

公開
 密件、不公開

執行機構(計畫)識別碼：090101Z102

行政院農業委員會農糧署九十五年度科技計畫 研究報告

資訊庫編號：952063

計畫名稱：將檳榔桿資源化成活性碳觸媒應用於受氯酚污染土壤之復育研究

Preparation of catalytic activated carbons from betel palm wastes and applications of chlorophenol-contaminated soils remediation.

計畫編號：95 農科-9.1.1-糧-Z1(2)

全程計畫期間：94 年 1 月 1 日至 95 年 12 月 31 日

本年計畫期間：95 年 1 月 1 日至 95 年 12 月 31 日

計畫主持人：劉瑞美

執行機關：嘉南藥理科技大學環境資源管理系

九十五年度農委會農糧署科技計畫研究報告書

計畫名稱：將檳榔桿資源化成活性碳觸媒應用於受氯酚污染土壤之復育研究

計畫編號：95農科-9.1.1-糧-Z1(2)

研究人員：劉瑞美 陳世雄 洪睦雅

執行單位：嘉南藥理科技大學環境資源管理系

摘 要

以檳榔桿作為製造活性碳觸媒之原料，製備過程經由含浸鐵鹽、水洗、烘乾、缺氧高溫(400°C)炭化及二氧化碳活化(850°C)後，活性碳觸媒具有顯著之微孔，由孔隙分析結果得知，活性碳比表面積(BET)介於413-582 m²/g，高含浸濃度對中孔隙的形成有利，低含浸濃度則有利於微孔隙的形成。將此型活性碳觸媒應用於氧化處理2,4-二氯酚之水相處理，研究結果顯示以溫度80 °C，過氧化氫0.1M處理及1g活性碳觸媒氧化去除率超過80%以上，其中反應溫度、溶液pH值與氧化劑劑量皆為反應效率之重要參數，進一步應用於模擬受2,4-二氯酚污染土壤之處理，於適當反應條件下，2,4-二氯酚去除率可達95%以上。反應溫度與氧化劑劑量對模擬2,4-二氯酚污染土壤之處理效率影響甚大。每單位公斤觸媒活性碳之製造成本約為新台幣82.66元。與傳統氧化處理相較，可節省單位處理成本且其效能明顯優於文獻所得之結果。

關鍵詞：檳榔桿、活性碳、觸媒、比表面積、氯酚、氧化

The study was to prepare the catalytic activated carbons from betel palm immersed with 0.1 M FeSO₄ solution and was employed for 2,4-dichlorophenol-contaminated soil treatment. Activated carbons with high porosity and surface area were by the low concentration salt immersion method. The model pollutant soils were oxidized with activated carbon and the isotherm behavior were also investigated. It was found that the 2,4-DCP adsorption capacity of modeling soils, red soil, slate alluvial soil and sandy alluvial soil, were very small. The pollutant adsorption capacities of modeling soils were following as: red soil and slate alluvial soil > sandy alluvial soil. The results showed that an over 95% 2,4-DCP removal can be achieved in oxidation. The investigation of this study also indicated that the reaction temperature, initial pH of solution and dosage of oxidant played the important roles in the catalytic oxidation. The capital and operational cost analysis for the catalytic system was also performed in this study. The obtained optimum conditions were applied to the process design of in situ remediation process of 2,4-dichlorophenol-contaminated soils.

一、前 言

氣酚又稱氯苯酚。氣酚類大多為無色晶體狀，易溶於乙醚與乙醇。近年來，快速降解毒性污染物及酚類污染物的方法大多採行高級氧化程序(Advanced Oxidation Processes, AOPs)，即利用氣酚的苯環上容易發生親電取代反應，由媒介(觸媒)和氧化劑(過氧化氫)反應後產生具強氧化能力的氫氧自由基(OH·)，由於具強氧化能力的氫氧自由基是極不穩定物質，在反應程序中急需於有機物中得到一個電子，因此在得到有機物之電子時會使有機物的結構受改變或是導致分解成小分子有機物，高級氧化處理的種類甚多⁽¹⁻³⁾，王等學者(2004)⁽⁴⁾利用活性碳觸媒氧化法處理水中氫醌污染物，研究中顯示活性碳觸媒氧化法對氫醌有良好氧化效率，氧化反應中活性碳觸媒量越高則氫醌去除效率也會隨之增加，氧化反應於 pH 值在 3~7 之間污染物之去除效率較 pH 9 時為佳，氧化系統中反應溫度越高則最終氧化效率越好。

Chen et al. (2004)⁽⁵⁾利用濕含浸法合成不同擔體之CeO₂擔體觸媒，並測試其對含酚廢水濕式氧化反應之催化效能，以篩選出最佳活性者。研究結果顯示，在所測試擔體中(γ-Al₂O₃、SiO₂、TiO₂、AlPO₄-5、商業化CeO₂)，以CeO₂/γ-Al₂O₃活性最佳，當反應溫度為180°C，添加3.0g/L之CeO₂/γ-Al₂O₃(含浸量20wt%)時，反應2小時酚(1000ppm)降解率可達100%，COD去除率亦達到約80%，由O₂-TPD結果顯示是因為具有較多之可交換結構氧，而H₂-TPR結果顯示其有較強的氧化反應活性位置及較分散之CeO₂。

Oliveira et al. (2004)⁽⁶⁾研究過氧化氫的氧化反應，例如：在活性碳存在下，利用H₂O₂的分解作用處理水溶液中有機物的氧化反應。研究結果顯示，活性碳通氫氣下，煅燒溫度分別為300、500、700、800°C對H₂O₂的分解及氧化，其活性有增加的趨勢。TG及碘滴定分析得知，於製備活性碳通氫氣時，溫度控制在300、

500、700、800°C，活性碳架構中獲得的還原位置分別為 0.53、0.59、0.65、0.60mmol/g。活性碳的還原位置可使 H₂O₂ 產生氫氧自由基，進而造成過氧化氫分解或有機水溶液氧化的競爭，儘管 H₂O₂ 的分解機制，仍無法完全了解，但反應過程中會產生電子上的轉移程序。根據這些機制，初始反應可能是藉由還原位置移轉一個電子給過氧化氫進而產生氫氧自由基；或是藉由過氧化氫的反應移轉一個電子給氧化位置產生 HOO·⁽⁷⁻¹¹⁾。先前較少有研究學者針對此方面進行高級氧化程序之研究，故本研究欲利用濕含浸化學活化法將椰殼絲含浸於鐵鹽溶液中，利用高溫炭化將鐵鹽燒結於活性碳表面形成活化位置，所開發之含 Fe 活性碳觸媒配合雙氧水氧化來處理模擬受酚污染之土壤，藉以探討此型活性碳觸媒於氧化處理過程中對污染土壤中酚之降解能力，並以各種氧化反應變數之探討期望能快速完全將酚降解，於批次實驗中變化多項實驗條件(如：有無添加氧化劑、觸媒劑量、反應溫度、過氧化氫濃度等)，探討影響氧化反應系統之變數，藉以驗證活性碳觸媒氧化程序之可行性並尋求最佳之反應條件。

本研究 89、90、91、92 年度之計畫選用各種農業廢棄物做為活性碳之製備材料以製出低成本活性碳，以含浸化學活化劑處理，探討熱裂解過程對碳化產物化學性質之影響。結果顯示以磷酸進行化學性活化所製備出的活性碳品質較佳，最終活化時間之長短對活性碳成品之表面 pH 值、灰份含量與含水率之變化影響不大，高含浸劑濃度將使活性碳成品之灰分含量及表面親水特性降低，以 0.3 M 磷酸於 800 °C 活化 1 小時所得之活性碳品質最佳，對有機染料之去色效果可達 95.6%；並且於往後年度計畫執行成果中發現以鐵載入之活性碳具備有良好之氧化催化效果，結果顯示製備過程中含浸劑濃度與最終活化溫度對活性碳之吸附及表面性質影響甚大，但考量其氧化特性時其氧化催化效果與鐵含量成正比之情形。

93、94 年度之計畫選用不同鐵載量與活化程序處理高碳質之農業廢棄物(椰殼)製成農藥氧化處理的觸媒擔體，應用於氧化處理單元，探討熱裂解過程對碳化產物化學性質之影響。以鐵型觸媒活性碳處理含甲基巴拉松、巴拉刈、丁基拉草

與納乃得等不同特性之農藥，藉由觸媒活性碳之表面官能基分析、孔隙特性探討與農藥污染物之基質質傳特性等了解，將農業廢棄物以觸媒活性碳擔體材料藉由氧化反應產物探討其對農藥污染物之氧化效率，發現應用於實場污染處理可以有效降解有機污染物與含甲基巴拉松、巴拉刈、丁基拉草與納乃得等不同特性之農藥。本研究已於模擬受氯酚污染土壤系統中完成氧化處理效率之評估，未來若能依土壤之特性與污染物種類將此氧化型碳觸媒應用進而建立一可行之現地或現場處理程序，從氧化碳觸媒之製備技術、氧化反應之起始方式及土壤中污染物之種類，整合有效之碳觸媒氧化技術實施於田間或現場試驗並配合適當之反應條件達到降解土壤中污染物之目的，並達成有效快速無害之土壤復育整治之目標。

二、材料與方法

1. 活性碳觸媒之製備

選取高含碳量的農業廢棄物，如：椰殼等，經過破碎、篩選、水洗、乾燥等處理以除去原料中之雜質後備用，以環境相容性良好之鐵化合物進行化學活化方式製備活性碳，利用硫酸亞鐵 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 作為活化劑，並採取高溫震盪加热的濕含浸方式讓硫酸亞鐵能快速且均勻的分布於椰殼纖維素結構，以得到最高含浸量之原料，將此原料以碳化程序進行熱裂解(pyrolysis)，以去除非碳物質，使之成為具有固定性與基礎性之多孔性結構與自由裂隙的碳質體，並進一步以固定速率升溫，升溫到達所需之活化溫度，恆溫停留60分鐘以上以達活性碳所需之孔隙活化效果，待降至室溫後取出，即可得到活性碳觸媒成品。

2. 活性碳觸媒之表面物理特性

活性碳觸媒之孔隙特性對農藥之吸脫附特性有顯著之影響，物理性質分析項目，包括：以掃瞄式電子顯微鏡(SEM)觀察表面形態、以微孔隙分析儀測定BET比表面積，孔隙分布與孔徑大小等。

3. 活性碳觸媒之表面化學性質

活性碳觸媒之表面化學性質對氧化反應性與吸附特性有顯著影響，活性碳觸媒之化學性質分析項目，包括：表面pH值、表面Fe含量、表面化學官能基之種類與含量等，以了解觸媒活性碳之氧化能力受基材之孔隙特性與表面化學性質之影響程度。

(1) . 孔隙結構測試

以氮氣吸附方式量測，使用的儀器是以微孔分析儀(Micromeritics ASAP2010)利用氮氣，在-196 °C下進行等溫吸附，利用吸附數據推算出活性碳的 BET 表面積、微孔體積、中孔體積和平均孔徑，再將活性碳的吸附能力和孔隙結構進行比較。

(2) . 活性碳之表面特性分析

以掃瞄式電子顯微鏡(SEM)觀察活性碳之表面形態，以X光繞射分析儀(XRD)觀察活性碳表面的鐵之結晶形態，以元素繞射掃描儀(EDS)觀察活性碳之鐵含量。

4. 觸媒活性碳之氧化效率探討

以本研究室所製備之活性碳觸媒應用於氯酚污染土壤系統中完成氧化處理效率之評估，以批次方式將各測試農藥置於反應瓶內，於特定反應條件下進行氧化反應，並以不加碳質體做為對照組，探討活性碳觸媒對氯酚污染土壤反應效率與其影響因子。

5. 氯酚分析方法

氯酚之濃度測定：係以高效能層析儀 (HPLC, JASCO PU-1580)，配合 UV 偵測器 (JASCO UV-1575) 分析之，分析管柱為 Intersil C-18 column，流動相則為甲醇與水 (65 : 35, v/v) 之混合液，流速 1.0mL/min 並以 254nm 作為偵測分析之波長。

三、結果與討論

一、硫酸亞鐵含浸濃度對活性碳結構特性之影響

表 1 為不同硫酸亞鐵含浸濃度所製備出活性碳孔洞體積比例，圖中的微孔比例是以 D-R 方程式所計算出來再除總孔體積，中孔比例是以減去 D-R 方程式所計算出之微孔比例而來，顯示未經含浸的活性碳在孔洞比例以微孔最多，而經過含浸所製備的活性碳微孔比例隨含浸濃度增加而下降，中孔比例則相反，這是由於活性碳含浸濃度的高低決定表面孔隙性的好壞，一般而言，在一適當含浸濃度範圍內，鐵顆粒的催化作用可以有效的形成孔隙性及完整的碳結構，當含浸濃度添加至過量，將會導致過度的催化作用，讓已形成之微、中孔因而擴張其孔洞寬度，進而使孔洞崩潰或形成中、巨孔等，破壞孔隙形成之效果。由此可加以證明含浸硫酸亞鐵之活化效應是存在活化程序中，且當硫酸亞鐵含浸濃度增多時形成微孔隙變少且中孔比例亦有隨之增加之現象。

二、活性碳觸媒/過氧化氫系統處理液相氯酚污染之影響因子探討

1. 溫度效應(氯酚水溶液)

芬頓反應 (Fenton reaction) 可於室溫即可有效進行反應，而本研究所製備出含鐵活性碳觸媒其表面鐵為三氧化二鐵之型態，因此本實驗以不同溫度進行氧化反應測試，來探討反應溫度對反應起始及整體氧化效能的影響。

圖 1 為活性碳觸媒對五氯酚及二氯酚不同反應溫度之氧化降解之關係，圖中的活性碳觸媒氧化 2,4-二氯酚與五氯酚的結果顯示，反應溫度對於氧化效率影響差異甚大，反應溫度於 60°C 時，對於五氯酚及 2,4-二氯酚的降解在 140 分鐘內幾乎 100% 的轉換，由此可知，低溫狀態下五氯酚及 2,4-二氯酚溶液的降解速率較為緩慢。其可能之原因為活性碳觸媒為一非均相觸媒，其起始反應較如芬頓反應系列之均相觸媒有較少之碰撞機會，所以其反應活化能可能相對較高，由圖 1a 與 1b 亦可觀察得知溫度之升高有利於反應速率之增加。

2. 活性碳觸媒金屬含量效應

以不同活性碳金屬含量對含氯酚溶液進行氧化作用的反應影響，本研究分別以 0.01、0.05 及 0.1M 活性碳觸媒、0.1 M 過氧化氫、反應時間為 180 分鐘及溫度

80°C 等操作條件下，結果顯示活性碳添加量對土壤懸浮液之最終酚降解率影響大，對反應速率快慢有顯著影響，以金屬含量最少 0.01M 而言，最快反應完成降解 50% 及 70% 且要 120 分鐘，但在活性碳金屬含量為 0.05M 時，對 2,4-二氯酚很快即有降解效果但對五氯酚之氧化效果較差，而當活性碳金屬含浸劑濃度提升至 0.1M 時，則氯酚溶液氧化作用逾 20 分鐘已幾乎反應完全，由結果得知水樣中的氯酚氧化效率受活性碳的金屬含量之影響，但是對於系統而言，金屬含量的增加有利於水相中氯酚氧化降解。

3. 氧化劑效應

利用活性碳觸媒氧化法對酚的降解過程中，過氧化氫扮演著重要的角色。因此本研究分別以 0.01M、0.05M、0.1M、0.2M 之 H_2O_2 ，1.5g 的活性碳，反應時間為 180 分鐘，溫度控制在 80°C，pH 值不調整的條件下進行氧化反應。探討此系統之氧化效率，結果發現反應過程中過氧化氫量高於 0.05 M 以上即有良好之降解能力，對 2,4-二氯酚之氧化降解，低劑量 (0.01M) 過氧化氫雖降解速率較慢，但最終降解去除率仍可達到 90%，而高劑量 (0.1M) 的降解去除率在反應 40 分鐘就可達到 95% 以上，反應時間的延長對氯酚的降解去除率沒有影響，但對五氯酚之氧化降解，低劑量 (0.01M) 過氧化氫效果較好，而高劑量 (0.1M) 的降解去除率在反應 40 分鐘僅可達到 50%，活性碳觸媒之氧化反應可能類似於 Fenton 系統，主要是利用氫氧自由基來起始氧化反應，而過氧化氫劑量可決定自由基數量，自由基數量之多寡也決定反應速率，通常過氧化氫經氧化反應解離並形成氫氧自由基，而本研究利用過氧化氫進行類 Fenton 反應生成自由基，當反應系統中 H_2O_2 濃度增加則會相同地增加溶液中自由基之數目，進而提高反應系統中氯酚的降解速率。

三、活性碳觸媒/過氧化氫系統處理土壤氯酚污染之影響因子探討

1. 測試土壤特性

表一為土壤之物理化學特性，三種土壤之砂粒含量差異不大，而粘粒含量差

異顯著，其中以砂頁岩沖積土含量最低，而在土壤酸鹼值，紅壤與粘板岩沖積土為酸性土壤，砂頁岩沖積土則為中性土壤。土壤有機質與鐵離子含量，紅壤之含量明顯較另二種土壤低，與砂頁岩沖積土與粘板岩沖積土之鐵離子含量達400~500 mg kg⁻¹。

2. 不同土壤對 2,4-二氯酚吸附試驗

氧化系統中土壤與觸媒活性碳對於酚吸附與氧化存在競爭分配關係，本研究於不加氧化劑條件下將活性碳與含酚污染之土壤進行吸附試驗。如圖一所示，其他反應條件：溫度 80°C、時間 180 分鐘，pH 值不控制，比較不同土壤與添加之觸媒活性碳對酚的吸附率。由圖一顯示，將觸媒活性碳加入含 250 mg/L 酚之土壤懸浮液時，只有 50%左右的最終吸附去除率，粘板岩土壤懸浮液的吸附量高於其他二種土壤。結果顯示只添加觸媒活性碳時，最終去除率不理想且所需之平衡吸附時間亦需 120 分鐘，因此利用觸媒活性碳與土壤之吸附作用無法將酚污染物完全移除，如欲完全降解土壤中之酚污染物，除利用吸附作用以外，需應用更有效率之處理措施，由結果得知，土壤對 2,4-二氯酚之吸附量：紅壤 > 粘板岩 > 砂頁岩。

3. 含氯酚土壤懸浮液之氧化劑效應

利用活性碳觸媒氧化法對酚的降解過程中，過氧化氫扮演著重要的角色。因此本研究分別以 0.01M、0.05M、0.1M、0.2M 之 H₂O₂、1.5g 的活性碳，反應時間為 180 分鐘，溫度控制在 80°C，pH 值不調整的條件下進行氧化反應。探討此系統之氧化效率，結果發現反應過程中過氧化氫量高於 0.05 M 以上即有良好之降解能力，低劑量 (0.01M) 過氧化氫雖降解速率較慢，但紅壤、粘板岩、砂頁岩最終降解去除率仍可達到 70%，而高劑量 (0.1 M) 的降解去除率在反應 120 分鐘就可達到 95%以上，反應時間的延長對酚的降解去除率有影響。活性碳觸媒之氧化反應可能類似於 Fenton 系統^[8]，主要是利用氫氧自由基來起始氧化反應，而過氧化氫劑量可決定自由基數量，自由基數量之多寡也決定反應速率，通常過氧化氫經

氧化反應解離並形成氫氧自由基，而本研究利用過氧化氫進行類 Fenton 反應生成自由基，當反應系統中 H_2O_2 濃度增加則會相同地增加溶液中自由基之數目，進而提高土壤懸浮液中酚的降解速率， H_2O_2 濃度增加對於氧化之降解效果依序為紅壤 < 砂頁岩 < 粘板岩。

3. 溫度效應對含氯酚土壤懸浮液氧化反應之影響

為進一步瞭解活性碳觸媒對於不同反應溫度下對氧化效率之影響以溫度分別以 $40^\circ C$ 、 $80^\circ C$ 等操作條件下進行反應，其他條件不變(1.5g 的活性碳、0.1M 過氧化氫、反應時間為 180 分鐘)，由實驗結果得知，最終的降解去除率和反應時間隨反應溫度的上升而提升，比較值得注意的是砂頁岩沖積土，不管溫度為多少，最終的降解去除率都有 90% 以上，其他兩種土壤最終的降解去除率都隨反應溫度的上升而提升，在溫度 $80^\circ C$ 時，三種土壤就都有 90% 以上，然反應完成時間較長，例如：粘板岩沖積土必須要經過 150 分鐘才有 90% 以上的降解去除率，溫度 $80^\circ C$ 時，除了最終的降解去除率都有 90% 以上，反應完成的時間也大大地縮短，一般都在反應一小時後就有 90% 以上的去除率，由本研究結果得知，溫度在反應過程中扮演著極為重要的角色視為反應速率之影響因子，當溫度低於 $40^\circ C$ 時此階段反應速率較為緩慢，但提高反應溫度反應速率明顯加快，去除效率也倍增，一般而言以溫度在 $80^\circ C$ 時的反應是最為理想的。

4. 觸媒活性碳劑量變化

以不同活性碳添加量對土壤懸浮液中酚污染物水溶液進行氧化作用的反應影響，本研究分別以 0.5、1 及 1.5 g 的活性碳觸媒 (0.5 M 硫酸亞鐵溶液)、0.1 M 過氧化氫、反應時間為 180 分鐘及溫度 $80^\circ C$ 等操作條件下，結果顯示活性碳添加量對土壤懸浮液之最終酚降解率影響不大，僅對反應速率快慢有影響，以添加量最少的 0.5 g 而言，最快反應完成的沖積土要 30 分鐘，而最慢的紅壤反應時間也要有 120 分鐘，但在活性碳添加量為 1.0 克以上時，砂頁岩沖積土最快反應完成所需時間雖然還是為 30 分鐘，而紅壤則縮為 80 分鐘，1.5 克時除了砂頁岩沖積土縮為

20 分鐘以外，其他土壤的反應完成時間並沒有太大變化。結果顯示由於水樣中的氯酚早被定量的活性碳的劑量給降解完了，但是對於系統而言並沒有發揮更好的作用，即使加入更多活性碳的劑量也只是加速反應的進行但在處理效果上並無提升之作用。

四、觸媒活性碳之製備成本化系統操作成本分析

以本研究所開發之製備方法所製成之觸媒活性碳，每單位公斤觸媒活性碳之製造成本約為新台幣82.66元（估算示如表3），較傳統以吸附為主之商業活性碳單價略高，然未來若能以實場大量生產，應能降低成本。而將傳統之Fenton處理系統操作成本估算與Fe-AC氧化法估算如表4所示，在不包括設備及人事費用下，操作費用約為83.41及77.65元/m³廢水，比較其材料與操作成本活性碳觸媒氧化法與傳統氧化處理相較，可節省單位處理成本。

四、結 論

經由本研究大致上可以獲得以下幾個論點：

- 一. 以高溫濕含浸檳榔桿製備觸媒活性碳，高含浸濃度對中孔隙的形成有利，低含浸濃度則有利於微孔隙的形成，不論是單一觸媒活性碳與土壤之吸附是無法將酚污染物完全移除，欲降解酚污染之土壤性質影響吸附性質不大，土壤對2,4-二氯酚之吸附量：紅壤 > 粘板岩 > 砂頁岩。
- 二. 氧化反應過程提升過氧化氫的濃度，也直接提升降解去除率，因過氧化氫增加了自由基的數量，自由基數量的多寡促進決定反應速率，但過量之過氧化氫加到一定程度時，降解去除率也不會再提升，以活性碳觸媒/過氧化氫系統反應條件處理三種模擬 2,4-二氯酚污染土壤，於適當反應條件下，2,4-二氯酚去除率可達95%以上。
- 三. 反應溫度與氧化劑劑量對模擬氯酚污染土壤之處理效率影響甚大，活性碳觸媒量增加可有效提升酚的最終的降解去除率，於適宜觸媒含量之範圍下，污染物

被氧化降解速率正比於觸媒量增加。

- 四. 提高反應溫度可明顯加快反應速率，酚去除效率也倍增，鐵活性碳觸媒/H₂O₂的系統因Fe⁺³觸媒反應會受到不同溫度條件影響，需藉由高溫提升觸媒催化能力，且無法像Fenton法於常溫下進行酚去除效試驗。
- 五. 每單位公斤觸媒活性碳之製造成本約為新台幣82.66元。與傳統氧化處理相較，可節省單位處理成本。

五、參考文獻

1. A. Fortuny, J. Fontb, A. Fabregat, "Wet air oxidation of phenol using active carbon as catalyst", Applied Catalysis B: Environmental, 19: 165-173, 1998.
2. B. Tryba, A.W. Morawski, M. Inagaki, "Application of TiO₂-mounted activated carbon to the removal of phenol from water", Applied Catalysis B: Environmental, 41: 427-433, 2003.
3. M. S. Han, B. G. Lee, B.S. Ahn, D. J. Moon, S. I. Hong, "Surface properties of CuCl₂/AC catalysts with various Cu contents: XRD, SEM, TG/DSC and CO-TPD analyses", Applied Surface Science, 211: 76-81, 2003.
4. 王冠蓉、陳世雄、劉瑞美、許菁珊、洪睦雅、施琦玉、洪英欽、許人偉, "以活性碳觸媒氧化法處理水溶液中氫醌之反應條件探討"。嘉南學報, 30, pp.121-130. 2004。
5. I. P. Chen, S. S. Lin, C. H. Wang, L. Chang, J. S. Chang, "Preparing and characterizing an optimal supported ceria catalyst for the catalytic wet air oxidation of phenol", Applied Catalysis B: Environmental, 50: 49-58, 2004.
6. L. C.A. Oliveira, C. N. Silva, M. I. Yoshida, R. M. Lago, "The effect of H₂ treatment on the activity of activated carbon for the oxidation of organic contaminants in water and the H₂O₂ decomposition", Carbon 42: 2279-2284, 2004.

7. S.F. Kang, C.H. Liao, M.C. Chen, Pre-oxidation and coagulation of textile wastewater by the Fenton process, *Chemosphere* 46:923-928, 2002.
8. M. Pérez, F. Torrades, X. Domènech, J. Peral, Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents, *Water Research* 36: 2703-2710, 2002.
9. V. Kavitha, K. Palanivelu, Destruction of cresols by Fenton oxidation process, *Water Research* 39:3062-3072, 2005.
10. S.Y. Oh, P. C. Chiu, B. J.Kim, D. K.Cha., Enhancing Fenton oxidation of TNT and RDX through pretreatment with zero-valent iron, *Water Research* 37: 4275-4283, 2003.
11. A. Bozzi, T. Yuranova, P.Lais, J. Kiwi,,Degradation of industrial waste waters on Fe/C-fabrics. Optimization of the solution parameters during reactor operation. *Water Research* 39:1441-1450, 2005.

Table 1. Pore properties of activated carbon

	0.01M	0.03M	0.05M	0.1M
BET(m ² /g)	582	413	542	515
Vt(cm ³ /g)	0.256	0.186	0.370	0.379
Vmic(cm ³ /g)	0.190	0.130	0.150	0.146
Vmic/ Vt(%)	73.6	69.8	40.5	39.0
D(Å)	18.6	19.1	30.8	14.7

活性碳製備條件: 升溫速率 10°C/min、碳化氣體 N₂ 50ml/min、活化氣體 CO₂ 200ml/min、煅燒溫度 850°C。

Table 2. Physical and chemical properties of the tested soils

	Soil type		
	Red soil	Sandy alluvial soil	Slate alluvial soil
Texture	Clayey loam	Silty loam	Clayey loam
Sand (%)	26.2	24.8	28.2
Silt (%)	41.5	64.2	41.0
Clay (%)	32.3	11.0	30.8
pH	4.36	7.10	5.86
O.M. (%)	1.76	1.42	3.13
Fe (mg kg ⁻¹)	41 ± 2.2	423 ± 6.6	540 ± 16.1

Table 3. Capital and operation cost for production of Fe-activated carbon catalyst

Item	Cost	Unite cost per Kg
<i>Cost^a</i>		
Oven ^b	NT 95,000	NT 0.25
Labor ^c	NT 18,000	NT 0.03
Total	NT 113,000	NT 0.28
<i>Operational cost per cycle</i>		
Material ^d	NT 150	NT 6.5
Energy ^e	NT 20.5	NT 60
Disposal ^f	NT 120	NT 5.2
labor ^g	NT 210	NT 10.68
Total		NT 82.38
<i>Total Cost</i>		NT 82.66

a: Based on a design life 10 years

b: Cost of all materials to construct pilot plant

c: Labor Cost for construction (90h at NT\$120/h)

d: Raw material cost (coconut shell and inert gas)

e: Energy cost per one tank

f: Disposal per one cycle

g: Labor cost per one cycle

Table 4. Operation cost for Fe-AC oxidation and Fenton treatment (cost/M³ wastewater)

Item	Fe-AC	Fenton
<i>Operational cost per cycle</i>		
Catalyst material ^d	3kg* 472 NT/Kg /200 life time = NT 14.1/ M ³	----
H ₂ O ₂	18.64/Kg*0.28kg/M ³ =NT 5.21/ M ³	18.64/Kg*0.28kg/M ³ =NT 5.21/ M ³
FeSO ₄	---	NT 12/ M ³
NaOH	NT 56/ M ³	NT 56/ M ³
Energy cost	NT15.2(stirring and heating)	NT10.2(stirring)
Waste treatment	-----	<i>Should be considered</i>
<i>Total Cost</i>	NT 90.51	NT 93.41

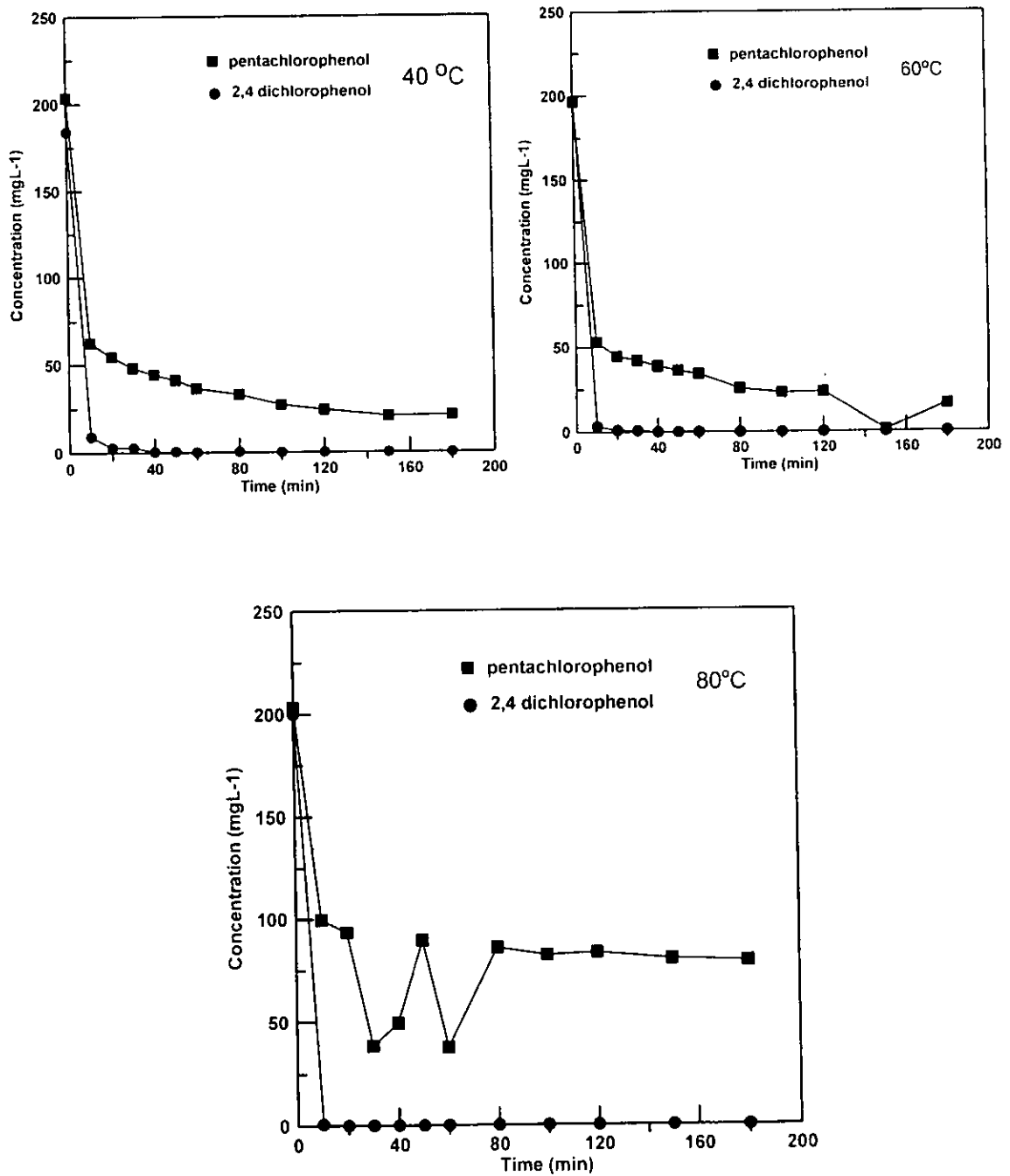


圖 1、反應溫度對溶液相中五氯酚及 2,4-二氯酚氧化降解活性之影響

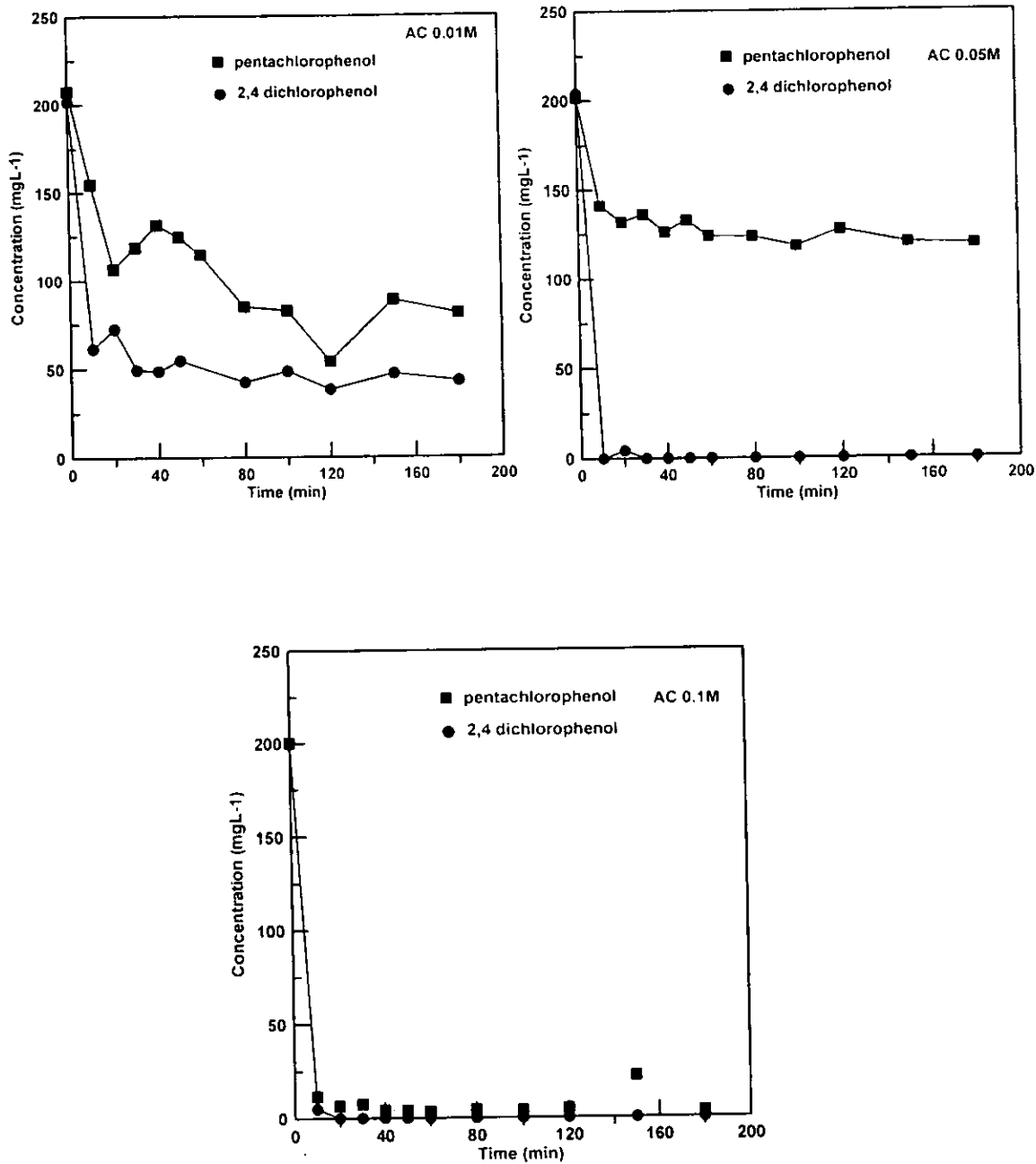


圖 2、不同含浸劑濃度下製成之觸媒活性碳對五氯酚及 2,4-二氯酚之氧化作用

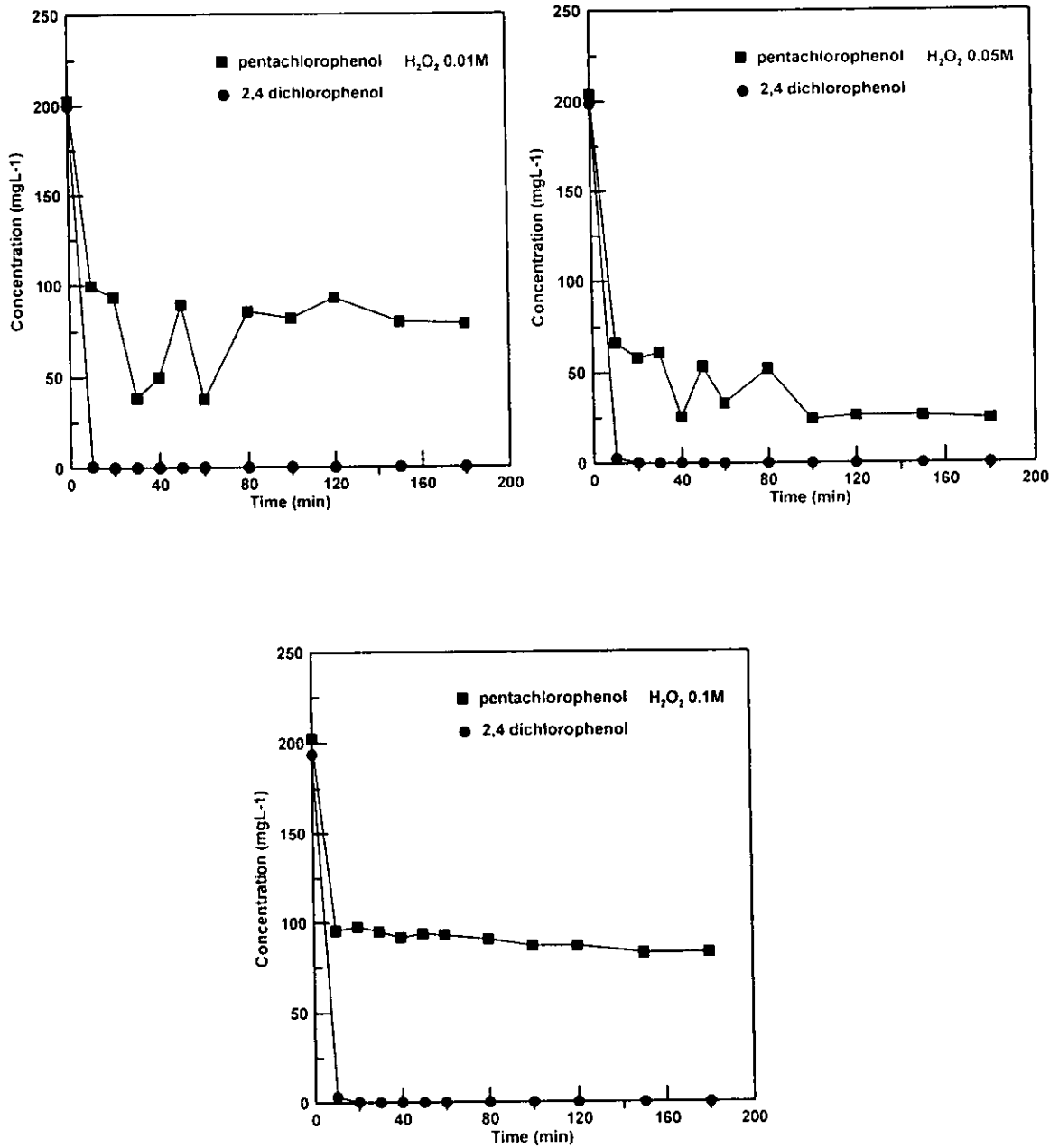


圖 3、過氧化氫含量對五氯酚及 2,4 二氯酚氧化降解活性之影響

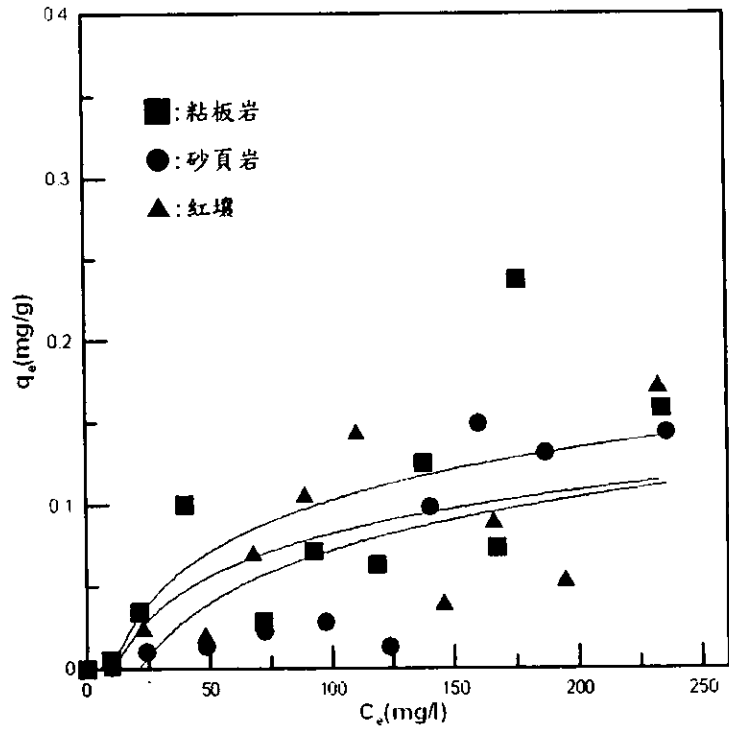


圖 4a、測試土壤對五氯酚之吸附試驗

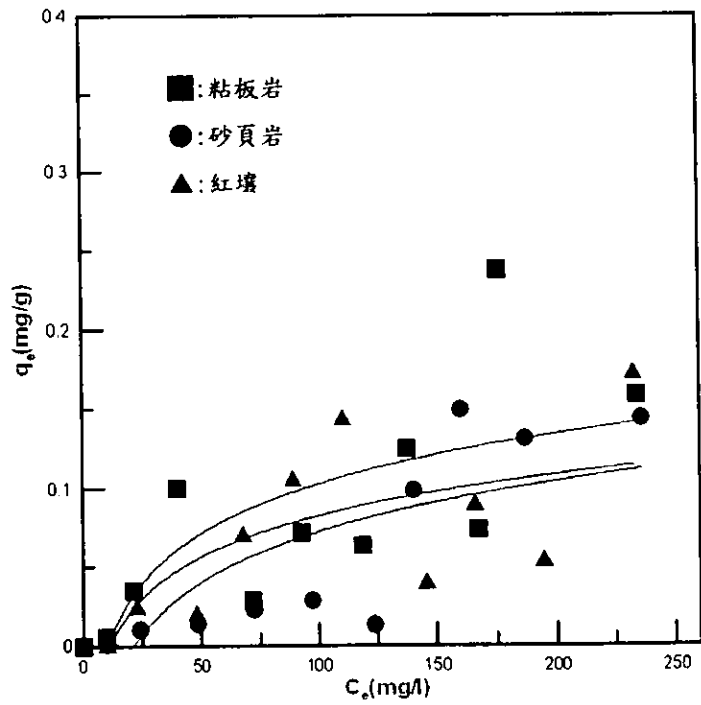


圖 4b、測試土壤對 2,4-二氯酚之吸附試驗

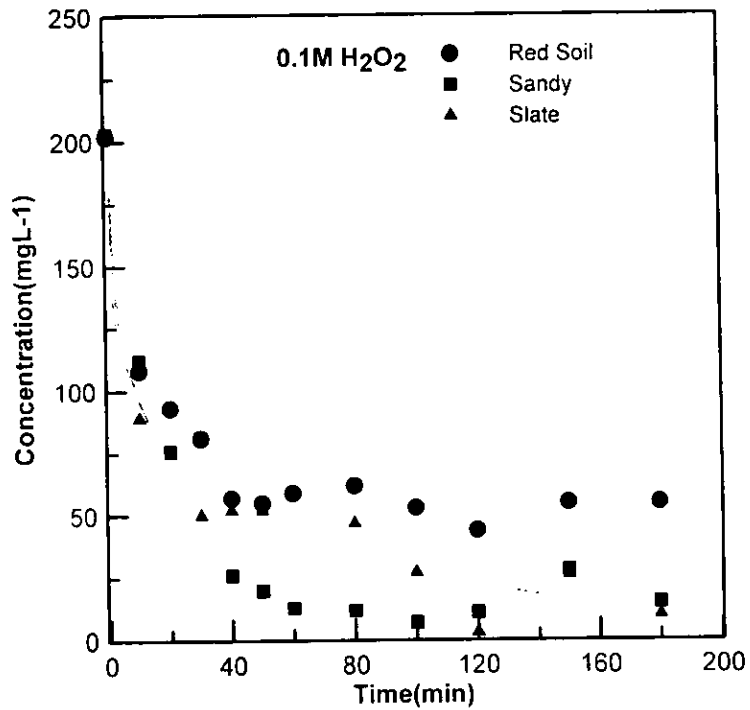
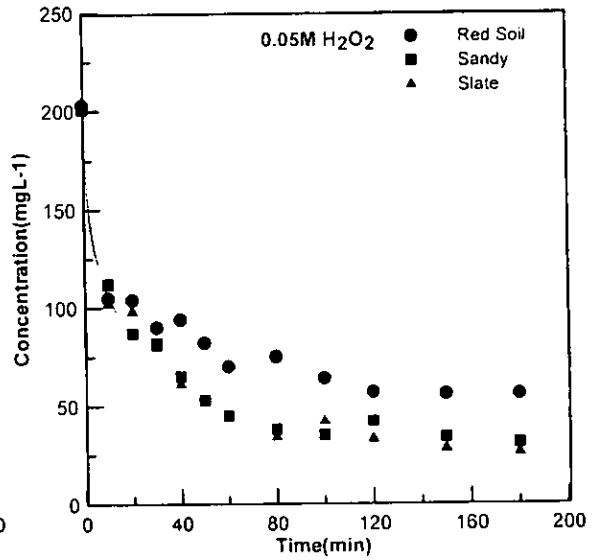
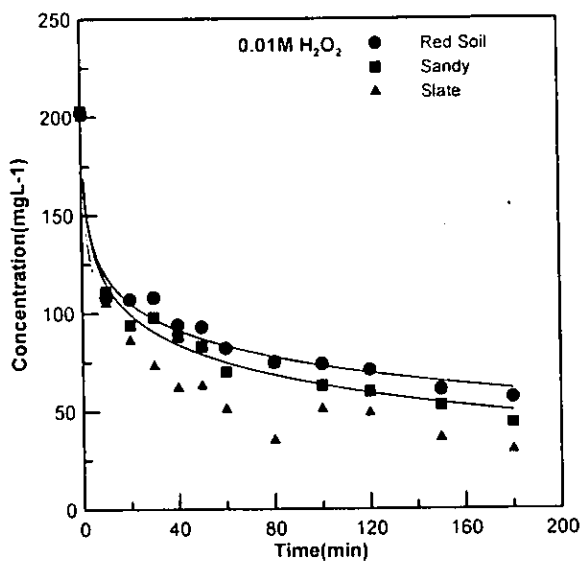


圖 5、過氧化氫濃度對土壤懸浮液中 2,4-二氯酚氧化作用之影響

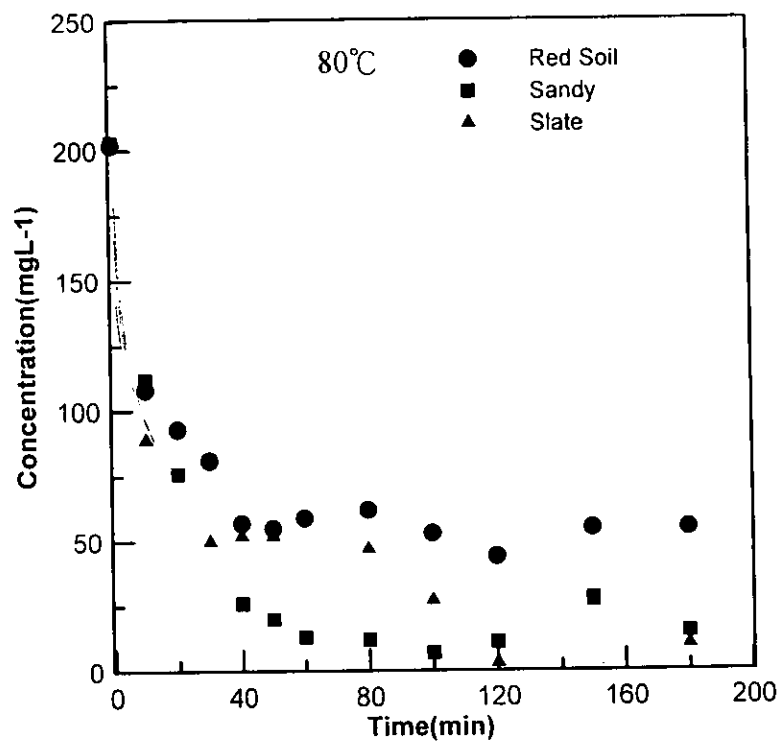
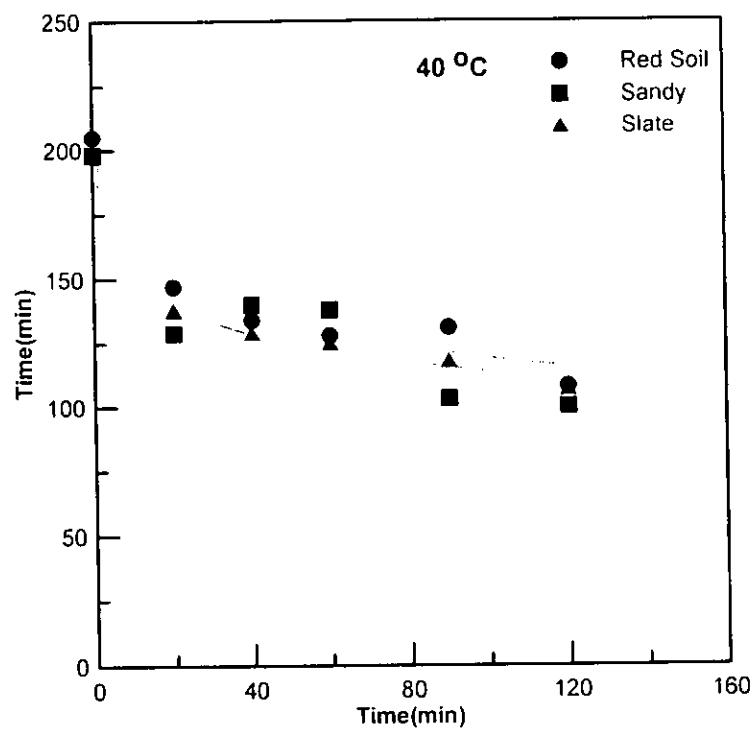


圖 6、反應溫度對土壤懸浮液中 2,4-二氯酚氧化作用之影響

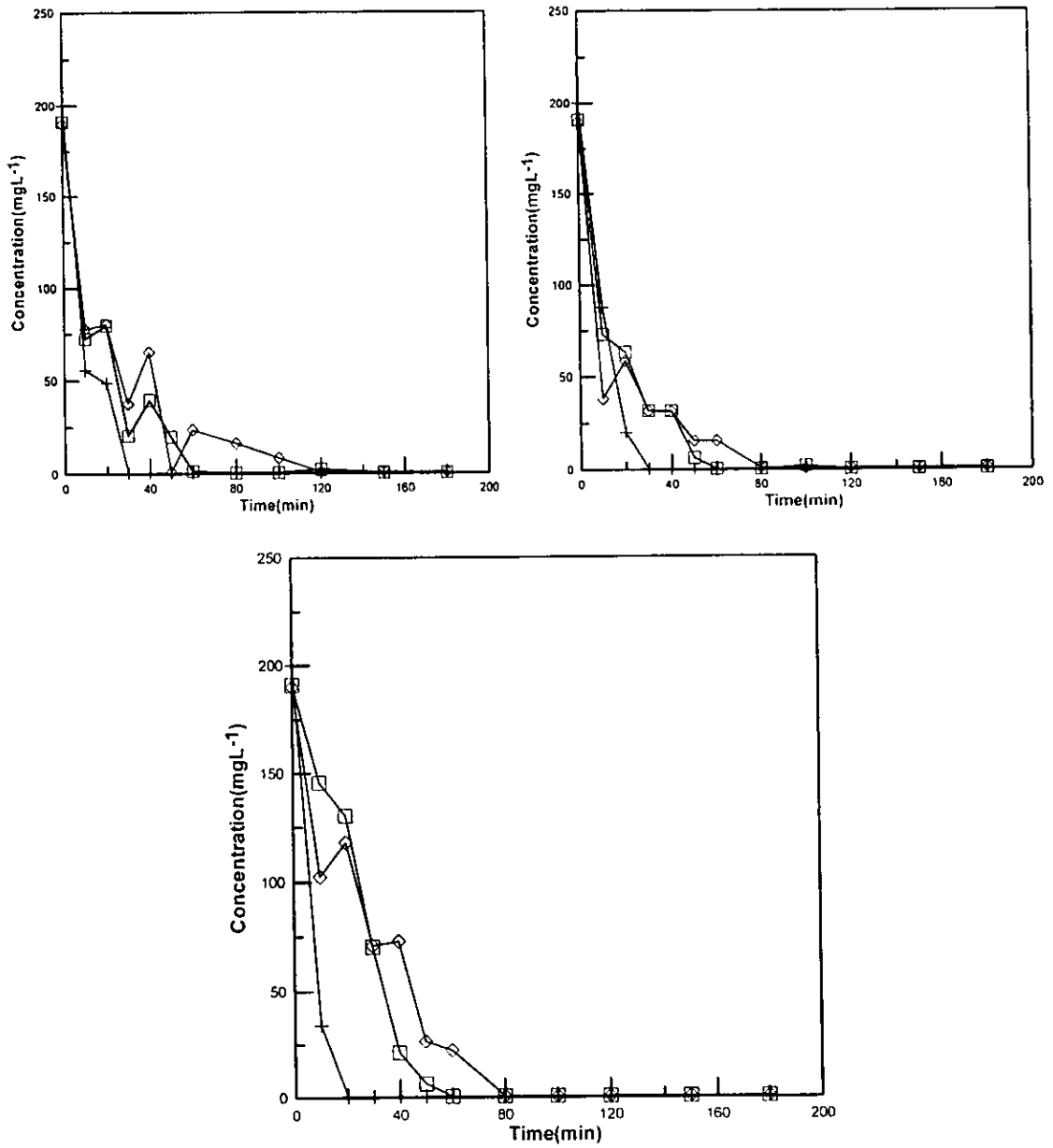


圖 7a 觸媒活性碳劑量對土壤懸浮液中 2,4-二氯酚氧化作用之影響

(0.1M 過氧化氫、反應時間為 180 分鐘及溫度 80°C) †：砂頁岩沖積土，◇：粘板岩沖積土，□：紅壤(a)活性碳 0.5g(b)活性碳 1.0g(c)活性碳 1.5g