口，並震盪一分鐘。
 Note：所有的試劑罐均需用新的tip來打開，不可用手來開
 - b. 吸取濃度為50EU/ml的CSE 250ul，滴入裝有1,750ul的無熱原水中，並震盪一分鐘，配置成濃度為6.25EU/ml的標準溶液(S5)。
 - c. 吸取濃度6.25EU/ml的CSE 400ul，滴入裝有1,600ul的無熱原水中，並震盪一分鐘，配置成濃度為1.25EU/ml

的標準溶液(S4)。

- d. 吸取濃度為1.25EU/ml的CSE 400ul，滴入裝有1,600ul的無熱原水中，並震盪一分鐘，配置成濃度為0.25EU/ml的標準溶液(S3)。
- e. 吸取濃度為0.25EU/ml的CSE 400ul，滴入裝有1,600ul的無熱原水中，並震盪一分鐘，配置成濃度為0.05EU/ml的標準溶液(S2)。
- f. 吸取濃度為0.05EU/ml的CSE 400ul，滴入裝有1,600ul的無熱原水中，並震盪一分鐘，配置成濃度為0.01EU/ml的標準溶液(S1)。

B. LAL(Limuls Amebocyte Lysate)試劑

LAL溶液在使用前才配置，配置時吸取3.2ml的buffer到裝有粉狀LAL的罐子裡。

Note：不可震盪，僅需適度輕輕搖晃，將罐子傾斜約45度，來回滾動即可，若有泡沫產生，需等泡沫退去才可使用，使用前亦來回滾動。

(6) 實驗步驟：

- A. 將樣本溶液稀釋成100~100,000倍。
- B. 將NC（無熱原水）及標準溶液各吸取50μl滴入well中。
- C. 每個樣本well內滴入樣本溶液50μl，每個樣本均做二重複。
- D. 每個well各滴入LAL試劑50μl，在滴入CSE標準溶液的well時需注意順序從低濃度至高濃度，即從NC開始，然後依序為0.01EU/ml、0.05EU/ml、0.25EU/ml、1.25EU/ml、6.25EU/ml。
- E. 輕敲96孔盤，讓溶液適度混合。
- F. 使用405nm的ELISA reader讀取OD值（儀器本身需預熱至37°C）。

G. 若標準曲線之回歸係數(r-square)≥0.98，且NC均無可偵測之endotoxin，則結果視為有效，實驗結果如下圖3。

H. 96孔盤使用如下：

| | | | | | | | | | | |
|--|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | NC | NC | T1 | T1 | T7 | T7 | T13 | T13 | T19 | T19 |
| | S1 | S1 | T2 | T2 | T8 | T8 | T14 | T14 | T20 | T20 |
| | S2 | S2 | T3 | T3 | T9 | T9 | T15 | T15 | T21 | T21 |
| | S3 | S3 | T4 | T4 | T10 | T10 | T16 | T16 | T22 | T22 |
| | S4 | S4 | T5 | T5 | T11 | T11 | T17 | T17 | T23 | T23 |
| | S5 | S5 | T6 | T6 | T12 | T12 | T18 | T18 | T24 | T24 |

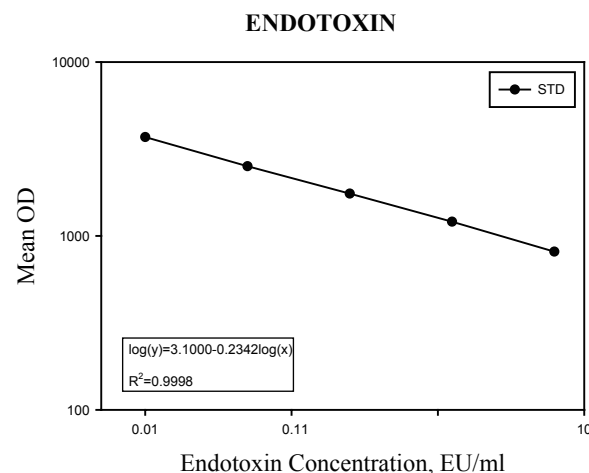


圖3 內毒素之檢量線

其濃度計算公式如下：

$$0.5McF=X(EU/ml)=1.5*10^8(CFU/ml) \dots\dots\dots (2)$$

$$CFU = \frac{X}{1.5*10^8} EU \dots\dots\dots (3)$$

$$\begin{aligned} \text{每種菌屬所含內毒素濃度} &= a(CFU/m^3) \times \\ \frac{X}{1.5*10^8} EU &= \frac{aX}{1.5*10^8} EU/m^3 \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

若勞工在重度工作下，所呼吸進的內毒素含量為其濃度計算公式如下：

勞工在重度工作下的呼吸量為：85 l/min

在工作八小時勞工所呼吸進的內毒素含量為

$$\frac{85(1/min) \times 60(min/hr) \times 8(hr)}{1000(m^3/1)} \times \frac{aX}{1.5*10^8} EU/m^3 \quad (5)$$

6. 統計分析

本研究所有資料以Microsoft Excel進行建檔，並利用SAS 9.2(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)進行資料分析。環境因子（溫、濕度、地點）、不同採樣器(AGI-30、Biosampler)及安德森六階採樣器各階截取粒徑大小，利用Kruskal-Wallis進行分析，以了解各因子對於革蘭氏陽、陰性菌濃度之相關性。另外，利用過去學長姐養豬及養雞場採樣細菌資料以及本研究之細菌資料，進行Kruskal-Wallis統計分析，評估革蘭氏陰、陽性細菌親疏水性之相關性。

結果

1. 細菌濃度及細菌鑑定結果

7月於木材加工廠之採樣點A-裁切區，

利用安德森六階生物氣膠採樣器、AGI-30、Biosampler，配合TSA採集細菌濃度及菌屬分布，如表1所示。此採樣處濕度為58~64%，溫度為33~34°C，安德森六階生物氣膠採樣器總濃度為1,884CFU/m³。菌種鑑定結果以*Bacillus spp.*為主。AGI-30所採集到的濃度最高2,044 CFU/m³，其中包含的菌種以*Staphylococcus spp.*和*Bacillus spp.*為主。

在木材加工廠採樣點B-原木堆置區，利用安德森六階生物採樣器、AGI-30、Biosampler，配合TSA採集細菌濃度及菌屬分布，如表2所示，其濕度為62%，溫度為34°C，總濃度為769CFU/m³。以*Bacillus spp.*及*Staphylococcus spp.*為主。AGI-30與Biosampler採集到的菌種以*Staphylococcus spp.*及*Oerskovia spp.*為主。

表1 各類採樣器於採樣點A-裁切區之細菌濃度及種類分佈（7月）

| 地點 | 濕度(%) | | 溫度(°C) | | A-裁切區 | | | AGI-30 | Biosampler |
|----------------------------|-----------------------------|-------|--------|-------|-------------------|--------|------------|--------|------------|
| | 64 | 33~34 | 64 | 33~34 | Andersen 6 stages | AGI-30 | Biosampler | | |
| 各種採樣器 | | | | | Andersen 6 stages | | | AGI-30 | Biosampler |
| 截取粒徑(μm) | 0.65 | 1.1 | 2.1 | 3.3 | 4.7 | 7 | total | | |
| 濃度(CFU/m ³) | 903 | 68 | 121 | 87 | 140 | 560 | 1,879 | 2,044 | 800 |
| 革蘭氏陽性菌 | <i>Arcanobacterium spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Bacillus spp.</i> | 568 | 13 | - | 1 | 3 | 32 | 88 | 177 |
| | <i>Corynebacterium spp.</i> | - | - | - | - | - | 12 | - | - |
| | <i>Dermacoccus spp.</i> | - | - | - | 5 | - | - | - | - |
| | <i>Enterococcus spp.</i> | - | - | 9 | - | - | - | - | - |
| | <i>Globicatella spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Leifsonia spp.</i> | - | 3 | 5 | - | - | - | - | - |
| | <i>Micrococcus spp.</i> | - | - | 16 | - | 9 | - | - | - |
| | <i>Oerskovia spp.</i> | - | - | - | - | - | - | 177 | 88 |
| | <i>Pediococcus spp.</i> | - | - | - | - | 1 | - | - | - |
| <i>Staphylococcus spp.</i> | 35 | 7 | 9 | 7 | 13 | 6 | 1,155 | 533 | |
| <i>Streptococcus spp.</i> | - | - | - | - | 7 | 17 | - | - | |
| 革蘭氏陰性菌 | <i>Acinetobacter spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Alcaligenes spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Burkholderia spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Pantoea spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Other | 300 | 45 | 82 | 74 | 107 | 493 | 624 | 2 | |

表2 各類採樣器於B-原木堆置區之細菌濃度及種類分佈 (7月)

| 地點 | B-原木堆置區 | | | | | | | AGI-30 | Biosampler |
|-------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|--------|------------|
| | 濕度(%) | 62 | | | | | | | |
| 溫度(°C) | 34 | | | | | | | | |
| 各種採樣器 | Andersen 6 stages | | | | | | | | |
| 截取粒徑(μm) | 0.65 | 1.1 | 2.1 | 3.3 | 4.7 | 7 | total | | |
| 濃度(CFU/m ³) | 259 | 87 | 87 | 110 | 95 | 125 | 763 | 355 | 355 |
| 革蘭氏陽性菌 | <i>Arcanobacterium spp.</i> | - | - | - | - | 3 | - | - | - |
| | <i>Bacillus spp.</i> | 21 | 21 | 3 | 9 | 7 | 6 | - | - |
| | <i>Corynebacterium spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Dermaococcus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Enterococcus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Globicatella spp.</i> | - | - | - | - | 3 | - | - | - |
| | <i>Leifsonia spp.</i> | - | 1 | - | - | 5 | - | - | - |
| | <i>Micrococcus spp.</i> | - | - | 1 | 7 | - | - | - | - |
| | <i>Oerskovia spp.</i> | - | - | - | - | 7 | - | 177 | 88 |
| | <i>Pediococcus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Staphylococcus spp.</i> | 17 | - | 5 | - | - | 9 | 88 | 88 |
| | <i>Streptococcus spp.</i> | 3 | - | - | - | - | - | - | - |
| 革蘭氏陰性菌 | <i>Acinetobacter spp.</i> | - | - | - | - | - | 6 | - | - |
| | <i>Alcaligenes spp.</i> | - | - | - | - | - | 9 | - | - |
| | <i>Burkholderia spp.</i> | - | - | 3 | 3 | - | - | - | - |
| | <i>Pantoea spp.</i> | - | - | - | - | 5 | - | - | - |
| Other | 218 | 65 | 75 | 91 | 65 | 95 | 90 | 179 | |

9月於木材加工廠之A點裁切區之濕度為58~69%，溫度為26~28°C，安德森六階總濃度為808CFU/m³，結果顯示以*Bacillus spp.*分布較為廣泛，約佔總濃度20%。Biosampler及AGI-30之採樣總濃度進行比較，結果以AGI-30所採集到的濃度最高，為5,533CFU/m³，但菌種鑑定之結果顯示無一致性。如表3所示。

採樣點B-堆置原木區之濕度為65~71%，溫度為27~28°C，總濃度為577CFU/m³。除了Other外，以*Bacillus spp.*為主且分布較廣，約佔總濃度25%。在同樣之採樣點，使用AGI-30、Biosampler，進行生物氣膠比較採樣，採樣結果以AGI-30所採集到的濃度最高，為4,622CFU/m³，且菌種鑑定結果較多樣性，其結果比較如表4所示。

表3 各類採樣器於採樣點A-裁切區之細菌濃度及種類分佈 (9月)

| 地點 | | A-裁切區 | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|--------|------------|-------|-----|
| 濕度(%) | | 58-69 | | | | | | | | |
| 溫度(°C) | | 26-28 | | | | | | | | |
| 各種採樣器 | | Andersen 6 stages | | | | | AGI-30 | Biosampler | | |
| 截取粒徑(µm) | 0.65 | 1.1 | 2.1 | 3.3 | 4.7 | 7 | total | | | |
| 濃度(CFU/m ³) | 42 | 64 | 153 | 101 | 86 | 361 | 807 | 5,333 | 1,600 | |
| 革蘭氏陽性菌 | <i>Arcanobacterium spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Bacillus spp.</i> | - | 21 | 38 | 40 | 42 | 27 | - | - | - |
| | <i>Dermacoccus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Enterococcus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Leclercia spp.</i> | - | - | - | 3 | - | - | - | - | - |
| | <i>Leifsonia spp.</i> | - | 7 | 7 | - | 23 | 41 | 2133 | - | - |
| | <i>Lysinibacillus spp.</i> | - | - | 3 | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Micrococcus spp.</i> | 3 | 7 | 3 | - | 3 | - | - | - | 267 |
| | <i>Oerskovia spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Paenibacillus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | 1066 | - |
| | <i>Pediococcus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Rhodococcus spp.</i> | - | - | 15 | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Rothia spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Staphylococcus spp.</i> | - | - | 4 | - | - | 105 | - | - | - |
| <i>Streptococcus spp.</i> | - | - | - | - | - | 15 | - | - | 267 | |
| 革蘭氏陰性菌 | <i>Acinetobacter spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Brevundimonas spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Burkholderia spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Cellulomonas spp.</i> | - | - | - | 7 | - | - | - | - | - |
| | <i>Empedobacter spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Pantoea spp.</i> | - | - | - | - | - | 34 | - | - | - |
| | <i>Sphingomonas spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Stenotrophomonas spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| Other | 39 | 29 | 83 | 51 | 18 | 139 | 2,134 | 1,066 | | |

表4 各類採樣器於採樣點B-原木堆置區之細菌濃度及種類分佈 (9月)

| 地點 | | B-原木堆置區 | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|--------|------------|-------|-----|
| 濕度(%) | | 65~71 | | | | | | | | |
| 溫度(°C) | | 27~28 | | | | | | | | |
| 各種採樣器 | | Andersen 6 stages | | | | | AGI-30 | Biosampler | | |
| 截取粒徑(μm) | | 0.65 | 1.1 | 2.1 | 3.3 | 4.7 | 7 | total | | |
| 濃度(CFU/m ³) | | 57 | 35 | 93 | 71 | 115 | 205 | 576 | 4,622 | 356 |
| 革蘭氏陽性菌 | <i>Arcanobacterium spp.</i> | - | - | - | 4 | - | - | - | - | - |
| | <i>Bacillus spp.</i> | 4 | 12 | 18 | 45 | 15 | 55 | | 177 | - |
| | <i>Dermaococcus spp.</i> | - | - | - | 4 | - | - | - | - | - |
| | <i>Enterococcus spp.</i> | - | - | - | - | 7 | - | - | - | - |
| | <i>Leclercia spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Leifsonia spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Lysinibacillus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | 355 | - |
| | <i>Micrococcus spp.</i> | - | 12 | 11 | 4 | 7 | - | - | 355 | 177 |
| | <i>Oerskovia spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | 1,777 | - |
| | <i>Paenibacillus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Pediococcus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Rhodococcus spp.</i> | - | - | - | - | 37 | - | - | - | - |
| | <i>Rothia spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Staphylococcus spp.</i> | - | - | - | - | 4 | - | - | 533 | - |
| <i>Streptococcus spp.</i> | - | - | 4 | - | - | 59 | - | - | - | |
| 革蘭氏陰性菌 | <i>Acinetobacter spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Brevundimonas spp.</i> | - | - | - | 15 | - | - | - | - | - |
| | <i>Burkholderia spp.</i> | - | - | 11 | - | - | - | - | 1,067 | - |
| | <i>Cellulomonas spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Empedobacter spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Pantoea spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | 177 | - |
| | <i>Sphingomonas spp.</i> | - | - | - | - | 41 | - | - | - | - |
| | <i>Stenotrophomonas spp.</i> | - | - | - | - | - | 66 | - | - | - |
| Other | 53 | 11 | 49 | - | 4 | 25 | | 181 | 179 | |

於10月在木材加工廠採樣點A-裁切區，其濕度範圍為57~62%，溫度為29~30°C，以安德森六階生物採樣器所採得之總濃度為372CFU/m³。以截取粒徑7μm濃度會最高且與其他粒徑之濃度相差甚多，而菌種也較為多樣性。在同樣之採樣點使用AGI-30、Biosampler，進行生物氣膠比較採樣，此次採樣結果以AGI-30所採集到的濃度最高4,266 CFU/m³，AGI-30採樣器

採集的菌液所培養的出的菌種以*Staphylococcus spp.*為主。其採樣細菌濃度及其細菌菌屬分佈比較如表5所示。

在採樣點B-原木堆置區，此採樣處之濕度為57%，溫度為28°C，以TSA培養盤培養，總濃度為503CFU/m³。*Bacillus spp.*除了在截取粒徑3.3μm沒有採集培養發現之外，其他各階粒徑皆有出現，且佔總濃度36.3%。在同樣之

採樣點，使用AGI-30、Biosampler，進行生物氣膠比較採樣，此次採樣結果以AGI-30為最高濃度2,666CFU/m³，但菌種鑑定結果因多為

Phoenix無法鑑定出之細菌及酵母，因此被歸類為Other。其採樣細菌濃度及其細菌菌屬分佈比較如表6所示。

表5 各類採樣器於採樣點A-裁切區之細菌濃度及種類分佈（10月）

| 地點 | | A-裁切區 | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-------------|
| 濕度(%) | | 57~62 | | | | | | | |
| 溫度(°C) | | 29~30 | | | | | | | |
| 各種採樣器 | | Andersen 6 stages | | | | | | AGI-30 | Biosampler |
| 截取粒徑(µm) | | 0.65 | 1.1 | 2.1 | 3.3 | 4.7 | 7 | total | |
| 濃度(CFU/m ³) | | 35 | 86 | 28 | 42 | 35 | 144 | 370 | 4,266 2,844 |
| 革蘭氏陽性菌 | <i>Arcanobacterium spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Bacillus spp.</i> | - | 11 | - | 23 | 3 | 36 | 853 | - |
| | <i>Dermacoccus spp.</i> | - | - | - | - | - | 4 | - | - |
| | <i>Enterococcus spp.</i> | 21 | - | 8 | - | - | - | - | - |
| | <i>Gemella spp.</i> | - | - | - | - | - | - | 85 | - |
| | <i>Leifsonia spp.</i> | - | 36 | - | - | - | 61 | - | - |
| | <i>Lysinibacillus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Macrococcus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Micrococcus spp.</i> | - | 3 | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Paenibacillus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Staphylococcus spp.</i> | - | 18 | - | - | - | - | 2,645 | 356 |
| <i>Streptococcus spp.</i> | - | 8 | - | - | 14 | 4 | 85 | - | |
| 革蘭氏陰性菌 | <i>Achromobacter spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Acinetobacter spp.</i> | - | - | 12 | - | - | - | - | - |
| | <i>Brevundimonas spp.</i> | - | - | - | - | - | 14 | - | - |
| | <i>Burkholderia spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Cedecea spp.</i> | 7 | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Enterobacter spp.</i> | - | - | - | - | - | 4 | - | - |
| | <i>Klebisella spp.</i> | 3 | 10 | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Leminorella spp.</i> | - | - | - | - | 14 | - | - | - |
| | <i>Pantoea spp.</i> | - | - | - | 19 | 3 | 14 | - | 356 |
| | <i>Pasteurella spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Pseudomonas spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Rhizobium spp.</i> | 3 | - | 4 | - | - | - | - | - |
| | <i>Shewanella spp.</i> | - | - | 4 | - | - | - | - | - |
| Other | 1 | - | - | - | 1 | 7 | 598 | 2,132 | |

表6 各類採樣器於採樣點B-原木堆置區之細菌濃度及種類分佈 (10月)

| 地點 | B-原木堆置區 | | | | | | | AGI-30 | Biosampler |
|---------------------------|-----------------------------|-------|-----|-----|-----|----|-------|--------|------------|
| | 濕度(%) | 56~57 | | | | | | | |
| 溫度(°C) | 28~29 | | | | | | | | |
| 各種採樣器 | Andersen 6 stages | | | | | | | | |
| 截取粒徑(µm) | 0.65 | 1.1 | 2.1 | 3.3 | 4.7 | 7 | total | | |
| 濃度(CFU/m ³) | 115 | 167 | 57 | 35 | 35 | 93 | | 2,666 | 1,280 |
| 革蘭氏陽性菌 | <i>Arcanobacterium spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Bacillus spp.</i> | 22 | 19 | 46 | - | 4 | 25 | - | 213 |
| | <i>Dermaococcus spp.</i> | - | 48 | - | - | - | 11 | - | - |
| | <i>Enterococcus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Gemella spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Leifsonia spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Lysinibacillus spp.</i> | - | 22 | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Macrocococcus spp.</i> | 22 | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Microcococcus spp.</i> | 7 | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Paenibacillus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | 213 |
| | <i>Staphylococcus spp.</i> | - | - | - | 14 | - | - | - | - |
| <i>Streptococcus spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 革蘭氏陰性菌 | <i>Achromobacter spp.</i> | 11 | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Acinetobacter spp.</i> | - | - | - | - | - | 22 | - | - |
| | <i>Brevundimonas spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Burkholderia spp.</i> | - | 11 | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Cedecea spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Enterobacter spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Klebsiella spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Leminorella spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Pantoea spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Pasteurella spp.</i> | - | - | - | - | - | 4 | - | - |
| | <i>Pseudomonas spp.</i> | - | - | - | 14 | - | - | - | - |
| | <i>Rhizobium spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Shewanella spp.</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Other | 53 | 67 | 11 | 7 | 31 | 31 | | 2,666 | 854 |

在木材鋸屑方面，脫附出來結果顯示7月所採取之木屑脫附培養出的結果為單一菌屬 *Bacillus spp.* 且總濃度為最高，而10月次之，

所採取之木屑脫附培養出的結果為是 *Klebsiella spp.* 約佔總濃度75%大部分。如圖4所示。

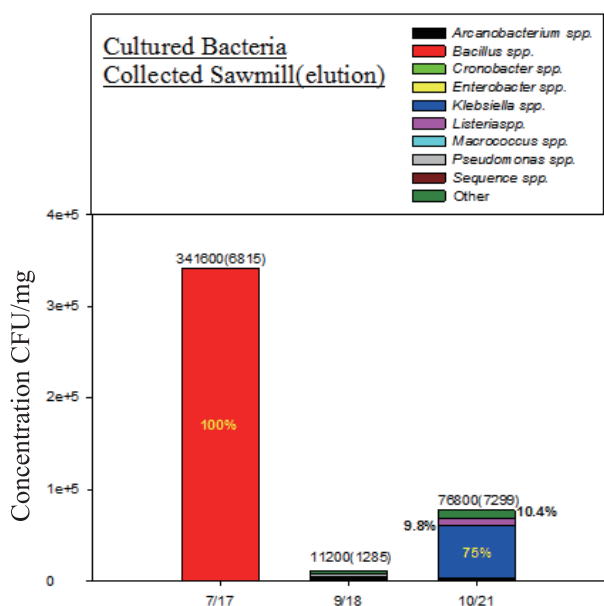


圖4 鋸屑於脫附培養之細菌種類濃度分布圖

木材加工廠在9月此次採樣中溫、濕度為三次採樣中最高，其AGI-30採集到細菌最高濃度為5,333CFU/m³，因此木材廠中相對濕度高，是主要造成生物氣膠濃度提升之優勢因子。

根據Nikaido H.等人所提出革蘭陰性菌細胞表面由大分子和細胞壁之脂質組成而具疏水性及Doelle HW等人所提出革蘭陰性菌細胞表面的疏水性對於環境條件的有顯著變化，如溫

度和相位的變化、生長速度、培養基組成等，另外，從文獻得知革蘭氏陽性菌之細胞壁脂質含量(1~4%)較革蘭氏陰性菌低(11~22%)，因此革蘭氏陽性菌親水性相對較高。本實驗利用Kruskal-Wallis檢定分析方法，比較三種採樣場所（木材加工廠、養雞場、養豬場）所採集到之革蘭氏陰性及陽性細菌與安德森六階、AGI-30及Biosampler之生物採樣器的相關性。

由於安德森六階採樣器、Biosampler及AGI-30所使用的採樣介質分別為半固態培養基及液態收集液，革蘭氏陰性菌又具有疏水性，而革蘭氏陽性菌所含脂質低，疏水性較不高，因此各種採樣器所採集之革蘭氏陰性菌種類較革蘭氏陽性低，且統計結果亦顯示出無論在哪個採樣場所，革蘭氏陰性菌對於各種採樣器皆無顯著相關 (p 值>0.05)，革蘭氏陽性菌對於各種採樣器皆有顯著相關 (p 值<0.05) 研究各生物採樣器及溫、濕度對於革蘭氏陰、陽性菌濃度之影響，結果發現生物氣膠採樣器，對於革蘭氏陽性菌濃度有統計上顯著差異 (p 為0.0002)，而溫濕度對革蘭氏陰性菌濃度，有統計上顯著差異 (p 為0.0195) 如下表7-8。

表7 生物採樣器對革蘭氏陰、陽性菌濃度之影響

| 採樣器 | 革蘭氏陰性菌 | | | | 革蘭氏陽性菌 | | | |
|-----------|--------|------------|-------------------|--------|--------|------------|-------------------|--------|
| | 樣本數 | Mean Score | 卡方檢定 (Chi-square) | p | 樣本數 | Mean Score | 卡方檢定 (Chi-square) | p |
| 安德森六階 | 36 | 25.375 | | | 36 | 19.750 | | |
| AGI-30 | 6 | 24.833 | 1.3057 | 0.5206 | 6 | 37.667 | 16.6556 | 0.0002 |
| Biosapler | 6 | 18.917 | | | 6 | 39.833 | | |

表8 溫／濕度對革蘭氏陰、陽性菌濃度之影響

| 日期 | 革蘭氏陰性菌 | | | | 革蘭氏陽性菌 | | | |
|--------|--------|------------|-------------------|--------|--------|------------|-------------------|--------|
| | 樣本數 | Mean Score | 卡方檢定 (Chi-square) | p | 樣本數 | Mean Score | 卡方檢定 (Chi-square) | p |
| 7月17日 | 16 | 17.4375 | | | 16 | 22.3125 | | |
| 9月18日 | 16 | 26.25 | 7.8765 | 0.0195 | 16 | 25.96875 | 0.6092 | 0.7374 |
| 10月21日 | 16 | 29.8125 | | | 16 | 25.21875 | | |

另外，木材加工廠採樣數據進行Kruskal-Wallis檢定分析，安德森六階、AGI-30及Biosampler於A、B採樣地點對於革蘭氏陰、陽性菌濃度之影響，結果發現採樣地點對於革蘭

氏陰、陽性菌濃度皆沒有統計上顯著差異，因此採樣地點對於革蘭氏陰、陽性菌濃度無影響，如下表9。

表9 採樣地點對於革蘭氏陰、陽性菌濃度之相關性

| 採樣地點 | 革蘭氏陰性菌 | | | | 革蘭氏陽性菌 | | | |
|------|--------|------------|-------------------|----------|--------|------------|-------------------|----------|
| | 樣本數 | Mean Score | 卡方檢定 (Chi-square) | <i>p</i> | 樣本數 | Mean Score | 卡方檢定 (Chi-square) | <i>p</i> |
| A | 24 | 23.60 | | | 24 | 27.52 | | |
| B | 24 | 25.40 | 0.23 | 0.63 | 24 | 21.48 | 2.24 | 0.1348 |

木材加工廠所採集到的菌種類別，革蘭氏陰性菌約佔35.6 % (21/59)，革蘭氏陽性菌約佔64.4 % (38/59)，以革蘭氏陽性菌佔多數。而*Bacillus spp.* (GPB)為採集到優勢菌屬，因為*Bacillus spp.*在5~40°C皆可生長，不論是土壤還是昆蟲到人類的生長環境皆能適應。

2. 細菌內毒素分析結果

由木材加工廠所鑑定出的菌種，再進一步分析鑑定其內毒素，由於內毒素為革蘭氏陰性菌細胞壁上的脂多醣體，因此本實驗選擇木材加工廠所鑑定出之革蘭氏陰性菌做為內毒素試驗之條件。鑑定內毒素之菌種如下表10所示，表中所顯示為勞工在一天八小時重度工作平均呼吸量下，所潛在累積暴露之推估內毒素量。其中以*Pantoea agglomerans*所潛在累積暴露之推估內毒素含量最高，無論是在安德森六階或Biosampler採樣器，均可培養推估出內毒素累積量。最高為以Biosampler採樣器所推估之

1653.1313 EU/8hr。

在09/18現切木材鋸屑所脫附出的革蘭氏陰性菌及其最高內毒素值為*Klebsiella oxytoca*，濃度為88.5612EU/g；同法，在10/22現切木材鋸屑所脫附出的革蘭氏陰性菌及其有最高內毒素之菌種為*Pantoea agglomerans*，濃度為2.6610 EU/g。濃度分佈參考下圖5。

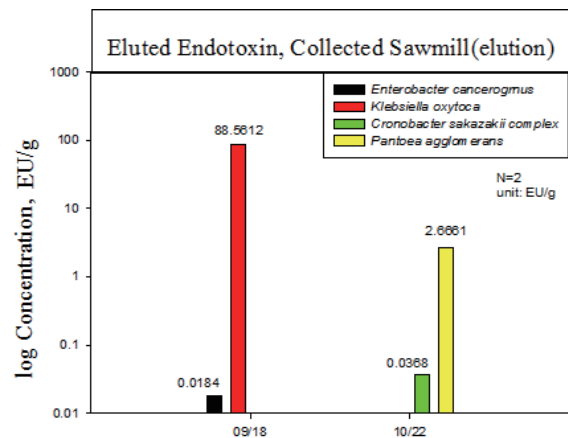


圖5 現切木材鋸屑所脫附革蘭氏陰性菌之內毒素濃度分佈

表10 各類生物採樣器所採集到革蘭氏陰性菌，培養測定其推估累積暴露之內毒素含量（單位：EU/8hr）

| 生物採樣器 | 安德森六階 | | | | | | AGI-30 | Biosampler |
|---|-------------------------|-------------------------|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
| | 日期 | 7/17 | 9/18 | 9/18 | 10/22 | 10/22 | 9/18 | 10/22 |
| | 地點 | B | A | B | A | B | A | A |
| <i>Achromobacter spp.</i> | - | - | - | - | - | 2.9212×10 ⁻² | - | - |
| <i>Acinetobacter hwoffii</i> | 4.7465×10 ⁻⁷ | - | - | - | - | - | 1.4328×10 ⁻⁴ | - |
| <i>Acinetobacter baumannii</i> | - | - | - | - | 1.5684×10 ⁻² | 1.0456×10 ⁻² | - | - |
| <i>Alcaligenes faecalis</i> | 1.3153×10 ⁻⁴ | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Brevundimonas diminuta</i> | - | - | - | 1.8998×10 ⁻³ | - | - | - | - |
| <i>Brevundimonas vesicularis</i> | - | - | - | - | 2.4102×10 ⁻² | - | - | - |
| <i>Burkholderia cepacia</i> | 1.6620×10 ⁻² | - | - | 6.6481×10 ⁻² | - | 9.9722×10 ⁻² | - | - |
| <i>Burkholderia gladioli</i> | 1.7781×10 ⁻⁶ | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Cedecea lapagei</i> | - | - | - | - | 2.9475 | - | - | - |
| <i>Empedobacter brevis</i> | - | - | - | - | - | - | 3.3341×10 ⁻² | - |
| <i>Enterobacter cloacae</i> | - | - | - | - | 4.5351 | - | - | - |
| <i>Klebsiella oxytoca</i> | - | - | - | - | 2.1280 | - | - | - |
| <i>Klebsiellapneumoniae ssp ozaenae</i> | - | - | - | - | 22.7773 | - | - | - |
| <i>Leclercia adecarboxylata</i> | - | 7.8357×10 ⁻² | - | - | - | - | - | - |
| <i>Lemonorella grimontii</i> | - | - | - | - | 0.4745 | - | - | - |
| <i>Pantoea agglomerans</i> | 32.8582 | 164.2909 | - | - | 328.5818 | - | - | 1653.1313 |
| <i>Pasteurella pneumotropica</i> | - | - | - | - | - | 1.9189×10 ⁻⁴ | - | - |
| <i>Pseudomonas putida</i> | - | - | - | - | - | 2.4290×10 ⁻² | - | - |
| <i>Rhizobium radiobacter</i> | - | - | - | - | 5.9773×10 ⁻² | - | - | - |
| <i>Shewanella putrefaciens</i> | - | - | - | - | 2.9494×10 ⁻³ | - | - | - |
| <i>Sphingomonas paucimobilis</i> | - | - | - | 1.0235×10 ⁻² | - | - | 8.5826×10 ⁻² | - |
| <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> | - | - | - | 1.5441 | - | - | - | - |

無論何種生物氣膠採樣器或是採樣點，皆以*Pantoea agglomerans*（培養出）所偵測到內毒素含量為高。以培養*Pantoea agglomerans*所測得之內毒素，為已存活細菌增值後之量測結果，可能造成內毒素含量提升。依據DECOS所建議，在工作環境中平均每天工作超過八小時

接觸到空氣中的內毒素，其健康暴露限值為50 EU/m³，此次採樣並無超過其建議值。

下表11為木材加工廠所鑑定出菌種之分級。大部分所採得之細菌生物氣膠皆為Risk Groups 2以下，RG2則佔51.7%(31/60)。

表11 木材加工廠細菌菌種分級

| 菌屬英文名稱 | 菌種英文名稱 | Risk Groups |
|------------------------------|--|-------------|
| <i>Achromobacter</i> spp. | | 1、2 |
| <i>Acinetobacter</i> spp. | <i>Acinetobacter baumannii</i> | 2 |
| | <i>Acinetobacter lwoffii</i> | 2 |
| <i>Alcaligenes</i> spp. | <i>Alcaligenes faecalis</i> | 2 |
| <i>Arcanobacterium</i> spp. | <i>Arcanobacterium pyogenes</i> | 2 |
| <i>Bacillus</i> spp. | <i>Bacillus cereus</i> | 2 |
| | <i>Bacillus circulans</i> | 1 |
| | <i>Bacillus coagulans</i> | 1 |
| | <i>Bacillus licheniformis</i> | 1 |
| | <i>Bacillus megaterium</i> | 1 |
| | <i>Bacillus pumilus</i> | 1 |
| | <i>Bacillus thuringiensis</i> | 1 |
| <i>Brevundimonas</i> spp. | <i>Brevundimonas vesicularis</i> | 1 |
| <i>Burkholderia</i> spp. | <i>Burkholderia cepacia</i> | 2 |
| | <i>Burkholderia gladioli</i> | 2 |
| <i>Cedecea</i> spp. | <i>Cedecea lapagei</i> | 2 |
| <i>Cronobacter</i> spp. | <i>Cronobacter sakazakii</i> complex | 2 |
| <i>Corynebacterium</i> spp. | <i>Corynebacterium</i> | |
| <i>Dermacoccus</i> spp. | <i>pseudodiphtheriticum</i> | |
| <i>Empedobacter</i> spp. | <i>Dermacoccus nishinomiyaensis</i> | 1 |
| <i>Enterobacter</i> spp. | <i>Empedobacter brevis</i> | 2 |
| <i>Enterococcus</i> spp. | <i>Enterobacter cloacae</i> | 2 |
| | <i>Enterococcus casseliflavus</i> | 2 |
| | <i>Enterococcus faecalis</i> | 2 |
| <i>Gemella</i> spp. | <i>Enterococcus gallinarum</i> | 2 |
| <i>Globicatella</i> spp. | <i>Gemella morbillorum</i> | 2 |
| <i>Klebsiella</i> spp. | <i>Globicatella sanguinis</i> | 2 |
| | <i>Klebsiella oxytoca</i> | 2 |
| <i>Leifsonia</i> spp. | <i>Klebsiella pneumonia</i> ssp <i>ozaenae</i> | 2 |
| <i>Leminorella</i> spp. | <i>Leifsonia aquatica</i> | 1 |
| <i>Listeria</i> spp. | <i>Leminorella grimontii</i> | 1 |
| | <i>Listeria grayi</i> | 1 |
| <i>Lysinibacillus</i> spp. | <i>Listeria welshimeri</i> | 1 |
| <i>Macrocococcus</i> spp. | <i>Lysinibacillus sphaericus</i> | 1 |
| <i>Microcococcus</i> spp. | <i>Macrocococcus caseolyticus</i> | 2 |
| | <i>Microcococcus luteus</i> | 1 |
| <i>Oerskovia</i> spp. | <i>Microcococcus lylae</i> | 1 |
| <i>Paenibacillus</i> spp. | <i>Oerskovia xanthineolytica</i> | 1 |
| | <i>Paenibacillus alvei</i> | 1 |
| <i>Pantoea</i> spp. | <i>Paenibacillus macerans</i> | 1 |
| <i>Pediococcus</i> spp. | <i>Pantoea agglomerans</i> | 2 |
| <i>Pasteurella</i> spp. | <i>Pediococcus pentosaceus</i> | 1 |
| <i>Pseudomonas</i> spp. | <i>Pasteurella pneumotropica</i> | 2 |
| <i>Rhizobium</i> spp. | <i>Pseudomonas putida</i> | 2 |
| <i>Shewanella</i> spp. | <i>Rhizobium radiobacter</i> | 1 |
| <i>Sphingomonas</i> spp. | <i>Shewanella putrefaciens</i> | 1 |
| <i>Staphylococcus</i> spp. | <i>Sphingomonas paucimobilis</i> | 2 |
| | <i>Staphylococcus aureus</i> (SA) | 2 |
| | <i>Staphylococcus capitis</i> ssp <i>capitis</i> | 1 |
| | <i>Staphylococcus capitis</i> ssp <i>ureolyticus</i> | 1 |
| | <i>Staphylococcus equorum</i> | 1 |
| | <i>Staphylococcus haemolyticus</i> | 2 |
| | <i>Staphylococcus hominis</i> | 2 |
| | <i>Staphylococcus kloosii</i> | 1 |
| | <i>Staphylococcus saprophyticus</i> | 2 |
| | <i>Staphylococcus sciuri</i> | 1 |
| <i>Streptococcus</i> spp. | <i>Streptococcus warneri</i> | 1 |
| | <i>Streptococcus pneumoniae</i> | 2 |
| <i>Stenotrophomonas</i> spp. | <i>Streptococcus uberis</i> | 1 |
| <i>Stenotrophomonas</i> spp. | <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> | 2 |

木材鋸屑重量分析

下表12為經由SKC旋風分離器之分徑採樣重量分析結果。結果發現於9月18日工作中於採樣點A-裁切區，所採集到的濃度為0.85mg/m³，而採樣點B-木材堆置區的濃度為0.39mg/m³，此次採樣為三次採樣中最高值，如圖6、7所示。由於台灣並無相關可呼吸性木塵之標準，參考ACGIH對於硬木之TWA標準為1mg/m³，目前數據並無法精準判斷是否合於暴露建議值。

表12 木材廠木材鋸屑重量分析（SKC旋風分離器搭配MCE濾紙）

| 採樣點 | 7月17日 | | 9月18日 | | 10月22日 | |
|-----|-------|------|-------|------|--------|------|
| | 平均值 | 標準差 | 平均值 | 標準差 | 平均值 | 標準差 |
| A | 0.18 | 0.02 | 0.85 | 0.78 | 0.04 | 0.11 |
| B | 0.06 | 0.11 | 0.38 | 0.10 | 0.10 | 0.17 |

*單位：mg/m³; N=2

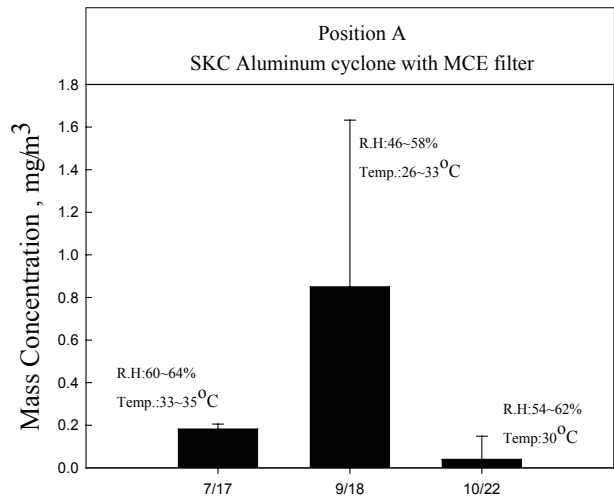


圖6 木材加工廠（裁切區）之空氣採樣重量分析

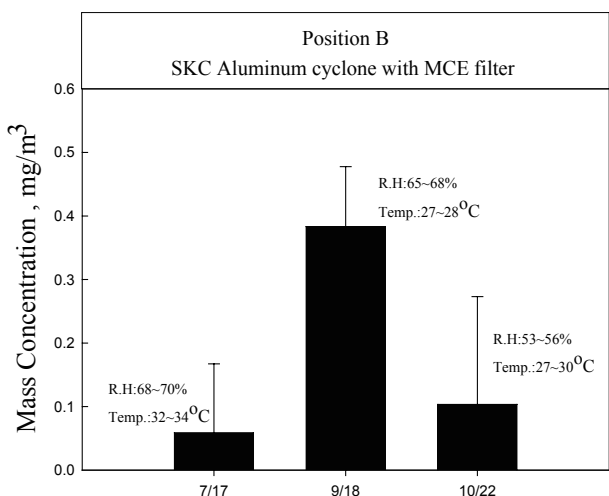


圖7 木材加工廠（原木堆置區）之空氣採樣重量分析

下表13為在木材加工廠採樣點A-裁切區，以MOUDI採樣器進行分徑採樣，其重量分析結果發現：在截取粒徑0.56 μm 的濃度最高，為57.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，採樣總濃度為372.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。其濃度分佈圖則如圖8所示。

表13 木材廠空氣採樣重量分析(MOUDI)

| 10月22日 | |
|------------------------|---------------------------------|
| 截取粒徑 (μm) | 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
| 0.056 | 11.4 |
| 0.1 | 17.8 |
| 0.18 | 24.3 |
| 0.32 | 21.4 |
| 0.56 | 57.4 |
| 1 | 51.3 |
| 1.8 | 37.4 |
| 3.2 | 30.9 |
| 5.6 | 36.4 |
| 10 | 41.4 |
| 18 | 42.8 |

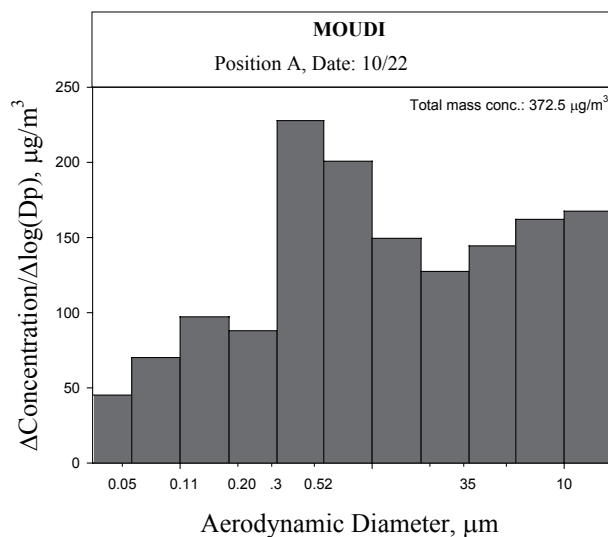


圖8 木材加工廠（裁切區）之MOUDI空氣採樣重量分析

結論與建議

木材加工廠所鑑定出菌種分級方面，屬於生物安全等級第二級之細菌高於50%以上，雖然此等級在人類所引起的疾病並不嚴重的，且通常有預防及治療的方法，但仍建議應減少暴露或有其他控制方法。然而台灣目前對於作業環境空氣中的可呼吸木塵濃度及細菌內毒素的含量限制，及暴露極限並無完整規範，但環境微生物無所不在，吸入細菌內毒素可能會增加呼吸系統疾病的風險，建議未來可加以規範，以防範疾病的增加。

致謝

以上研究在勞動部勞動及職業安全衛生研究所IOSH101-H315「木材加工廠中生物氣膠特性研究」計畫經費贊助及特別感謝中山醫學大學附設醫院CSH-2013-A-009專題研究計畫在菌種鑑定部分的支持下完成，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] 李灝銘：室內生物氣膠回顧。國立中央大學環境工程研究所；2011。http://gaia.org.tw/air/bioaerosol/index.htm
- [2] IARC. Wood dust and formaldehyde. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum; 1995; 62: 1-405.
- [3] Occupational Safety and Health Administration. Safety and Health Topic: Wood dust. http://www.osha.gov/SLTC/wooddust/
- [4] National Institute for Occupational Safety and Health Education and Information Division. Wood Dust; 2011. http://www.cdc.gov/niosh/pel88/wooddust.html
- [5] ACGIH. Bioaerosol : Assessment and Control. American Conference of Aerosol Science and Technology; 1999.
- [6] Battista G, Cavallucci F, Comba P, Quercia A, Vindigni C, Sartorelli E. A case-referent study on nasal cancer and exposure to wood dust in the province of Siena, Italy. Scandinavian Journal of Work Environment & Health 1983; 9: 25-9.
- [7] Barcenas CH, Delclos GL, El-Zein R, Tortolero-Luna G, Whitehead LW, Spitz MR. Wood dust exposure and the association with lung cancer risk. American Journal of Industrial Medicine 2005; 47: 349-57.
- [8] Rosenberg C, Liukkinen T, Kallas-Tarpila T, Ruonakangas A, Ranta R, Nurminen M, et al. Monoterpene and Wood Dust Exposures: Work-Related Symptoms Among Finnish Sawmill Workers. American Journal of Industrial Medicine 2002; 41: 38-53.
- [9] 郭育良等：職業病概論。台灣省台北市，華杏出版社；2009。
- [10] 張景泰：裝潢木工粉塵及甲醛暴露之健康效應評估。台北醫學大學公共衛生學研究所碩士論文；2003。
- [11] Sadhra S, Foulds IS, Gray CN, Koh D, Gardiner K. Colophony--Uses, health effects, airborne measures and analysis. The Annals of Occupational Hygiene 1994; 38, 385-96.
- [12] Hausen BM, Kreuger A, Mohnert J, Hahn H, Konig WA. Contact allergy due to colophony(III). Sensitizing potency of resin acids and some related products. Contact Dermatitis 1989; 20: 41-50.
- [13] Karlberg AT. Contact allergy to colophony. Chemical identifications of allergens sensitization experiments and clinical experience. Acta Derm Venereol 1988; 139: 1-43.
- [14] Douwes J, Thorne P, Pearce N, Heederik D. Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects. The Annals of Occupational Hygiene 2003; 47: 187-200.
- [15] Williams LK, Ownby DR, Maliarik MJ, Johnson CC. The role of endotoxin and its receptors in allergic disease. Annals of Allergy, Asthma & Immunology 2005; 94: 323-32.
- [16] Madsen AM, Hansen VM, Nielsen SH, Olsen TT. Exposure to dust and endotoxin of employees in cucumber and tomato nurseries. The Annals of Occupational Hygiene 2009; 53: 129-38.
- [17] Smit LA, Spaan S, Heederik D. Endotoxin exposure and symptoms in wastewater

- treatment workers. *American Journal of Industrial Medicine* 2005; 48: 30-9.
- [18] Smit LA, Wouters IM, Hobo MM, Eduard W, Doekes G, Heederik D. Agricultural seed dust as a potential cause of organic dust toxic syndrome. *Occupational and Environmental Medicine* 2006; 63: 59-67.
- [19] Pirie RS, Collie DD, Dixon PM, McGorum BC. Inhaled endotoxin and organic dust particulates have synergistic proinflammatory effects in equine heaves (organic dust-induced asthma). *Clinical & Experimental Allergy* 2003; 33: 676-83.
- [20] 王純慧：高效能液相層析連接螢光偵測器法分析麥角酯醇以評估環境中真菌。國立成功大學化學研究所碩士論文；2003。
- [21] Castellan RM, Olenchock SA, Kinsley KB, Hankinson JL. Inhaled endotoxin and decreased spirometric values. *The New England Journal of Medicine* 1987; 317: 605-10.
- [22] Zock JP, Hollander A, Heederik D, Douwes J., Douwes. Acute lung function changes and low endotoxin exposures in the potato processing industry. *American Journal of Industrial Medicine* 1998; 33: 384-91.
- [23] Terrance GC. *The tools of biochemistry*. New York: John W Wiley & Sons; 1977.

Research Articles

Characteristics of Bacteria Bioaerosol in Wood Processing Workplace

Ya-Hui Lin^{1,2} Kai-Ling Huang¹ Chun-Wei Chen^{3,5} Po-Chen Hung³
Hsin-Jan Wen¹ Feng-Cheng Tang⁴ Chane-Yu Lai^{1,*}

¹ Department of Occupational Safety and Health, Chung-Shan Medical University

² Medical Laboratory, Chung-Shan Medical University Hospital

³ Institute of Labor, Occupational Safety and Health, Ministry of Labor

⁴ Department of Occupational Medicine, Changhua Christian Hospital

⁵ Food Industry Research and Development Institute

Abstract

This experiment chose the wood processing environment to conduct bacterial strain identification and endotoxin exposure investigations. The experiment used the single-stage and six-stage Anderson samplers, Biosampler, AGI-30 and SKC aluminum cyclone with PC filter paper to evaluate the concentration of the bacteria and respirable wood dust in the wood processing plant.

The results show that the dominant strains identified from the bacteria sampled at the plant were *Bacillus* spp. and *staphylococcus* spp. Among these, the majority were gram-positive bacteria, whose dominant strain was *Bacillus* spp.. The bacteria concentration in the cutting area was greater than that in the logging area, which should be related to the flying of wood dust during the cutting. The statistical results indicated that gram-positive bacteria differ significantly from the bioaerosol sampler types ($P= 0.0002$). They were also significantly different from the concentration of gram-negative bacteria in terms of temperature and humidity ($P<0.05$). Regarding the biological safety level (BSL) classification, the class II bacterial bioaerosol accounted for 51.7%. In the working environment, all bioaerosol samplers showed that the endotoxin content detected in *Pantoea agglomerans* (cultured) was much higher, being 0.8053 EU/m^3 . The total endotoxin concentration range collected by SKC cyclone separator with PC filter paper was $2.1639 \times 10^{-6} \sim 5.1850 \times 10^{-6} \text{ EU/m}^3$. At present, there are no

Accepted 2 March, 2016

Correspondence to: Chane-Yu Lai, Department of Occupational Safety and Health, Chuag-Shan Medical University, No.110, Sec.1, Jianguo N. Rd., South Dist, Taichung City 40201, Taiwan(R.O.C.), Email address: cylai@csmu.edu.tw

complete standards on the content limit of respirable wood dust concentration and the exposure limit of endotoxin in the working environment. Standards are recommended to be imposed in the future to prevent the increase of occupational exposure.

Keywords: Wood dust, Bioaerosol, Mycotoxins