

觸媒沸石去除液相大腸桿菌之研究

謝祝欽* 李詩馨* 鄭鑫漢** 黃憲聖* 陳玟璇* 李孟蓉* 郭佩晴*

*國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系

**國立雲林科技大學工程科技研究所

摘要

環境各類水質有其管制標準，其中一項為大腸桿菌，其菌數超過某一特定值，將影響水體適用性。為維持水體品質穩定度，本研究以沸石為載體並添加銀或銅觸媒製備抗菌材，完成材料特性分析後即進行液相抗菌實驗 (antibacterial experiments)，整體而言以 Ag_2O -zeolite 抗菌率優於 CuO -zeolite。使用一階動力模式可計算反應速率常數 (k)，本研究製備之 CuO -zeolite 與 Ag_2O -zeolite (1、2、3、10 wt%) 的 k 值約為 0.16 至 1.98 (1/hr)，且抗菌反應符合一階動力模式。 Ag_2O -zeolite (1、2、3、10 wt%) 抗菌能力 (antibacterial capacity) 為 380 至 1,089 (CFU/g)， CuO -zeolite (1、2、3、10 wt%) 抗菌能力為 1,024 至 1,143 (CFU/g)。計算觸媒沸石的抗菌能力，將可預估某水體若大腸桿菌超標時，去除其過多的大腸桿菌之使用量，使水質中大腸桿菌 (CFU/100 mL) 符合法規標準，調查結果可作為評估水質適用性及其改善之重要依據。

關鍵詞：環境水質、觸媒沸石、抗菌

I. 前言

行政院環保署針對地面水體分類及水質標準訂定基準值 (表1)，其中一個項目為水中之大腸桿菌群之菌落數 (Colony-Forming Unit, CFU)。氯消毒、UV殺菌和活性碳吸附為常見的水體淨化方式，但氯消毒可能有產生三氯甲烷之疑慮且水體可能有消毒水味，UV技術成本高而活性碳只具物理吸附能力 (林哲昌, 2002)，此類缺點造成技術接受度低或無法確實改善水質。有鑒於此，本研究以具有物種選擇性吸附 (物理、化學吸附)、耐水氣、用途廣泛、可塑性高與再生加熱使用率佳之吸附劑—沸石為載體，結合具有抗菌能力之無機抗菌劑 (銀、銅) 以製備出不同之抗菌材，並以水體中指標性微生物之大腸桿菌為去除的對象，探討不同觸媒沸石條件對其抗菌效率之影響。本研究另探討觸媒沸石之抗菌反應動力常數 (k) 及抗菌能力 (CFU/g)，以作為實場水質改善之重要操作參數。

II. 文獻回顧

2.1 無機材抗菌機制

最常見之抗菌金屬材料為銀、銅，其抗菌原理主要有兩種，分別為接觸反應及催化反應。接觸反應為帶正電荷之金屬材料 (Ag^+ 、 Cu^+)，利用正負電荷相吸原理，吸引帶負電荷

之細菌、真菌等生物氣膠 (圖1) 無機抗菌材藉此可有效地穿越細菌、真菌等之細胞壁、細胞膜，進入細菌、真菌體內，並使其所需之蛋白質變性，即將細菌、真菌體內必須之養分以無機抗菌材取代，以致細菌、真菌無法呼吸、代謝和繁殖，直至死亡 (張薇馥, 2008)。

2.2 沸石載體

選擇性高、多孔性、穩定性高之吸附劑，於可供作為載體以結合觸媒，針對不同之污染物質，進行催化或分離之程序。利用具穩定性高等優點之沸石為載體，使用各種方式 (如以下四種) 結合不同之金屬觸媒，以開發各種複合式之綠色材料。

1. 含浸法 (impregnation)：製造觸媒最簡單的方法。其必要程序為將擔體與定量的金屬前驅物溶液接觸，再經過熟化、乾燥與鍛燒。
2. 離子交換法 (ion exchange process)：為液相中的離子和固相中離子間所進行的的一種可逆性化學反應，當液相中的某些離子為離子交換固體所喜好時，便會被離子交換固體吸附，為維持水溶液的電中性，所以離子交換固體必預釋出等價離子回溶液中。
3. 水熱法 (hydrothermal method)：於一密閉容器中，利用

表1 行政院環境保護署各場所之水質標準 (行政院環保署, 2008)

水質標準適用範圍		大腸桿菌 (CFU/100 mL)
地面水體分類及水質標準：甲類	指經消毒處理即可供公共給水之水源	50
地面水體分類及水質標準：乙類	指需經混凝、沈澱、過濾、消毒等一般通用之淨水方法處理可供公共給水之水源	5,000
地面水體分類及水質標準：丙類	指經活性碳吸附、離子交換、逆滲透等特殊或高度處理可供公共給水之水源	10,000
廢水處理業、醫院、警事機構		200,000
水肥處理廠(場)、餐飲業、觀光旅館		300,000
社區、公共下水道		200,000
飲用水 (自來水) 水質		6

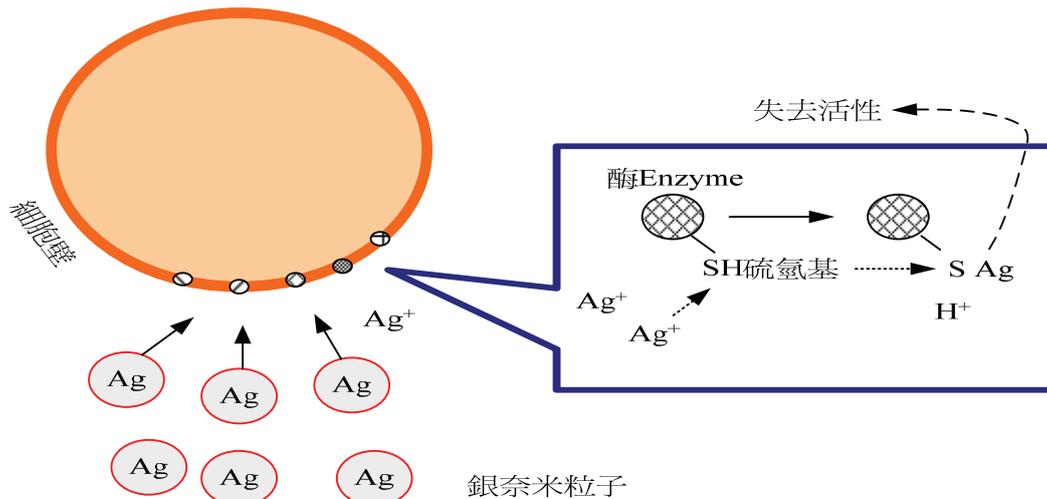


圖1 無機抗菌材抗菌機制 (以銀代表) (廖月禎, 2006)

高溫、高壓條件，使於常溫常壓下不易產生反應之物質，進行快速的氧化反應。

4. 界面活性劑法 (surfactant): 界面活性劑之分子結構主要分為兩個部分，一為親水性 (hydrophilic) 的頭部，為極性部分，這個部分的分子可能帶正電荷或負電荷，而形成陽離子型界面活性劑或陰離子型界面活性劑，或由聚氧乙烯 (polyoxyethylene) 組成，而形成非離子型之界面活性劑。

2.3 銀類觸媒改質於沸石

結合 $AgNO_3$ 與沸石，使 $AgNO_3$ 上之 Ag^+ 將沸石上之 Na^+ 取代，使沸石具有抗菌之能力，其研究指出 5 wt% 之銀沸石 (100 mL)，重量為 2.5mg，2小時即可完全將大腸桿菌殺滅，6小時則可將 *S. faecalis* 完全滅菌 (Rivera-Garza, et al., 2000)。將 Ag^+ 與沸石結合，其研究指出約 0.3 g/L 之 Ag -zeolite 只需 5 分鐘，即可將大腸桿菌完全滅菌。其另也指出 10^{-5} M 之 $AgNO_3$ 亦只需 5 分鐘，可將菌數量為 10^7 之大腸桿菌完全滅菌 (Yoshihiro et al., 2002)。製備 5 wt% 之

Ag/Al_2O_3 ，並用以探討不同條件對大腸桿菌之滅菌效率，發現 Ag/Al_2O_3 亦有滅菌效果 (Meixue, et al., 2007)。銀觸媒改質於不同載體去除大腸桿菌之運用如表 2。

2.4 銅類觸媒改質於沸石

將 $Cu(NO_3)_2$ 架接於 Na-ZSM-5 之沸石上之 Na^+ 取代，製備成具有抗菌能力之 Cu -ZSM-5，其分別於光照下及暗室中進行大腸桿菌之抗菌實驗，得知於光照下 Cu -ZSM-5 對大腸桿菌之抗菌率達 90%，於暗室中，則亦有 85% 之抗菌率 (Cik et al., 2000)。使用 $CuSO_4$ 結合於高齡土 (montmorillonite) 上，製備出比例為 2.4 wt% 之 Cu^{2+} -montmorillonite，分別對大腸桿菌進行抗菌實驗，實驗結果顯示濃度為 25 mg/L 之 Cu^{2+} -montmorillonite 於 6 小時，抗菌率達 99% 以上 (Yuhang et al., 2004)。

III. 研究方法

本實驗選用以多孔性吸附劑-沸石為載體，將具有抗菌能力之無機抗菌材 Ag 、 Cu 兩種觸媒改質於沸石，針對去除大腸



表2 銀觸媒沸石去除大腸桿菌之運用

載體	抗菌效果	文獻來源
TiO ₂ thin-film	AgNO ₃ : 99% ; AgCl : 51.5% 初始濃度 : 2.8×10 ⁸ CFU/mL	Peng, et al. (2008)
Mexican zeolite	結合 AgNO ₃ 與沸石, 2 小時即可完全將 <i>E. coli</i> 殺滅	Rivera-Garza, et al. (2000)
zeolite	0.3 g/L Ag-zeolite 5 min 完全滅菌	Yoshihiro, et al. (2002)

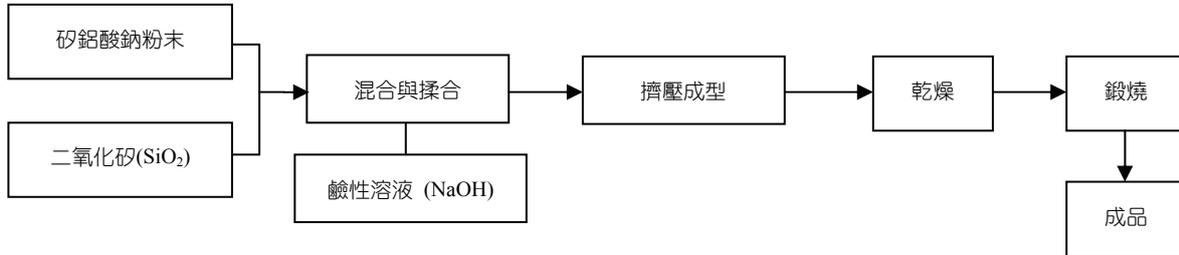


圖2 沸石自製流程

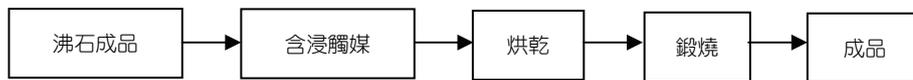


圖 3 觸媒沸石自備流程

桿菌配備各種不同條件之觸媒沸石，探討不同觸媒濃度對大腸桿菌抗菌效率之影響。以Ag為例：Rivera-Garza等人(2000)以3、5、7 wt%中皆達到90 %抗菌率，考量抗菌率差異不大及經濟成本問題而選用低含量濃度1、2、3 wt%抗菌材料進行抗菌實驗，找尋最佳抗菌之觸媒沸石。另將觸媒沸石進行特性分析，使用掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscopy, SEM)，X-ray繞射儀 (X-ray Diffraction, XRD)，傅立葉轉換紅外線光譜儀 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)。

3.1 自製觸媒沸石抗菌材之方法

利用微濕含浸法將觸媒與自製沸石結合，含浸之目的乃是將活性成分附在載體以配置觸媒。製備之步驟分為兩個部分如下：

3.1.1 自製沸石

先將矽鋁酸鈉與二氧化矽 (SiO₂) 混合 (圖2)，加入硫酸、鹽酸或氫氧化鈉等膠化劑來控制調整pH值，再將混合物成型，目的在於使反應物與生成物能順利在吸附劑中擴散，再來把已成型之沸石放入烘箱 (100-150°C) 乾燥，並通入氮氣或空氣，最後進入鍛燒階段，去除吸附劑中無關之雜質。

3.1.2 觸媒沸石之製備方式

觸媒沸石製備程序 (如圖3)，將欲改質固定克數的沸石，使用濃度為99%的硝酸銅 (Cu (NO₃)₂ · 3H₂O) 及硝酸銀

(AgNO₃) 進行微濕含浸法將觸媒結合於沸石載體上，含浸之目的乃是將活性成分附著在載體以配置觸媒，水定量於淹過載體即可，再將以上進行超音波震盪3小時使觸媒能均勻且完善的改質於載體上，並於200°C下烘乾2小時，最後將含浸完畢之觸媒沸石進行鍛燒，即可完成觸媒沸石成品。本實驗將比較不同含浸濃度對抗菌力的影響，其金屬觸媒之重量百分比計算如下。

$$\frac{MW_c}{MW_p} \times \text{改質劑濃度}(\%) \times M_p = M_z \times \text{含浸濃度}(\text{wt}\%) \times 1.02$$

MW_c=觸媒分子量 M_p=觸媒前驅物質量 (g)

MW_p=觸媒前驅物分子量M_z=沸石質量 (g)

3.2 觸媒沸石特性分析

使用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 觀察沸石表面結構微觀及高解析影像分析，X-ray繞射儀 (XRD) 分析辨別材料之晶相，傅立葉轉換紅外線光譜儀 (FTIR) 分析Si-O-Si 鍵結強度以確認Si-O-Si 對擔體結構所扮演的角色，並改變製程環境及試驗論所形成之晶體結構。

3.3 液相中大腸桿菌抗菌實驗

3.3.1 前置實驗

為確保實驗之準確性，首先將所需使用之所有器具，進行高溫滅菌。滅菌後開始配製實驗所需之培養基 (nutrient

broth, NB)。菌種之培養為使用食品工業發展研究所菌種保存及研究中心所購得之大腸桿菌菌株，於無菌狀態下，取出其凍乾保存，將先前配製好液體培養基 (NB) 進行培養。

3.3.2 觸媒沸石抗菌測試

將觸媒沸石置入已培養之菌液中，使用搖瓶法，隨時間變動，依續採取菌液，菌液稀釋後，取菌液溶液滴入固體的培養基上，利用環署公告之塗抹法 (NIEA E203.55B) 將菌液塗抹均勻，使培養基上之菌液能均勻分布。

3.3.3 培養基之培養

將已完成塗抹之培養基，以倒立之方式，放置於恆溫培養箱中培養，其培養之溫度與時間，依不同菌種，而有所不同；放入37℃的培養箱中，培養需經24至48小時觀察菌落的生長情形，將可知其殺菌效果並比較之，方可數其菌落數。菌落數計算公式如下：總菌落數 (CFU/mL) = 選取培養皿之菌落數總和/選取之實際體積總和。

3.4 抗菌反應動力模式

抗菌實驗採用一階動力模式進行數據分析，將可推算出濃度與時間的關係，即代表著其反應速率常數 (k)。

$$\frac{dC}{dt} = kC$$

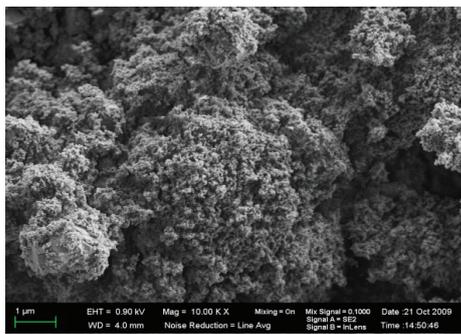
$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = kt$$

C_0 = 大腸桿菌初始濃度 (CFU/mL)

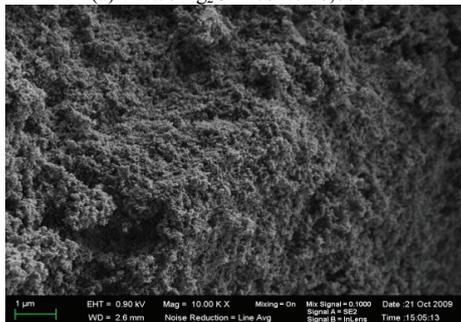
C = 大腸桿菌濃度 (CFU/mL)

k = 大腸桿菌之反應速率常數 (1/hr)

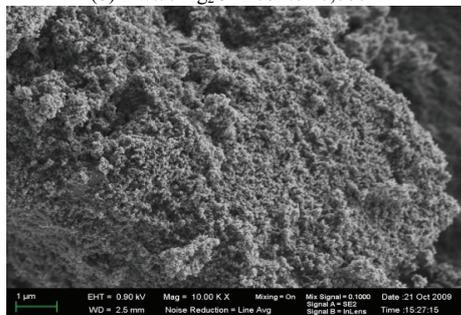
t = 時間 (hr)



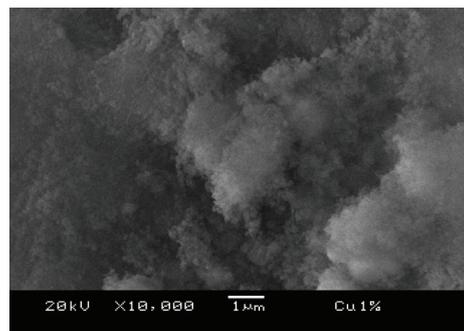
(a) 1 wt% Ag₂O-Zeolite 10,000X



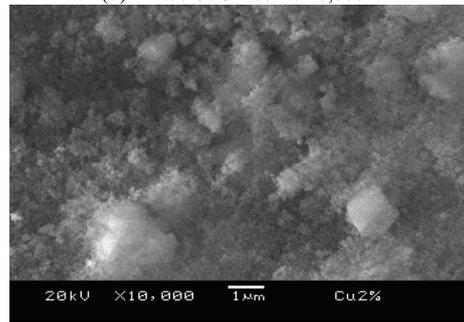
(b) 2 wt% Ag₂O-Zeolite 10,000X



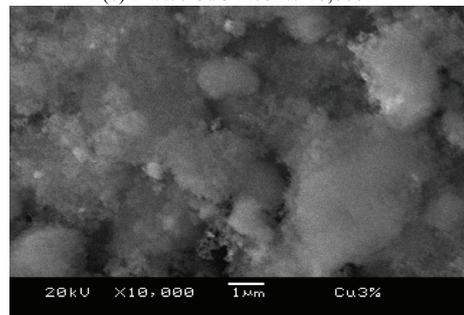
(c) 3 wt% Ag₂O Zeolite 10,000X



(d) 1 wt% CuO-Zeolite 10,000X



(e) 2 wt% CuO-Zeolite 10,000X



(f) 3 wt% CuO-Zeolite 10,000X

圖4 1、2、3 wt %之Ag₂O-zeolite與CuO-zeolite SEM圖



IV. 結果與討論

4.1 觸媒沸石特性分析：

4.1.1 掃描式電子顯微鏡SEM分析

本實驗利用SEM觀察觸媒沸石之表面微觀的結構，各樣品的放大倍率分別為10,000倍，照中的粒徑分別是以1 μm 的尺寸比例來觀察(圖4)。於SEM照片中看出 Ag^+ 和 Cu^+ 顆粒含浸於沸石基體表面，比周圍的基體物質稍亮； Ag_2O -zeolite的顆粒分布較 CuO -zeolite來得均勻，且1、2、3 wt%之 Ag_2O -zeolite於SEM圖中結晶大小無明顯的差異，1、2、3 wt%之 CuO -zeolite亦有類似情形。

4.1.2 X光繞射分析

XRD分析主要是利用特定晶相經由特定X光輻射之照射，所產生遵循Bragg's定律之繞射現象，並得到特定繞射角度之強度。由此可由資料庫掃描結晶約互相查證，而辨認試樣中可能存在之晶相。

針對1、2、3 wt%之 Ag_2O -zeolite和 CuO -zeolite進行XRD分析，晶粒平均大小亦可藉由X-光繞射峰變寬的程度來判

定，線性變寬值(line broadening)是與結晶大小成反比，其波峰寬度越寬，結晶大小越小；波峰越強，結晶性越佳。在圖5可得知1、2、3 wt%之 Ag_2O -zeolite和 CuO -zeolite其波峰寬度皆無明顯變化，顯示雖然Ag、Cu含量增加，但其結晶大小則無明顯改變，與SEM結果相符，表示對於抗菌力其材料可提供穩定的結構給予支持。

4.1.3 傅立葉轉換紅外線光譜儀分析

利用傅立葉轉換紅外線光譜儀進行沸石表面官能基分析，其結果圖6顯示主要有吸收波峰的地方為 $1,100\text{ cm}^{-1}$ 、 $3,500\text{ cm}^{-1}$ 的範圍，這兩個波峰分別代表Si-O-Si鍵與O-H鍵，沸石經含浸法鍍上 Ag^+ 和 Cu^+ 後，沸石表面結構改變，部份Si-O-Si和O-H官能基的地方被 Ag^+ 、 Cu^+ 所覆蓋。而分別對1、2、3 wt%之 Ag_2O -zeolite與 CuO -zeolite進行FTIR分析，其結果如圖6所示，結果顯示Si-O-Si和O-H官能基吸收強度 $3\text{ wt}\% > 2\text{ wt}\% > 1\text{ wt}\%$ ，沸石表面帶負電含氧官能基(OH⁻)，可增加 Ag^+ 和 Cu^+ 交換的機會，未來也可探討(OH⁻)對離子交換率或抗菌率的影響。

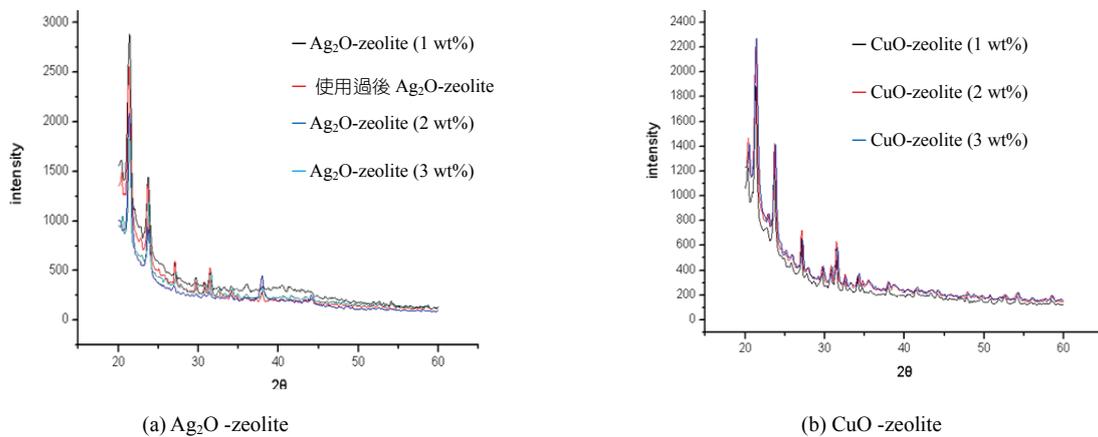


圖5 1、2、3 wt%之 Ag_2O -zeolite與 CuO -zeolite之XRD分析圖

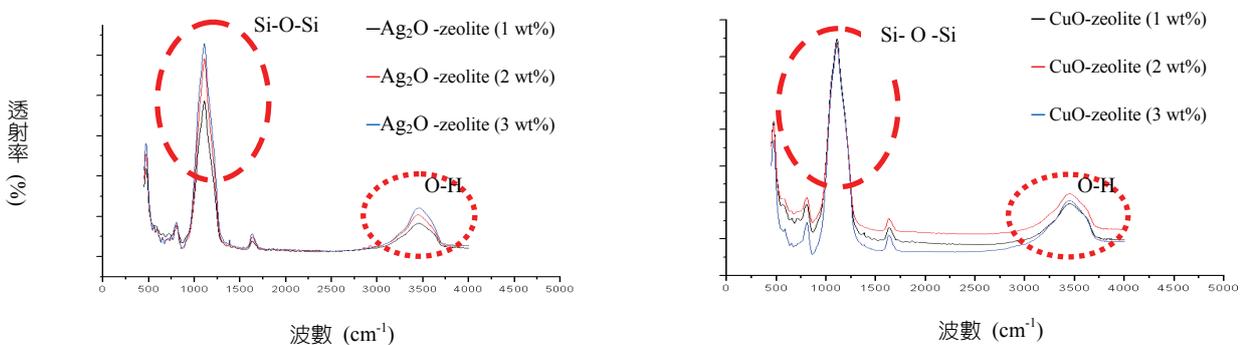


圖6 1、2、3 wt%之 Ag_2O -zeolite與 CuO -zeolite之FTIR分析圖

4.2 液相中大腸桿菌抗實驗結果分析

4.2.1 純沸石 (Zeolite)

本實驗主要以自製具有抗菌效果之抗菌材為主，為了解自製之載體是否具有抗菌效能，故先行使用尚未被任何改質劑改質之載體進行大腸桿菌的抗菌實驗，由圖7可知評估使用60分鐘的材料抗菌能力並非實際破壞菌體本身，而是菌體附著至材料表面，而經過60分鐘過後抗菌能力開始下降，表示材料上附著之菌體開始生長；為維持穩定的抗菌效能，本實驗將添加具有抗菌率之觸媒 (Ag、Cu)，以提高及穩定其抗菌率。

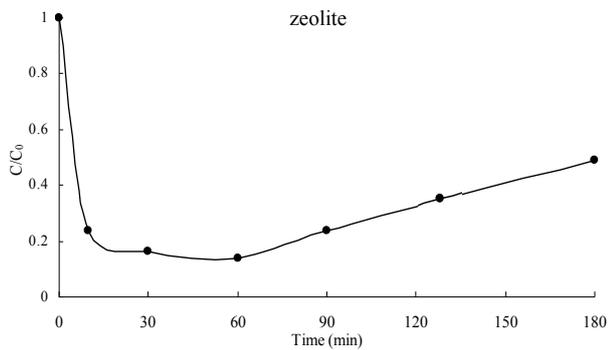


圖7 沸石於液相中大腸桿菌抗菌菌落變化 (初始菌落數： 4.4×10^9 CFU)

4.2.2 銀觸媒沸石 (Ag₂O-Zeolite)

本研究將具抗菌效能之金屬觸媒-銀，以含浸法將其與沸石結合，製備Ag₂O-zeolite (1、2、3 wt%) 之觸媒沸石，以探討不同銀含量觸媒沸石之抗菌效能。實驗以1g之觸媒沸石，分別於大腸桿菌之菌液 (330 mL) 中進行抗菌實驗，實驗結果如圖8所示，於60分鐘時1、2、3、10 wt%-之銀-沸石抗菌率皆可達到90 %以上。Ag₂O-zeolite (3 wt%) 於180分鐘時抗菌率可達99%。當反應180分鐘後，低含量 (1、2、3wt%) 觸媒沸石可達到95%以上之抗菌率，而於高含量 (10 wt%) 於1小時後其抗菌率為99 %與低含量 (3 wt%) 約相同。

4.2.3 銅觸媒沸石 (CuO-Zeolite)

銅為具抗菌效能之抗菌材，本實驗將銅結合沸石進行抗菌實驗，分別製備CuO-zeolite (1、2、3、10 wt%) 之觸媒沸石，以探討不同銅含量之觸媒沸石抗菌效能。本實驗皆以1g之觸媒沸石，於大腸桿菌之菌液 (330 mL) 中進行抗菌實驗，實驗結果如圖8所示，180分鐘時，可發現於CuO-zeolite 低含量 (1、2、3 wt%) 時最高可達到59 %之抗菌率，而高含量CuO-zeolite (10 wt%) 之抗菌率為60 %，並無明顯提升。

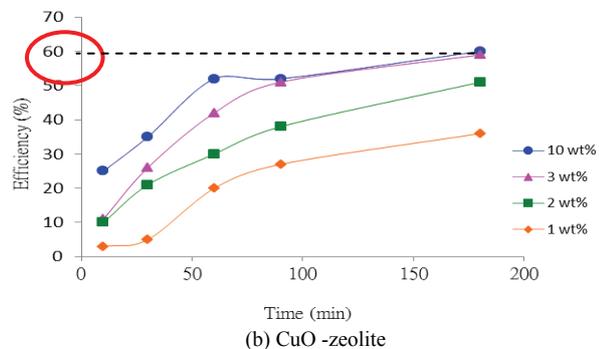
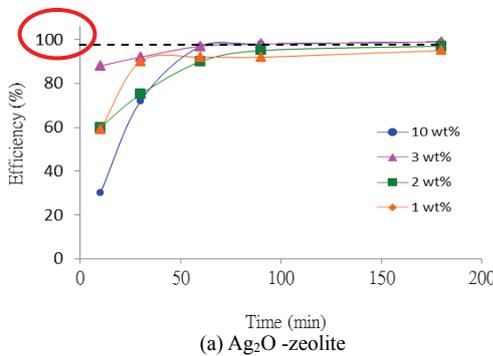


圖8 批次式實驗Ag₂O-zeolite與CuO-zeolite於液相中大腸桿菌抗菌效率

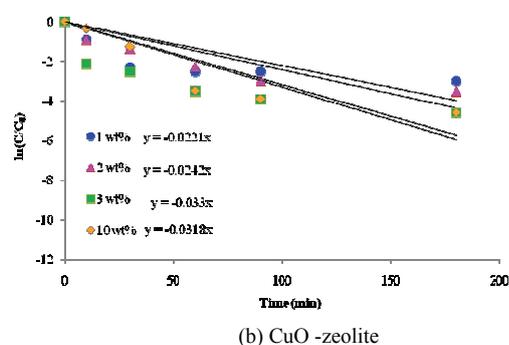
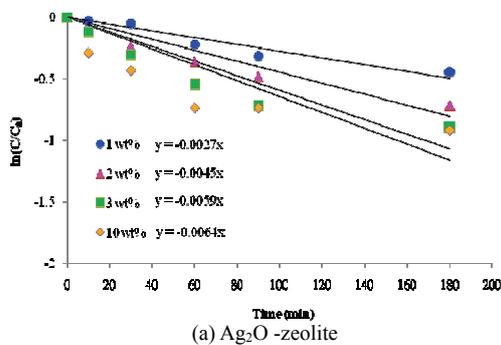


圖9 Ag₂O-zeolite與CuO-zeolite於液相中大腸桿菌抗菌菌落變化



表3 不同觸媒沸石於液相中之初始濃度、抗菌率、k值

觸媒含量 (wt%)	抗菌材料	$C_0 \times 10^9$ (CFU/mL)	3 hr 抗菌率 (%)	K (1/hr)	R^2	總菌數/單位抗菌材 (10^9 CFU/g)
0	Zeolite	4.4	50	-	-	726
1	CuO-zeolite	3.2	36	0.16	0.94	380
2		2.8	51	0.27	0.89	471
3		3.1	59	0.35	0.81	604
10		5.5	60	0.38	-0.19	1,089
1	Ag ₂ O-zeolite	3.3	95	1.33	0.14	1,035
2		3.2	97	1.45	0.66	1,024
3		3.5	99	1.98	0.21	1,143
10		3.5	99	1.91	0.74	1,143

4.2.4 不同觸媒沸石於液相中抗菌效能比較

在相同的實驗條件下，由圖8可看出 Ag₂O-zeolite (3 wt%) 抗菌效能達到99%，而 CuO-zeolite (3 wt%) 的抗菌效能僅有60%，可得知銀的抗菌反應優於銅。如表2所示之一階抗菌反應動力模式中，計算出CuO-zeolite之k值為0.16至0.38 (1/hr)，Ag₂O-zeolite之k值為1.33至1.98 (1/hr)；其k值越大，代表效率越好，其抗菌反應較為符合一階動力模式。

大腸桿菌抗菌結果，CuO-zeolite於180分鐘時，330 mL大腸桿菌溶液初始總菌落數為1,815 (10^9 CFU)，抗菌率達60%，則1g之沸石可去除1,089 (10^9 CFU) 的大腸桿菌，Ag₂O-zeolite於180分鐘時，330 mL大腸桿菌溶液初始總菌落數為1,155 (10^9 CFU)，抗菌率達99%，則1g之沸石可去除大腸桿菌菌落數1,143 (10^9 CFU)。利用初始濃度與抗菌率的關係，將可推算出欲去除水體中大腸桿菌所需之沸石量 (g)。

純沸石 (zeolite) 於180分鐘時雖抗菌率可達50%比CuO-zeolite (1、2 wt%) 佳，但於尚未被任何改質劑改質之載體進行大腸桿菌的抗菌實驗中表示，其載體一開始所減少的菌體是附著至材料表面而非載體具有抗菌能力，所以材料整體抗菌能力相較之下，為改質後觸媒沸石之實用性較佳。

V. 結論與建議

- 藉由SEM以及XRD分析顯示，雖然含浸於沸石上的Ag和Cu含量有增加，但其結晶大小無明顯的改變；使用FTIR分析沸石表面官能基，其結果呈現Si-O-Si和O-H官能基吸收強度隨含浸濃度增加 (3wt%>2 wt%>1wt%)。
- 觸媒沸石對去除大腸桿菌效果Ag₂O-zeolite 優於CuO-zeolite。
- 大腸桿菌液中之抗菌研究以Ag₂O-zeolite (10 wt%) 最佳，於180分鐘時有99%之抗菌率，效率最佳，Ag₂O-zeolite (3 wt%) 與Ag₂O-zeolite (10 wt%) 其抗菌效能相近。成本考量下，使用低含量Ag₂O-zeolite (3 wt%) 即可達成期望值。

4. CuO-zeolite (1、2、3、10wt%) 與Ag₂O-zeolite (1、2、3、10wt%) 對大腸桿菌抗菌動力模式之k值分別為0.16至0.38與1.33至1.98 (1/hr)，每克沸石可去除之總菌落數 (CFU/g) 分別為 380 至 1,089 與 1,035 至 1,143 (10^9 CFU/g)，k值可供作為推估改善水質所需沸石用量之依據。

5. 本研究目前已完成高濃度大腸桿菌約 3.2-5.5 (10^7 CFU/100 mL) 之抗菌實驗，建議未來可針對低濃度大腸桿菌進行相同系列試驗，建立水質大腸桿菌濃度與單位沸石可去除之大腸桿菌菌落數 (CFU/g) 之相關性，以供各式水體或含不同大腸桿菌濃度水體作為改善之參考依據。

參考文獻

行政院環境保護署，1998，環署水字第0039159號。

行政院環境保護署，2008，環署水字第0960065740號。

林哲昌，2002，UV消毒系統應用於工業廢水處理效能評估，財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心研究員。

張薇馥，2008，銀/活性碳複合材料備製與過濾消毒之研究，碩士論文，逢甲大學環境工程與科學學系/所，台中市。

廖月禎，2006，無甲醛防繡複合奈米銀離子之機能性棉織物探討，碩士論文，逢甲大學紡織工程研究所，台中市。

Cik, G., Bujdakova, H., and Sersen, F., 2000, Study of fungicidal and antibacterial effect of the Cu (II)-complexes of thiophene oligomers synthesized in ZSM-5 zeolite channels, chemosphere, pp. 313-319.

Meixue, C., Lizhu, Y., Hong, H., Qingyun, C., Yunbo, Y., and Jiuhui, Q., 2007, Catalytic sterilization of Escherichia coli K 12 on Ag/Al₂O₃ surface, Journal of Inorganic Biochemistry, Vol. 101, pp. 817-823.

Peng, B., Wang, J., Chai, L., Mao, A., and Wang, Y., 2008, Preparation of nano-Ag/TiO₂ thin-film, Transactions Nonferrous Metals Society of China 18, 986-994.



Rivera-Garza, M., Olguin, M. T., Garcia-Sosa, I., Alcantara, D., and Rodriguez-Fuentes, G., 2000, Silver supported on natural Mexican zeolite as an antibacterial material, *Microporous and Mesoporous Materials*, Vol. 39, pp. 431-444.

Yoshihiro, I., Masanobu, H., Hiroo, T., Tomoko, N., Tomomi, M., Yasushi, K., Hajime, H., and Masanori, S., 2002, Bactericidal activity of Ag-zeolite mediated by reactive oxygen species under aerated conditions, *Journal of Inorganic Biochemistry*, Vol. 92, pp. 37-42.

Yuhang, Z., Meisheng, X., Ying, Y., and Caihong, H., 2004, Antimicrobial ability of Cu²⁺-montmorillonite, *Applied Clay Science*, Vol. 27, pp. 215-218.

Received 28 March 2011

Accepted 16 May 2011



STUDY OF ANTIBACTERIAL REACTIONS OF MODIFIED ZEOLITE CATALYSTS IN THE LIQUID PHASE

Chu-Chin Hsieh*, Shih-Ching Lee*, Hsin-Han Cheng**, Hsien-Sheng Huang*
Wen-Hsuan Chen*, Meng-Rung Lee* and Pei-Ching Guo*

*Department of Safety, Health and Environmental Engineering

**Graduate School of Engineering Science and Technology

National Yunlin University of Science and Technology

Yunlin, Taiwan 64002, R. O. C.

ABSTRACT

In the environment, the EPA in Taiwan has regulated control standards for various water bodies. One of the indexes was *E. coli* which might have an effect on the applicability of water bodies. As the Colony-Forming Unit (CFU) of *E. coli* is above a specific value, the water body is inapplicable to use. In order to maintain the stability of water quality, we had to make different types of catalytic modified materials by adding silver or copper catalysts on zeolite carriers in order to carry out antibacterial experiments in the liquid phase after basic characteristic analysis. There was a 60% antibacterial efficiency when the initial concentration of liquid phase experiments of *E. coli* in CuO-zeolite (10 wt %) was $5.5 (10^9 \text{ CFU/mL})$ at 180 min, and 99% antibacterial efficiency in Ag₂O-zeolite (10 wt%). Overall antibacterial efficiency with Ag₂O-zeolite (10 wt%) was better than CuO-zeolite (10 wt %) in the same impregnation concentration. The antibacterial reaction conformed with this study and the constant reaction rate (K) in CuO-zeolite was 0.16 to 0.38 (1/hr) by first-order dynamic model; Ag₂O-zeolite was 1.33 to 1.98. After all experiments were done, the antibacterial capacity of CuO-zeolite (1, 2, 3 wt %) were 380 to 1089 (CFU/g) ; Ag₂O-zeolite (1, 2, 3 wt %) were 1024 to 1043 (CFU/g) . To calculate the antibacterial capacity of catalytic modified zeolite and used it as a parameter to improve the water quality. As *E. coli* concentration was over-standard water bodies we could use the value of antibacterial capacity to determine how much zeolite should be added to make the water quality in the EDA reach a standard value.

Keywords : water quality, catalyst-zeolite, antibacterial