

# 以銀及碘觸媒多孔性材料去除室內空氣細菌及真菌之研究

楊茱芳 翁郁絜 吳尚儒 黃于珊 謝祝欽

國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系

## 摘要

本研究目的為製備良好除菌效能之抗菌材料以應用於醫療院所，研究選用兩種不同成分(矽鋁酸鈉及二氧化矽)及結構外型(顆粒狀及蜂巢狀)沸石及堇青石等五種不同材料做為抗菌劑之載體。再以無機銀及有機碘改質載體製成觸媒抗菌材料，並實際於醫療院所進行抗菌測試，此外尚以 SEM、EDS、TGA 分析材料特性。以不同外型抗菌材料進行抗菌測試之結果顯示，蜂巢狀與顆粒狀對於去除細菌效益上並無明顯差異，然抗真菌則以顆粒狀優於蜂巢狀，原因在於細菌及真菌不同之構造及繁殖方式所致。抗菌劑為另一重要影響抗菌效能之因素，銀及碘對於細菌及真菌之抗菌效果皆佳，但銀優於碘；經抗菌效能之長效性測試結果得知，放置兩個月後，抗菌材 Z1-Ag 及 Z2-Ag 依然維持良好之抗菌效能，因此若以使用期限之觀點為比較，銀之抗菌效能較為持久。

**關鍵詞：**室內空氣品質、多孔性材料、蜂巢狀、抗菌、生物氣膠

## 1. 前言

國內醫療院所普遍存在室內空間人員密度過高、空調設備設置不當及通風量不足等問題；為節約能源而將室內外空間隔絕，容易使空氣的置換效率不佳，進而導致生物性污染物的問題更加嚴重。市面上具有抗菌劑之空氣清淨濾材眾多，但多數抗菌劑皆有耐熱性差、易水解和使用壽命短等缺點，且大部分之空氣清淨濾材為濾紙形式，容易造成壓損，增加動力消耗，使耗能增加。台灣地處亞熱帶區，屬海島型氣候，年平均相對濕度高達 80 % 以上，容易成為滋生生物性污染物之溫床。研究顯示，國內醫療院所生物性氣膠 (Bioaerosols) 濃度普遍皆高於室內空氣品質之細菌標準 1,000 CFU/m<sup>3</sup> 及真菌標準 1,500 CFU/m<sup>3</sup> (邱玲萱, 2009)，因此有效去除生物性氣膠成為一重要研究課題。本研究為改善上述一般性空氣清淨濾材之缺點，選用蜂巢結構之多孔性材料為載體，並將抗菌劑改質於多孔性材料上，測試其抗菌效能及進出風口之壓差，進而探討抗菌效能、壓損及抗菌多孔性材料間之影響性及關聯性，期望以新興材料有效達成降低醫療院所室內空氣中細菌與真菌濃度，改善室內空氣品質，並同時獲得節能之成效。

## II. 研究背景

### 2.1 抗菌劑與抗菌機制

常見之無機抗菌劑為銀，文獻顯示銀離子 (Ag<sup>+</sup>) 在低濃度

下會破壞細菌細胞膜並迅速與菌體內酵素的硫氫基 (HS<sup>-</sup>) 結合，使酵素失活並失去正常代謝功能，進而產生抗菌作用，並同時緩釋銀離子，達持久抗菌效果 (Liao, et al., 2010; Zhao and Stevens, 1998; Slawson, et al., 1992)。針對銀離子的抗菌機理部分，肖清華與李博文 (1999) 提出兩種假說：(1) 接觸反應假說：銀離子與細菌接觸反應，造成細菌固有成分被破壞或產生功能障礙，從而導致細菌死亡；(2) 催化反應假說：在光的作用下，銀離子啟動催化活性中心的作用，激活水和空氣中的氧，產生羥基自由基 (OH) 及活性氧離子 (O<sup>2-</sup>)，而 O<sup>2-</sup> 具有很强的氧化能力，能在短時間內破壞細菌的增殖能力，致使細胞死亡，從而達到抗菌之目的。另一大類廣泛使用的抗菌劑則含有碘，碘常與有機物結合成錯合物，屬有機抗菌劑，應用於生物體的外部殺菌及消毒，具有良好之抗菌效能 (Isenberg, et al., 2002; 招志強, 2003; 崔勝雲等人, 2005)，聚維酮碘 (Povidone-iodine, C<sub>6</sub>H<sub>9</sub>I<sub>2</sub>NO, 俗稱「優碘」) 即為一例。表1 為有機抗菌及無機抗菌兩種不同抗菌劑特點比較之彙整。

### 2.2 多孔性材料

為提升抗菌劑之抗菌效能，可將抗菌劑改質於多孔性材料上，以增加生物氣膠接觸表面積，沸石 (Zeolite) 及堇青石 (Cordierite) 即為具潛力之多孔性材料，其結構與特性分述如下：

#### 2.2.1 沸石結構與特性



表1 無機與有機抗菌劑特點比較

作用	無機抗菌劑 (銀)	有機抗菌劑 (碘)
抗菌抗黴性 <sup>a</sup>	光譜抗菌，持久、耐水、耐酸鹼、耐洗滌等。	單向抗菌、速效性、在水中易流失、洗滌降效等。
耐熱耐光性 <sup>b</sup>	耐熱大於 800 °C，光照不老化。	不耐熱，小於 300 °C，光照老化。
變色性 <sup>a</sup>	易變色。	不易變色。
安全性 <sup>b</sup>	對健康無害、無二次污染。	分解產物有一定毒理副作用甚至某些單體致癌。
添加於載體可操作性 <sup>a</sup>	須製成超細粉末以利均勻塗布於製品表面，對載體有選擇性。	易分散、混合、充填。

註：a. 張葵花等人 (2005)

b. Sun and Yang (2002)

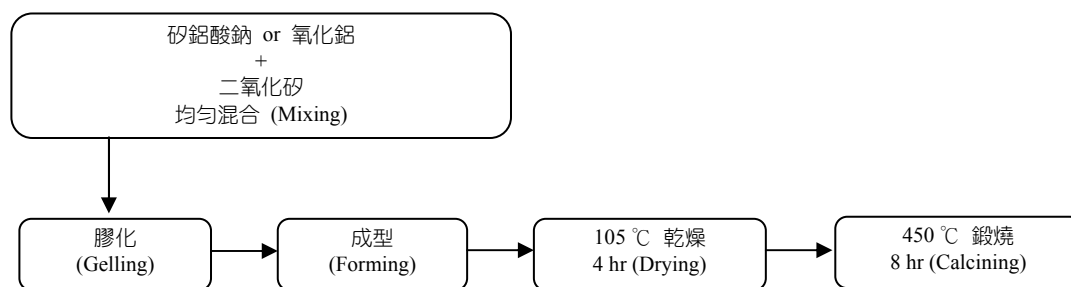


圖1 多孔性沸石載體製備流程圖

沸石整個骨架可視由  $TO_4$  (T 為矽或鋁) 四面體結構單元組成，每個氧原子連接 2 個 T 組成三度空間立體晶體。不同的連接形式，會得到不同的結構，孔徑大小也隨之不同。沸石具有以下特性：(1) 良好的催化活性，(2) 反應物或產物之高選擇性，(3) 長期操作之穩定性，(4) 熱穩定性，(5) 水汽穩定性，(6) 不易為氮、硫化物毒化，(7) 可再生及重複使用等。

沸石可應用於各種用途，主要用途是作為離子交換劑，藉由離子交換去除水中的鈣 (Calcium, Ca) 和鎂 (Magnesium, Mg)；此外，沸石吸附劑還可應用於去除水氣及 VOCs 以淨化空氣，並分離不同的異構物及混合氣體，而且還可應用於清理放射性廢棄物 (Flanigen, et al., 2001)。

### 2.2.2 堇青石結構與特性

堇青石結構由鋁、矽四面體 (稱為 T2) 構成之六聯環，在側向與縱向上與另一鋁、矽四面體 (稱為 T1) 連結，其中鋁、矽離子分布於 T2 與 T1 四面體中，鎂離子則佔據環與環之間的八面位置。堇青石具有熱膨脹係數低、耐熱衝擊性高、高溫電絕緣性極佳特性。目前之應用包括有耐急熱、急冷的窯材、耐火物、餐桌、調理用瓷器、熱交換體、汽車及工業用觸媒載體、熔融金屬濾器、柴油微粒子濾器等，用途十分廣泛。

### 2.3 蜂巢結構

「蜂巢」為蜜蜂所建築之巢穴，是由眾多正六邊形的蜂窩巢室所堆疊組成；而「蜂巢結構」之定義泛指所有幾何形狀週期性排列之結構，常見之幾何形狀為六角型、四方形、

菱形及三角形，各幾何形狀之大小及間距皆相同 (Wen, et al., 2006)。蜂巢結構具有良好之結構強度、熱傳導率及整流性，且蜂巢狀之材料具較低之壓損，此兩項特性有助於熱能之傳送 (Lu, 1999)；另曾經有學者們將線性蜂巢合金 (Linear Cellular Alloys, LCAs) 與同密度之泡沫金屬材料進行比較，發現蜂巢合金內部之硬度及強度皆優於泡沫金屬材料 (Evans, et al., 2001; Hayes, et al., 2004)。

## III. 研究方法

本研究目的為製備具良好除菌效果，且可降低能源消耗之抗菌材料，研究將兩種不同成分 (銀及碘) 嫁接在顆粒和蜂巢狀沸石及蜂巢狀堇青石上，並將抗菌材置入自製之抗菌設備內，於醫療機關室內進行抗菌試驗，並分析材料特性，詳細實驗流程分別敘述如下：

### 3.1 自製多孔性材料


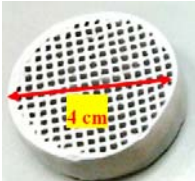

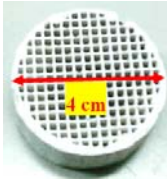
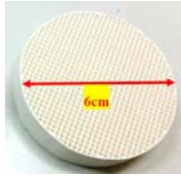
本研究選用兩種不同成分沸石及堇青石做為抗菌劑之載體，第一種沸石成分為二氧化矽 ( $SiO_2$ ) 和矽鋁酸鈉 (Sodium Silico-aluminate,  $AlNaO_6Si_2$ )；第二種沸石成分為二氧化矽和氧化鋁 ( $Al_2O_3$ )，各沸石之外觀又可分為顆粒狀及蜂巢狀，製作流程如圖1；本研究所使用之蜂巢狀堇青石成分為氧化矽、氧化鋁和氧化鎂 (MgO)，依成分或外型不同共分五種不同材料，各材料縮寫之成分與外觀如表 2 所示。

### 3.2 觸媒抗菌材製備

由於無機抗菌材能與細菌體內酶蛋白上的硫氫基，迅速的結合在一起，並使含硫氫基之酵素失去活性，使菌死亡。



表 2 各抗菌材料縮寫之定義

材料名稱縮寫	Z1	ZH1	Z2	ZH2	CH
成分	SiO <sub>2</sub> , AlNaO <sub>6</sub> Si <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> , AlNaO <sub>6</sub> Si <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO
外觀	顆粒狀 	蜂巢狀 	顆粒狀 	蜂巢狀 	蜂巢狀 

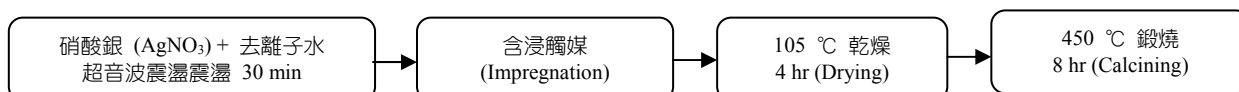


圖2 改質含銀無機抗菌劑之製備流程

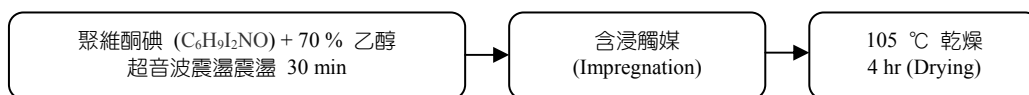


圖3 改質含碘有機抗菌劑之製備流程

由於無機抗菌材抗菌效果最佳者屬銀離子，因此本研究使用銀作為無機抗菌劑；本研究尚選用常見有機抗菌劑—聚維酮碘 (C<sub>6</sub>H<sub>9</sub>I<sub>2</sub>NO) 以其作兩者之比較。兩種抗菌劑皆以含浸法各別價接於載體上，無機銀與有機碘抗菌劑製作流程如圖 2 及圖 3 所示，其中含浸濃度固定為 1 wt%，製成十五種（五種載體各有未改質、銀改質及碘改質三種）不同之觸媒抗菌材。

於相較於診斷室，病友較長時段處於候診區，因此本研究將自製除菌設備 (圖4) 架設於醫院之候診區。採用室內空氣中總細菌數及總真菌數兩種檢測方法 (表3)，採樣時間為上午九點至下午五點，每半小時進行一次採樣；而長效性測試之採樣時間為上午九點至下午一點，每小時進行一次採樣。

室內生物氣膠濃度 (Indoor Bioaerosol Concentration, IBC) 之計算方法如式 (1)：

$$\frac{\text{採集菌落數(CFU)}}{\text{採樣器採樣體積(m}^3\text{)}} = \text{生物氣膠濃度(CFU/m}^3\text{)} \quad (1)$$

將自製除菌設備進口生物氣膠濃度 (IBC<sub>in</sub>) 與自製除菌設備出口生物氣膠濃度 (IBC<sub>out</sub>) 相減即得到室內生物氣膠濃度差 (ΔIBC)，ΔIBC 即為自製除菌設備所去除的生物氣膠濃度。其計算公式見式 (2)：

$$\Delta IBC = IBC_{in} - IBC_{out} \quad (2)$$

為確實以數據形式展現本研究自行製備抗菌材之抗菌成效，因此參考李氏學者 (李灝銘, 2010) 之抗菌效能定義並加以修正，本研究將  $q_t$  定義為抗菌效能，其算式公式 (3) 如下：

$$q_t = \frac{V(C_{in} - C_{out})}{m} \quad (3)$$

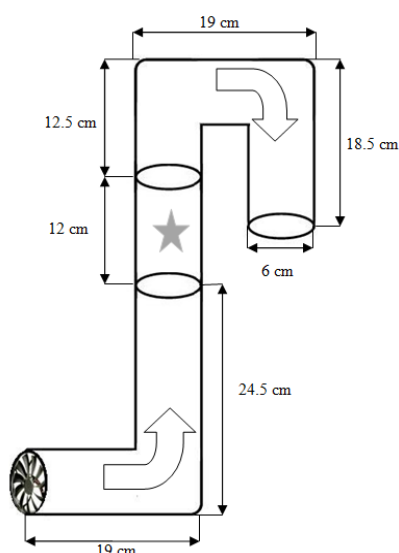


圖4 自製抗菌設備示意圖 (★為材料填充處)

### 3.3 抗菌設備之抗菌設計與測試

本研究將自製除菌設備架設於醫院進行抗菌效能測試，由

表3 環保署公告之室內空氣品質檢測項目及分析方法

檢測項目	檢測方法	採樣設備	公告文號
細菌	NIEA E301.12C	生物性衝擊採樣器	1010072085
真菌	NIEA E401.12C	生物性衝擊採樣器	1010072083

行政院環境保護署環境檢驗所(2012a, 2012b)

$q_t$ : 抗菌效能 (CFU/g)

$IBC_{in}$ : 室內生物氣膠入口濃度 (mg/L)

$IBC_{out}$ : 室內生物氣膠出口濃度 (mg/L)

V: 經過抗菌材料之體積 ( $m^3$ )

m: 吸附材使用量 (g)

為求得抗菌材料於自製除菌設備中去除之生物性污染量，計算總抗菌效能 (Total Antibacterial Function,  $q_T$  (CFU/g·8hr)) 為另一評估室內空氣品質淨化工法效率的指標，由抗菌效能計算抗菌材料對生物氣膠之總去除量，其算式見公式 (4)：

$$q_T = \sum_{i=0}^{i=t} \left( \frac{Q\Delta C}{m} \right) = \sum_{i=0}^{i=t} q_i \quad (4)$$

Q: 自製除菌設備之流量( $m^3$ /hr)

### 3.4 特性分析

將實驗前及實驗後之觸媒抗菌材進行掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM)、能量分散光譜儀 (Energy Dispersive Spectrometers, EDS)、熱重分析儀 (Thermogravimetry Analysis, TGA) 等之特性分析，探討材料微結構對抗菌效能差異之原因。

## IV. 結果與討論

### 4.1 自製除菌設備之抗菌效能測試結果

#### 4.1.1 不同結構抗菌材料之抗菌效能測試

蜂巢狀與顆粒狀之載體對於抗菌效能之影響如表 4 所示。結果得知蜂巢狀與顆粒狀抗菌材料去除細菌菌落數量差異甚小，可推估蜂巢狀與顆粒狀對於抗細菌並無明顯之影響；而對於抗真菌，則顆粒狀去除菌落數量多於蜂巢狀，由於相同風量導引空氣入管內，蜂巢狀載體填充於管內其壓降較低，管內風速較高，導致空氣與抗菌劑的接觸時間較短；反之，顆粒狀載體填充於管內壓降較高，管內風速較低，因此空氣與抗菌材料接觸時間較長，且真菌為真核生物，有細胞核，其繁殖方式主要藉由孢子的逸散，因此停留於抗菌材料之時間愈久其去除效率愈佳。

#### 4.1.2 不同成分之抗菌材料之抗菌效能測試

本研究不僅討論不同載體之外型，並探討不同成分之載體對於抗菌效能之影響。本研究之載體成分有三類：Z1 及 ZH1 一類、Z2 及 ZH2 一類及 CH 一類，各載體再以銀

及碘抗菌劑進行改質。當有嫁接有機或無機抗菌劑於多孔載體時，抗真菌與細菌之效能皆較未嫁接者優異，唯矽鋁酸鈉沸石蜂巢狀該組除外無論顆粒狀、蜂巢狀之抗菌效能優劣之順序皆為  $Z2 > Z1 > CH$ 。抗菌劑也為一重要影響抗菌效能之因素，由結果發現銀及碘對於細菌及真菌之抗菌皆佳，綜合比較抗細菌效能為  $ZH2-Ag > ZH2-I_2 > Z2-I_2 > Z2-Ag > Z1-Ag > Z1-I_2 > ZH1-I_2 > ZH1-Ag > CH-Ag > CH-I_2$ ，而真菌部分  $Z2-Ag > Z2-I_2 > Z1-I_2 > Z1-Ag > ZH2-Ag > ZH2-I_2 > ZH1-I_2 > ZH1-Ag > CH-Ag > CH-I_2$ ，依整體而言抗菌劑銀總抗菌效能大於抗菌劑碘為多，因此以銀之抗菌效能略優於碘 (見表4)。

表4 各觸媒抗菌多孔性材料對細菌及真菌之總抗菌效能

觸媒抗菌多孔性 材料種類	總抗菌效能 (CFU/g-hr)	
	細菌	真菌
顆粒狀		
Z1	206	163
Z1-Ag	313	505
Z1-I <sub>2</sub>	219	529
Z2	291	388
Z2-Ag	411	715
Z2-I <sub>2</sub>	456	550
蜂巢狀		
ZH1	202	205
ZH1-Ag	260	149
ZH1-I <sub>2</sub>	303	197
ZH2	256	211
ZH2-Ag	618	473
ZH2-I <sub>2</sub>	598	468
CH	107	78
CH-Ag	152	135
CH-I <sub>2</sub>	126	119

#### 4.1.3 抗菌效能之長效性測試

本研究將抗細菌及真菌效能皆較佳之 Z1-Ag 及 Z2-Ag 兩種抗菌材料再進行抗菌效能之長效性測試；將經抗菌測試八小時後之 Z1-Ag 及 Z2-Ag 放置兩個月後，再將材料置入自製抗菌設備至醫院分別進行三次長效性測試，每次四小時長效性測試，將先前測試之八小時與後續三次每次四小時 (共測試 20小時) 之長效性測試結果累加計算再除以 20小時之每小時平均抗菌效能進行比較之結果如表5所示。由表可得知其抗細菌及真菌之效能於長效性測試後並無明顯下降趨勢，由此可推測放置兩個月後之抗菌材料依然保有良好之抗菌效能。



表5 長效性測試前後每小時平均抗菌效能

觸媒抗菌多孔性材料種類	每小時平均抗菌效能 (CFU/g-hr)	
	細菌	真菌
Z1-Ag	313	505
Z1-Ag <sup>a</sup>	299	509
Z2-Ag	411	715
Z2-Ag <sup>a</sup>	364	639

a. 長效性測三次試後，為20小時平均

#### 4.2 特性分析

SEM 之特性分析主要為觀察載體微結構表面特性，藉由觀察載體表面性質推論其含浸抗菌劑之難易度影響情形；而 EDS 之特性分析主要為確認所改質於載體之抗菌劑是否存在，並分析於不同載體或不同之使用時間時各抗菌劑之含量，因 EDS 之分析結果存在一定之誤差，因此再藉由 TGA 之分析結果佐證 EDS 之分析結果。

##### 4.2.1 SEM分析

本研究使用SEM觀察5種載體 (Z1、Z2、ZH1、ZH2、CH) 之表面特性，圖 5 為各載體 SEM 分析結果。分析條件是以 5 kV能量掃描樣品及以 100,000 倍觀察。使用 SEM 觀察各材料之微結構表面特性，圖 5 顯示兩種之顆粒狀材料發現 Z2 之表面孔隙較 Z1 大。蜂巢狀材料外觀，因成分

及製程方式不同，其三種材料之表面有相當大的差異，ZH1 相較於其他材料表面較粗糙且緻密，推測因在製作過程中即加入少許的甘油，導致合成過程中化學成分產生改變，使表面孔洞有其特性，而 ZH2 表面與 Z2 比較下並無太大變化但其表面較粗糙，相較於前四種材料 CH 表面平滑且粒子外觀截然不同。從微結構表面粗糙度比較，Z1、Z2、ZH1 及 ZH2 其表面呈現凹凸狀，而 CH 材料表面平滑，推論會影響含浸抗菌劑之難易度。

##### 4.2.2 EDS分析

本研究將未改質之多孔性材料及經抗菌劑改質之多孔性材料進行 EDS 之分析，依載體之成份 (堇青石 (CH)、含矽鋁酸鈉之沸石 (Z1、ZH1)、含氧化鋁之沸石 (Z2、ZH2)) 分別見表 6-8。由表 6-8 可得知，所有經改質抗菌材內之銀及碘均有存在，且銀含量與實際改質之 1 wt% 相近，而碘之含量則明顯下降許多，可能原因在於兩種抗菌劑之改質方式不同，造成分析結果之差異。本研究尚進行含氧化鋁沸石經抗菌實驗後抗菌材之銀及碘分析，由結果可發現銀含量實驗前後並無明顯改變，而碘含量則些微減少，推測可能原因為碘在抗菌過程中會消耗，且碘在常壓下容易昇華，因此降低其含量。

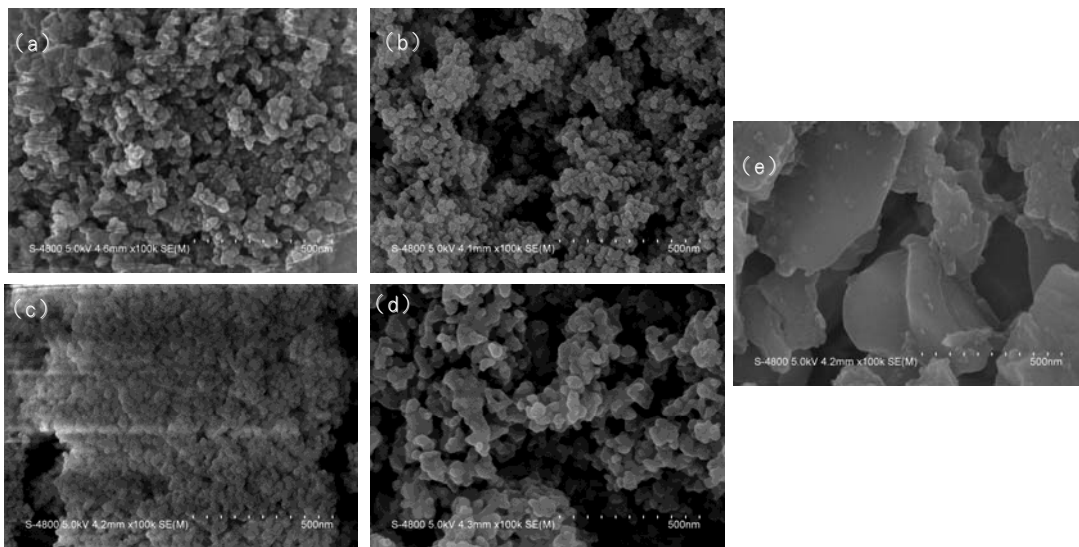


圖5 (a) Z1 (b) Z2 (c) ZH1 (d) ZH2 (e) CH放大100,000倍之SEM圖

表6 銀及碘改質 CH (蜂巢狀堇青石) 之 EDS 分析結果

抗菌材料種類	各元素所佔之百分比 (Weight%)							Totals
	O	Na	Mg	Al	Si	Ag	I	
CH (未改質)	53.3	0.0	8.1	17.1	21.5	—	—	100.0
CH-Ag1wt%	54.6	0.2	7.2	16.7	21.2	0.2	—	100.0
CH-I <sub>2</sub> 1wt%	52.7	0.1	8.5	17.2	21.3	—	0.2	100.0

表7 銀及碘改質 Z / AlNaO<sub>6</sub>Si<sub>2</sub> 及 ZH / AlNaO<sub>6</sub>Si<sub>2</sub> 之 EDS 分析結果

抗菌材料種類	各元素所佔之百分比 (Weight%)						Totals
	O	Na	Al	Si	Ag	I	
Z1 (未改質)	55.5	2.4	2.7	39.4	—	—	100.0
Z1-Ag1wt%	65.2	2.1	2.3	29.5	0.9	—	100.0
Z1-I <sub>2</sub> 1wt%	63.8	2.2	2.2	31.3	—	0.5	100.0
ZH1 (未改質)	59.9	1.7	2.5	35.9	—	—	100.0
ZH1-Ag1wt%	65.6	1.1	2.5	29.7	1.2	—	100.0
ZH1-I <sub>2</sub> 1wt%	65.7	1.0	2.5	30.7	—	0.1	100.0

表8 銀及碘改質 Z / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及 ZH / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 之 EDS 分析結果

抗菌材料種類	各元素所佔之百分比 (Weight%)						Totals
	O	Na	Al	Si	Ag	I	
Z2 (未改質)	57.7	3.0	3.6	35.7	—	—	100.0
Z2-Ag1wt%	58.6	2.1	4.0	34.7	0.7	—	100.0
Z2-Ag1wt% (經 8hr 抗菌實驗後)	57.0	1.7	3.5	37.1	0.8	—	100.0
Z2-I <sub>2</sub> 1wt%	58.7	3.3	3.2	34.7	—	0.2	100.0
Z2-I <sub>2</sub> 1wt% (經 8hr 抗菌實驗後)	56.9	2.6	3.3	37.2	—	0.0	100.0
ZH2 (未改質)	63.8	0.8	2.7	32.7	—	—	100.0
ZH2-Ag1wt%	64.0	0.7	3.2	31.7	0.4	—	100.0
ZH2-I <sub>2</sub> 1wt%	62.4	0.8	2.9	33.8	—	0.1	100.0

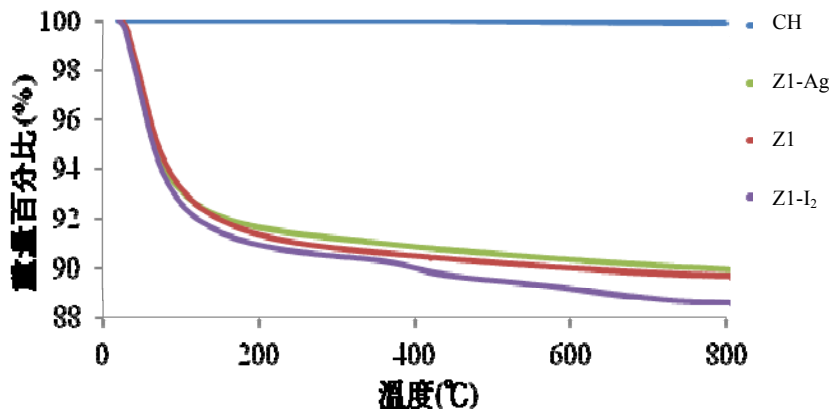


圖6 Z1、Z1-Ag 及 Z1-I<sub>2</sub> 之 TGA 分析圖

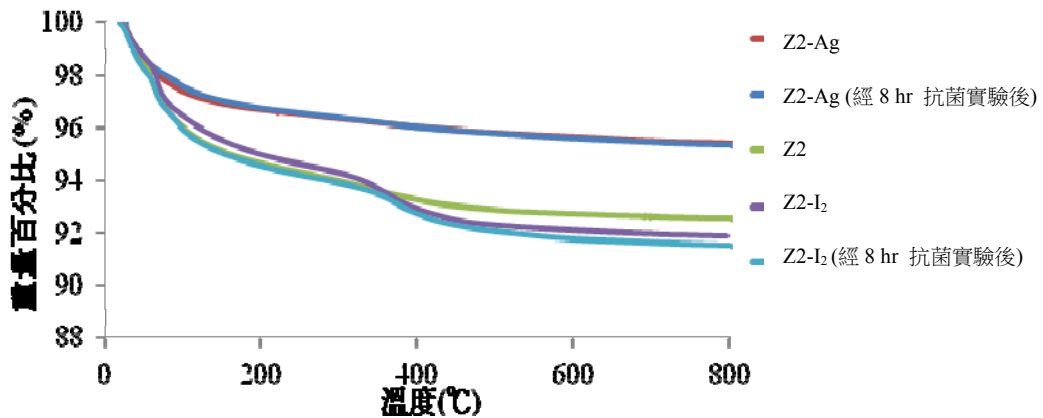


圖7 Z2、Z2-Ag 及 Z2-I<sub>2</sub> 之 TGA 分析圖



### 4.2.3 TGA分析

本研究再藉由 TGA 分析得知各材料在溫度上升至 800 °C 間重量損失之變化。分析結果如圖 6 至圖 7，載體熱重損失之大小依序為 Z2 > Z1 > CH，CH 由常溫至 800 °C 幾乎無重量之損失；改質銀之載體下降趨勢也與未改質之載體相同，由於銀的沸點為 2,162 °C，因此在此段溫度之重量百分比並無明顯之下降，但可明顯觀察出改質銀之載體與未改質之載體之總損失重量百分比有所差異，此差異可能為銀之含量，因此可推判 Z2-Ag 含銀的量比 Z1-Ag 多，且由圖 7 實驗經 8 hr 抗菌實驗後之 Z2-Ag 與未經實驗之 Z2-Ag 熱重損失曲線相同且重疊，顯示銀在實驗前後之量並未改變。改質碘之載體在約 350 °C 時有一明顯下降波，而聚維酮碘之熔點為 300 °C，而目前並無建立聚維酮碘之沸點資料，因此在此推測 350 °C 時之下降波為聚維酮碘之熱重損失，且 Z2-Ag 含碘的量比 Z1-Ag 多，此外實驗前後之 Z2-I<sub>2</sub> 熱重損失曲線的趨勢相同，但實驗後之熱重曲線明顯較實驗前低，此現象與 EDS 分析結果相同，推測可能原因為碘在抗菌過程中會消耗，且碘在常壓下容易昇華，因此降低其含量。

## V. 結論與建議

1. 蜂巢狀與顆粒狀對於抗細菌並無顯著影響，抗真菌則以顆粒狀優於蜂巢狀，推論停留於抗菌材料之時間愈久，真菌的去除效率愈佳，而細菌的去除效率則較無此趨勢影響。綜合評估抗菌效能以 Z2 研製之抗菌材料去除效果較佳。
2. 銀及碘對於細菌及真菌之抗菌皆佳，依總抗菌效能而言銀略優於碘；經抗菌效能之長效性測試結果得知，放置兩個月後之抗菌材 Z1-Ag 及 Z2-Ag 依然保有良好之抗菌效能，且特性分析結果顯示由碘改質之多孔性材料經實驗過後之碘含量有下降趨勢，若以使用期限觀點為比較，銀之抗菌效能較持久。
3. 由 EDS 分析可得知，經改質抗菌材之銀及碘均有存在，且銀之含量與實際改質濃度 1 wt% 相近，而碘之含量則明顯下降許多，可能因兩種抗菌劑之改質方式不同，建議未來可提高含浸量或改變含浸方法。
4. 以 TGA 分析實驗後前後之抗菌材料，發現實驗後之含碘抗菌材熱重曲線明顯較實驗前低，此現象與 EDS 分析結果相符，推測原因為碘於抗菌過程中消耗，且碘在常壓下易昇華，因而降低其含量。

## 致 謝

感謝國立臺灣大學醫學院附設醫院雲林分院王院長及林副

院長給予學生研究及學習的機會，並感謝聯絡人黃小姐及協助學生採樣之范小姐，使學生之研究得以順利進行，在此獻上真摯的謝意。

## 參考文獻

- 行政院環境保護署環境檢驗所，2012a，室內空氣中真菌濃度檢測方法，環署檢字第1010072083號。
- 行政院環境保護署環境檢驗所，2012b，室內空氣中細菌濃度檢測方法，環署檢字第1010072085號。
- 肖清華，李博文，1999，中國非金屬礦導報，6期，頁5-7。
- 招志強，2003，優碘水溶液在治療念珠菌陰道炎的體內及體外研究，國立嘉義大學生物科技研究所。
- 邱玲萱，2009，醫療院所室內空氣品質特徵研究，國立高雄第一科技大學環境安全與衛生工程學系，碩士論文。
- 崔勝雲，池善女，劉立春，呂鍵，2005，碘化殼聚糖的製備及其抗菌活性的研究，延邊大學理工學院化學系。
- 張葵花，林松柏，譚紹早，2005，有機抗菌劑研究現狀及發展趨勢，塗料工業，35卷，5期。
- Evans, A. G., J. W., Hutchinson, N. A., Fleck, M. F., Ashby, and H. N. G., Wadley, 2001, The Topological Design of Multifunctional Cellular Materials, Progress in Materials Science, Vol. 46, No. 3-4, pp. 309-327.
- Flanigen, E. M., H. V., Bekkum, E. M., Flanigen, P. A., Jacobs, and J. C., Jansen, Eds., 2001, Introduction to Zeolite Science and Practice, Elsevier Science, 2nd edition, Amsterdam.
- Hayes, A. M., A., Wang, B. M., Dempsey and D. L., McDowell, 2004, Mechanics of Linear Cellular Alloys, Mechanics of Materials, Vol. 36, pp. 691-713.
- Isenberg, S. J., L., Apt, M., Valenton, M. D., Signore, L., Cubillan, M. A., Labrador, P., Chan, and A. N. G., Berman, 2002, A Controlled Trial of Povidone-Iodine to Treat Infectious Conjunctivitis in Children, Elsevier Science Inc, Vol. 134, pp. 681-688.
- Liao, K. H., K. L., Ou, H. C., Cheng, C. T., Lin, and P. W., Peng, 2010, Effect of silver on antibacterial properties of stainless steel, Applied Surface Science, Vol. 256, pp. 3642-3646.
- Lu, T. J., 1999, Heat Transfer Efficiency of Metal Honeycombs, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 42, No. 11, pp. 2031-2040.
- Slawson, R. M., M. I., Van Dyke, H., Lee, and J. T., Trevors, 1992, Plasmid, Vol. 27, p. 72.
- Sun, Y. P. and Yang, C. D., 2002, Mixed H<sub>2</sub>/H<sub>∞</sub> state-feedback design for microsatellite attitude control, Control Engineering Practice, Vol. 10, Issue 9, pp. 951-970.



Wen, T. J., Tian, T. J., Lu, D. T., Queheillalt, and H. N. G.,  
Wadley, 2006, Forced convection in metallic honeycomb  
structures, *International Journal of Heat and Mass  
Transfer*, Vol. 49, pp. 3313-3324.

Zhao, G. J. and S. E. Stevens, 1998, *Biometals*, Vol. 11, p. 27.

---

***Received 5 August 2013***  
***Revised 19 December 2013***  
***Accepted 2 January 2014***





# REMOVAL OF BACTERIA AND FUNGI IN INDOOR AIR USING VARIOUS POROUS CATALYTIC MATERIALS

Chu-Fang Yang, Yu-Chieh Weng, Shang-Ru Wu, Yu-Shan Huang, Chu-Chin Hsieh

Department of Safety, Health and Environmental Engineering  
National Yunlin University of Science and Technology  
Yunlin, Taiwan 64002, R. O. C.

## ABSTRACT

The major objective of this study is to develop an effective antibacterial material used in hospitals to maintain good indoor air quality. The experiments developed five combination of porous materials, including two compositions ( $\text{AlNaO}_6\text{Si}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) and structures (honeycomb and granular) zeolites (Z1, ZH1, Z2, ZH2) and honeycomb cordierite (CH). Porous materials were modified by coating with two antiseptics (Ag and  $\text{I}_2$ ) to receive antiseptic ability. The antibiotic effect on bacteria and fungi removal by these antibiotic materials was investigated in waiting areas of a hospital. The antibiotic materials before and after antibiotic experiments were also characterized by SEM, EDS and TGA analysis. The results indicated that structure of the antiseptic materials did not influence bacterial removal rate, but fungi removal. The reasons might be the different conformations and reproductive capacities between bacteria and fungi. Moreover, both Ag- and  $\text{I}_2$ -coating antibiotic materials had excellent antibiotic effects. After two months, Z1-Ag and Z2-Ag still maintained powerful antibiotic ability. Long-period operation caused the loss of  $\text{I}_2$  from antibiotic materials. Based on this reason, Ag-coating materials are superior to  $\text{I}_2$ -coating materials.

**Keywords** : indoor air, porous catalytic materials, honeycomb, antibiotic, bioaerosol

