

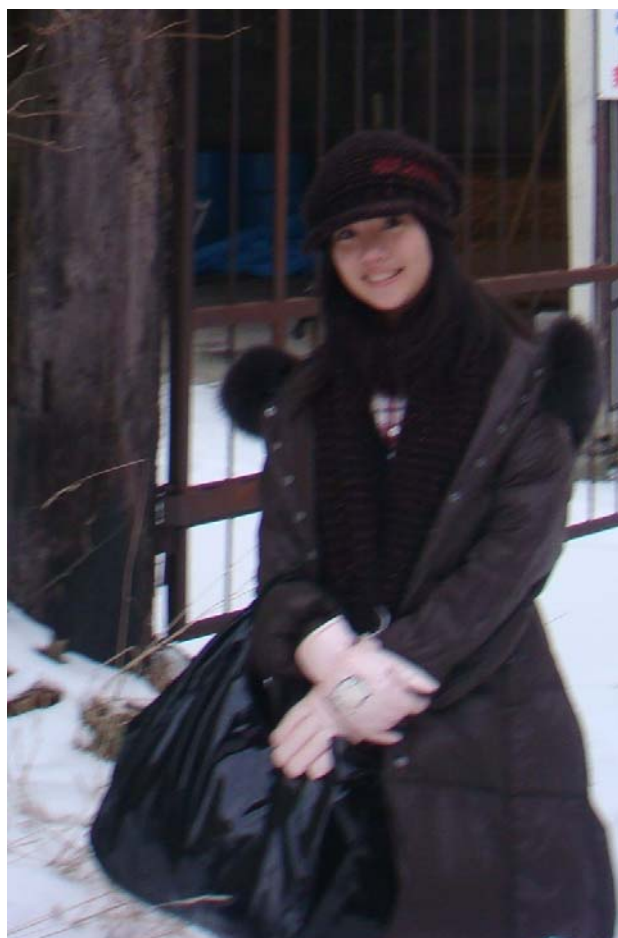
臺灣二〇〇八年國際科學展覽會

科 別：環境科學

作品名稱：為「世紀之毒」找解藥！- 探討以 *Pseudomonas mendocina* 菌株降解污染土壤中戴奧辛與戴奧辛類化合物之效能

學校 / 作者：國立高雄師範大學附屬高級中學 李雅廷

作者簡介



我生長在一個很開明的家庭，對於我的興趣爸媽都會給予支持和尊重。國小時，第一次參加高雄市科展，以生活化的染髮主題，出乎意料的得到了高雄市第一名，從此，我對科學實驗有了很大的興趣，國中時我繼續投入科展的行列，也因此培養出執著與鍥而不捨的特性。高一新生都要做科展是高師大附中的傳統，我再度投入科學實驗的研究。有人說，科學研究這條路是孤獨的，但是我並不這麼覺得，因為在研究過程中，我得到了教授、師長的指導，家人的支持，同學們的鼓勵，感謝他們的參與，讓我的研究更完整、圓滿，更讓我有信心的繼續走下去。

目 錄

| | |
|-----------------|----|
| 中文摘要..... | 3 |
| Abstract..... | 4 |
| 壹、研究動機..... | 5 |
| 貳、研究目的..... | 6 |
| 參、文獻探討..... | 7 |
| 肆、研究設備及器材..... | 10 |
| 伍、研究過程及方法..... | 11 |
| 陸、實驗結果與討論..... | 19 |
| 柒、結論..... | 58 |
| 捌、參考資料..... | 59 |
| 玖、附件(實驗照片)..... | 60 |

中文摘要

本研究採自中石化安順廠戴奧辛污染場址之土壤，篩選出一株純菌微生物 (*Pseudomonas mendocina* NSYSU)，其含有 PCDD/Fs (Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans, PCDD/Fs) 土壤於實驗室進行微生物降解試驗，結果顯示約 21 天即有明顯降解結果；本研究同時觀察到該微生物能在汞濃度達 50 ppm 之戴奧辛土壤中，仍具有相當程度之耐受度，並進一步降解戴奧辛化合物。

我更以標準品探討菌種對於戴奧辛類化合物 (Dioxin like congener) 之降解效果，成功地發現這株菌種不僅對於 PCDD/Fs 有降解能力，對於戴奧辛類化合物也有明顯之降解效果。

由研究結果，明顯看出 *P. mendocina* 菌株為「世紀之毒」找到了解藥，開發出以生物復育改善污染環境的一種新方法。

Bioremediation of dioxin-contaminated soils by using indigenous microorganisms

Abstract

A dioxin-degrading bacterial strain *Pseudomonas mendocina* NSYSU was isolated from dioxin contaminated soil by selective enrichment techniques. In our previous study, *P. mendocina* NSYSU was found to be able to use pentachlorophenol (PCP) as its sole carbon source and energy source and was capable of completely degrading this compound. Moreover, *P. mendocina* NSYSU was also able to mineralize a high concentration of PCP up to 150 mg/L. In this study, *P. mendocina* NSYSU was investigated for its ability to degrade polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) and polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs). Results show that *P. mendocina* NSYSU could grow well in media containing both PCDFs and PCDDs, and was able to degrade both compounds efficiently. In this study, isotope dilution method and a high resolution gas chromatography-mass spectrometry (HRGC/HRMS) technique were applied for the analyses of PCDFs and PCDDs. Investigation results reveal that significant biodegradation of octachlorinated dibenzo-*p*-dioxin (OCDD) and octachlorinated dibenzofuran (OCDF) by treating with *P. mendocina* NSYSU resting cells was observed. The results also indicate that this bacterial strain is able to biodegrade OCDD and OCDF effectively under anoxic conditions due to its facultative anaerobic character. No accumulation of inhibitory toxic byproducts was found in this study. These findings suggest that in situ or on-site bioremediation of dioxin-contaminated soils by using indigenous microorganisms or inoculated *P. mendocina* NSYSU strain would be a feasible technology for field application.

壹、研究動機

土壤是各種生物活動之處，也為各種自然及人為廢棄物的消化場所，與人類生活與健康息息相關。文獻中 [1] 指出幾個台灣土壤遭受污染嚴重的個案中，中石化安順廠 廠房周圍遭受污染土壤的照片，怵目驚心，叫我十分難忘！



圖 1-1 台南市中石化安順廠廠房週為遭受污染的土壤

中石化安順廠雖然早已於 1982 年關廠，但先前排放的污染物，包括汞污泥、五氯酚及戴奧辛/呋喃（Dioxins/Furans）等，其中戴奧辛

污染的含量更是全球之冠，對當地居民在健康上至今仍有重大威脅。

最新研究指出，戴奧辛為誘導生物體突變的致癌物，如果沒有妥善處理這類化合物就將之排放到外界，將會對環境造成嚴重影響。研究中所使用的戴奧辛處理法如固化法、移避法、焚化法、光能分解法、觸媒轉換法、活性碳吸附法等。在時間成本、珍惜資源、操作複雜度、根絕水污染及降低臭味等方面，都有其限制。於是研究設計一個可在常溫中進行、處理過程中沒有其它副產物造成二次污染、可在污染現址操作，且不須污染物移除搬運工程、並以自然復育方式使土壤回復其原始狀態的方法，就顯得特別重要。

研究中發現以生物復育技術如微生物分解環境中污染物，有其獨特的優點，採取生物分解的方法是屬於較經濟的解決方案，且不易造成分解過程二次污染，最終產物通常已不再危害環境。因此衡量生物復育之適用性、有效性及成本之評估，於是決定利用中石化安順廠污染場址之土壤環境中篩選出的細菌，研究清除土壤中有毒的戴奧辛物質，能突破現有處理技術！並用其作為整治中石化安順場污染場址之新方法。

貳、研究目的

本實驗嘗試從戴奧辛污染土壤中篩選出可降解五氯酚之微生物，探討五氯酚分解菌降解戴奧辛之可行性，並建立微生物整治污染物新方法。

根據上述研究目的，本研究分成三部分進行並探討研究下列問題：

第一部分：比較不同土壤中微生物族群

分析中石化土壤、製備土壤、乾淨土壤不同土樣中，固有之微生物族群，模擬比較微生物族群成長情形和環境變因交互影響實際情況。

第二部分：探討 *Pseudomonas mendocina* 對重金屬耐受度

探討 *Pseudomonas mendocina* 對汞離子的耐受度

第三部分：評估「戴奧辛」污染土壤以生物復育的可行性

1. 探討 *Pseudomonas mendocina* 在中石化土壤、製備土壤中降解戴奧辛情形。
2. 探討 *Pseudomonas mendocina* 在滅菌後中石化土壤降解戴奧辛情形。
3. 探討 *Pseudomonas mendocina* 對 17 種具有 2,3,7,8 取代位置之戴奧辛降解能力情形。

第四部分：評估 *P. mendocina* 對「戴奧辛類化合物」之降解能力

1. 探討 *Pseudomonas mendocina* 對 12 種多氯聯苯降解能力。
2. 探討 *Pseudomonas mendocina* 對 7 種具有 2,3,7,8 取代位置之溴化戴奧辛降解能力。
3. 探討 *Pseudomonas mendocina* 對 29 種多溴聯苯醚降解能力。
4. 探討 *Pseudomonas mendocina* 對 16 種多環芳香烴降解能力。

參、文獻探討

3.1 PCDD/Fs 與戴奧辛類化合物之簡介

PCDD/Fs(Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans，一般簡稱戴奧辛)、PBDD/Fs(Polybrominated dibenzo-p-dioxins and polybrominated dibenzofurans，溴化戴奧辛)、PCBs(polychlorinated biphenyls，多氯聯苯)與 PAHs (Polycyclic aromatic hydrocarbons，多環芳香烴化合物)等化學物質通常被稱為「戴奧辛類化合物，dioxin-like」。「戴奧辛類化合物」即表示這些化學物質有相類似之化學結構、物理化學性質及毒性反應。由於皆具有熱穩定、高親脂性及抗代謝之性質，所以這些物質具持久性，很難被生物分解，且會累積在生物體內之脂肪層，最主要是經由食物鏈進入人體，長期累積在人體或生物體內均會造成細胞病變，影響生態環境。PCDD/Fs 之化學結構如圖 3-1 所示，其為約 210 種不同的化合物之總稱，包括 75 種 PCDDs 及 135 種 PCDFs。但只有 17 種具有 2,3,7,8 取代位置之 PCDD/Fs 被認為具有毒性；相同的亦只有 17 種具有 2,3,7,8 取代位置之 PBDD/Fs 被認為具有毒性，其中 2,3,7,8 - tetrachlorodibenzo -p-dioxin (TCDD)的毒性是最強的俗稱「世紀之毒」。TCDD 最初被發現為製造殺蟲劑過程中的副產品，後來發現在含有氯分子垃圾的焚化過程中，亦會釋出大量的戴奧辛。戴奧辛除有致癌的風險外，也對人體內分泌造成干擾，在環境荷爾蒙黑名單排名首位。

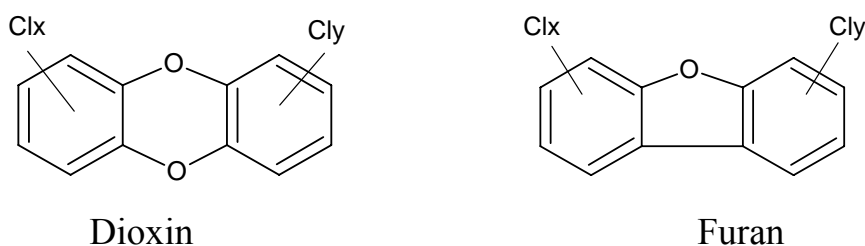


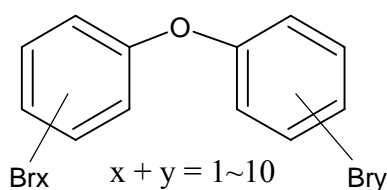
圖 3-1 PCDD/Fs 之結構

3.2 PBDD/Fs、PBDEs 與 PCBs 之簡介

由於 PBDD/Fs(Polybrominated dibenzo-p-dioxins and polybrominated dibenzofurans，溴化戴奧辛)與 PCDD/Fs 具有相同結構，因此其具有與戴奧辛類似之毒性與物理化學特性，近幾年來溴化難燃劑大量使用在各種紡織品、聚合物、油漆、建築防火材料、汽車內部裝飾、電子材料上，使得 PBDD/Fs 所造成的污染越來越受到重視。PBDD/Fs 產生之途徑，包括生產製造溴化難燃劑過程中產生、經溴化難燃劑處理或加工過程之聚合物樹脂生成和燃燒含溴化難燃劑之廢棄物時生成。

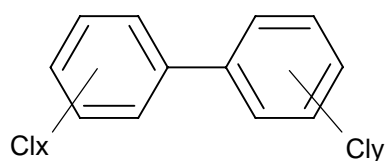
PBDEs (polybrominated diphenyl ethers，多溴聯苯醚)是一種溴化難燃劑，由於其耐燃性佳且價格低廉，約占世界銷售額的 39%，溴化難燃劑廣泛使用於電子產品，Sakai 等人 [2] 研究中指出 1984 年和 1998 年日本生產製造之 15 種廢棄電視和個人電腦中 PBDD/Fs 含量高達 280000ng/g。而含溴化難燃劑產品最終都會送到焚化爐或金屬回收場進行處理，使含溴之污染物含量增加。歐盟也將 PeBDEs 列為環境荷爾蒙，並於 2003 年全面禁用 PeBDEs，而 DeBDEs 與 OBDEs 預計於 2008 年開始禁用。PBDEs 之化學結構如圖 3-2 所示。

環境中 PCBs (polychlorinated biphenyls，多氯聯苯)，化學結構如圖 3-3 所示，早期環境中主要 PCBs 來源為燃燒 PVC 與製造殺蟲劑、農藥等副產物所造成之污染，近年來由於焚化爐大量興建所造成的 PCBs 污染也趨於廣泛。PCBs 已被證實具不易分解(隨氯化成度增加越安定)、安定性與生物濃縮特性，且在有其他污染物條件下，如油酯、重金屬，更會抑制 PCBs 的降解。



PBDEs

圖 3-2 PBDD/Fs 之結構



PCBs

圖 3-3 PCBs 之結構

3.3 PAHs 之簡介

多環芳香烴化合物 (Polycyclic aromatic hydrocarbons, 簡稱 PAHs), 為二個或二個以上的苯環所組成。圖3-2 為PAHs 結構圖。苯環組成數目多寡可分為低分子量(low-molecular-weight, LMW)與高分子量(high-molecular-weight, HMW)。而PAHs 分子量的高低則會影響其物理、化學與生物特性。

一般室溫下, 其蒸氣壓介於 10^{-4} ~ 10^{-11} atm 之間, 屬於半揮發性有機物(Semi-Volatile Organic Compounds, SOCs), 因此PAHs 在一般室溫下是氣相和固相共存, 且屬於非極性物質, 不易溶於水, 僅能溶於非極性或弱極性之有機溶劑中, 對於非極性或弱極性有機溶劑, 如正己烷、二氯甲烷、丙酮等, 有很高的溶解度, 且具有高熔點與高沸點之特性, 各成份分子量越大, 則溶點及沸點也越高, 若在相同分子量時則以分子越對稱者溶點越高。1976 年國際上已確認具致癌性的 PAHs 至少有三十種以上[Lizhong et al., 2003], 而 PAHs與 NO_x 、 SO_x 、PCBs 或Dioxin 等共存時, 其毒性會產生加成作用。

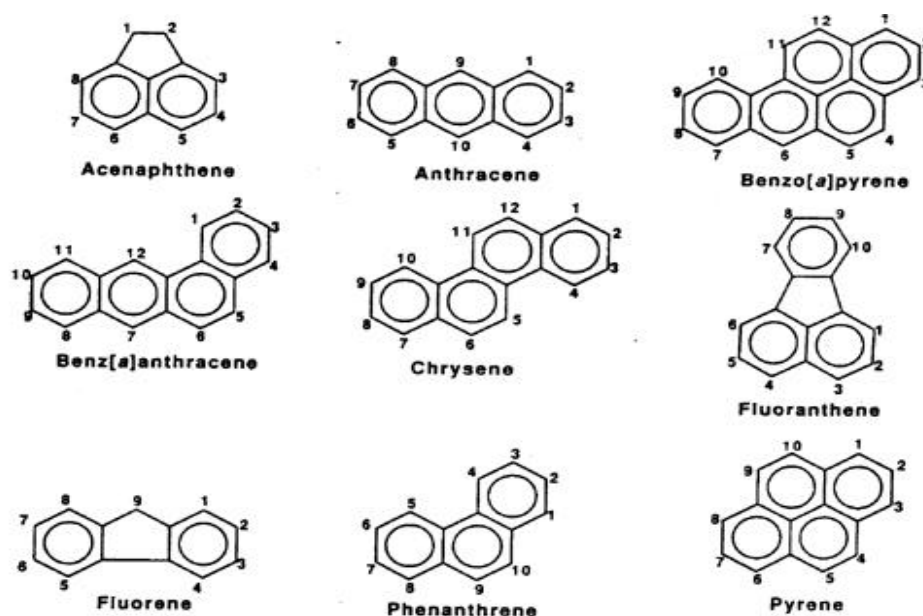


圖 3-2 PAHs 之結構

肆、研究設備及器材

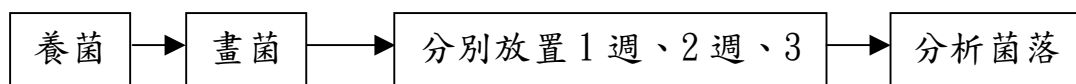
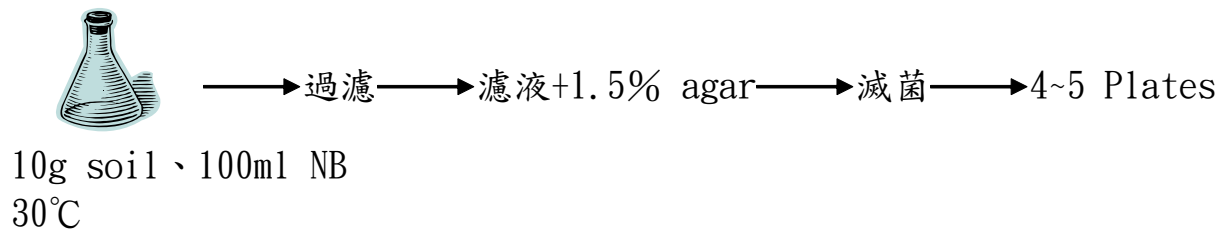
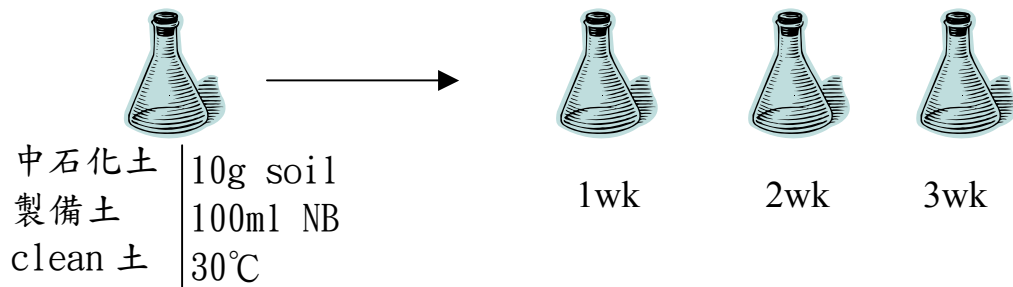
Pseudomonas mendocina (由國立中山大學劉仲康教授之微生物實驗室，協助菌種篩選實驗)

| | |
|-----------------------------------------------|---------------|
| nutrient broth (NB) 培養液 | 震盪培養箱 |
| argar 培養基 | 中石化土壤(含戴奧辛及汞) |
| 已製備土(含戴奧辛) | 乾淨土(指未受戴奧辛污染) |
| 正己烷 | 丙酮 |
| 二氯甲烷 | 氮氣 |
| 濃硫酸 | 矽膠 |
| 硝酸銀矽膠 | 氫氧化鈉矽膠 |
| 硫酸矽膠 | 無水硫酸鈉 |
| 酸性氧化鋁 | 甲醇 |
| 甲苯 | 二氯甲烷 |
| 環己烷 | 二氯甲烷 |
| 超音波震盪器 | 多層矽膠管柱 |
| 玻璃棉 | 平底燒瓶 |
| 減壓濃縮機 | 活性碳/矽藻土管柱 |
| 高解析度氣相層析/高解析度質譜儀 (由正修科技大學超微量研究科技中心張簡國平教授協助操作) | |

伍、研究過程及方法

第一部分

分菌實驗

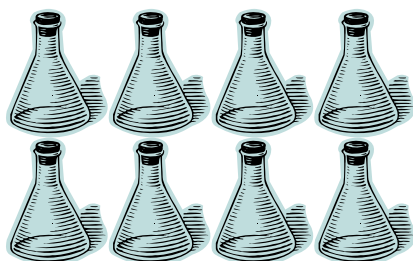


第二部分

耐 Hg^{2+} 實驗

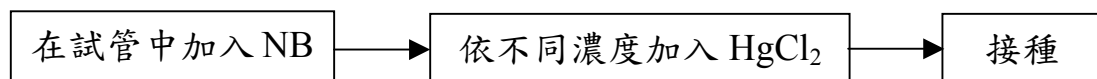
$HgCl_2$

P. mendocina treated



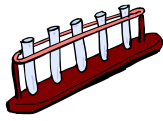
依序置入

0、50、100、150、200、
250、300、350 ppm Hg^{2+}



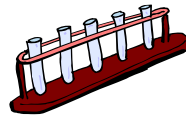
第三部分

1. *Pseudomonas mendocina* 菌種降解 Dioxins 實驗 I



9 tubes

2g 中石化 soil
6ml NB+p. *mendocina*
30°C



9 tubes control

2g 製備 soil(Only Dioxins)
6ml NB+p. *mendocina*
30°C

soil : solution = 1 : 3

Test Dioxins degrading time

10 天、17 天、24 天、31 天、38 天、45 天、52 天、59 天。

其流程如下：

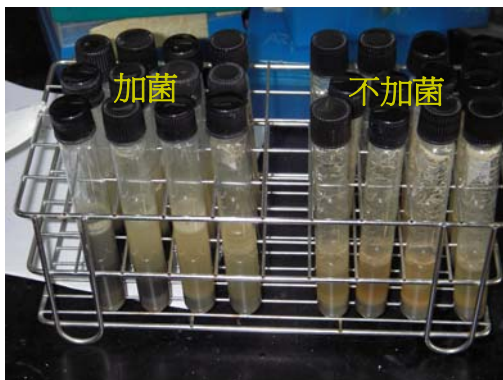
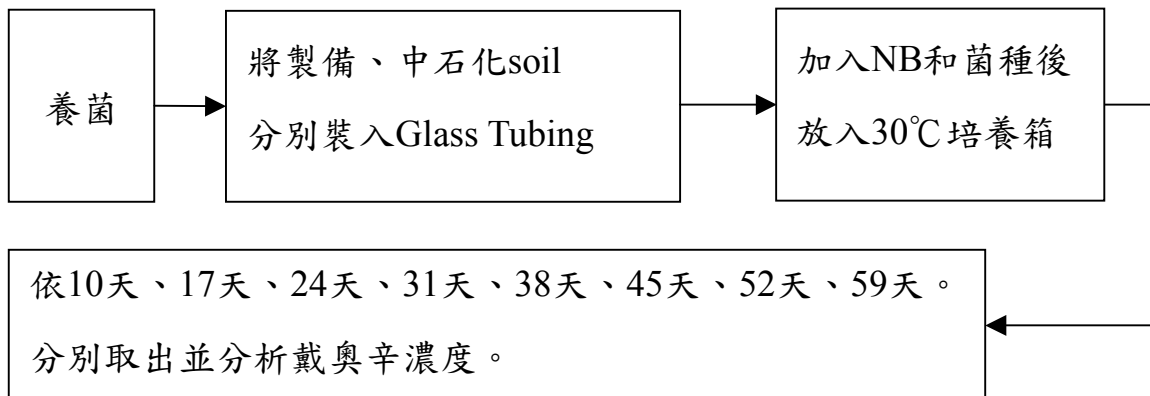


圖 5-1 中石化土壤對照實驗

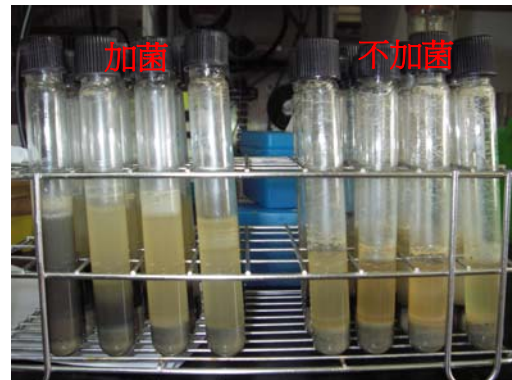
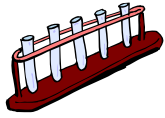


圖 5-2 已製備土壤對照實驗

2. *Pseudomonas mendocina* 菌種降解 Dioxins 實驗 II



9 tubes

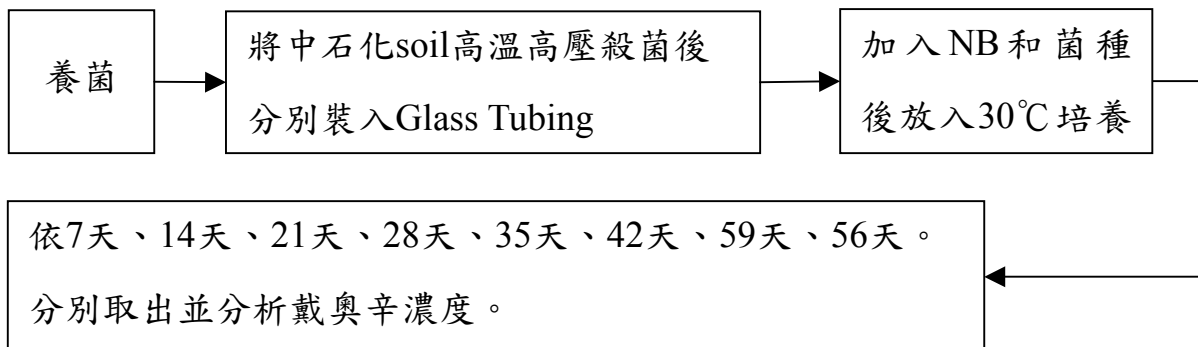
soil : solution = 1 : 3

2g 中石化 soil
6ml NB + p. *mendocina*
30°C

Test Dioxins degrading time

7 天、14 天、21 天、28 天、35 天、
42 天、49 天、56 天。

其流程如下：



3. *Pseudomonas mendocina* 菌種降解 Dioxins 實驗 III

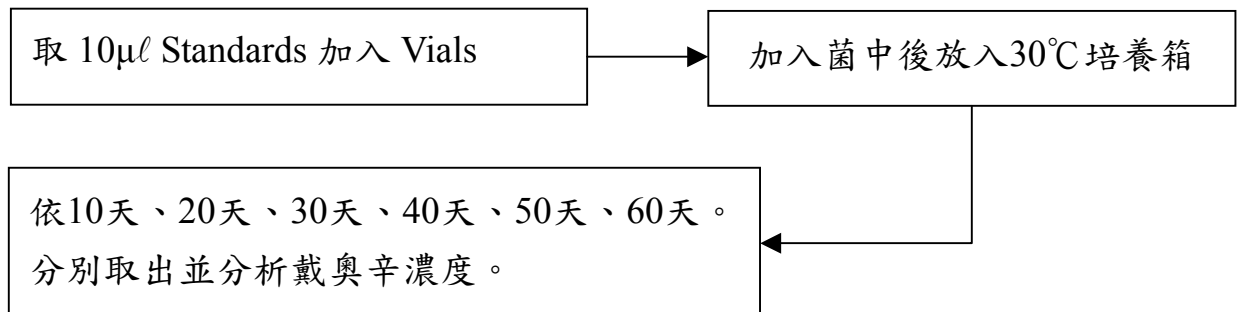


10 μl 戴奧辛 Standards
1ml *p.mendocina*
30°C



10 μl 戴奧辛 Standards
1ml NB
30°C

其流程如下：



第四部分

Pseudomonas mendocina 菌種降解「戴奧辛類化合物」實驗



20 µl 溴化戴奧辛 Standards
1ml p.mendocina、30°C



20 µl 溴化戴奧辛 Standards
1ml NB、30°C



20 µl 多溴聯苯醚 Standards
1ml p.mendocina、30°C



20 µl 多溴聯苯醚 Standards
1ml NB、30°C



20 µl 多氯聯苯 Standards
1ml p.mendocina、30°C



20 µl 多氯聯苯 Standards
1ml NB、30°C

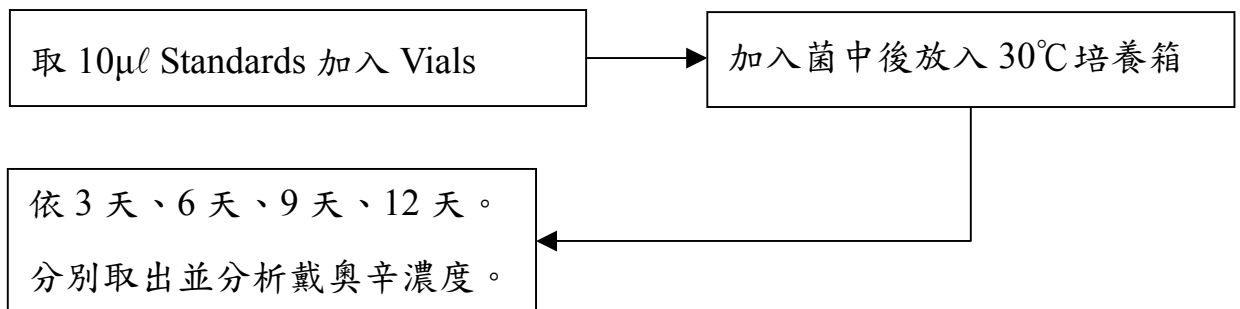


50 µl 多環芳香烴 Standards
1ml p.mendocina、30°C

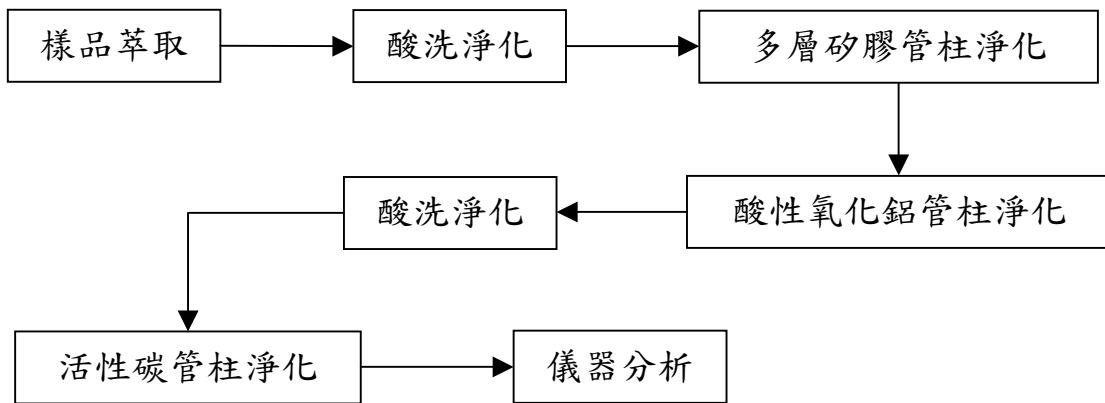


50 µl 多環芳香烴 Standards
1ml NB、30°C

其流程如下：



第五部分 戴奧辛分析實驗流程



第六部分 土壤處理

A. 萃取

1. 將分解後的土壤樣品風乾後加入淨化標準品 20 μ l 再以正己烷/丙酮萃取。
2. 萃取後濾液利用減壓濃縮將萃取液濃縮至近乾。

B. 酸洗淨化

1. 以二氯甲烷將萃取濃縮液轉移至 6 dram 樣品瓶中，並以氮氣吹乾。
2. 隨後加入 7 ml 之正己烷，振盪約 5 秒後加入淨化標準品 10 μ l。
3. 再加入 4 ml 之濃硫酸，以超音波震盪器震盪酸洗後，靜置分層。

C. 多層矽膠管柱之淨化步驟

1. 多層矽膠管柱(如圖 5-3)：尖底部裝填玻璃棉後再依序填入 0.5c.c 矽膠、1c.c 硝酸銀矽膠、0.5c.c 矽膠、1.5c.c 氫氧化鈉矽膠、0.5c.c 矽膠、6.2c.c 硫酸矽膠、0.5c.c 矽膠、0.5c.c 無水硫酸鈉，充填時須以玻璃棒壓實。

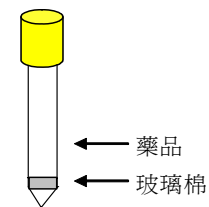


圖 5-3 多層矽膠管柱

2. 以 30 ml 正己烷預洗管柱，洗液丟棄。
3. 將完成酸洗之正己烷溶液移入管柱中，再以 5ml 次正己烷，共兩

次流洗管柱。

4. 再以 120ml 正己烷流洗多層矽膠管柱，以 250 ml 平底燒瓶收集流洗液，利用減壓濃縮將流洗液濃縮至 1ml 左右。

D. 酸性氧化鋁管柱淨化

1. 淨化管柱製備：取層析管柱(如圖 5-3)，於尖底部裝填玻璃棉後再裝填 7.5ml 之酸性氧化鋁及約 1ml 之無水硫酸鈉。
2. 管柱預洗：以 20 ml 之正己烷預洗酸性氧化鋁管柱。
3. 管柱淨化：
 - (1) 以(2 ml/次*3)正己烷轉移濃縮瓶之有機溶液至酸性氧化鋁管柱。依序以 10 ml 正己烷，20 ml 二氯甲烷/正己烷(2/98, v/v) 溶劑，流洗酸性氧化鋁管柱，流洗液收集於 50 ml 瓶中。
 - (2) 以 20ml 之二氯甲烷/正己烷(40/60, v/v)溶劑流洗酸性氧化鋁管柱，流洗液收集於 250 ml 濃縮瓶，並減壓濃縮至近乾。待進行活性炭/矽藻土管柱之淨化。另將酸性氧化鋁管柱編號儲存。

※ 多溴聯苯醚、多氯聯苯實驗進行於此即以減壓濃縮將流洗液濃縮至近乾，以正己烷轉移至注射樣品瓶內，以氮氣吹至近乾，加入回收標準品 20 μ l，待進行質譜分析。

E. 活性炭管柱淨化步驟：

1. 活性炭/矽藻土管柱製備：取層析管柱(如圖 5-3)尖底部裝填玻璃棉後再依序裝填 1.0c.c 之矽膠、1.0c.c (或 1.5 c.c) 之活性炭/矽藻土、1.0c.c 之矽膠，充填時須以玻璃棒壓實。
2. 管柱預洗：依序以甲醇、甲苯、二氯甲烷/甲醇/甲苯(75/20/5)、環己烷/二氯甲烷(50/50)、及正己烷各 5ml 預洗，洗液丟棄。
3. 將完成酸性氧化鋁淨化之 1ml 正己烷溶液移入管柱中，全部轉移

- 完成後，再以 1ml/次正己烷，共三次清洗樣品瓶並移入管柱中。
4. 以 2 ml/次環己烷/二氯甲烷(50/50)，共三次移入活性炭淨化管柱，再以 3ml 二氯甲烷/甲醇/甲苯(75/20/5)，共一次移入活性炭淨化管柱，以上流出液皆合併於 6dram 瓶中。
 5. 再以 50 ml 甲苯溶劑流洗活性炭管柱，收集於 250 ml 平底燒瓶，利用減壓濃縮將流洗液濃縮至近乾，再以正己烷轉移至注射樣品瓶內，以氮氣吹至近乾，加入回收標準品 20 μ l，待進行質譜分析。
- ※ 多環芳香烴以酸性矽膠管柱做為淨化，以二氯甲烷/正己烷(40/60, v/v)流洗後以減壓濃縮將流洗液濃縮至近乾，以正己烷轉移至注射樣品瓶內，以氮氣吹至近乾，加入回收標準品 50 μ l，待進行質譜分析。

陸、實驗結果與討論

第一部分 分菌實驗討論

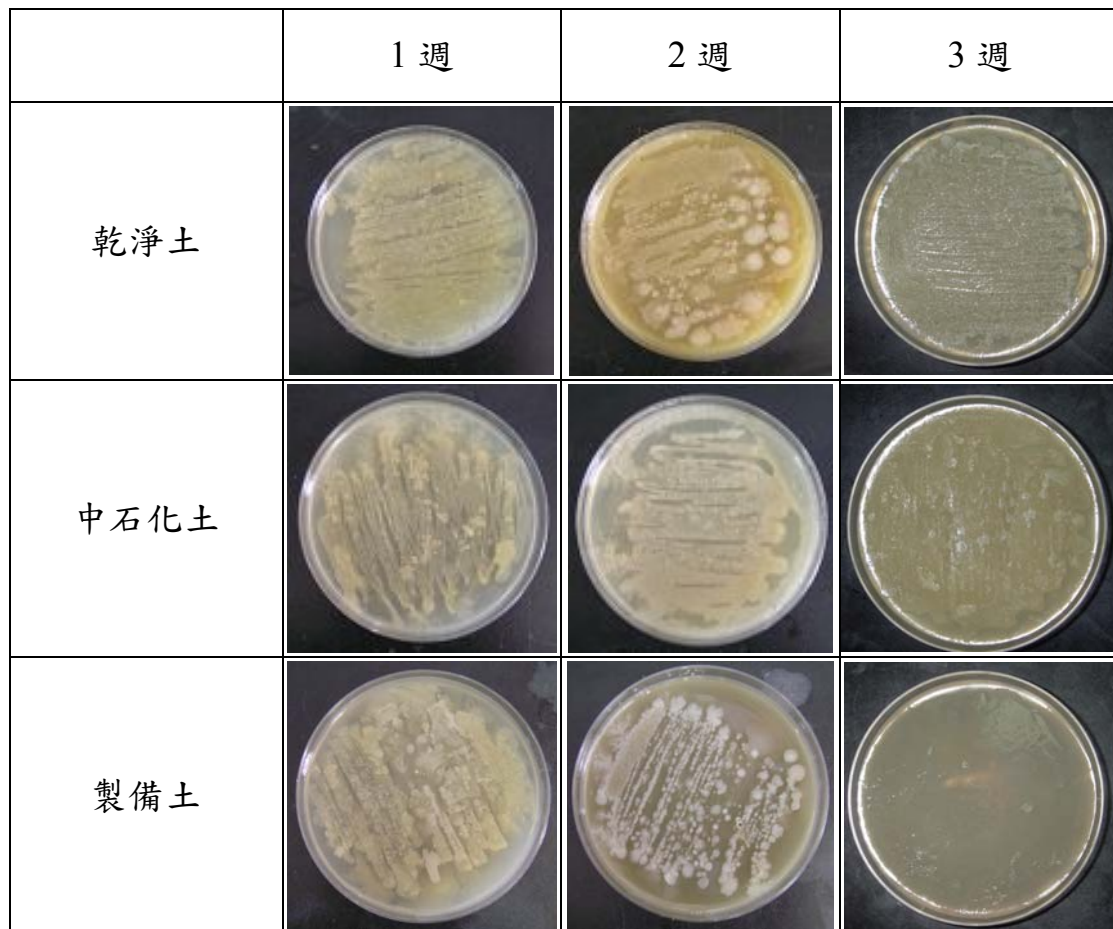


圖 6-1 菌相分布

由分菌結果可了解不論乾淨土、中石化土還是製備土，都有培養出菌落出來，且隨著週數增加，菌數也隨之減少，其中以製備土 3 週的菌數最少，但是三種土壤中都仍有菌種存活，中石化土也不例外，所以我們相信，除了 *Pseudomonas mendocina* 之外，中石化土中應該還有其他菌種可以降解戴奧辛，這是叫人值得興奮也值得再深入研究的地方。

經由進一步研究探討原始土壤中微生物的情形，發現中石化土壤中含有高濃度的重金屬汞。一般微生物對於汞並不具備這麼高的耐受

度，但是本次研究的這株菌卻不受高濃度汞的影響，依舊存活於該污染土壤中，我們也根據此一現象進一步探討這株菌對於汞的耐受度。

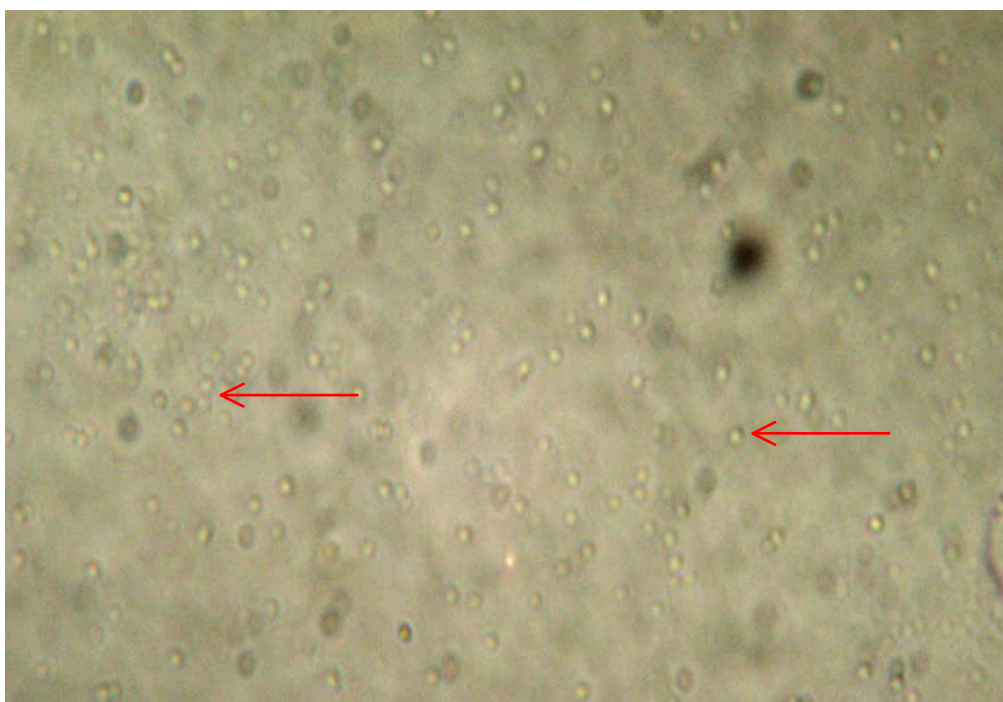


圖 6-2 *Pseudomonas mendocina* 在 400X 數位顯微鏡下情形

第二部分 汞耐受度結果討論

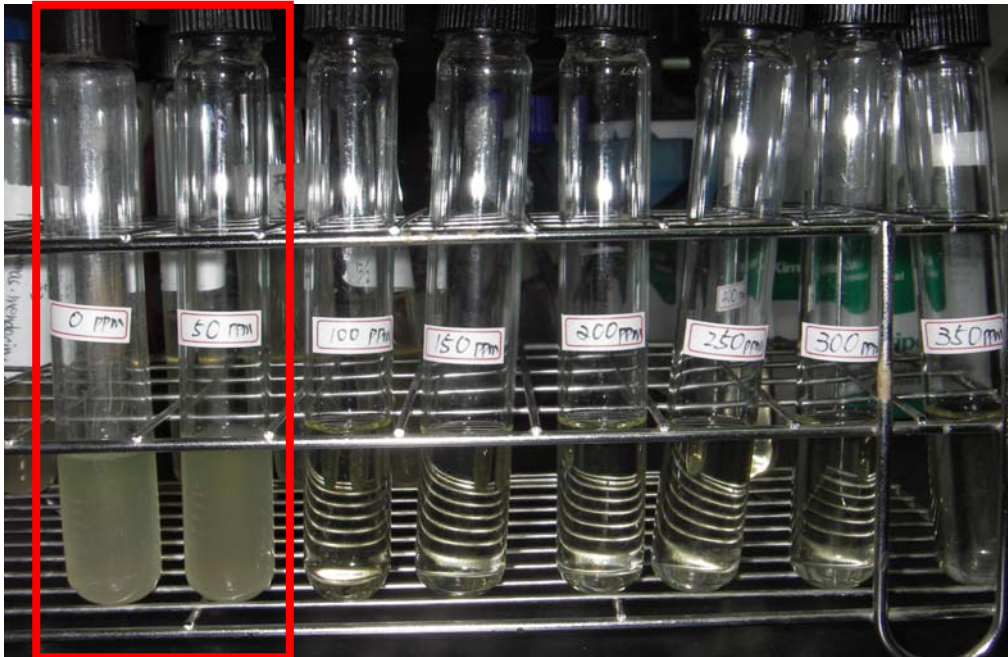


圖 6-3 *Pseudomonas mendocina* 汞耐受度試驗

由中石化土用 HgCl_2 溶液進行 *Pseudomonas mendocina* 這株菌的汞耐受度測試，如圖 3 所示，明顯看出在 0 ppm 與 50 ppm 的養菌管柱中可以發現到溶液變混濁，由此可知這株菌種在這兩支管柱中能夠存活。

在 100 ppm 以上的養菌管柱中溶液依舊維持澄清，由此結果看出並未有菌種存活下來，因此我們可以確定 *Pseudomonas mendocina* 這株菌對汞的耐受度是在 50 ppm 到 100 ppm 的耐受度。

第三部分

1. *Pseudomonas mendocina* 菌種降解 Dioxins 實驗 I

加菌前分析三種土壤中戴奧辛含量，如表 1 所示，在不同天數經過加菌與不加菌的比較分析後的結果可以看出 10 天到 59 天（如表 2~表 9 所示）OCDD 與 OCDF 濃度均有明顯下降，但是因為濃度差不一致不容易比較，我們將數據轉為與不加菌的土壤中，最高濃度的 OCDD 與 OCDF 濃度作「濃度百分比」換算，就能做更客觀的比較。

經由濃度差可以清楚看出在時間的作用下不同戴奧辛在加菌與不加菌的差距，尤以 31 天、59 天「中石化土」及「製備土」的 OCDD 與 OCDF 濃度差最為明顯（如圖 6-4、6-5 所示）。

加菌與不加菌在「中石化土」及「製備土」濃度差距並不一致，我們推測是原始土壤中菌相不一致所造成。這可以印證第一部分分菌實驗中三種土壤中不管土壤是否遭受高濃度污染均有菌種存活，進一步觀察其菌相分佈，如圖 6-1 所示，並將分菌所得到的結果用數位顯微鏡拍成照片，如圖 6-2 所示。

表 1. 實驗前 Dioxins 分析結果表

| | 製備土(pg/g) | 中石化土(pg/g) |
|-----------------------|-----------|------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 199.160 | 5007.616 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 113.250 | 2228.577 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 136.043 | 1586.167 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 144.137 | 3396.843 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 126.258 | 843.591 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 106.594 | 493.854 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 62.438 | 491.961 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 292.022 | 41548.947 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 81.441 | 1481.701 |
| OCDF | 220.117 | 382912.172 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 0.000 | 15.587 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 1.496 | 62.788 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.000 | 97.028 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.000 | 891.275 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD(平均) | 1.394 | 237.747 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 34.026 | 38185.808 |
| OCDD | 264.937 | 586752.487 |

表 2. 10 天加菌 Dioxins 分析結果表

| | 製備土不加菌(pg/g) | 製備土加菌(pg/g) | 中石化不加菌(pg/g) | 中石化加菌(pg/g) |
|-----------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 145.944 | 143.793 | 5105.747 | 2444.833 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 69.725 | 58.077 | 2122.756 | 1652.999 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 88.795 | 79.376 | 1747.490 | 1290.113 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 85.795 | 77.304 | 2762.776 | 2412.208 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 71.888 | 63.630 | 630.949 | 559.680 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 61.786 | 56.087 | 388.667 | 331.580 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 10.441 | 7.617 | 83.436 | 58.563 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 192.595 | 174.961 | 24274.069 | 30965.753 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 54.352 | 48.751 | 756.117 | 877.545 |
| OCDF | 267.121 | 205.115 | 383253.365 | 382292.942 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 0.255 | 0.695 | 11.087 | 14.246 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 0.562 | 0.950 | 50.121 | 46.341 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.718 | 66.171 | 68.010 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.588 | 0.821 | 643.654 | 734.847 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD(平均) | 0.655 | 0.980 | 143.786 | 150.504 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 3.876 | 7.579 | 22764.336 | 32366.182 |
| OCDD | 206.611 | 202.954 | 534758.228 | 533244.153 |

表 3. 17 天加菌 Dioxins 分析結果表

| 17D | 製備土不加菌(pg/g) | 製備土加菌(pg/g) | 中石化不加菌(pg/g) | 中石化加菌(pg/g) |
|-----------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 92.649 | 88.626 | 2451.718 | 2361.833 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 45.353 | 40.835 | 1696.061 | 1623.856 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 56.517 | 52.192 | 1291.970 | 1260.619 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 55.854 | 51.066 | 2510.064 | 2434.751 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 46.856 | 43.422 | 581.854 | 568.434 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 41.552 | 39.467 | 369.798 | 353.874 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 7.553 | 5.655 | 77.208 | 59.275 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 126.674 | 120.898 | 32463.887 | 24227.574 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 33.964 | 33.120 | 946.425 | 782.369 |
| OCDF | 192.604 | 191.939 | 366580.836 | 373762.042 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 0.508 | 0.000 | 11.607 | 10.294 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 0.990 | 0.683 | 47.995 | 41.093 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.595 | 0.349 | 78.573 | 68.026 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.806 | 0.582 | 790.929 | 693.499 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD(平均) | 0.821 | 0.396 | 166.170 | 142.944 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 4.771 | 3.555 | 33731.159 | 23158.651 |
| OCDD | 263.988 | 199.889 | 498554.224 | 491770.787 |

表 4. 24 天加菌 Dioxins 分析結果表

| 24D | 製備土不加菌(pg/g) | 製備土加菌(pg/g) | 中石化不加菌(pg/g) | 中石化加菌(pg/g) |
|-----------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 108.797 | 88.031 | 2902.322 | 2467.100 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 50.361 | 37.945 | 2083.938 | 1729.782 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 63.424 | 54.457 | 1596.891 | 1321.158 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 63.018 | 51.111 | 2852.342 | 2515.589 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 52.016 | 44.229 | 637.566 | 570.646 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 45.920 | 38.617 | 406.952 | 364.033 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 5.665 | 6.453 | 82.529 | 60.939 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 149.292 | 120.462 | 27894.254 | 28964.226 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 41.627 | 33.428 | 917.659 | 891.899 |
| OCDF | 257.748 | 192.770 | 209405.922 | 210979.667 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 0.000 | 0.388 | 12.177 | 11.789 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 1.060 | 0.915 | 46.625 | 44.036 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.525 | 0.475 | 76.656 | 72.738 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.719 | 0.800 | 784.828 | 825.171 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD(平均) | 0.844 | 0.718 | 158.230 | 158.432 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 6.216 | 5.160 | 28345.623 | 28570.192 |
| OCDD | 184.754 | 183.470 | 594077.817 | 523657.619 |

表 5. 31 天加菌 Dioxins 分析結果表

| 31D | 製備土不加菌(pg/g) | 製備土加菌(pg/g) | 中石化不加菌(pg/g) | 中石化加菌(pg/g) |
|-----------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 84.007 | 90.577 | 2807.640 | 2666.373 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 36.311 | 38.327 | 1768.887 | 1867.774 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 48.303 | 45.892 | 1249.963 | 1365.347 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 50.394 | 48.139 | 2598.566 | 2631.218 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 42.523 | 40.634 | 574.496 | 621.101 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 37.651 | 36.492 | 430.129 | 405.079 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 4.417 | 5.067 | 73.772 | 80.502 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 131.335 | 116.672 | 26445.366 | 23516.141 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 34.204 | 32.409 | 1042.566 | 956.835 |
| OCDF | 114.980 | 194.943 | 105377.622 | 181924.845 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 0.000 | 0.378 | 10.399 | 10.711 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 0.516 | 0.231 | 41.014 | 41.773 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.495 | 0.000 | 77.630 | 73.081 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.622 | 0.000 | 743.506 | 708.281 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD(平均) | 0.710 | 0.348 | 161.085 | 154.910 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 6.536 | 6.442 | 27235.911 | 23825.667 |
| OCDD | 69.589 | 121.489 | 317533.619 | 301537.269 |

表 6. 38 天加菌 Dioxins 分析結果表

| 38D | 製備土不加菌(pg/g) | 製備土加菌(pg/g) | 中石化不加菌(pg/g) | 中石化加菌(pg/g) |
|-----------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 78.261 | 69.851 | 2653.086 | 2322.387 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 37.294 | 33.501 | 2210.718 | 1755.602 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 48.432 | 43.782 | 1505.452 | 1253.693 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 51.337 | 44.292 | 2903.984 | 2524.903 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 38.173 | 37.346 | 669.937 | 593.218 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 41.636 | 32.571 | 452.592 | 448.411 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 5.130 | 5.523 | 100.586 | 64.576 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 213.856 | 109.685 | 28181.315 | 23144.691 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 40.913 | 28.094 | 1074.866 | 943.251 |
| OCDF | 861.501 | 180.600 | 92605.643 | 175315.695 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 0.000 | 0.242 | 10.942 | 10.449 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 0.000 | 0.000 | 40.737 | 44.992 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 79.565 | 75.185 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 861.298 | 692.725 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD(平均) | 0.000 | 0.000 | 168.987 | 156.985 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 72.257 | 4.466 | 28113.099 | 22875.037 |
| OCDD | 1127.943 | 113.409 | 150693.302 | 282277.313 |

表 7. 45 天加菌 Dioxins 分析結果表

| 45D | 製備土不加菌(pg/g) | 製備土加菌(pg/g) | 中石化不加菌(pg/g) | 中石化加菌(pg/g) |
|-----------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 129.017 | 100.318 | 2994.488 | 3345.655 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 59.622 | 46.010 | 2126.810 | 2065.276 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 95.044 | 66.563 | 1616.465 | 1552.559 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 87.799 | 60.619 | 3019.733 | 2913.654 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 77.287 | 50.281 | 718.939 | 697.322 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 62.201 | 42.636 | 429.641 | 491.715 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 10.962 | 6.834 | 119.476 | 119.950 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 225.251 | 145.069 | 31648.766 | 23793.414 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 59.503 | 38.903 | 1073.551 | 1145.905 |
| OCDF | 228.339 | 118.047 | 293859.396 | 152463.249 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 0.000 | 0.000 | 15.575 | 14.187 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 1.298 | 0.469 | 46.639 | 43.044 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.657 | 0.451 | 83.830 | 82.589 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.604 | 0.574 | 986.944 | 813.359 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD(平均) | 1.581 | 0.820 | 205.973 | 178.772 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 12.708 | 4.667 | 29728.279 | 29830.348 |
| OCDD | 156.279 | 47.069 | 347372.561 | 210259.118 |

表 8. 51 天加菌 Dioxins 分析結果表

| 51D | 製備土不加菌(pg/g) | 製備土加菌(pg/g) | 中石化不加菌(pg/g) | 中石化加菌(pg/g) |
|-----------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 112.786 | 97.858 | 2573.312 | 2738.198 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 54.830 | 50.120 | 2032.775 | 2037.198 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 72.697 | 60.538 | 1556.264 | 1543.409 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 75.559 | 62.210 | 2854.392 | 2807.799 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 69.440 | 55.181 | 695.205 | 684.998 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 54.414 | 44.473 | 430.893 | 412.801 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 10.558 | 5.869 | 77.672 | 113.448 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 176.810 | 149.486 | 23048.302 | 23242.247 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 49.694 | 42.033 | 874.796 | 898.995 |
| OCDF | 113.648 | 91.860 | 139640.094 | 128604.841 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 0.000 | 0.000 | 11.416 | 12.573 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 0.000 | 0.000 | 51.766 | 62.280 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.673 | 85.339 | 87.308 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.910 | 1.105 | 875.944 | 836.806 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD(平均) | 0.000 | 0.000 | 188.025 | 193.038 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 3.529 | 7.173 | 21797.841 | 23707.113 |
| OCDD | 62.905 | 64.824 | 170020.900 | 154345.444 |

表 9. 59 天加菌 Dioxins 分析結果表

| | 製備土不加菌(pg/g) | 製備土加菌(pg/g) | 中石化不加菌(pg/g) | 中石化加菌(pg/g) |
|-----------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 96.444 | 86.219 | 2352.717 | 2390.979 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 48.288 | 40.036 | 1710.768 | 1825.653 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 60.261 | 53.481 | 1227.409 | 1310.395 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 61.734 | 58.174 | 2499.780 | 2638.526 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 54.524 | 50.483 | 614.484 | 626.534 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 44.987 | 43.276 | 454.769 | 402.096 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 5.711 | 4.746 | 76.158 | 63.257 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 159.722 | 144.015 | 19054.403 | 18801.749 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 40.414 | 38.369 | 863.141 | 888.160 |
| OCDF | 130.570 | 61.146 | 59828.043 | 48174.406 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 0.000 | 0.000 | 10.823 | 10.809 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 1.180 | 0.000 | 57.064 | 45.201 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 71.509 | 77.165 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 723.476 | 758.346 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD(平均) | 0.000 | 0.833 | 156.742 | 171.310 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 10.963 | 8.268 | 23619.452 | 21921.906 |
| OCDD | 99.466 | 41.923 | 97113.163 | 78360.575 |

表 10. 加菌後 OCDF 分析結果

| | 製備土(pg/g) | 中石化土(pg/g) | 製備土 濃度百分比(%) | 中石化土 濃度百分比(%) |
|--------|-----------|------------|-----------------|------------------|
| 10 天加菌 | 205.115 | 382292.942 | 76.787 | 99.838 |
| 17 天加菌 | 191.939 | 373762.042 | 71.855 | 97.610 |
| 24 天加菌 | 192.770 | 210979.667 | 72.166 | 55.099 |
| 31 天加菌 | 194.943 | 181924.845 | 72.979 | 47.511 |
| 38 天加菌 | 180.600 | 175315.695 | 67.610 | 45.785 |
| 45 天加菌 | 118.047 | 152463.249 | 44.192 | 39.817 |
| 52 天加菌 | 91.860 | 128604.841 | 34.389 | 33.586 |
| 59 天加菌 | 61.146 | 48174.406 | 22.891 | 12.581 |

※ 製備土以 267.121 pg/g 與中石化土 382912.172 pg/g 為分析最高濃度

表 11. OCDD 分析結果

| | 製備土(pg/g) | 中石化土(pg/g) | 製備土 濃度百分比(%) | 中石化土 濃度百分比(%) |
|--------|-----------|------------|-----------------|------------------|
| 10 天加菌 | 202.954 | 533244.153 | 76.880 | 89.760 |
| 17 天加菌 | 199.889 | 491770.787 | 74.865 | 82.779 |
| 24 天加菌 | 183.470 | 523657.619 | 68.715 | 88.146 |
| 31 天加菌 | 121.489 | 301537.269 | 45.501 | 50.757 |
| 38 天加菌 | 113.409 | 282277.313 | 42.475 | 47.515 |
| 45 天加菌 | 47.069 | 210259.118 | 17.629 | 35.393 |
| 52 天加菌 | 64.824 | 154345.444 | 24.279 | 25.981 |
| 59 天加菌 | 41.923 | 78360.575 | 15.702 | 13.190 |

※ 製備土以 263.988 pg/g 與中石化土 594077.817 pg/g 為分析最高濃度

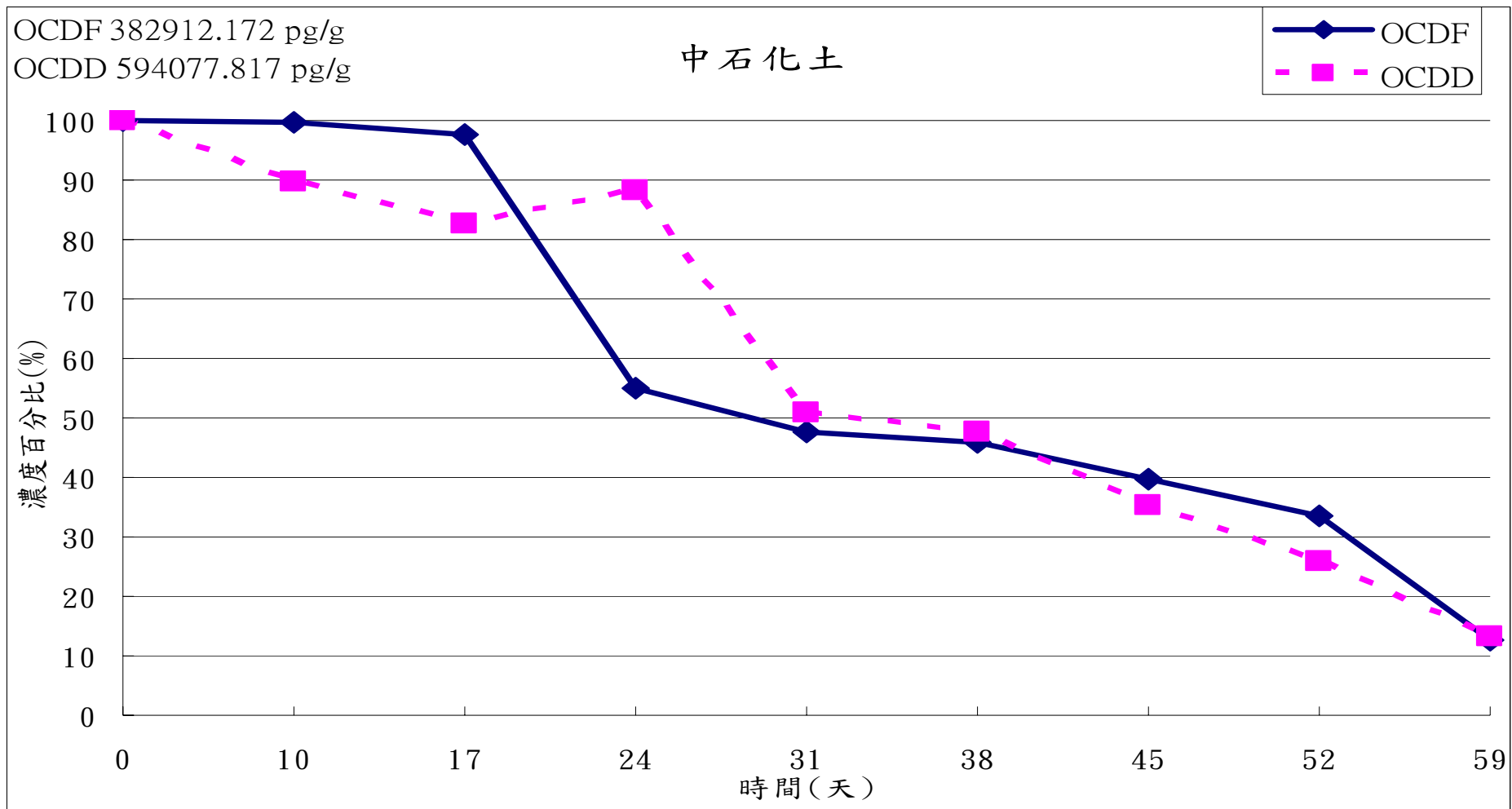


圖 6-4 中石化土中 OCDD 與 OCDF 濃度百分比

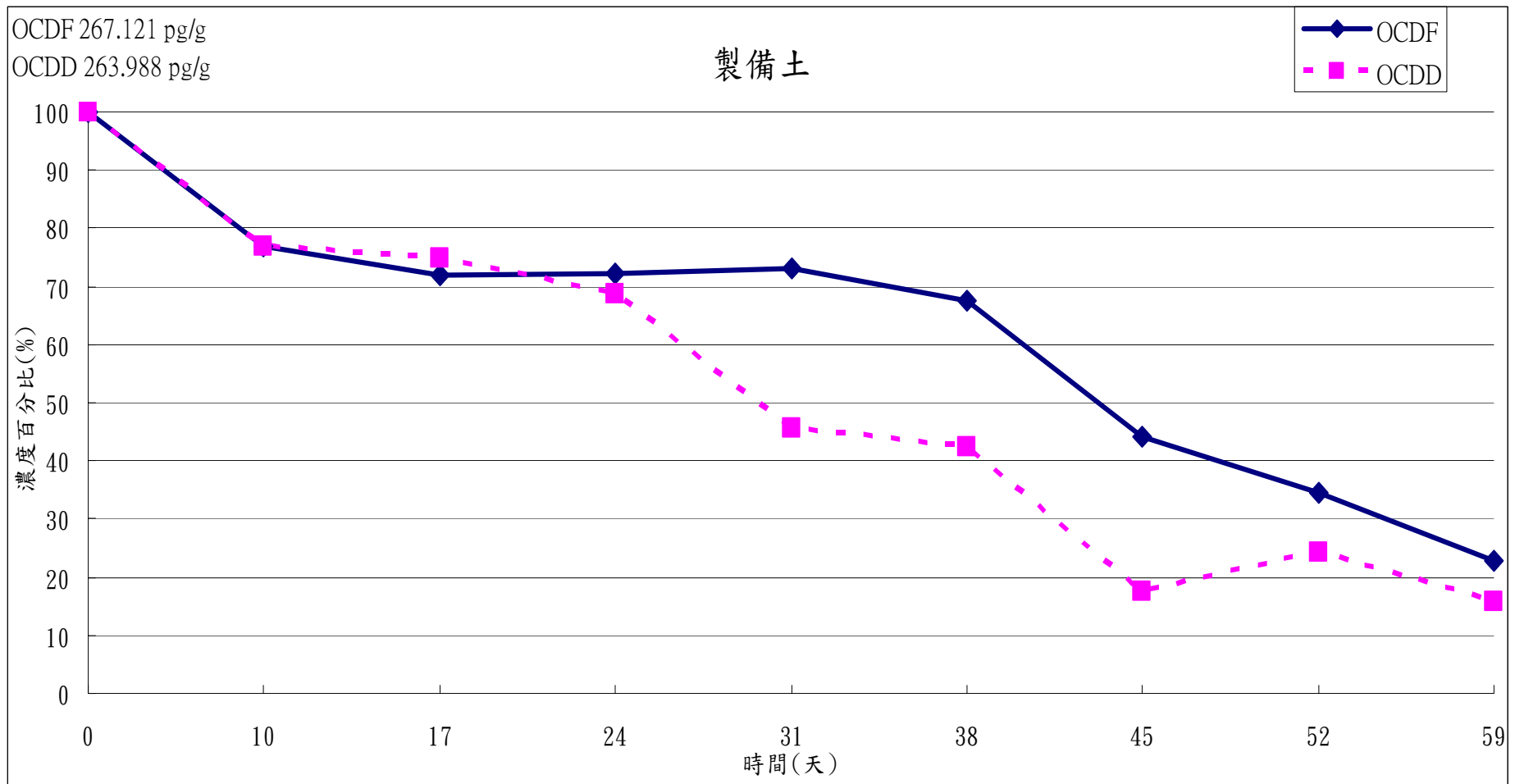


圖 6-5 製備土中 OCDD 與 OCDF 濃度百分比

2. *Pseudomonas mendocina* 菌種降解 Dioxins 實驗 II (滅菌後)

分析不同土壤中戴奧辛含量以後，我發現在不同天數的 OCDD 與 OCDF 加菌與不加菌後均有明顯差距，由於土壤取自於中石化，所以是否有其他菌種一起做用我們無法確定，因此我們將中石化經過高溫高壓殺菌，確定無其他菌種做用後再進行相同實驗。

由實驗結果可以發現，滅菌後的中石化土壤中戴奧辛降解效率與沒有經過滅菌的中石化土壤降解效率相似，所以我們可以確定戴奧辛降解是因為這株菌所造成（如表 12、13 所示）；在圖 6-6 中更由濃度百分比看到 OCDD 與 OCDF 均有明顯的降解效果。

表 12. 滅菌中石化分析結果(單位：ng/kg)

| | 7 天不加菌 | 7 天加菌 | 14 天不加菌 | 14 天加菌 | 21 天不加菌 | 21 天加菌 | 28 天不加菌 | 28 天加菌 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 5007.616 | 2624.046 | 2746.028 | 2535.983 | 2535.129 | 2716.492 | 2511.307 | 2771.036 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 2228.577 | 1791.123 | 1856.243 | 1672.157 | 1821.179 | 1685.328 | 1771.856 | 1932.053 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 1586.167 | 1376.839 | 1385.088 | 1315.665 | 1339.619 | 1241.723 | 1277.923 | 1366.699 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 3396.843 | 2473.520 | 2784.709 | 2377.067 | 2684.419 | 2634.391 | 2681.384 | 2833.272 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 843.591 | 545.722 | 596.626 | 532.129 | 618.901 | 592.898 | 593.307 | 677.422 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 493.854 | 384.457 | 392.483 | 385.154 | 404.253 | 372.265 | 437.786 | 419.891 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 491.961 | 74.547 | 84.949 | 64.002 | 86.017 | 63.694 | 61.905 | 66.449 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 41548.947 | 25514.107 | 32954.240 | 29393.866 | 27949.626 | 28434.450 | 24787.789 | 30062.099 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 1481.701 | 789.693 | 1029.932 | 808.995 | 874.804 | 905.392 | 1091.964 | 1091.910 |
| OCDF | 382912.172 | 392569.393 | 462126.771 | 340444.101 | 356575.920 | 348096.015 | 102241.709 | 121971.969 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 15.587 | 14.184 | 13.088 | 14.354 | 15.864 | 14.513 | 12.538 | 12.935 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 62.788 | 43.262 | 46.466 | 50.268 | 43.709 | 48.148 | 45.841 | 46.704 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 97.028 | 74.517 | 83.328 | 73.426 | 81.777 | 85.845 | 91.888 | 95.397 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 891.275 | 696.422 | 1076.282 | 730.301 | 719.298 | 744.108 | 742.405 | 909.707 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD(平均) | 237.747 | 152.651 | 173.398 | 152.308 | 161.509 | 175.951 | 162.103 | 189.841 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 38185.808 | 24061.331 | 31421.725 | 26990.579 | 25978.783 | 27311.577 | 25725.176 | 29011.555 |
| OCDD | 586752.487 | 343979.055 | 418379.478 | 273321.100 | 448832.855 | 236735.638 | 204183.609 | 214344.220 |

(續)

| | 35 天不加菌 | 35 天加菌 | 42 天不加菌 | 42 天加菌 | 49 天不加菌 | 49 天加菌 | 56 天不加菌 | 56 天加菌 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 2641.892 | 2717.028 | 3551.088 | 2646.363 | 3030.287 | 2823.660 | 2563.144 | 2446.062 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 1921.597 | 1824.895 | 1930.031 | 1784.628 | 1878.718 | 1828.213 | 1697.232 | 1694.968 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 1339.600 | 1295.604 | 1520.841 | 1270.833 | 1407.003 | 1312.385 | 1243.062 | 1195.480 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 2727.068 | 2632.263 | 2659.209 | 2639.859 | 2709.275 | 3075.981 | 2577.951 | 2419.680 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 598.668 | 609.103 | 617.550 | 617.702 | 593.998 | 677.852 | 574.826 | 575.642 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 14296.321 | 329.368 | 353.613 | 400.269 | 409.900 | 372.299 | 449.650 | 410.368 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 48.173 | 46.193 | 77.198 | 67.276 | 65.201 | 92.558 | 90.872 | 64.499 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 28599.533 | 24373.082 | 26401.220 | 26214.954 | 25485.399 | 25640.025 | 28198.740 | 23730.851 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 990.938 | 880.540 | 918.733 | 980.598 | 904.444 | 1034.469 | 1090.191 | 955.314 |
| OCDF | 128970.605 | 127121.080 | 166639.762 | 124479.132 | 84293.227 | 89698.351 | 126477.377 | 83445.233 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 13.574 | 10.954 | 13.695 | 11.072 | 11.440 | 11.607 | 10.409 | 10.586 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 49.587 | 59.864 | 52.942 | 45.777 | 51.900 | 53.459 | 40.296 | 41.203 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 87.850 | 81.680 | 80.719 | 77.626 | 73.008 | 80.460 | 77.480 | 72.882 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 798.817 | 703.687 | 710.099 | 723.010 | 763.728 | 755.111 | 739.812 | 709.768 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD(平均) | 175.670 | 149.189 | 170.150 | 155.928 | 159.305 | 167.806 | 159.293 | 154.611 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 28790.399 | 24036.218 | 25876.444 | 24957.894 | 25001.173 | 26633.620 | 28310.913 | 24377.496 |
| OCDD | 202133.254 | 190133.030 | 199575.233 | 192099.137 | 143902.342 | 160403.547 | 193557.123 | 175640.792 |

表 13. 滅菌中石化 OCDD 與 OCDF 分析結果

| | OCDF (pg/g) | OCDD (pg/g) | OCDF 濃度百分比 (%) | OCDD 濃度百分比 (%) |
|--------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|
| 7 天加菌 | 392569.393 | 343979.055 | 92.998 | 95.861 |
| 14 天加菌 | 340444.101 | 273321.100 | 80.65 | 76.169 |
| 21 天加菌 | 348096.015 | 236735.638 | 82.462 | 65.974 |
| 28 天加菌 | 121971.969 | 214344.220 | 28.895 | 59.734 |
| 35 天加菌 | 127121.080 | 190133.030 | 30.114 | 52.987 |
| 42 天加菌 | 124479.132 | 192099.137 | 29.489 | 53.534 |
| 49 天加菌 | 89698.351 | 160403.547 | 21.249 | 44.701 |
| 56 天加菌 | 83445.233 | 175640.792 | 19.768 | 48.948 |

※ OCDF 以 462126.771 pg/g 為分析最高濃度

※ OCDD 以 448832.855 pg/g 為分析最高濃度

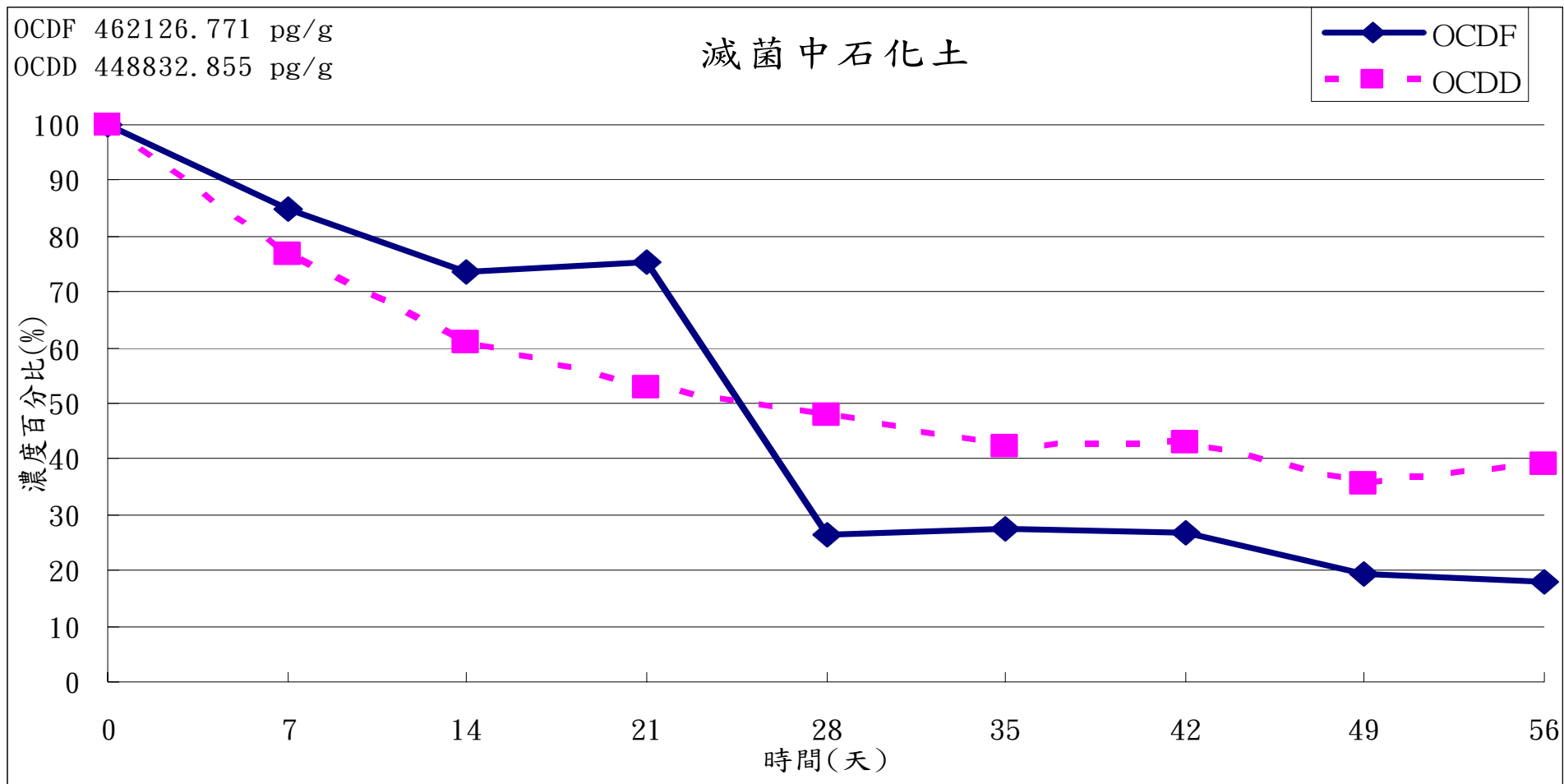


圖 6-6 滅菌中石化土中 OCDD 與 OCDF 濃度百分比

3. *Pseudomonas mendocina* 菌種降解 17 種 Dioxins Standards

分析不同土壤中戴奧辛含量以後，我發現在不同天數的 OCDD 與 OCDF 加菌與不加菌後均有明顯差距。由於菌種取自於中石化土壤，所以為了進一步確定此菌種對戴奧辛的降解能力，因此我們使用戴奧辛標準品做為菌種降解的主要依據，並根據實驗結果，評估利用生物整治復育污染土壤的可行性。

由實驗結果可以看到菌種對於 17 種戴奧辛均有降解作用（如表 14 所示），但主要還是以 OCDD 與 OCDF 最為明顯（如圖 6-7 所示），由濃度百分比可以明顯看出 OCDD 與 OCDF 經過長時間作用後濃度百分比逐漸下降（如圖 6-8 所示）。

表 14. Dioxins Standards 分析結果(單位：ng/kg)

| | 10 天加菌 | 10 天不加菌 | 20 天加菌 | 20 天不加菌 | 30 天加菌 | 30 天不加菌 | 40 天加菌 | 40 天不加菌 | 50 天加菌 | 50 天不加菌 |
|-----------------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 4.683 | 3.561 | 3.366 | 4.461 | 4.206 | 5.068 | 3.419 | 4.737 | 5.030 | 6.032 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 20.854 | 16.829 | 16.477 | 21.695 | 18.760 | 21.837 | 15.495 | 20.246 | 22.061 | 25.149 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 20.694 | 16.991 | 15.938 | 20.854 | 18.784 | 22.343 | 15.380 | 20.338 | 20.675 | 23.973 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 21.319 | 17.429 | 17.451 | 21.869 | 19.342 | 22.144 | 15.918 | 20.764 | 22.517 | 25.296 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 21.369 | 17.783 | 18.130 | 22.804 | 18.914 | 21.357 | 15.451 | 20.257 | 22.956 | 25.435 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 20.127 | 16.268 | 16.752 | 20.318 | 18.368 | 21.274 | 14.962 | 19.802 | 21.279 | 23.970 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 20.054 | 16.798 | 16.488 | 20.444 | 18.867 | 21.093 | 15.121 | 19.635 | 21.218 | 24.471 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 21.332 | 16.981 | 18.171 | 22.204 | 18.905 | 21.878 | 15.746 | 21.278 | 22.571 | 25.291 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 20.572 | 17.630 | 18.204 | 21.944 | 19.099 | 21.930 | 15.588 | 19.759 | 22.683 | 25.365 |
| OCDF | 39.676 | 41.909 | 37.078 | 43.803 | 33.897 | 37.706 | 26.673 | 45.695 | 46.508 | 51.458 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 3.521 | 3.084 | 2.938 | 3.869 | 3.438 | 4.035 | 2.813 | 3.751 | 4.550 | 5.229 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 20.744 | 17.416 | 15.972 | 20.936 | 18.541 | 21.478 | 15.777 | 20.400 | 21.471 | 24.549 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 18.694 | 15.414 | 15.781 | 20.392 | 17.233 | 19.580 | 14.120 | 18.133 | 20.680 | 23.012 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 19.196 | 15.937 | 16.137 | 20.735 | 17.759 | 20.176 | 14.555 | 18.789 | 20.405 | 22.871 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD(平均) | 20.151 | 16.436 | 17.990 | 22.653 | 17.570 | 19.307 | 14.927 | 19.934 | 20.956 | 23.379 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 21.410 | 11.989 | 18.942 | 22.909 | 20.097 | 22.785 | 16.392 | 22.010 | 22.390 | 25.399 |
| OCDD | 44.620 | 44.380 | 41.679 | 49.757 | 47.997 | 52.765 | 34.916 | 66.991 | 47.170 | 54.039 |

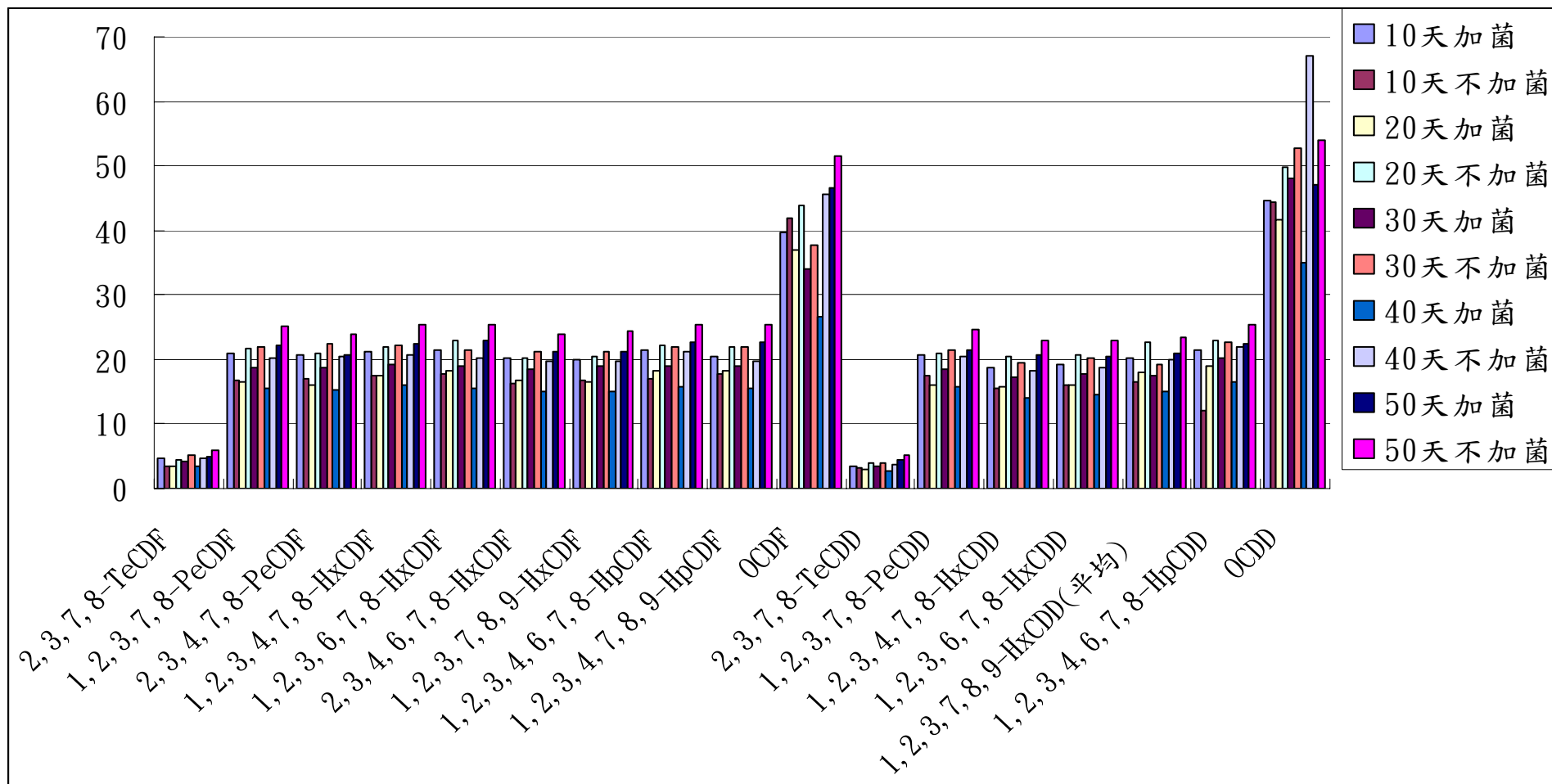


圖 6-7 Dioxins Standards 分析結果比較情形(單位：ng/kg)

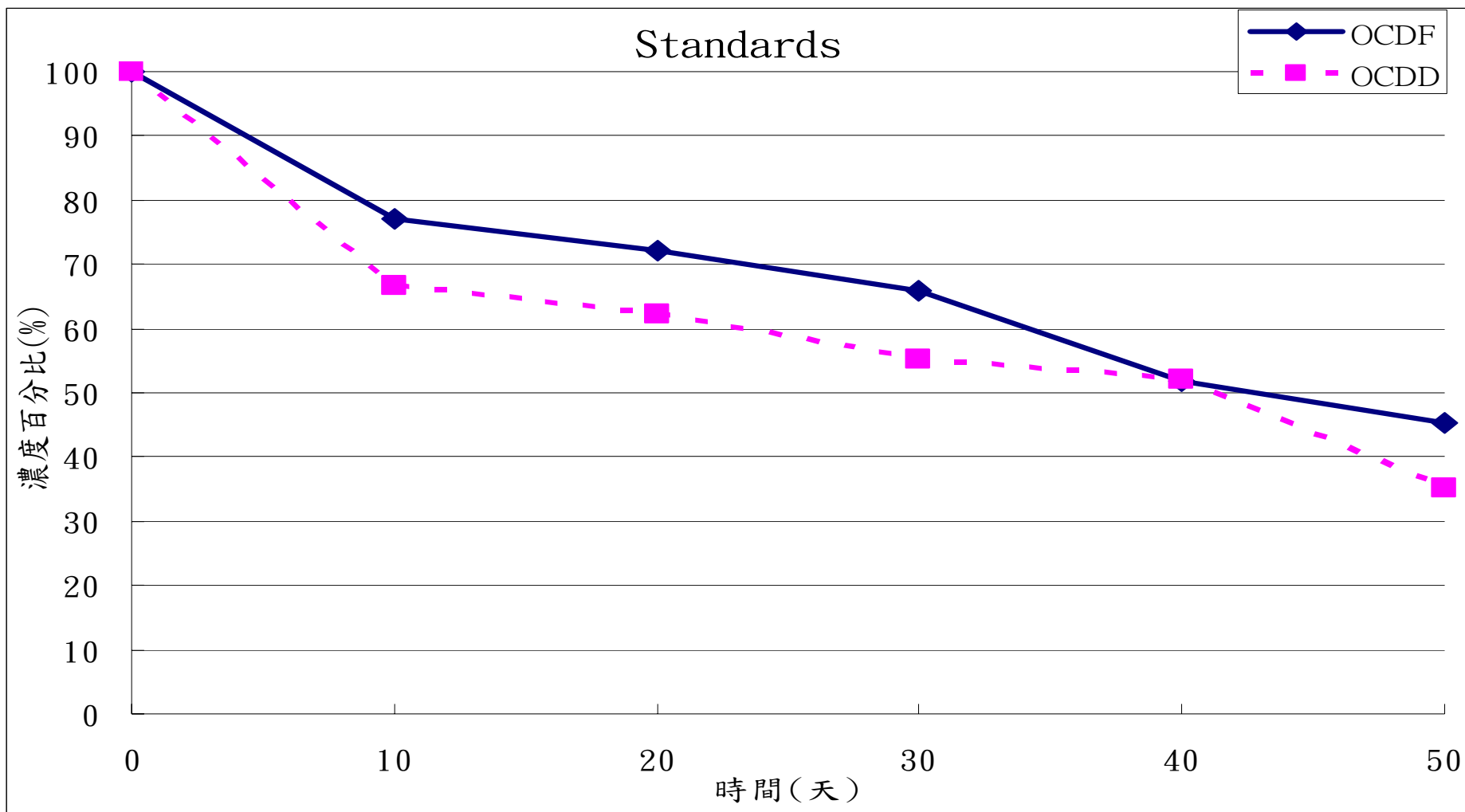


圖 6-8 Dioxins Standards 分析結果中 OCDD 與 OCDF 濃度百分比

第四部分

探討 *Pseudomonas mendocina* 菌種對「戴奧辛類化合物」之降解能力

由第三部分實驗可以發現菌種對於戴奧辛有一定程度降解能力，我進一步探討菌種對於類戴奧辛的降解能力，由實驗結果發現 *Pseudomonas mendocina* 菌種對於類戴奧辛降解能力遠比戴奧辛顯著且效果更明顯（如表 15~18、圖 6-9~6-12 所示）；其中以溴化戴奧辛 (PBDDs) 降解效能最為一致，12 天後濃度百分比均已降至 30% 以下；而多數的多氯聯苯 (PCBs) 降解效能更是明顯，在 12 天後濃度百分比降至幾近於 0；至於大多數的多溴聯苯醚 (PBDEs)，濃度百分比在 12 天後也降至 30% 以下；多環芳香烴 (PAHs) 濃度百分比的變化差異雖大，但仍有明顯的降解。可見 *P. mendocina* 菌種對戴奧辛類化合物的確有明顯的降解效果。

這樣的發現，不啻對本研究的結果有重大突破，讓我想以從中石化安順廠污染場址之土壤篩選出的細菌，以生物復育技術用來清除土壤中有毒的戴奧辛物質的整治新法，有了重要的依據！

表 15. 多氯聯苯 Standards 分析結果(單位：ng/kg)

| 原始數據 | BK | 3 天加菌 | | 6 天加菌 | | 9 天加菌 | | 12 天加菌 | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3,3',4,4'-TeCB | 99.654 | 76.086 | 75.617 | 62.008 | 60.148 | 62.071 | 60.829 | 60.947 | 66.547 |
| 3,4,4',5-TeCB | 97.655 | 67.794 | 76.418 | 60.203 | 58.397 | 20.539 | 61.617 | 45.828 | 25.534 |
| 2,3,3',4,4'-PeCB | 98.654 | 73.686 | 73.953 | 67.565 | 65.538 | 16.225 | 15.901 | 24.587 | 9.840 |
| 2,3,3',4,4'-PeCB | 99.106 | 66.879 | 81.225 | 66.475 | 64.480 | 6.766 | 6.630 | 3.245 | 0.902 |
| 2,3',4,4',5-PeCB | 101.65 | 80.260 | 75.063 | 73.750 | 71.537 | 5.287 | 5.181 | 3.051 | 0.871 |
| 2',3,4,4',5-PeCB | 99.647 | 67.854 | 86.708 | 67.046 | 65.034 | 4.366 | 4.279 | 2.394 | 0.717 |
| 3,3',4,4',5-PeCB | 96.554 | 78.583 | 74.515 | 66.443 | 64.450 | 22.098 | 55.245 | 45.483 | 25.861 |
| 2,3,3',4,4',5-HxCB | 97.657 | 76.760 | 73.215 | 75.248 | 72.991 | 7.529 | 7.379 | 3.413 | 0.979 |
| 2,3,3',4,4',5'-HxCB | 98.641 | 68.022 | 78.143 | 74.678 | 72.437 | 9.823 | 9.626 | 4.625 | 1.169 |
| 2,3',4,4',5,5'-HxCB | 99.667 | 71.159 | 78.824 | 73.375 | 71.174 | 2.196 | 2.152 | 1.651 | 0.627 |
| 3,3',4,4',5,5'-HxCB | 98.954 | 84.620 | 79.251 | 75.106 | 72.853 | 15.194 | 14.890 | 13.553 | 3.851 |
| 2,3,3',4,4',5,5'-HpCB | 99.163 | 74.593 | 89.670 | 80.736 | 78.314 | 3.436 | 3.368 | 2.011 | 0.682 |

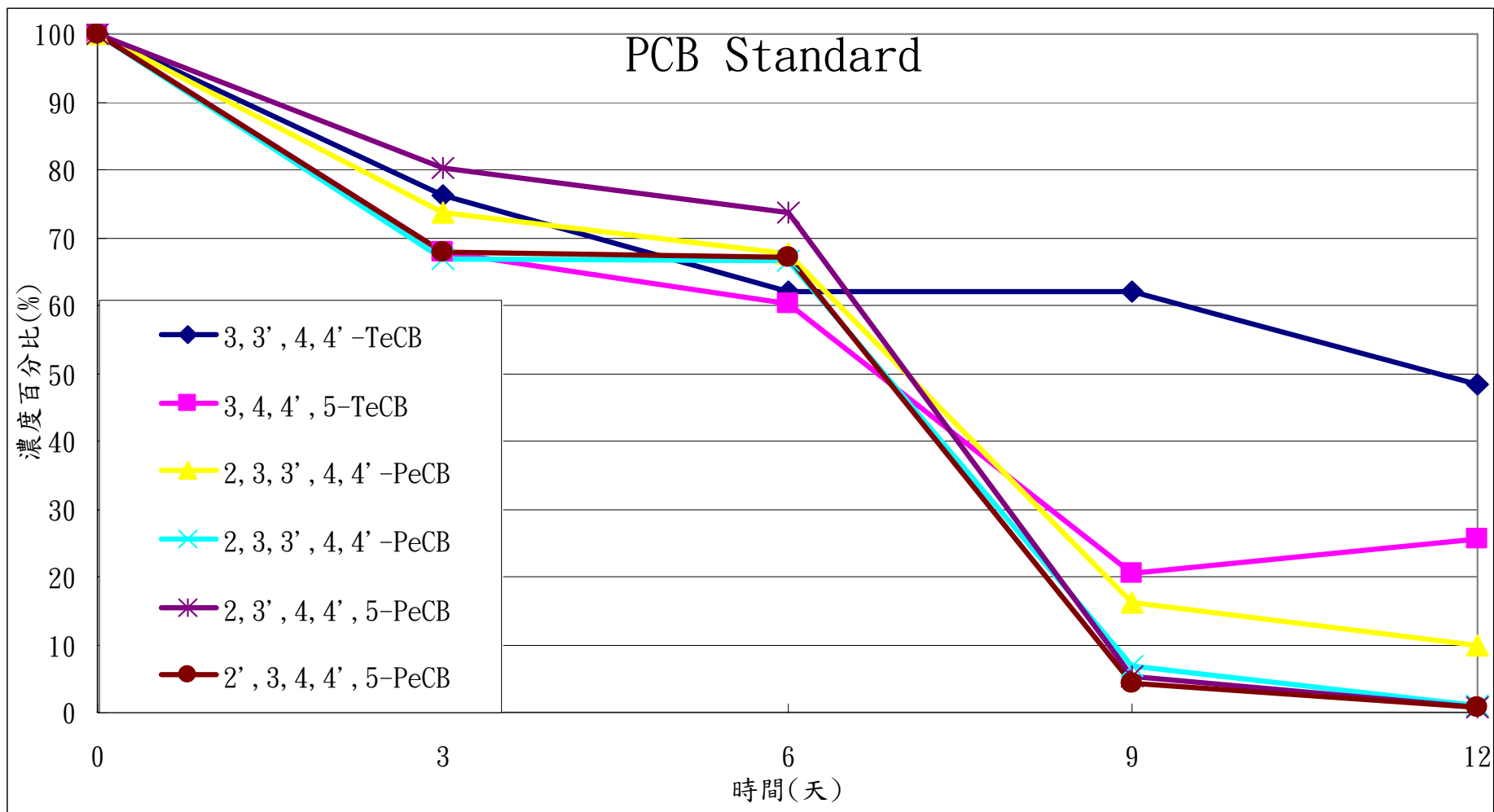


圖 6-9 多氯聯苯 Standards 濃度百分比

(續)

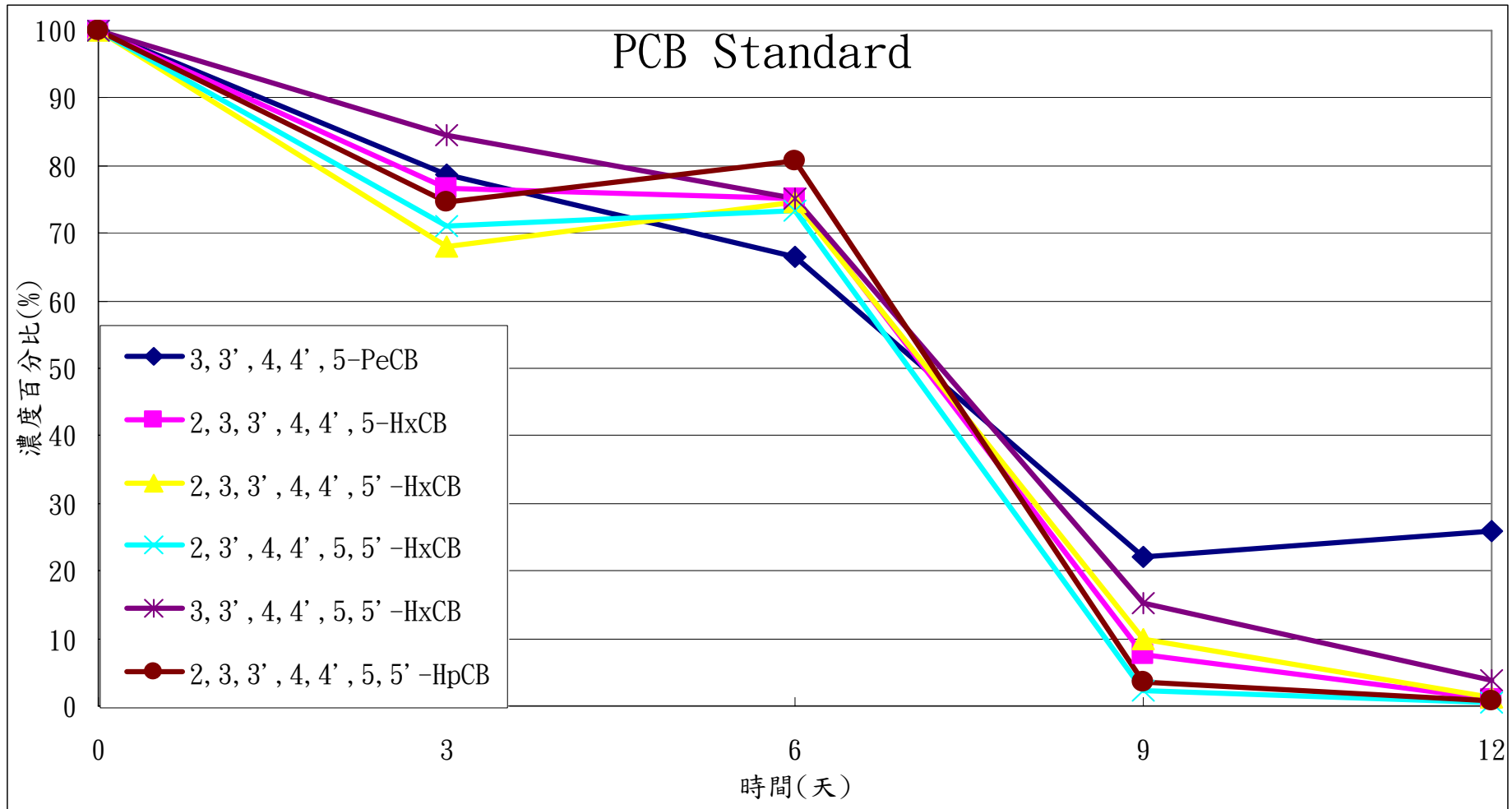


表 16. 溴化戴奧辛 Standards 分析結果(單位：ng/kg)

| 原始數據 | BK | 3 天加菌 | 3 天加菌 | 6 天加菌 | 6 天加菌 | 9 天加菌 | 9 天加菌 | 12 天加菌 | 12 天加菌 |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2,3,7,8-TeBDF | 15.04411 | 10.70323 | 11.84962 | 8.725258 | 7.341013 | 3.867554 | 4.258691 | 2.369576 | 5.439998 |
| 1,2,3,7,8-PeBDF | 62.2524 | 40.27043 | 43.73232 | 33.42602 | 25.84774 | 14.77945 | 17.71884 | 8.284261 | 19.99235 |
| 2,3,4,7,8-PeBDF | 61.64974 | 39.99065 | 44.17461 | 34.16683 | 27.42181 | 14.97654 | 16.09577 | 9.31423 | 18.03899 |
| 2,3,7,8-TeBDD | 12.33207 | 8.72505 | 9.402492 | 7.664356 | 5.436819 | 3.342311 | 3.537671 | 2.183551 | 4.283742 |
| 1,2,3,7,8-PeBDD | 59.06505 | 41.21257 | 49.32698 | 40.13022 | 28.90728 | 16.41596 | 19.09439 | 10.33098 | 22.53091 |
| 1,2,3,4/6,7,8-HxBDD | 117.5867 | 89.09452 | 89.07519 | 65.71695 | 49.4861 | 29.23258 | 34.0947 | 16.76236 | 36.24271 |
| 1,2,3,7,8,9-HxBDD | 50.4216 | 43.58366 | 41.63378 | 31.4459 | 22.86921 | 12.92833 | 19.43288 | 7.525825 | 16.06246 |

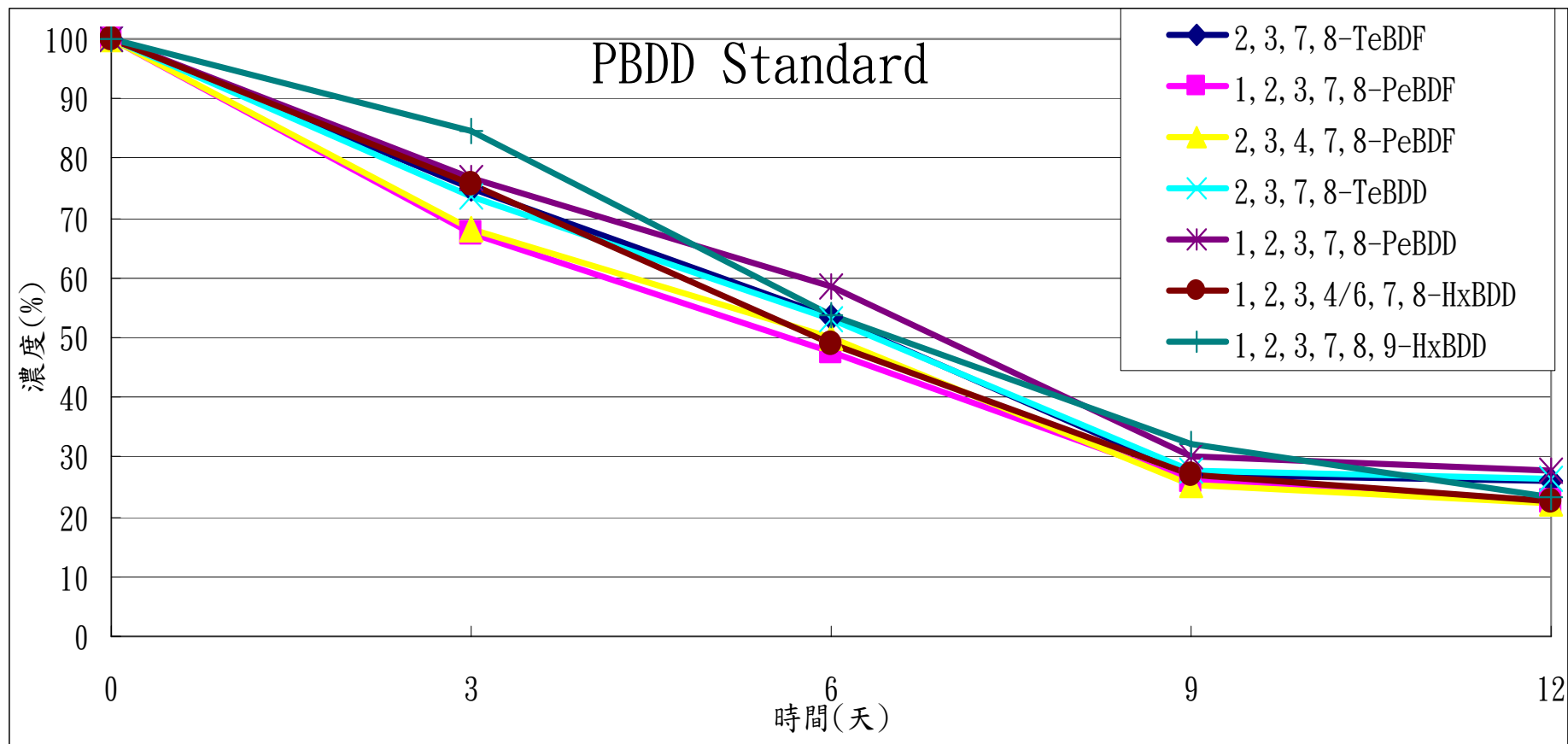


圖 6-10 溴化戴奧辛 Standards 濃度百分比

表 17. 多溴聯苯醚 Standards 分析結果(單位：ng/kg)

| 原始數據 | BK | 3 天加菌 | 3 天加菌 | 6 天加菌 | 6 天加菌 | 9 天加菌 | 9 天加菌 | 12 天加菌 | 12 天加菌 |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2,4-DiBDE | 112.6957 | 110.0315 | 112.6957 | 87.36034 | 68.68326 | 55.77864 | 31.4321 | 25.95264 | 17.02481 |
| 4,4'-DiBDE | 153.423 | 128.7919 | 117.4781 | 147.2098 | 153.423 | 99.98157 | 60.50253 | 34.82373 | 22.46164 |
| 2,2',4-TrBDE | 161.6554 | 161.6554 | 142.8713 | 146.4371 | 158.2906 | 118.7671 | 69.74806 | 59.86499 | 31.20721 |
| 2,4,4'-TrBDE | 163.0644 | 163.0644 | 142.3513 | 140.8012 | 162.3226 | 117.9438 | 73.01568 | 55.87768 | 28.52875 |
| 2,2',4,5'-TeBDE | 127.4666 | 127.4666 | 112.4807 | 95.00117 | 116.3575 | 88.51498 | 53.3738 | 37.66211 | 19.41556 |
| 2,3',4',6-TeBDE | 145.5911 | 145.5911 | 114.0861 | 100.6765 | 133.5269 | 98.97599 | 62.43958 | 32.70168 | 21.85434 |
| 2,2',4,4'-TeBDE | 136.8531 | 136.8531 | 116.7419 | 108.8569 | 133.2165 | 97.63281 | 80.983 | 47.83996 | 21.91688 |
| 2,3',4,4'-TeBDE | 137.01 | 137.01 | 112.8476 | 101.4342 | 128.1913 | 94.81769 | 57.63272 | 35.08828 | 19.32551 |
| 3,3',4,4'-TeBDE | 149.6523 | 149.6523 | 125.3103 | 107.3155 | 141.3477 | 99.22879 | 61.11151 | 30.36574 | 19.64032 |
| 2,2',4,4',6-PeBDE | 155.7369 | 104.3421 | 118.3579 | 113.5918 | 155.7369 | 104.3654 | 66.6981 | 31.50117 | 21.10096 |
| 2,3',4,4',6-PeBDE | 153.5181 | 141.3799 | 125.7975 | 113.4981 | 153.5181 | 105.1525 | 63.12445 | 29.33706 | 20.12297 |
| 2,2',4,4',5-PeBDE | 152.2916 | 150.7974 | 132.4256 | 111.8377 | 152.2916 | 105.8616 | 76.3307 | 36.11992 | 20.9146 |
| 2,2',3,4,4'-PeBDE | 159.4585 | 155.2691 | 135.1746 | 115.3182 | 159.4585 | 107.2341 | 66.354 | 32.2245 | 21.25172 |
| 3,3',4,4',5-PeBDE | 175.5492 | 162.6938 | 148.1998 | 124.4533 | 175.5492 | 117.0195 | 69.9988 | 33.63799 | 21.52395 |

(續)

| 原始數據 | BK | 3 天加菌 | 3 天加菌 | 6 天加菌 | 6 天加菌 | 9 天加菌 | 9 天加菌 | 12 天加菌 | 12 天加菌 |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2,2',4,4',5,6'-HxBDE | 322.9675 | 203.8286 | 267.2886 | 253.5422 | 322.9675 | 214.1755 | 126.9066 | 75.24899 | 45.28201 |
| 2,2',4,4',5,5'-HxBDE | 323.7856 | 295.9571 | 300.0509 | 252.0113 | 323.7856 | 219.0439 | 130.3232 | 75.42507 | 45.87475 |
| 2,2',3,4,4',6-HxBDE | 334.337 | 334.337 | 309.8924 | 261.891 | 333.3773 | 229.2844 | 138.2294 | 72.0345 | 41.69333 |
| 2,2',3,4,4',6'-HxBDE | 423.623 | 421.3596 | 385.2138 | 327.2983 | 423.623 | 291.0338 | 174.0982 | 88.65336 | 60.96761 |
| 2,2',3,4,4',5'-HxBDE | 335.5122 | 335.5122 | 303.8899 | 253.3196 | 329.8263 | 231.6497 | 132.413 | 69.52079 | 45.04456 |
| 2,3,3',4,4',5-HxBDE | 375.9084 | 375.9084 | 346.9821 | 281.3654 | 360.7094 | 254.3523 | 150.0441 | 78.25888 | 47.12837 |
| 2,2',3,4,4',6,6'-HpBDE | 337.3207 | 324.242 | 337.3207 | 295.7542 | 334.376 | 221.6314 | 132.8057 | 103.2139 | 56.25874 |
| 2,2',3,4,4',5',6-HpBDE | 327.9534 | 312.9102 | 327.9534 | 283.7866 | 320.345 | 223.8652 | 129.8206 | 99.1041 | 52.58872 |
| 2,3,3',4,4',5',6-HpBDE | 363.0412 | 339.8286 | 363.0412 | 306.3316 | 341.2601 | 237.4342 | 141.0345 | 114.8636 | 56.5984 |
| 2,2',3,3',4,4',6,6'-OcBDE | 440.6994 | 361.1286 | 440.6994 | 393.0835 | 378.314 | 267.2743 | 147.8184 | 173.3933 | 85.403 |
| 2,2',3,4,4',5,5',6-OcBDE | 384.3339 | 346.0805 | 384.3339 | 371.5531 | 350.93 | 241.391 | 144.6168 | 141.2612 | 74.68501 |
| 2,2',3,3',4,4',5,6'-OcBDE | 322.088 | 286.2029 | 322.088 | 287.6541 | 276.7237 | 188.3629 | 118.3416 | 109.1868 | 60.19464 |
| 2,2',3,3',4,5,5',6,6'-NoBDE | 940.6644 | 831.5918 | 940.6644 | 861.486 | 927.7843 | 671.253 | 363.7848 | 350.5729 | 206.3327 |
| 2,2',3,3',4,4',5,6,6'-NoBDE | 868.4709 | 754.5038 | 868.4709 | 818.0904 | 802.5389 | 551.1765 | 360.8478 | 349.9872 | 212.8398 |
| DeBDE | 902.0333 | 738.463 | 902.0333 | 836.6472 | 791.0109 | 684.5242 | 706.8809 | 408.2536 | 237.3596 |

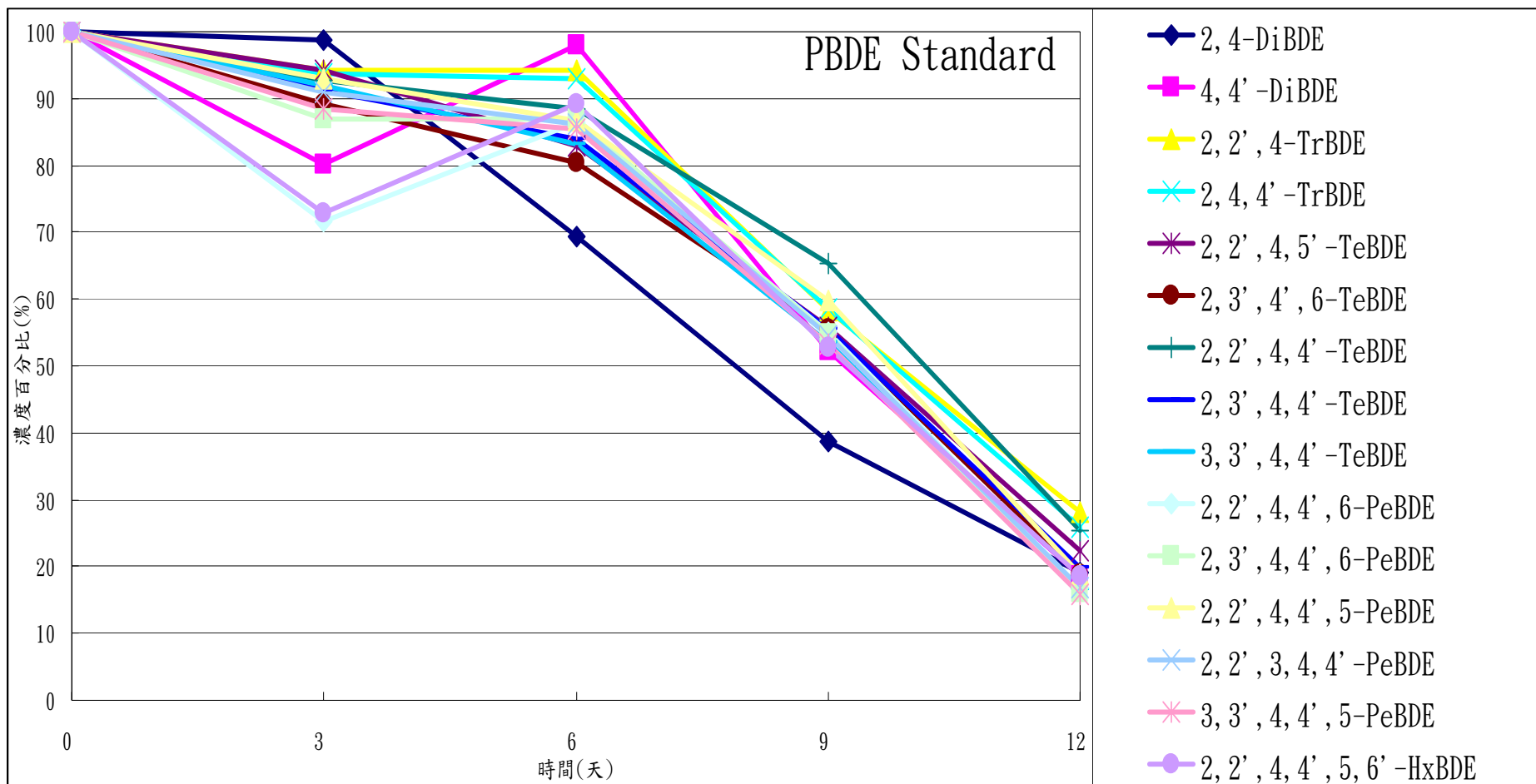


圖 6-11 多溴聯苯醚 Standards 濃度百分比

(續)

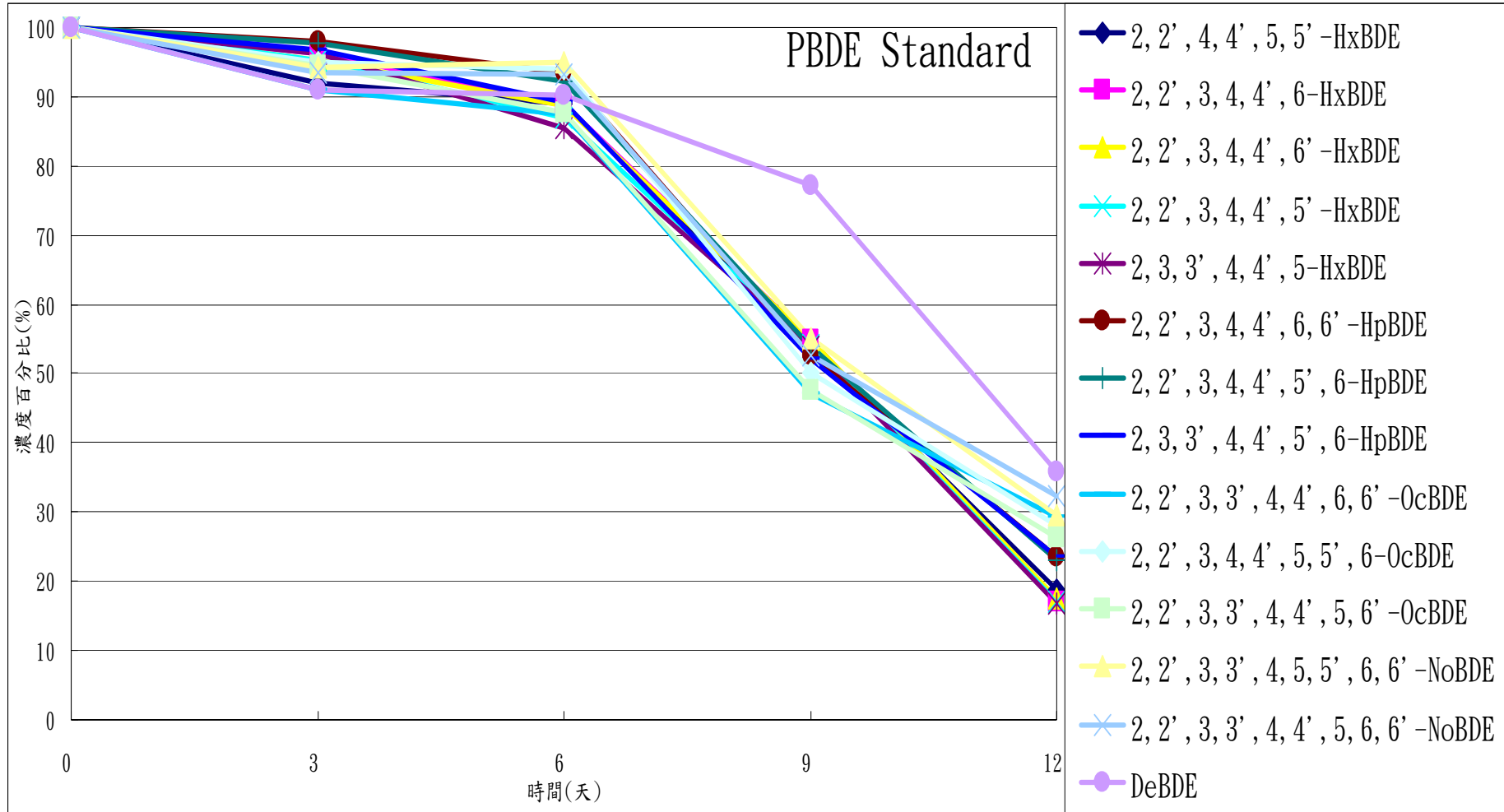


表 18. 多環芳香烴 Standards 分析結果(單位：ppm)

| 原始數據 | BK | 3 天加菌 | 3 天加菌 | 6 天加菌 | 6 天加菌 | 9 天加菌 | 9 天加菌 | 12 天加菌 | 12 天加菌 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Naphthalene | 0.998 | 0.890 | 0.810 | 0.640 | 0.570 | 0.551 | 0.134 | 0.052 | 0.170 |
| Acenaphthylene | 0.997 | 0.660 | 0.630 | 0.520 | 0.440 | 0.536 | 0.390 | 0.089 | 0.293 |
| Acenaphthene | 1.001 | 0.790 | 0.780 | 0.640 | 0.610 | 0.646 | 0.430 | 0.108 | 0.334 |
| Fluorene | 1.013 | 0.770 | 0.750 | 0.620 | 0.630 | 0.626 | 0.525 | 0.190 | 0.401 |
| Phenanthrene | 0.997 | 0.780 | 0.750 | 0.710 | 0.720 | 0.619 | 0.617 | 0.335 | 0.428 |
| Anthracene | 0.941 | 0.830 | 0.840 | 0.610 | 0.620 | 0.716 | 0.669 | 0.453 | 0.455 |
| Fluoranthene | 0.967 | 0.890 | 0.900 | 0.760 | 0.760 | 0.784 | 0.814 | 0.498 | 0.480 |
| Pyrene | 0.967 | 0.880 | 0.900 | 0.800 | 0.810 | 0.773 | 0.795 | 0.482 | 0.462 |
| Benzo(a)anthracene | 0.991 | 0.820 | 0.790 | 0.670 | 0.710 | 0.634 | 0.578 | 0.394 | 0.343 |
| Chrysene | 0.976 | 1.100 | 1.090 | 0.860 | 0.880 | 0.898 | 0.825 | 0.662 | 0.553 |
| Benzo(b)fluoranthene | 0.942 | 0.810 | 0.810 | 0.620 | 0.660 | 0.561 | 0.503 | 0.375 | 0.302 |
| Benzo(k)fluoranthene | 0.956 | 1.120 | 1.090 | 0.960 | 0.990 | 0.844 | 0.803 | 0.597 | 0.512 |
| Benzo(a) pyrene | 1.131 | 1.010 | 0.980 | 0.710 | 0.740 | 0.621 | 0.499 | 0.420 | 0.322 |
| Indeno(1,2,3-cd) pyrene | 0.994 | 0.850 | 0.840 | 0.650 | 0.710 | 0.508 | 0.368 | 0.332 | 0.259 |
| Dibenzo(a,h)anthracene | 1.002 | 0.990 | 1.000 | 0.810 | 0.850 | 0.659 | 0.495 | 0.474 | 0.422 |
| Benzo(g,h,i) perylene | 1.263 | 1.130 | 1.130 | 0.860 | 0.890 | 0.778 | 0.626 | 0.544 | 0.464 |

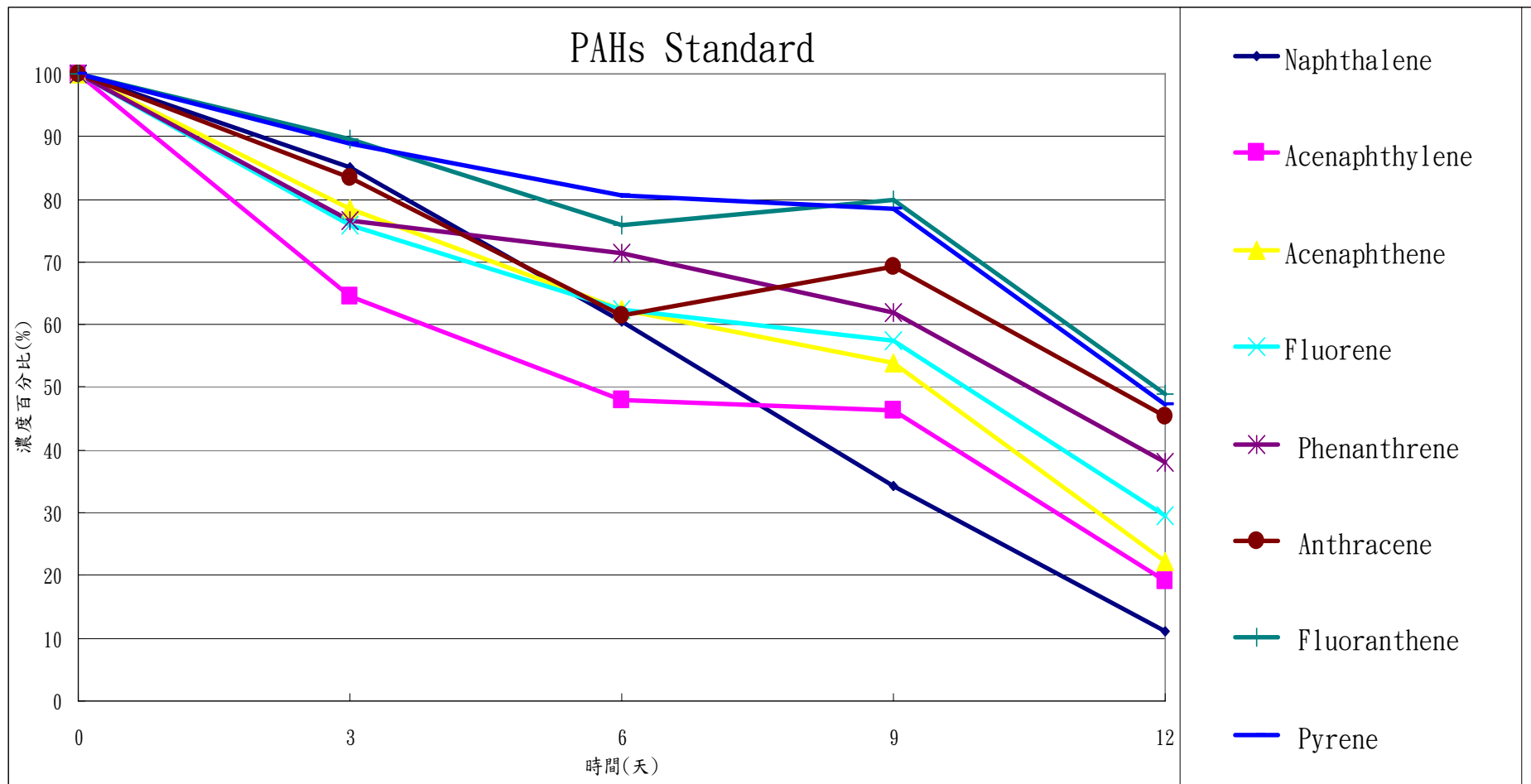
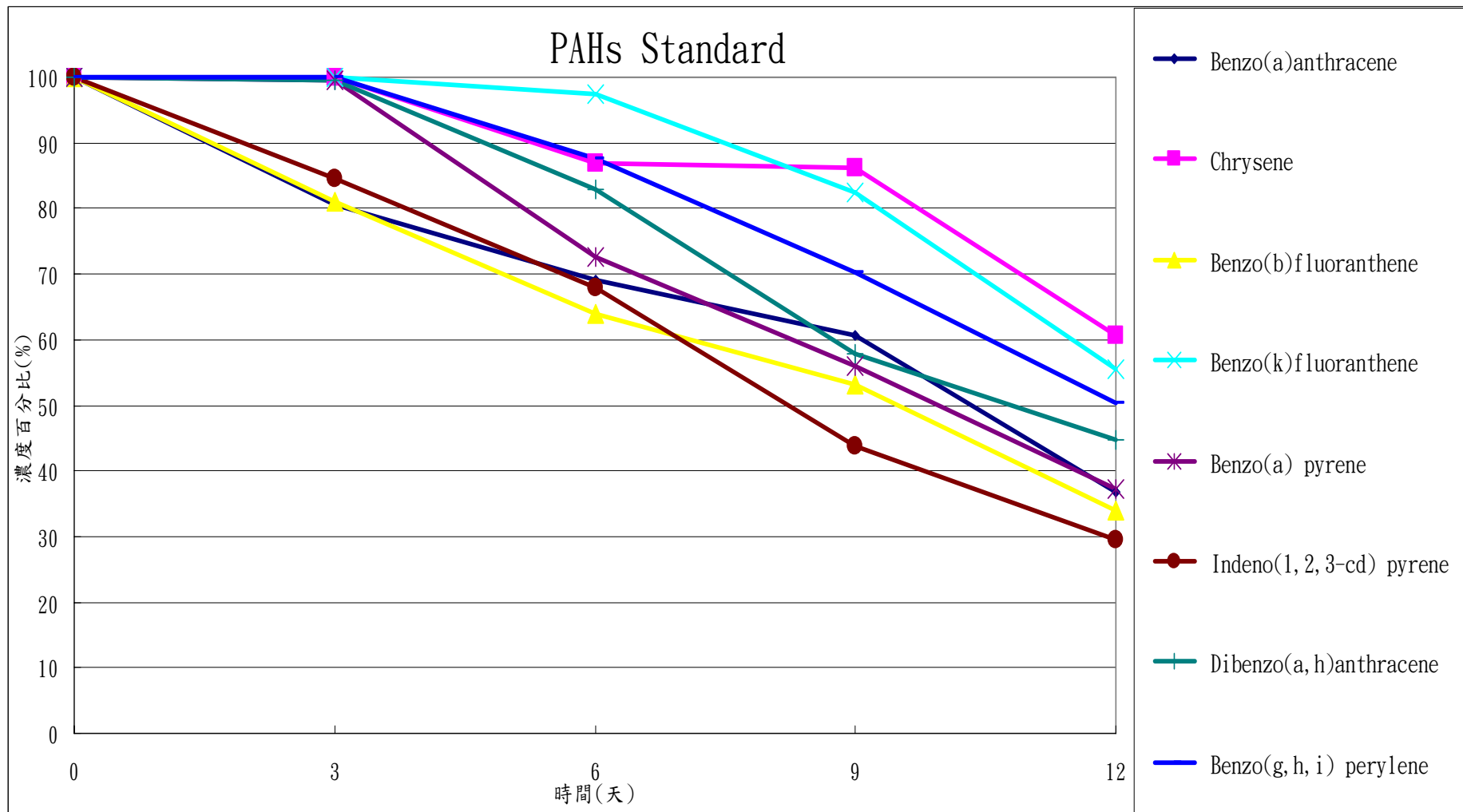


圖 6-12 多環芳香烴 Standards 濃度百分比

(續)



柒、結論

在前人實驗中，*Pseudomonas mendocina* 這株菌種可以完全分解五氯酚，本研究更進一步發現到它對於戴奧辛也具有降解的能力，且作用越多天對於戴奧辛的降解能力越為明顯。更令我們振奮的就是它對於汞離子更具有至少 50 ppm 以上的耐受度，可抵抗一般污染環境土壤中汞離子所造成的傷害，這對於我們環境整治是相當令人興奮的結果。

在本研究結果中，以中石化土壤作為實驗土樣，可以明確看出菌種作用後的變化。隨著菌種作用時間越長，其降解的效果越明顯。其中又以 OCDD 與 OCDF 這兩種戴奧辛降解效果最為明顯。以製備土作為實驗土樣，也可以看出菌種作用後有相同的變化。平均菌種作用 31 天後，由濃度百分比結果可以看到加菌後 OCDD 與 OCDF 濃度差將近一半。由此可知，*Pseudomonas mendocina* 菌種在中石化土及製備土壤中，均對於戴奧辛有降解效果。因此我推測污染土壤中的戴奧辛，應是被菌種所分泌的某種酵素所分解，至於製造這種菌種酵素的基因為何，值得進一步深入探討。

由標準品實驗結果，可以更加確定此菌種對於 17 種戴奧辛確實有降解作用，尤其以 OCDD 與 OCDF 最為明顯，由此可以證明此株菌種對於生物整治有其開發利用之價值，值得深入研究與探討。

最後，進一步由戴奧辛類化合物標準品實驗結果，確定此菌種對於戴奧辛類化合物也有較戴奧辛顯著的降解能力，未來若能善加利用此菌做為生物整治，相信對於污染土壤的生物復育技術，將提供相當程度的貢獻。

捌、參考資料

1. 陳秋炳等 6 人(民 95)，基礎化學第 2-3.2 土壤的污染與防治，初版，台南，翰林出版社，p.46~p.48。
2. Sakai, S.; Watanabe, J.; Honda, Y.; Takatsuki, H.; Aoki, I.; Futamatsu, M.; Shiozaki, K. *Combustion of brominated flame retardants and behavior of its byproducts*. *Chemosphere* 2001, 42, 519-531.
3. 蔡啟堂(民 91)，五氯酚分解菌之生理特性探討，國立中山大學生物科學系碩士論文，未出版，高雄。
4. 戴奧辛物質特性簡介，行政院環境保護署，民 95 年 12 月 1 日，取自：<http://www.epa.gov.tw/>
5. 全民認識戴奧辛，行政院環境保護署，民 95 年 12 月 1 日，取自：<http://www.epa.gov.tw/>
6. 世紀之毒-戴奧辛，高雄醫學大學附設紀念醫院，民 95 年 12 月 7 日，取自：www.kmuh.org.tw/
7. hiraishi, A., *Biodiversity of Dioxin-Degrading Microorganisms and Potential Utilization in Bioremediation*. *Microbes and Environments*, 2003. Vol.18, No.3,: p. 105-135.
8. 國際厚生健康園區編輯群，戴奧辛的處理方法，2005 [cited; Available from:http://www.24drs.com/special_report/content_article.asp?sp=88&sec=8&no=0740&type=perspective].
9. 台灣光復後的奇蹟-台鹼安順廠民眾血液戴奧辛量狂飆世界紀錄，綠色陣線協會，民 93 年 10 月 25 日，取自：<http://www.gff.org.tw/new/news20041025.htm>
10. Wang, L. C.; Chang-Chien, G. P. *Characterizing the emissions of polybrominated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans from municipal and industrial waste incinerators*. *Environ. Sci. Technol.* 2007, 41, 1159-1165
11. Wang, L. C.; Lee, W. J.; Lee, W. S.; Chang-Chien, G. P.; Tsai, P. J. *Characterizing the emissions of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans from crematories and their impacts to the surrounding environment*. *Environ. Sci. Technol.* 2003, 37, 62-67.

玖、附件(實驗照片)

(一) 戴奧辛分析實驗室



(二) *Pseudomonas mendocina* 分菌及耐汞實驗



菌相分布

| | 1 週 | 2 週 | 3 週 |
|------|-----|-----|-----|
| 乾淨土 | | | |
| 中石化土 | | | |
| 製備土 | | | |

(三) 戴奧辛樣品處理



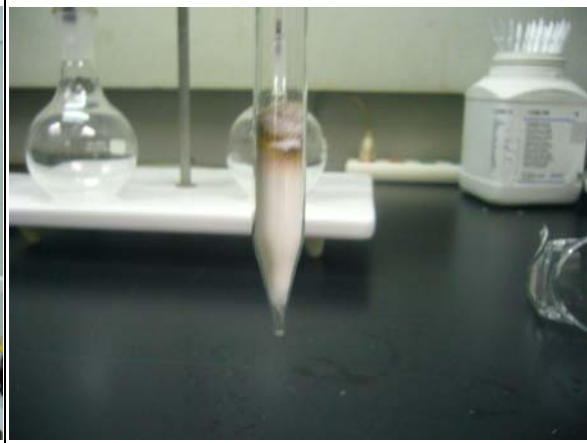
檢驗樣品前處理



減壓濃縮萃取後濾液



酸洗淨化---以氮氣吹乾



以層析管柱過濾



存放藥品冰箱



教授指導電腦分析

評語

本作品從中山大學已篩選出可降解五氯酚之微生物 *pseudomonas mendocina*, 引用至中石化安順廠含戴奧辛污染之土壤，進行微生物降解試驗，發現約在 21 天即可明顯降解戴奧辛，並且觀察到此微生物能在汞離子濃度達 50ppm 之含戴奧辛土壤中，仍具相當程度之耐受度，且對戴奧辛類化合物亦具降解效果。本作品具未來推廣實用之價值，但仍需進一步瞭解降解機制，控制與操作條件，放大與示範實驗等方能解決場址污染問題，但此類劇毒物質之降解試驗，恐較不合適高中學生嚐試。