

論文

木材加工場之真菌性生物氣膠特性研究

湯豐誠¹ 陳俊璋^{2,5} 洪柏宸² 黃凱鈴³ 林雅惠^{3,4} 賴全裕³

¹ 彰化基督教醫院職業醫學科

² 勞動部勞動及職業安全衛生研究所

³ 中山醫學大學職業安全衛生學系

⁴ 中山醫學大學附設醫院檢驗科

⁵ 財團法人食品工業發展研究所

摘要

由研究文獻得知，木材相關作業之工作者可能暴露於風險當中，例如木塵(wood dust)之暴露、引發職業性氣喘(occupational asthma)，或是黴菌毒素、內毒素(endotoxins)暴露情形。因此本研究選擇以木材鋸屑作業環境進行黴菌毒素(mycotoxins)暴露情形調查。實驗利用、安德森六階、Biosampler、AGI-30及SKC鋁製旋風分離器搭配PC濾紙，以評估木材加工廠黴菌在環境中濃度及黴菌毒素暴露劑量。

研究結果顯示：工廠作業環境中暴露之黴菌毒素，以在鋸屑脫附液中測得黃麴毒素(Aflatoxin B1)、伏馬鐮孢毒素(Fumonisin)及玉米赤黴烯酮(Zearalenone)等濃度，相對於空氣採樣樣本為高。其中以Aflatoxin B1有較高的濃度，其濃度範圍在97.2~510.4 ng/g (鋸屑)。目前作業環境空氣中，黴菌毒素的含量限制及暴露限值並無完整規範，建議未來可加以規範，以防範疾病的增加。

關鍵字：木塵、生物氣膠、黴菌毒素

民國 104 年 5 月 29 日投稿，民國 104 年 7 月 13 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，為微生物十分有利的生長環境，生物氣膠對人體呼吸方面影響很大，其中以 $3\mu\text{m}$ 以下之氣膠於肺泡區的沉積比率最高。不幸的是，許多生物氣膠的粒徑均包含此範圍，足見其對人體健康構成很大的威脅[1]。近年來備受注意的木材粉塵(wood dust)，國際癌症研究機構(International Agency for Research on Cancer, IARC)在流行病學的證據之下，將木塵歸類為人類致癌物質(Group 1)[2]。在台灣，從事木材製品製造業及家具製造業的勞工人數達41,710人[3]，並有995間木竹製品製造廠[4]，但目前國內對於木材加工廠之相關木塵及生物氣膠研究仍然少見，因此在不同氣候條件下、木材種類之與其加工處理過程中所可能逸散的木塵、生物氣膠和生物性危害部分，值得進一步探討。

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[5]；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[6]。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[7]。

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[8]。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Battista等人在義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[9]。

2003年張景泰的研究中提到在杉木中主要的刺激物是大側柏酸[10]，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使原有的氣喘惡化，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，如下表1、表2所示。

2007年Bornholdt等人研究木材粉塵(Beech、Oak、Birch、Teak、Pine、Spruce)、中密度纖維板(Medium Density Fiberboard, MDF)誘導人類細胞(human lung epithelial cell line A549)因子反應，和粉塵引起DNA損傷檢測。其結果發現在七種木材之中有四種(硬木和軟木皆有)對於此細胞會造成DNA鏈斷裂，硬木會造成極端值的反應[14]。

表1 作業場所木塵暴露容許濃度或限限值[5, 11-14]

單位：mg/m ³	OSHA		ACGIH		EU-OEL 歐盟指引	台灣	英國WEL	日本 ^{*3}
	PEL	STEL	TLV	STEL				
軟木	^{*1} 總：15 ^{*2} 可：5	N/A	1 TWA	10 TWA	N/A			
木塵 硬木	總：15 可：5	6 TWA	1 TWA	N/A	總：5	總：10 可：5	5 TWA	總：4 可：1
西洋紅 杉木	總：15 可：5	N/A	0.5 TWA	10 TWA	N/A			

^{*1}：為總粉塵。
^{*2}：為可呼吸性粉塵。
^{*3}：為日本職業衛生學會針對粉塵所訂下的建議值。
 PEL(permissible exposure limit)：允許暴露極限
 STEL(short-term exposure limits)：短時暴露閾值
 TLV(Threshold limit value)：閾限值
 OEL(Occupational exposure limits)：職業暴露極限
 WEL(Workplace exposure limit)：工作場所暴露極限

表2 ACGIH各類木材粉塵建議限限值[15]

Substance (Documentation date)	Adopted Values			MW	TLV® Basis-Critical Effect(s)
	TWA	STEL	Notations		
Wood dusts (2009)				NA	
Western red cedar	0.5mg/m ³	-	SEN; A4		Asthma
All other species	1 mg/m ³	-	-		Pulm func
Carcinogenicity					
Oak and beech	-	-	A1		
Birch, mahogany, teak, walnut	-	-	A2		
All other wood dust	-	-	A4		

A1—Confirmed human carcinogen: The agent is carcinogenic to human’s based on the weight of evidence from epidemiologic study
 A2—Suspected human carcinogen: Human data are accepted as adequate in quality but are conflicting or insufficient to classify the agent as a confirmed human carcinogen; or, the agent is carcinogenic in experimental animals at dose(s), by route(s) of exposure, at site(s), of histologic type(s), or by mechanism(s) considered relevant to worker exposure. The A2 is used primarily when there is limited evidence of carcinogenicity in experimental animals with relevance to humans.
 A4—Not classifiable as a human carcinogen: Agents which cause concern that they could be carcinogenic for humans but which cannot be assessed conclusively because of a lack of data. In vitro or animals studies do not provide indications of carcinogenicity which are sufficient to classify the agent into one of the other categories
 SEN=Sensitization
 Pulm. Func.=pulmonary function

2. 木材加工與生物氣膠

在台灣，對於木材加工廠之相關生物氣膠文獻較為少見，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粉塵，以及生物氣膠危害部分，應該值得進一步探討。例如：青黴菌屬(*Penicillium*)普遍存在於自然界中，是室內常見的生物性污染物。而高暴露族群為軟木工人(cork worker)、起土工人(cheese worker)[16]、實驗室工作人員、農夫[17]、伐

木工人、紡織廠工人，及其他處理可能被青黴菌屬污染物品的工人等[18]。青黴菌屬中許多不同種類均會造成過敏性肺炎(hypersensitivity pneumonitis)，例如：常見青黴(*Penicillium frequentans*)懸浮在空氣中的孢子，會使軟木工廠的工人引起一種過敏性肺炎--軟木塵肺(suberosis)[19]。

2001年Dutkiewicz等人，研究鋸木廠工人木材鋸屑（松木與橡木）相關的生物過敏原的反應性。利用三種微生物(*Rahnella sp.*,

Brevibacterium linens and *Penicillium citrinum*) 進行皮膚測試，其結果發現松木木材鋸屑萃取物造成工人的皮膚反應高於橡木工人($p < 0.001$)，早期的皮膚反應與木塵傳播的細菌和真菌中萃取物在鋸木廠工人中非常普遍，暴露程度呈顯著關係。對革蘭氏陰性菌 *Rahnella* sp. 的反應，在松木加工工人顯著大於在橡樹加工工人($p < 0.001$)。且在相比之下，橡木加工工人反應比於青黴菌、松樹加工工人($p < 0.01$) 明顯。而空氣中的菌群以革蘭氏陰性菌常見於松樹加工鋸木廠，而黴菌最常見於橡木加工鋸材。針葉樹木材和木材鋸屑微生物所引起的早期過敏反應，則常見於鋸木廠工人[20]。

3. 黴菌毒素(Mycotoxins)

黴菌毒素是由微真菌產生的次生代謝產物，其能夠造成人類和其他動物疾病和死亡[21]。這些真菌生存在炎熱和潮濕的環境下，平均氣溫約27°C，相對濕度範介於80%和90%[22]。所以對黴菌的生長和黴菌毒素的產生，濕度和溫度有重大影響[23]。黴菌毒素積聚在真菌孢子，菌絲體及生長基質，毒素的多寡取決於真菌的物種及菌株黴菌毒素對人類和動物健康的影響，主要是通過攝入黴菌毒素進入人類和動物的飲食系統，皮膚接觸到受到黴菌汙染的物品，但越來越多的證據顯示其會經由呼吸系統進入人體[24-26]。黴菌毒素表現出廣泛的生物效應和個別黴菌毒素可致突變、致癌、胚胎毒性，致畸或雌激素[27]。最常見含毒性的真菌種類主要為此五個菌屬：鏈格孢屬，曲黴屬，枝孢屬，鐮刀菌，青黴屬[28]。全球最關注的是曲黴菌，鐮刀菌，青黴。這三個屬的主要毒素：黃曲黴毒素，赭曲黴毒素，新月毒素，伏馬毒素和玉米赤黴烯酮[29]。

空氣中的黴菌孢子或代謝產物，可能成

為人類過敏原，會引起支氣管哮喘、蕁麻疹，過敏性鼻炎、結膜炎、角膜炎、皮膚炎、腸胃炎等過敏症。過敏性氣喘約有10%之患者係由於黴菌過敏所引起的。空氣中飄浮之黴菌孢子如果著落在人體皮膚粘膜、傷口上，即會造成感染。最常見者例如香港腳、白癬即是 *Trichophyton* 髮癬菌屬黴菌感染的。此外，尚有 *Aspergillus* 麴菌屬會感染呼吸道、外耳道；*Candida* 念珠菌屬會感染呼吸道、消化道、尿道以及造成手指、腳趾間糜爛、陰部粘膜發炎等。*Cryptococcus* 芽生菌屬感染中樞神經、肺、呼吸道以及引起皮膚、粘膜發生紅斑、丘疹等[30]。青黴菌(*Penicillium*)是氣喘的危險因子，枝孢菌(*Cladosporium*)與呼吸道症狀有相關，曲黴菌(*Aspergillus*)則為孩童產生過敏反應之危險因子[31]。鏈格孢菌(*Alternaria*)更是氣喘孩童重要的過敏原[32]。

1995年Lougheed 等人提出在紡織廠工作人員得到脫屑性間質性肺炎與吸入黃麴毒素(*Aflatoxin*)有關[33]。1996年Wang等人研究發現台灣地區環境中黃麴黴毒素的暴露可能為提高B型肝炎的潛在致癌性[34]。一些流行病學研究指出在非洲、菲律賓和中國，黃麴毒素會增加胃腸道和肝腫瘤的發病率[35]。

綜合以上，本研究於木材加工廠進行木材粉塵採樣，以瞭解木材加工廠之鋸屑在作業過程中產生的可呼吸性粉塵，以及在木材加工廠中真菌的特性及濃度比例，透過真菌之菌種鑑定，評估可能對人體產生傷害之暴露危害。本研究也同時進行真菌毒素含量之調查分析。

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。

採樣時間為七月（夏季）、九月（秋中）及十月（秋末）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），進行生物氣膠採樣及可呼吸性木塵採樣。研究並測量木材加工廠中風速、濕度及溫度變化。此木材加工廠會將進口木材堆置於室內，之後進行裁切。堆置時間少於三個月，而堆置期間會不定時噴灑水分。下圖1為工作區域之平面圖及區域採樣點設計。

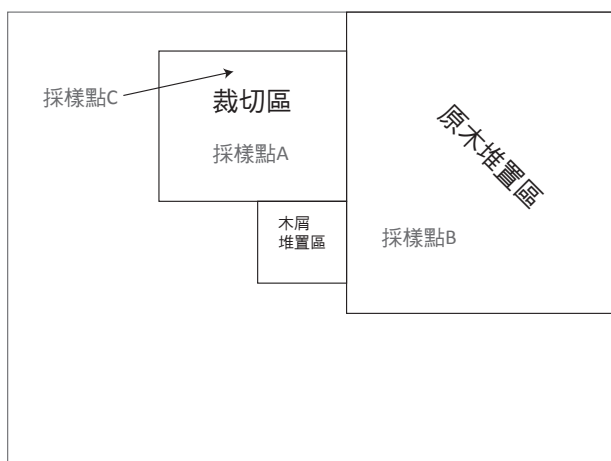


圖1 木材加工廠之平面圖及區域採樣點設計

木材廠之實驗採樣以side-by-side的方式，一個木材加工廠規劃三個採樣點：採樣點A-裁切區、原木堆置區B利用三種生物採樣器（安德森六階、Biosampler及AGI-30）和SKC旋風分離器兩組（一組為進行脫附培養、另一組為木塵重量分析）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真菌之實驗。

2. 生物氣膠採樣

本研究利用三種生物氣膠採樣組合：安德森六階、Biosampler及AGI-30以評估木材加工廠真菌存在環境中濃度、粒徑分布及菌種鑑定。並選用SKC鋁製旋風分離器，進行可呼

吸性木材粉塵之區域採樣，並針對濾紙進行真菌的脫附培養。所採集之真菌在實驗室中進行培養，並利用菌種鑑定判斷木材加工廠工作場所中存在真菌種類。而生物採樣的變項包含了溫度和溼度的變化。下圖2為本研究之採樣流程：

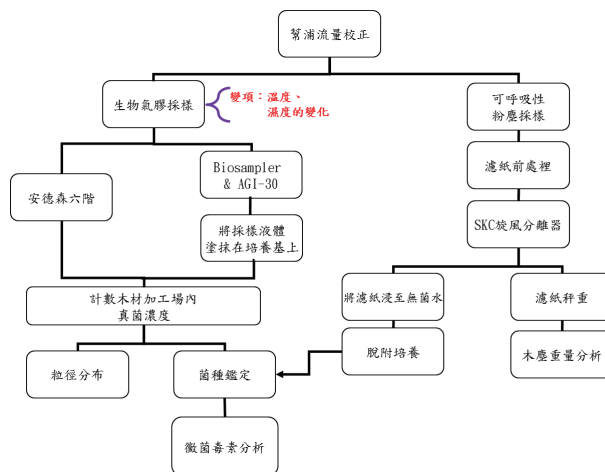


圖2 實驗採樣流程

安德森六階以慣性衝擊至半固體之培養基並其有六種不同粒徑大小之階層，因此可針對真菌作為粒徑分佈之分析；AGI-30和Biosampler則為利用慣性衝擊至液態培養液，但AGI-30為單孔直接衝擊培養液，而Biosampler則以三孔呈45度角衝擊至培養液，減緩衝擊所造成的壓力，以上兩種採樣器所採集培養的真菌可能因衝擊效果有所不同，因此本研究選擇以上三種生物氣膠採樣器做為實驗器材。培養一般真菌可用麥芽抽出物之培養基(malt extract agar, MEA)。真菌培養溫度應控制在25°C，進行培養並觀察4±1天。

下表3為三種生物氣膠採樣器採樣法之比較。

本研究濾紙脫附方式參考2011年趙氏之研究：採樣後之PC濾紙(37mm, 0.8μm)及MCE濾紙(37mm, 0.8μm)，以無菌鑷子將其移至裝有10 ml流洗液(0.01%Tween 80)的50ml(diameter 30

mm)離心管中，將樣本震盪(vortex)2分鐘後，再進行15分鐘超音波震盪(ultrasonic agitation) [36-37]。

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。

表3 三種生物氣膠採樣器採樣法之實驗實測比較

	安德森六階採樣器	Biosampler	AGI-30
收集介質	半固體培養基 (TSA和MEA)	液態收集液 (Nutrient broth)	液態收集液 (Nutrient broth)
採樣時間	5分鐘	15分鐘	15分鐘
採樣流量	28.3 L/min	12.5 L/min	12.5 L/min
Cut off size	0.65 μ m、1.1 μ m、2.1 μ m、3.3 μ m、4.7 μ m & 7 μ m	0.83~8.91 μ m以上	0.97~8.91 μ m以上
採樣表面風速	進口表面積：4.50E-4m ² ，表面風速：1.04m/s；第一階至最後一階之表面風速：1.07m/s、1.79m/s、2.96m/s、5.27m/s、12.78m/s、23.28m/s；最後一階噴嘴表面積：4.90E-8m ² ，表面風速：24.02m/s	進口表面積：6.9E-5m ² ，表面風速：3.02m/s；噴嘴表面積：2.1E-7m ² ，表面風速：333.3m/s	進口表面積：6.17E-7m ² ，表面風速：3.38m/s；噴嘴表面積：8.7E-7m ² ，表面風速：239.46m/s
運送	將培養基用parafilm封口，放入冰桶	將收集液倒入離心管再用parafilm封口，放入冰桶	將收集液倒入離心管再用parafilm封口，放入冰桶
菌種培養	真菌培養溫度應控制在25 $^{\circ}$ C，進行培養4 \pm 1天。	真菌培養溫度應控制在25 $^{\circ}$ C，進行培養4 \pm 1天。	真菌培養溫度應控制在25 $^{\circ}$ C，進行培養4 \pm 1天。

3. 菌種鑑定

在現場採樣完攜回實驗室後，置於25 \pm 1 $^{\circ}$ C培養箱內培養4 \pm 1天。即培養3天後需注意菌落生長情形，以利紀錄數據。經培養長出之菌落，先進行總菌落數的計數。鑑定方式

主要根據其菌落型態，利用膠帶黏附法並透過光學顯微鏡，觀察孢子及其分生孢子型態，以區分菌屬。本研究中，若菌落無法清楚辨識，則將其歸類於其它。

黴菌毒素檢測是使用直接競爭型酵素連結免疫吸附分析法。將待測物固定在微滴定盤上後，再加入帶有酵素的抗體後，接著加入酵素的受質，藉此偵測待測物濃度，依其呈色強弱來表示抗體濃度之高低。將測試三種黴菌毒素（黃麴毒素、伏馬鎌孢毒素及玉米赤黴烯酮）。

結果

1. 真菌濃度及菌種鑑定結果

在7月於木材加工廠之採樣點A-裁切區，安德森六階生物氣膠採樣器總濃度為4,413 CFU/m³，菌種鑑定結果以青黴菌(*Penicillium spp.*)與枝孢菌屬(*Cladosporium spp.*)為主。在同樣之採樣點，使用AGI-30、Biosampler，進行生物氣膠比較採樣，以Biosampler所採集到的濃度最高為4,533 CFU/m³，如表4所示。

採樣處為B點原木堆置區，安德森六階生物氣膠採樣器總濃度為4,289 CFU/m³，以*Penicillium spp.*與*Cladosporium spp.*為主且分布廣泛，從安德森六階中皆有採集發現可證。在同樣之採樣點，使用AGI-30、Biosampler，進行生物氣膠比較採樣，以Biosampler所採集到的濃度最高為3,644 CFU/m³，其中菌種以*Penicillium spp.*、*Cladosporium spp.*及鐮刀菌屬(*Fusarium spp.*)為主，如表4所示。

表4 各類採樣器於採樣點A-裁切區和B-原木

堆置區之真菌濃度及種類分佈（7月）

地點	A-裁切區								
濕度(%)	58~61								
溫度(°C)	35~37								
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			
濃度(CFU/m ³)	664	1,864	658	450	406	369	711	4,533	
<i>Cladosporium spp.</i>	37	162	66	19	10	18	-	1,688	
<i>Fusarium spp.</i>	2	-	11	2	4	4	622	267	
<i>Penicillium spp.</i>	144	798	93	60	75	96	89	1,778	
<i>Trichophyton spp.</i>	-	10	2	4	10	6	-	-	
Other	481	894	486	365	307	245	-	800	
地點	B-原木堆置區								
濕度(%)	62~65								
溫度(°C)	34~35								
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			
濃度(CFU/m ³)	110	1,453	1,260	524	664	276	1,956	3,644	
<i>Cladosporium spp.</i>	6	161	621	257	148	64	889	89	
<i>Fusarium spp.</i>	-	65	5	8	-	-	978	889	
<i>Penicillium spp.</i>	16	308	296	17	160	80	89	800	
<i>Trichophyton spp.</i>	9	-	-	-	4	6	-	-	
Other	79	919	338	242	352	126	-	1,866	

SKC旋風分離器搭配PC濾紙，並以MEA真菌培養基進行培養，其結果如表5所示，兩採樣點所採集之濃度及真菌菌種皆一致，其菌種除其它菌屬外，皆是*Penicillium spp.*。

表5 SKC搭配PC濾紙於採樣點A-裁切區和B-原木堆置區之真菌濃度及種類分佈表（7月）

日期 採樣器	7月 Cyclone_PC	
	A-裁切區	B-原木堆置區
地點	58~61	62~65
濕度(%)	35~37	34~35
溫度(°C)	111	111
濃度(CFU/m ³)		
<i>Penicillium spp.</i>	56	56
Other	55	55

於9月在木材加工廠之採樣點A-裁切區，濕度為69~69%，溫度為27~28°C，利用安德森六階生物氣膠採樣器，配合MEA進行真菌生

物氣膠採樣，總濃度為2,827.5 CFU/m³，且以*Penicillium spp.*為主，約佔總濃度約23.5%。在同樣之採樣點，使用AGI-30、Biosampler，進行生物氣膠比較採樣，以AGI-30所採集到的濃度為最高8,266 CFU/m³。以*Trichoderma spp.*在AGI-30及Biosampler的菌屬中濃度最高，分別佔其總濃度24%及80%，如表6所示。

在木材加工廠之採樣點B-原木堆置區，此處濕度為71~75%，溫度為27~28°C，安德森六階生物氣膠採樣器總濃度為278 CFU/m³，各階真菌濃度分布平均，且以*Trichoderma spp.*分布最為廣泛，約佔總濃度27.9%。在同樣之採樣點，使用AGI-30、Biosampler進行生物氣膠採樣比較，結果顯示AGI-30濃度最高，為5,333 CFU/m³。所有菌種中以*Penicillium spp.*及*Trichoderma spp.*均有出現，且所佔的比例也最高，如表6所示。

表6 各類採樣器於採樣點A-裁切區和B-原木堆置區之真菌濃度及種類分佈表(9月)

地點		A-裁切區						
濕度(%)		68~69						
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		
濃度(CFU/m ³)	50	1,690	410	213	175	289	8,266	2,133
<i>Acremonium spp</i>								
<i>Cladosporium spp.</i>	-	24	65	26	19	8	-	-
<i>Microsporium spp</i>	-	24	-	11	-	26	-	-
<i>Penicillium spp.</i>	42	235	72	99	104	173	1,323	427
<i>Scopulariopsis spp</i>	-	-	-	-	-	-	330	-
<i>Fusarium spp.</i>	4	-	11	-	-	-	-	-
<i>Trichoderma spp.</i>	4	-	-	7	26	11	1,984	1,706
Other	-	1,407	262	70	26	71	4,629	-
地點		B-原木堆置區						
濕度(%)		71~75						
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		
濃度(CFU/m ³)	28	93	71	35	28	21	5,333	2,489
<i>Acremonium spp</i>								
<i>Cladosporium spp.</i>	-	7	25	12	-	4	-	356
<i>Microsporium spp</i>	-	4	-	-	8	4	356	-
<i>Penicillium spp.</i>	8	52	18	-	8	-	711	711
<i>Scopulariopsis spp</i>								
<i>Fusarium spp.</i>	4	-	-	4	-	-	-	-
<i>Trichoderma spp.</i>	16	15	7	19	8	13	711	1,422
Other	-	15	21	-	4	-	3,200	-

SKC旋風分離器搭配PC濾紙並以MEA真菌培養基進行培養，其結果以採樣點A濃度較高為2,388 CFU/m³，兩採樣點A及B均以*Penicillium spp.*為優勢菌種，如表7所示。

表7 Cicolone_PC於採樣點A-裁切區和B-原木堆置區之真菌濃度及種類分佈表(9月)

日期	9月	
	Cicolone_PC	
採樣器	A-裁切區	B-原木堆置區
地點	63~69	64~71
濕度(%)	27~28	28~29
溫度(°C)	2,388	1,499
濃度(CFU/m ³)		
<i>Cladosporium spp.</i>	167	-
<i>Microsporium spp</i>	55	55
<i>Penicillium spp.</i>	445	888
<i>Trichoderma spp.</i>	388	445
Other	1,333	111

於10月在木材加工廠之採樣點A-裁切區，濕度為58%，溫度為28°C，安德森六階生物採樣器採集到之總濃度為1,159 CFU/m³，以*Penicillium spp.*分布最廣，約占總濃度35.4%。在同樣之採樣點，使用AGI-30、Biosampler進行生物氣膠採樣比較，結果顯示AGI-30為濃度最高1,706 CFU/m³。*Penicillium spp.*及*Trichophyton interdigitale*在此三種採樣器中均有培養出菌落，但以*Penicillium spp.*所佔的比例最大，如表8所示。

在木材加工廠之採樣點B-原木堆置區，此採樣處濕度為56%，溫度為29°C，安德森六階生物氣膠採樣器總濃度為1,456 CFU/m³，以

Penicillium spp. 分布最廣，約占總濃度37.4%。在同樣之採樣點，使用AGI-30、Biosampler進行生物氣膠採樣比較，結果顯示AGI-30濃度最

高，為1,777 CFU/m³。*Penicillium spp.* 在此三種採樣器中均有出現，且在AGI-30採樣器中佔100%，如表8所示。

表8 各類採樣器於採樣點A-裁切區和B-原木堆置區之真菌濃度及種類分佈表（10月）

地點		A-裁切區						
濕度(%)		58						
溫度(°C)		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		
濃度(CFU/m ³)	569	258	93	79	21	138	1,706	1,066
<i>Paecilomyces spp.</i>	31	-	7	7	-	30	213	-
<i>Penicillium spp.</i>	90	11	61	64	13	86	640	711
<i>Phialemonium spp.</i>	8	-	-	-	-	7	213	-
<i>Scopulariopsis spp.</i>								
<i>Trichophyton spp.</i>	16	7	-	-	8	15	640	177
Other	424	240	25	8	-	-	-	178
地點		B-原木堆置區						
濕度(%)		56						
溫度(°C)		29						
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		
濃度(CFU/m ³)	71	721	370	93	86	115	1,777	2,311
<i>Paecilomyces spp.</i>	29	493	84	11	19	3	-	178
<i>Penicillium spp.</i>	25	220	267	72	56	97	1777	1,600
<i>Phialemonium spp.</i>	3	4	4	10	4	3	-	-
<i>Scopulariopsis spp.</i>	7	4	-	-	-	4	-	-
<i>Trichophyton spp.</i>	3	-	15	-	7	4	-	533
Other	4	-	-	-	-	4	-	-

SKC旋風分離器搭配PC濾紙並以MEA真菌培養基進行培養，其結果以採樣點B濃度較高為1,222 CFU/m³，且濃度懸殊甚大，如表9所示。將三次採樣鋸屑進行採集脫附，其懸浮液抹在培養基MEA上進行培養，皆培養三盤。其結果如圖3所示。結果顯示採樣時間為7月17日之木材鋸屑脫附之真菌濃度為最高43,600 CFU/mg，真菌種類除其它菌屬外，以*Paecilomyces spp.*濃度較高。

表9 SKC旋風分離器搭配PC濾紙於採樣點A-裁切區和B-原木堆置區之真菌濃度及種類分佈表（10月）

日期 採樣器	10月 Cyclone_PC	
	A-裁切區	B-原木堆置區
地點		
濕度(%)	63~69	64~71
溫度(°C)	27~28	28~29
濃度(CFU/m ³)	400	1,222
<i>Paecilomyces spp.</i>	67	111
<i>Penicillium spp.</i>	200	889
<i>Trichophyton spp.</i>	133	222

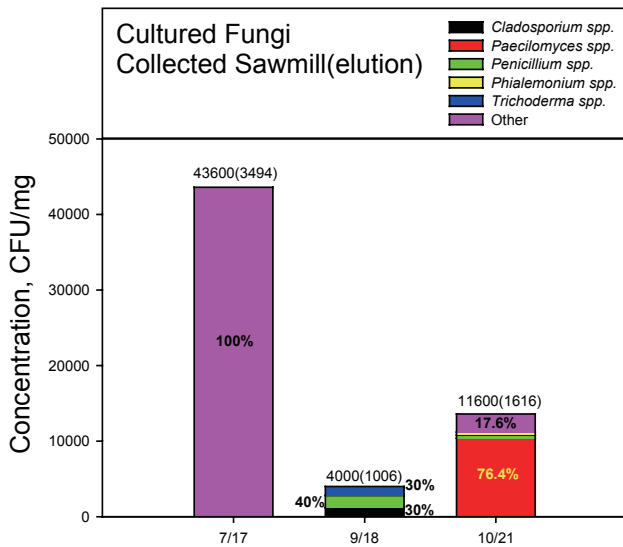


圖3 鋸屑於脫附培養之真菌種類濃度分布圖
(圖內長條圖上方數字為總平均濃度，括號內數字為標準差，菌種以百分率表示。)

2. 黴菌毒素分析結果

下表10為將兩種生物氣膠採樣器（AGI-30及Biosampler）所採集之採集液及SKC旋風分離器搭配PC濾紙及MCE濾紙，和現切鋸屑所脫附之液體進行黴菌毒素試驗之綜合結果。在黃麴毒素(Aflatoxin B1)方面，現切鋸屑脫附之採樣液，在每次採樣時間皆有發現，其中9月18日出現最高值為510.4 ng/g（鋸屑）；在伏馬鐮孢毒素(Fumonisin)方面，只有在9月18日的現切木材鋸屑脫附之採樣液中發現，其濃度為64.8 ng/g（鋸屑）；在玉米赤黴烯酮(Zearalenone)方面，現切木材鋸屑脫附之採樣液在三次採樣中皆有發現，其濃度為59.2、76.0及71.6 ng/g（鋸屑），另外9月18和10月22日在SKC搭配PC濾紙也有發現Zearalenone。其原始分析濃度分佈如表10所示。

表10 木材廠SKC旋風分離器_濾紙、AGI-30、Biosampler採樣(單位：ng/m³)，及現切木材鋸屑(單位：ng/g)所脫附總黴菌毒素含量

黴菌毒素	Aflatoxin B1			Fumonisin			Zearalenone			
	日期*	7/17	9/18	10/22	7/17	9/18	10/22	7/17	9/18	10/22
Cyclone_PC(A)		0	0	2.9	0	0	0	0	1.0	1.2
Cyclone_PC(B)		0	0	1.3	0	0	0	0	0	2.3
Cyclone_MCE(A)		0	0	2.1	0	0	0	0	0	0
Cyclone_MCE(B)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
AGI-30(A)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
AGI-30(B)		2.8	0	0	0	0	0	0	0	0
Biosampler(A)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biosampler(B)		0	8.5	0	0	0	0	0	0	0
現切木材鋸屑		97.2	510.4	308.0	0	64.8	0	59.2	76.0	71.6

*日期格式：月/日

結論與建議

1. 木材加工廠之真菌特性及濃度比例

生物氣膠採樣器以AGI-30和Biosampler所採集到的總濃度較高，但此種採樣器所獲得之採樣培養數目濃度容易有極端值，與採樣噴嘴衝擊速度、收集液特性，及菌種抵抗環境採樣壓力強度有關，建議可利用靜電捕集或淘析器，以降低慣性衝擊及液體衝擊補集法所造成的誤差，以增加採樣的準確性。由於本研究之木材廠皆為半開放式，真菌濃度部分超過台灣室內空氣品質法之規定，但因無外部空氣之採樣結果，而無法比較。在木材加工廠的採樣點A-裁切區真菌濃度皆大於B--原木堆置區，是因為在鋸木時（工作中），會使得粒徑較小之細菌懸浮於空氣中及讓原本生存在木材上的真菌

飄散所導致。

2. 作業環境內含黴菌毒素之分佈

在黴菌毒素量測方面，如表10所示，黃麴毒素(Aflatoxin B1)、伏馬鐮孢毒素(Fumonisin)及玉米赤黴烯酮(Zearalenone)皆在現切木材鋸屑脫附液中發現。另外，SKC旋風分離器搭配PC或MCE濾紙也有發現Aflatoxin B1和Zearalenone。由於目前各國較少有黴菌毒素健康暴露限值，因此難以提出建議。但在職業相關過敏性肺炎的研究中發現，造成過敏性肺炎的病原多為真菌[38]。針對罹患過敏性鼻炎木頭家具工人的一個研究則發現，在工廠的真菌比木材鋸屑更容易引起過敏[39]。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」計畫的經費贊助下完成，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] 行政院主計總處。受僱員工人數、進退率、薪資、平均工時、勞動生產力與單位產出勞動成本。行政院主計總處；2012。
- [4] 經濟部統計處。工廠校正及營運調查。經濟部統計處；2012。
- [5] Occupational Safety and Health Administration. Safety and Health Topic: Wood dust. <http://www.osha.gov/SLTC/wooddust/>
- [6] National Institute for Occupational Safety and Health Education and Information Division. Wood Dust. NIOSH; 2011. <http://www.cdc.gov/niosh/pel88/wooddust.html>
- [7] National Safety Construction Division. Construction, Forestry, Mining & Energy Union; 1993.
- [8] ACGIH. Bioaerosol: Assessment and Control. American Conference of Aerosol Science and Technology; 1999.
- [9] 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.
- [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] SCOEL. Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Wood Dust. SCOEL; 2002.
- [12] WD-40 Company. MATERIAL SAFETY DATA SHEET. WD-40 Company; 2010.
- [13] 勞動部。勞工作業場所容許暴露標準。勞動部；2014。
- [14] Bornholdt J, Saber AT, Sharma AK, Savolainen K, Vogel U, Wallin H. Inflammatory response and genotoxicity of seven wood dusts in the human epithelial cell line A549. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis 2007; 632: 1-2.
- [15] ACGIH. The Documentation of the Threshold

- Limit Values and Biological Exposure Indices – Wood Dusts. ACGIH; 2010.
- [16] Campbell JA, Kryda MJ, Treuhaft MW, Marx JJ Jr, Roberts RC. Cheese worker's hypersensitivity pneumonitis. *The American Review of Respiratory Disease* 1983; 127: 495-6.
- [17] Yoshikawa S, Tsushima K, Koizumi T, Kubo K, Kumagai T, Yamazaki Y. Hypersensitivity pneumonitis induced by spores of *Penicillium citrinum* in a worker cultivating Enoki mushroom. *Internal Medicine* 2006; 45: 537-41.
- [18] Glazer C, Rose C. Fungi. In: Peter H. Wald, Gregg M. Stave editors. *Physical and Biological Hazards of the Workplace*. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold; 1994.
- [19] Morell F, Roger A, Cruz MJ, Muñoz X, Rodrigo MJ. Suberosis: clinical study and new etiologic agents in a series of eight patients. *Chest* 2003; 124: 1145-52.
- [20] Dutkiewicz J, Skorska C, Krysinska-Traczyk E, Dutkiewicz E, Matuszyk A, Sitkowska J. Response of sawmill workers to work-related airborne allergens. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 2001; 8: 81-90.
- [21] Bennett JW, Klich M. Mycotoxins. *Clin Microbiol* 2003; 16: 497-516.
- [22] Hendrickse RG. Of sick turkeys, kwashiorkor, malaria, perinatal mortality, heroin addicts and food poisoning: research on the influence of aflatoxins on child health in the tropics. *Annals of Tropical Medicine Parasitology* 1997; 91: 787-93.
- [23] Pitt JI, Hocking AD, editors. *Fungi and Food Spoilage*. New York: Springer ; 1997.
- [24] Wicklow DT, Shotwell OL. Intrafungal distribution of aflatoxins among conidia and sclerotia of *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*. *Canadian Journal of Microbiology* 1983; 29: 1-5.
- [25] Palmgren MS, Lee LS. Separation of mycotoxin-containing sources in grain dust and determination of their mycotoxin potential. *Environ Health Perspect* 1986; 66: 105-108.
- [26] Sorenson WG, Frazer DG, Jarvis BB, Simpson J, Robinson VA. Trichothecene Mycotoxins in Aerosolized Conidia of *Stachybotrys atra*. *Applied and Environmental Microbiology* 1987; 53: 1370-75.
- [27] Smith JE, Solomons G, Lewis C, Anderson JG. Role of mycotoxins in human and animal nutrition and health. *Natural Toxins* 1995; 3: 187-92.
- [28] Moss MO. Mycology of cereal grain and cereal products. In: Chelkowski J, editor. *Cereal Grain: Mycotoxins, Fungi and Quality in Drying and Storage*. 1st ed. New York: Elsevier Science Publishing Inc.; 1991.
- [29] Miller JD. Global significance of mycotoxins. In: Miraglia M, Hans P. Egmond V, Gilbert J, Brera C, editors, *Mycotoxins and Phycotoxins—Developments in Chemistry, Toxicology and Food Safety*. Alaken Inc.; 1998.
- [30] 王正雄、曾婷婷：壁癌與環境黴菌。環檢通訊雜誌 2004；第三十八期。
- [31] Garrett MH, Rayment PR, Hooper MA, Abramson MJ, Hooper BM. *Indoor*

- airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children. *Clinical and Experimental Allergy* 1998; 28: 459-67.
- [32] Su HJ, Wu PC, Lin CY. Fungal exposure of children at homes and schools: a health perspective. *Archives of Environmental Health* 2001; 56: 144-9.
- [33] Loughheed MD, Roos JO, Waddell WR, Munt PW. Desquamative interstitial pneumonitis and diffuse alveolar damage in textile workers: potential role of mycotoxins. *Chest* 1995; 108: 1196-1200
- [34] Wang LY, Hatch M, Chen CJ, Levin B, You SL, Lu SN, et al. Aflatoxin exposure and risk of hepatocellular carcinoma in Taiwan[J]. *International Journal of Cancer* 1996; 67: 620-25.
- [35] Goeger DE, Hsie AW, Anderson KE. Co-mutagenicity of Coumarin (1,2-benzopyr1) with Aflatoxin B1 and Human Liver S9in Mammalian Cells. *Food and Chemical Toxicology* 1999; 37: 581-9.
- [36] 趙馨、洪柏宸、羅仕麟：生物氣膠個人採樣分析方法效能評估比較與應用探討。勞委會勞工安全衛生研究所；2011。
- [37] Wang Z, Reponen T, Grinshpun SA, Górny RL, Willeke K. Effect of samplingtime and air humidity on the bioefficiency of filter samplers for bioaerosol collection. *Journal of Aerosol Science* 2001; 32: 661-74.
- [38] Kurup VP, Michael C, Zacharisenand, Jordan NF. Hypersensitivity Pneumonitis, *Indian J Chest Dis Allied Sci* 2006; 48: 115-28.
- [39] Wilhelmsson B, Lundh B. Nasal epithelium in woodworkers in the furniture industry. A histological and cytological study. *Acta Otolaryngologica* 1984; 98: 321-34.

Research Articles

Characteristics of Molds Bioaerosol in Wood Processing Workplace

Feng-Cheng Tang¹ Chun-Wei Chen^{2,5} Po-Chen Hung²
Kai-Ling Huang³ Ya-Hui Lin^{3,4} Chane-Yu Lai³

¹ Department of Occupational Medicine, Changhua Christian Hospital

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

³ Department of Occupational Safety and Health, Chung-Shan Medical University

⁴ Medical Laboratory, Chung-Shan Medical University Hospital

⁵ Food Industry Research and Development Institute

Abstract

It is known from the relevant research that workers engaged in wood-related jobs are exposed to health risks, such as occupational asthma, which could be induced by wood dust, or the exposure to aflatoxin or endotoxins. Therefore, this experiment chose a wood processing environment to conduct an investigation of mycotoxin exposure. The experiment used the Andersen six-stage viable sampler, Biosampler, AGI-30 and SKC aluminum cyclone with PC filter paper to evaluate the concentration of the fungi and mycotoxin in the wood processing plant.

The results showed that in the working environment of a plant, Aflatoxin B1, Fumonisin and Zearalenone were detected in the wood dust desorption solution, and the concentrations were all relatively higher than the air samples. Among these, Aflatoxin B1 had the highest concentration, with the range between 97.2 and 510.4 ng/g (wood dust).

At present, there are no complete standards on the content limit of mycotoxins or the exposure limit on wood dust in the working environment. It is recommended that standards be imposed in the future to prevent the increase of diseases.

Keywords: Wood dust, Bioaerosol, Mycotoxins

Accepted 2 March, 2016

Correspondence to: Chane-Yu Lai, Department of Occupational Safety and Health, Chung-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