

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

竹碳做為生物濾床濾料之可行性研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 98-2221-E-216-003-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：中華大學土木工程學系

計畫主持人：詹武忠

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：林子敬
碩士班研究生-兼任助理人員：吳宇濤
碩士班研究生-兼任助理人員：賴彥辰

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 99年10月25日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

竹碳做為生物濾床濾料之可行性研究

**(Studies on the bamboo charcoal as the synthetic filter
material for biofilter)**

計畫類別： 個別型計畫

計畫編號： NSC 98-2221-E-216-003

執行期間： 98 年 8 月 1 日 至 99 年 7 月 31 日

計畫主持人： 詹武忠 教授

計畫參與人員： 吳宇濤、賴彥辰、林子敬

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：精簡報告

執行單位：中華大學土木與工程資訊學系

中 華 民 國 99 年 10 月 24 日

一、中英文摘要

本研究探討自行開發含營養源聚乙烯醇(PVA)/泥炭土/竹碳複合材料(竹碳人工濾料)做為生物濾床之可行性，並比較此人工濾料與含營養源 PVA/泥炭土/活性炭複合材料(活性炭人工濾料)在微生物反應動力行為的差異。兩種人工濾料濾床微生物的生長速率 k_g 值皆隨平均進口濃度的增加而降低。在進口濃度小於 800 ppm 區(低進口濃度區)之下降速率較進口濃度大於 800 ppm 區(高進口濃度區)的大。兩種人工濾料於穩定期之生物反應動力皆屬擴散控制零階反應。反應速率 k_d 值皆隨著平均進口濃度增加而降低，即反應速率於高平均進口濃度會受到抑制。兩種人工濾料的反應速率於低進口濃度區受到進口濃度增加所產生抑制效應均較於高進口濃度區的大。活性炭人工濾料和竹碳人工濾料濾床對於乙酸丁酯的最大去除能力分別為 122.67 和 111.65 g-C/h-m³ packed material。

關鍵詞: 聚乙烯醇；泥炭土；竹碳；人工濾料；生物濾床

A new type PVA/peat/bamboo charcoal/KNO₃ composite bead is prepared and its a diameter of 2.4-6.0 mm and density of 1.133 g/cm³ porous spherical particle. The biochemical kinetic behaviors of n-butyl acetate in PVA/peat/bamboo charcoal (BC)/KNO₃ spherical composite bead biofilter (BC biofilter) and PVA/peat/granular activated carbon (GAC)/KNO₃ spherical composite bead biofilter (GAC biofilter) were investigated. Zero-order kinetic with the diffusion limitation was regarded as the most adequate biochemical reaction model for two biofilters. The microbial growth rate and biochemical reaction rate for two biofilters were inhibited at higher inlet concentration and the degree of inhibitive effect was more pronounced in the inlet concentration range of 100 to 800 ppm. The biochemical kinetic behaviors of two biofilters were similar. The maximum elimination capacity of BC biofilter and GAC biofilter were 111.65 and 122.67 g C/h-m³ bed volume, respectively. The PVA/peat/bamboo charcoal/KNO₃ composite bead was suitable as a biofilter material.

Key words: poly(vinyl alcohol)(PVA); peat; bamboo charcoal; synthetic biomaterial; biofilter

二、計畫緣由與目的

近年來生物濾床可以被視為處理 VOCs 最經濟且有效的處理技術之一。然而一般生物濾床大都使用天然濾料(如豬糞、堆肥等)，在長時間操作下，濾料會老化結塊、水分流失及營養成分消耗等缺失，因而導致濾床操作效率降低。本實驗室針對上述天然濾料的缺失進行研究，自行開發含氮、磷營養源的 PVA/泥炭土/活性炭人工濾料，經一系列研究證實此人工濾料適用於生物濾床之濾料⁽¹⁻⁴⁾。

竹材為台灣本島所擁有豐富天然環保材料之一，其生長速度快，約 3-5 年即成熟，且竹材纖維密度高、質地強韌、生長週期短、產量大和處理簡單，將是未來具有潛力的環保材料。近幾年，由於生物科技產業興起，為提高竹材附加價值，將竹材經高溫碳化後變成竹碳，竹碳其炭質結構緻密、孔隙多，其性質如同活性炭，可用來做為防潮、調溼、除臭、過濾和隔熱等用途，故竹碳在日本享有「黑鑽石」之稱。目前期刊文獻顯示，利用竹子等製成之微孔性碳能去除飲用水中的氯仿⁽⁵⁾、餘氯及氨⁽⁶⁻⁷⁾等等，亦能有效吸附溶液中的鉛離子且不易受到 pH 值干擾⁽⁸⁾，另一方面竹材炭化溫度達 847°C 時，竹碳孔隙最密集，亦能有效吸附甲基藍⁽⁹⁾。

本研究擬自行開發合成含營養源的 PVA/泥炭土/竹碳複合物，藉由比較含營養源的 PVA/泥炭土/活性炭和含營養源的 PVA/泥炭土/竹碳兩種濾料在微生物反應動力行為，進而探討此複合物做為人工濾料之可行性。

三、研究方法

本研究自行開發合成 PVA/泥炭土/竹碳複合物之人工濾料，其製作過程是採用本實驗室已開發成功含硝酸鉀營養源之 PVA/泥炭土/活性碳人工濾料製程⁽¹⁾，只是製作過程為將活性碳材料以竹炭取代。

四、結果與討論

本研究合成之竹碳人工濾料的水溶性氮溶出量為 118.5 N mg/g-dry pack material，密度為 1.133 g/cm³，起始吸溼速率為 0.118 g H₂O/g-dry pack material，平衡含水量為 0.757g H₂O/g-dry pack material，起始和穩定失水速率分別為 0.040 和 0.021 g H₂O/day-g-dry pack material。這些結果顯示，竹碳人工濾料的氮溶出量、密度、吸溼性和保水性均符合做為人工濾料的基本性質要求。

微生物的生長過程約可分成四期，分別為適應期 (lag phase) 為微生物處於適應新環境，期間微生物數量不會明顯增加。對數生長期 (log growth phase) 為微生物逐漸適應環境，開始進行分裂繁殖，期間之細胞為年輕且生物活性為最高。穩定期 (constant growth phase) 為期間存活的細胞數目維持一定值。死亡期 (death phase) 為當微生物不適於環境生長，此時微生物的存活大幅減少，細胞的生長率遠低於死亡率。

本研究僅針對活性碳和竹碳兩種不同材質人工濾料之微生物於對數生長期與穩定期之反應動力行為加以探討。

4.1 對數生長期

由於濾料中微生物質量難以精準量測，且微生物增殖量正比於微生物代謝基質量，故對數生長期微生物生長速率可表示為

$$\frac{dC}{dt} = -k_g t \quad (1)$$

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -k_g t \quad (2)$$

式中：C₀：污染物進口濃度(ppmv)，C：污染物出口濃度(ppmv)，k_g：生長速率(hr⁻¹)。由(2)式知，以 ln(C/C₀)對操作時間 t 作圖，則 ln(C/C₀)與 t 呈現線性關係，其斜率 k_g 值可視為微生物生長速率。

活性碳和竹碳人工濾料濾床於乙酸丁酯之進口濃度為 100-1600 ppm 下，去除率與操作時間 t 之關係如圖 1 所示(以進口濃度 400 ppm 為例)，而依(2)式可求得活性碳和竹碳人工濾料之生長速率 k_g 值。

兩種不同材質人工濾料之對數生長速率與進口濃度關係如圖 2 所示。由圖 2 知，兩種人工濾料的對數生長速率 k_g 皆隨平均進口濃度的增加而降低，且在進口濃度小於 800 ppm 區(低平均進口濃度區)之下降速率較進口濃度大於 800 ppm 區(高平均進口濃度區)的大。這結果顯示，兩種不同材質人工濾料的微生物生長速率皆隨平均進口濃度的增加而降低。這是因為當平均進口濃度增加時，溶入濾料生物膜中的污染物越多，則污染物所造成微生物被毒化的程度越明顯，因而使微生物的生長速率降低。兩種不同材質人工濾料的 k_g 值幾乎相等，這結果顯示，兩種不同材質人工濾料均適合微生物生長。

活性碳人工濾料於低和高平均進口濃度區之線性斜率分別為 -2.479×10⁻⁴ 和

-6.544×10^{-6} /hr-ppm。竹碳人工濾料於低和高平均進口濃度區之線性斜率分別為 -1.849×10^{-4} 和 -5.318×10^{-6} /hr-ppm。這些結果顯示，活性碳人工濾料的生長速率受到進口濃度增加所產生抑制效應的影響較竹碳人工濾料的大，且於低進口濃度區抑制效應受到進口濃的影響較高進口濃度區的大。

4.2 穩定期

生物濾床於穩定期的反應動力，依 Ottengraf⁽¹⁰⁾所提出分別為一階反應、反應控制零階反應及擴散控制零階反應的三種動力模式，其反應方程式分別為：

$$\ln \frac{C}{C_0} = -k_1 \cdot \theta \quad \text{一階反應} \quad (3)$$

$$C_0 - C = k_0 \cdot \theta \quad \text{反應控制零階反應} \quad (4)$$

$$1 - \left(\frac{C}{C_0} \right)^{1/2} = k_d \cdot \theta \quad \text{擴散控制零階反應} \quad (5)$$

式中 C ：污染物出口濃度(ppmv)， C_0 ：污染物進口濃度(ppmv)， k_1 、 k_0 和 k_d 分別為一階反應、反應控制零階反應和擴散控制零階反應之速率常數， θ 為滯留時間。

兩種人工濾料於穩定期之各種乙酸丁酯進口濃度的出口濃度 C 與滯留時間 θ 之 $(C_0 - C)$ v.s θ ， $\ln(C/C_0)$ v.s θ 和 $1 - (C/C_0)^{0.5}$ v.s θ 相關係數 R^2 介於 0.9739-0.9986 之間。由此可知，活性碳和竹碳人工濾料在各種平均進口濃度之三種動力模式關係曲線均接近線性關係。因此無法判斷微生物反應屬於三種模式中那一種模式。

現利用修正的 Michaelis-Menten 動力模式，來判斷穩定期中微生物分解為生物屬於哪一種反應動力模式。已知 Michaelis-Menten 動力關係式為：

$$r = \frac{V_{\max} \cdot C}{K_s + C} \quad (6)$$

式中 r ：反應速率(ppmv/sec)， C ：污染物濃度(ppmv)， V_{\max} ：最大去除速率(ppmv/sec)， K_s ：飽和常數(ppmv)。當 $K_s \gg C$ 時，(6)式可簡化成一階反應，方程式如下：

$$r = \left(\frac{V_{\max}}{K_s} \right) \cdot C \quad (7)$$

當 $K_s \ll C$ 時，(6)式可簡化成反應控制零階反應，方程式如下：

$$r = V_{\max} \quad (8)$$

當 K_s 與 C 之大小關係不屬於前述兩種，則反應屬於擴散控制零階反應。

由於濾床屬於柱狀流反應器(plug flow reactor)，因此(6)式可改寫為

$$-Q \frac{dC}{dV_{\text{bed}}} = \frac{V_{\max} \cdot C}{K_s + C} \quad (9)$$

式中 Q ：氣體體積流率(m^3/sec)， V_{bed} ：濾床體積(m^3)。將(9)式積分，並代入邊界值：當 $V_{\text{bed}} = 0$ ， $C = C_0$ 和當 $V_{\text{bed}} = V$ ， $C = C$ ，可得

$$\frac{C_0 - C}{\ln \frac{C_0}{C}} = \frac{V_{\max} \cdot V}{Q \cdot \ln \frac{C_0}{C}} - K_s \quad (10)$$

其中 $\theta = V/Q$ ，因此(10)式可簡化為

$$\frac{C_0 - C}{\ln \frac{C_0}{C}} = \frac{V_{\max} \cdot \theta}{\ln \frac{C_0}{C}} - K_s \quad (11)$$

由(11)式知， $(C_0 - C)/\ln(C_0/C)$ 與 $\theta/\ln(C_0/C)$ 呈線性關係，斜率為 V_{\max} ，截距為 K_s 。

兩種不同材質人工濾料之 $(C_0 - C)/\ln(C_0/C)$ 與 $\theta/\ln(C_0/C)$ 關係如圖 3 所示。由圖 3 計算得，活性碳及竹碳人工濾料降解乙酸丁酯之 K_s 值分別為 27.893 及 34.249 ppm，其值與乙酸丁酯的平均進口濃度範圍 100-1600 ppm 比較，活性碳及竹碳人工濾料之 C_0/K_s 值分別為 3.59-57.36 和 2.92-46.72，由 C_0/K_s 值知，濾床的微生物反應動力不符合 $K_s \gg C$ 之一階反應模式及 $K_s \ll C$ 之反應控制零階反應，故判斷活性碳和竹碳人工濾料的微生物反應動力均為擴散控制零階反應。

兩種不同材質人工濾料的擴散控制零階反應速率 k_d 與進口濃度之關係如圖 4 所示。由圖 4 得知，兩種不同材質人工濾料的擴散控制零階反應速率 k_d 皆隨平均進口濃度的增加而降低，且於進口濃度小於 800 ppm 區(低平均進口濃度區)之下降速率較進口濃度大於 800 ppm 區(高平均進口濃度區)的大。這結果顯示，兩種不同材質人工濾料的微生物反應速率皆隨平均進口濃度的增加而降低。這是因為當平均進口濃度增加時，溶入濾料生物膜中的污染物越多，則污染物所造成微生物被毒化的程度越明顯，因而使微生物的反應速率降低。活性碳人工濾料的 k_d 值大於竹碳人工濾料的 k_d 值。這結果顯示，活性碳人工濾料較竹碳人工濾料適合微生物分解乙酸丁酯。

活性碳人工濾料於低和高平均進口濃度區之線性斜率分別為 -5.448×10^{-5} 和 $-2.720 \times 10^{-6}/\text{sec-ppm}$ 。竹碳人工濾料於低和高平均進口濃度區之線性斜率分別為 -4.027×10^{-5} 和 $-4.094 \times 10^{-6}/\text{sec-ppm}$ 。這些結果顯示，於低進口濃度區，活性碳人工濾料的反應速率受到進口濃度增加所產生抑制效應的影響較竹碳人工濾料的大，而於高進口濃度區，竹碳人工濾料的反應速率受到進口濃度增加所產生抑制效應的影響較活性碳人工濾料的大。兩種人工濾料的反應速率於低濃度區受到進口濃度增加所產生抑制效應的影響均較於高濃度區的大。

4.3 去除能力

生物濾床的去除能力可分為臨界去除能力 (critical elimination capacity) 及最大去除能力 (maximum elimination capacity)，當基質之進口負荷小於完全去除能力時，去除率達 100%。當進口負荷大於臨界去除能力時，濾床去除 VOCs 的能力達到穩定，去除能力不會再隨進口負荷的增加而增加，甚至可能因高濃度的基質而抑制微生物生長，造成去除能力下降。濾床的有機負載 (Loading) 與去除能力 (EC) 計算式為：

$$Load = \frac{C_0 \times Q}{V} \quad (12)$$

$$EC = \frac{(C_0 - C) \times Q}{V} \quad (13)$$

式中 C_0 ：進口 VOC 濃度(g-C/m³)， C ：出口 VOC 濃度(g-C/m³)， Q ：氣體體積流率(m³/hr)， V ：填充濾料體積(m³)。兩種人工濾料濾床去除乙酸丁酯之 EC 與 Load 關係，如圖 5 所示。由圖 5 得知，活性碳和竹碳人工濾料降解乙酸丁酯之臨界去除能力分別為 97.441 和 87.428 g-C/h-m³ packed material，最大去除能力分別為 122.627 和 111.648 g-C/h-m³ packed material。活性碳和竹碳人工濾料去除乙酸丁

酯去除能力(EC)及負載(Load)的關係之起始斜率值分別為 0.8144 及 0.7145。這些結果顯示，活性碳人工濾料對於乙酸丁酯的去除能力較竹碳人工濾料的佳。

五、結論

本研究探討自行開發的竹碳人工濾料做為生物濾床人工濾料之可行性，並比較此人工濾料與活性碳人工濾料在微生物反應動力行為的差異，所獲得結論為本研究合成之竹碳人工濾料的水溶性氮溶出量為 118.5 N mg/g-dry pack material，密度為 1.133 g/cm³，起始吸溼速率為 0.118 g H₂O/g-dry pack material，平衡含水量為 0.757g H₂O/g-dry pack material，起始和穩定失水速率分別為 0.040 和 0.021 g H₂O/day-g-dry pack material。這些結果顯示，竹碳人工濾料符合做為人工濾料的基本性質要求。當兩種人工濾料濾床的微生物的生長速率 k_g 值皆隨平均進口濃度的增加而降低。在進口濃度小於 800 ppm 區(低進口濃度)之下降速率較進口濃度大於 800 ppm 區(高進口濃度)的大。活性碳人工濾料的生長速率受進口濃度增加所產生的抑制效應較竹碳人工濾料的大。兩種人工濾料於穩定期之生物反應動力皆屬擴散控制零階反應。反應速率 k_d 值皆隨著平均進口濃度增加而降低，反應速率於高平均進口濃度會受到抑制。兩種人工濾料的反應速率於低濃度區受到進口濃度增加所產生抑制效應的影響均較於高濃度區的大。活性碳人工濾料的反應速率受進口濃度增加所產生的抑制效應較竹碳人工濾料的大。活性碳人工濾料和竹碳人工濾料濾床對於乙酸丁酯的最大去除能力分別為 122.627 和 111.648 g-C/h-m³ packed material。

六、參考文獻

1. 呂明鏞，“PVA/泥炭土複合材料做為生物濾床濾料之研究”，中華工學院土木工程研究所碩士論文，(1997)
2. 鄭瑞翔，“PVA/豬糞堆肥複合材料做為生物濾床濾料之研究”，中華大學土木工程研究所碩士論文，(1998)
3. 林宗逸，“含無機氮營養源之 PVA/泥炭土生物濾床濾料的合成與氮的釋放研究”，中華大學土木工程研究所碩士論文，(1999)
4. 蕭慧真，“聚乙烯醇/泥炭土/活性碳人工濾料之製程放大與動態吸附研究”，中華大學土木工程研究所碩士論文，(2001)
5. I. Abe, T. Fukuhara, J. Maruyama, H. Tatsumoto, S. Iwasaki. (2001), “Preparation of carbonaceous adsorbents for removal of chloroform from drinking water”, Carbon, Vol. 39, pp. 1069-1073
6. Q.W. Zhang, G.X. Wang. (2005), “Adsorption behavior of the Bamboo-carbon for Lead(Pb II)”, Journal of Lishui University, Vol. 27, NO. 5, pp. 60-63
7. T. Asada, T. Ohkubo, K. Kawata, K. Oikawa. (2006), “Ammonia Adsorption on Bamboo Charcoal with Acid Treatment”, Journal of Health Science, Vol. 52, NO. 5, pp. 585-589
8. E. Kawaguchi, R. Kobayashi. (2003), “Characteristics and functions of bamboo charcoal carbonized at different temperature – Effects of carbonizing temperature on reduction of residual chlorine, ammonia, and volatile organic compounds

(VOCs)”, Bulletin of the Kagoshima Prefectural Forest Experiment Station, Vol. 8, pp. 12-16

9. 陳弘彬, “孟宗竹炭與活性碳之研製”, 國立屏東科技大學森林系碩士論文, (2003)
10. Ottengraf, S.P.P., A.H.C.V.D. Oever. (1983), “Kinetics of Organic Compound Removal from Waste Gases with a Biological Filter”, Biotechnology and Bioengineering, Vol. 25, pp. 3089-3102

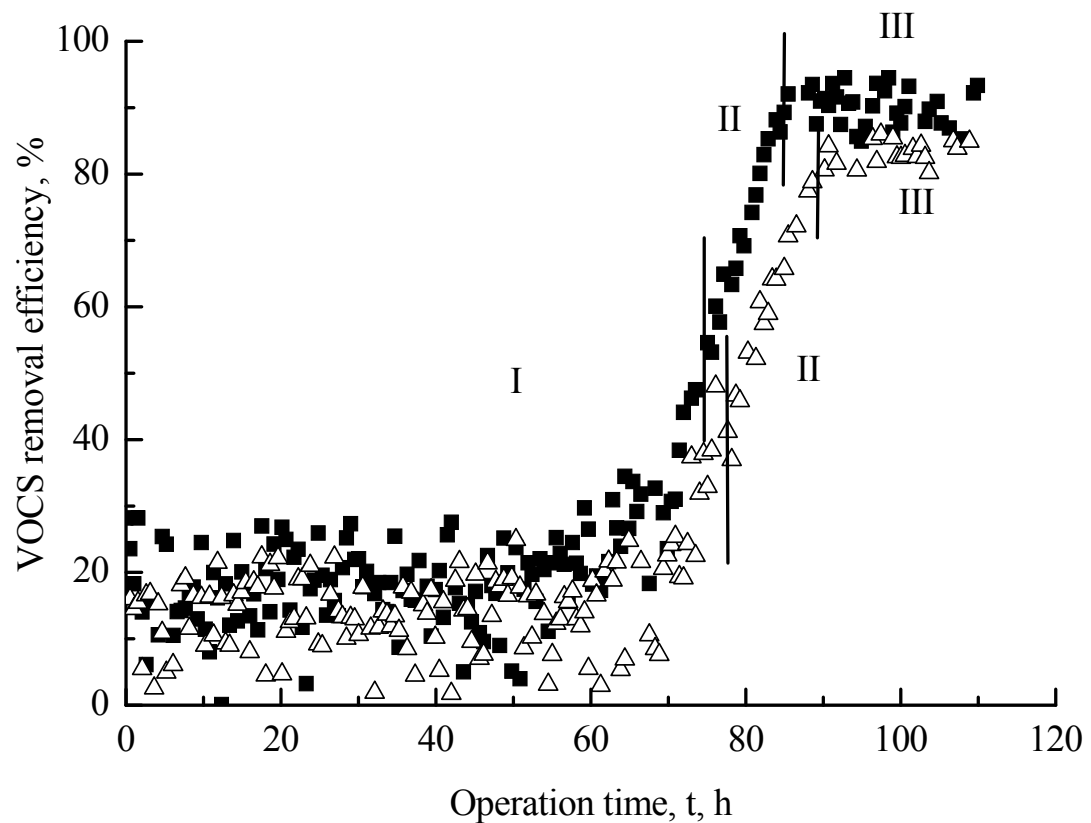


圖 1 進口濃度 $C_0=400$ ppm, 兩種不同材質人工濾料之去除率(%)與操作時間(t)關係圖。I：適應期，II：對數生長期，III：穩定期, (■) 竹炭人工濾料, (△) 活性碳人工濾料

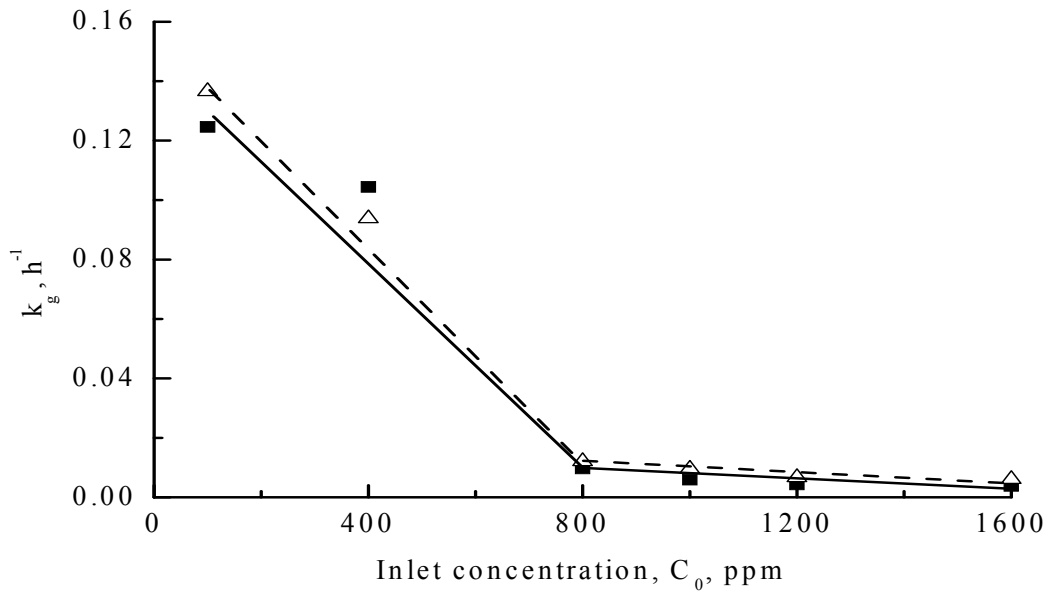


圖 2 兩種不同材質人工濾料，對數生長速率(k_e)與平均進口濃度(C_0)關係圖。(△, ---) 活性碳人工濾料，(■, —) 竹碳人工濾料

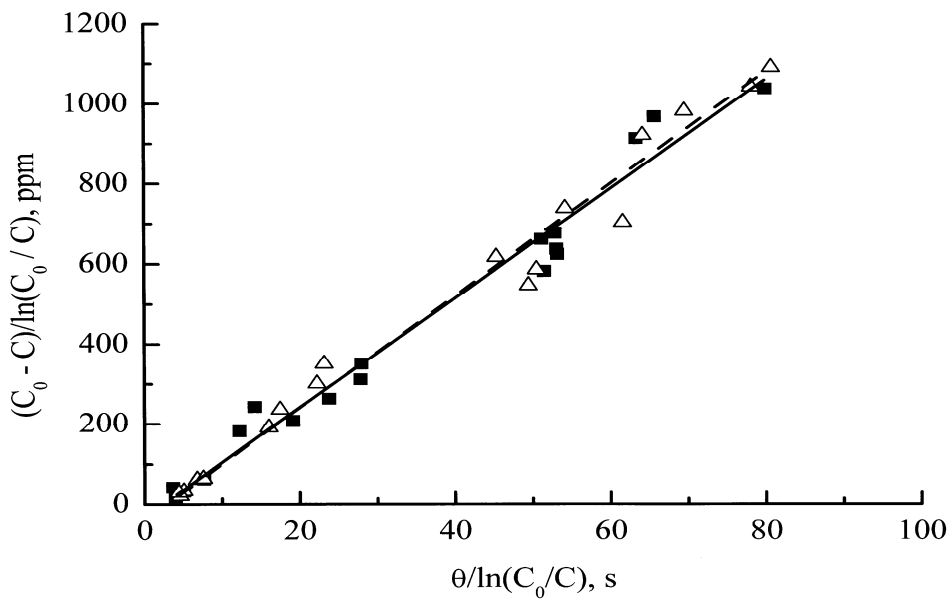


圖 3 穩定期，兩種不同材質人工濾料降解乙酸丁酯之 $(C_0 - C)/\ln(C_0/C)$ 與 $\theta/\ln(C_0/C)$ 關係圖。(△, ---) 活性碳人工濾料，(■, —) 竹碳人工濾料

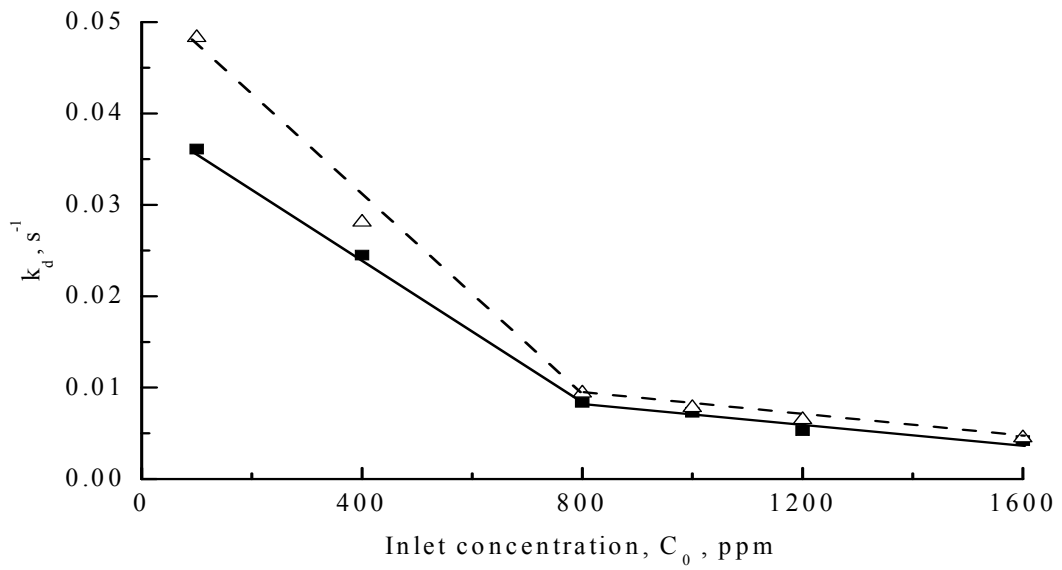


圖 4 兩種不同材質人工濾料，穩定期擴散控制零階反應之反應速率(k_d)與平均進口濃度(C_0)之關係圖。(△, ---) 活性炭人工濾料，(■, —) 竹碳人工濾料

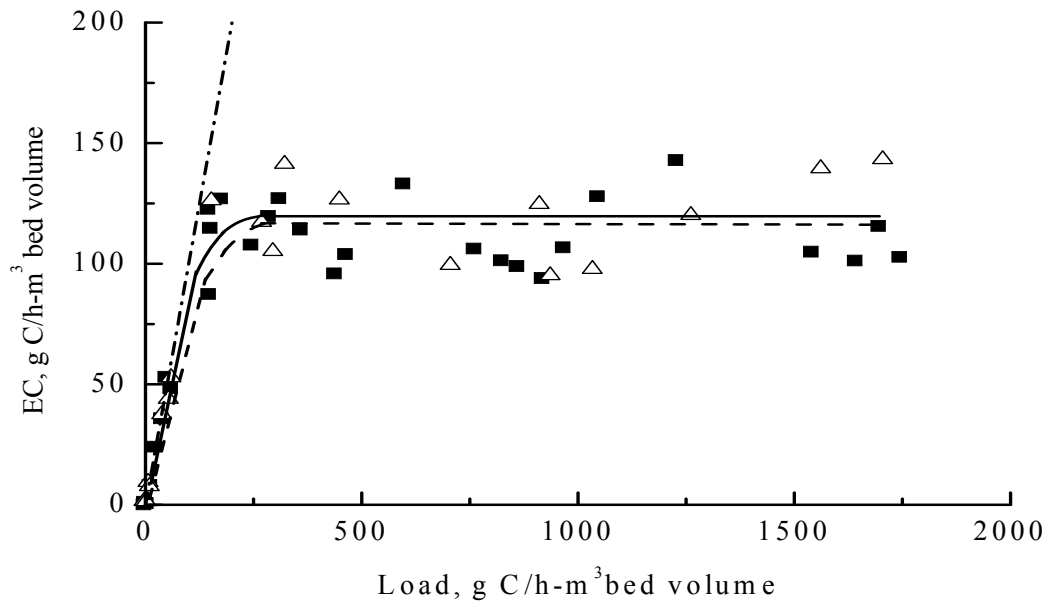


圖 5 兩種不同材質人工濾料，於乙酸丁酯濃度範圍為 100-1600 ppm，濾床去除能力(EC)與有機負載(Load)之關係圖。(⋯)完全去除能力，(—)實際去除能力。(△, ---) 活性炭人工濾料，(■, —) 竹碳人工濾料

無研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：詹武忠		計畫編號：98-2221-E-216-003-					
計畫名稱：竹碳做為生物濾床濾料之可行性研究							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	3	3	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

由於竹碳為本土材料，取得容易，且合成之竹碳人工濾料不會出現材質劣化、塌陷和壓損增加等一般天然濾料老化而導致降低濾床效率的問題，因此，在實用及經濟效益上，竹碳人工濾料極適合做為生物濾床人工濾料。此人工濾料為本實驗室自行開發成功價格低廉之本土化材料具有原創性，動力行為的分析模式為生物濾床首次提出具有創新性，研究成果可應用至濾床的設計與操作具有實用性。本計畫研究內容與原計畫完全相符，且達成竹碳人工濾料可做為生物濾床人工濾料及反應動力模式分析之預期目標，成果將發表在國內外學術期刊及應用在有機廢氣處理上。