



## 行政院環境保護署

108 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

# 二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫 (結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與 底泥有機物污染整治技術研發及驗證)(第 2 年) 期末報告(定稿)

主辦單位： 行政院環境保護署

專案執行單位：國立中興大學／環境工程學系

專案主持人：張書奇副教授

專案執行期間：108 年 01 月 04 日起至  
108 年 11 月 30 日止

中 華 民 國 108 年 12 月 印製





## 專案基本資料表

專案性質		<input checked="" type="checkbox"/> 實驗性質 <input type="checkbox"/> 非實驗性質		專案類別(單選)		<input type="checkbox"/> 研究專案 <input checked="" type="checkbox"/> 模場試驗	
研究主題		<input type="checkbox"/> 調查 <input checked="" type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 其他					
申請機構系所		國立中興大學環境工程學系					
機構地址		台中市南區興大路 145 號					
專案主持人		張                      書                      奇		職等／職稱		副                      教                      授	
協同主持人		蘇                      武                      昌 蔡                      利                      局		職等／職稱		教                      授 副                      教                      授	
專案名稱	中文	二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫(結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證)(第 2 年)					
	英文	A pilot study on the remediation of Er-Ren River sediment (Technology development and validation of remediation of soils and sediments by integrating low temperature phase inversion emulsification and biodegradation - Year 2)					
	關鍵字	底泥整治、土壤整治、二仁溪、模場試驗、相反轉法、持久性有機污染物、戴奧辛					
執行期程		自    民    國        1    0    8        年    0    1        月    0    4        日    起 至    民    國        1    0    8        年    1    1        月    3    0        日    止					
專案主持人		姓名：張書奇		E-mail： shuchichang@nchu.edu.tw		專線：04-22840441 分機 513 手機：0963439170	
專任助理		姓名：無		E-mail：無		專線：無 手機：無	
經費分析總表		專 案 預 估 總 經 費		金 額		編列說明	
		1.	人事費用	672,000		1~5 項相加之 27.0%(≤50%)	
		2.	貴重儀器使用含維護費	0			
		3.	消耗性器材與主要費用	1,680,000			
		4.	其它研究相關費用	120,800			
		5.	雜項費用	72,655		為 1~6 項相加 3.0%(≤5%)	
		6.	行政管理費	254,545		為 1~5 項相加之 10%(≤10%)	
		專案計畫申請總金額		2,800,000			

(請蓋上申請單位大小章)

專案主持人：\_\_\_\_\_ (簽名及蓋章)      日期：108 年 12 月 20 日



(空白頁)





# 行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

□申請計畫書 □期中報告  
□修正計畫書 ■期末報告 審查意見回覆對照表

計畫年度	108 年度	計畫類型	<input type="checkbox"/> 研究型 <input checked="" type="checkbox"/> 模場型
計畫類別	<input checked="" type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 調查 <input type="checkbox"/> 其它		主持人：張書奇    NO：A7
計畫名稱	二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫(結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證)(第 2 年)		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一		委員一	
1. 目前砂箱試驗受乳化液影響差異大，但目前對乳化液影響宜在強化評估。		1. 感謝委員指教，此部分已在期末報告第 78 頁至第 79 頁加強說明。	
2. 砂箱與模場在現地執行時之可能擾動、干擾及影響。		2. 感謝委員指教，此部分已在期末報告第 78 頁至第 79 頁加強說明。	
3. 建議補述於不同層實際增溫差如何有效提昇及評估？另相關層實際溫差對各項污染物影響，量化可強化評估之。		3. 感謝委員指教，不同層實際增溫差如何有效提昇及評估部分已在期末報告第 87 頁加強說明。實際溫差對各項污染物影響之量化評估將在後續計畫中再進行探討。	
4. 建議宜強化說明相關操作技術、方法注意事項，可能對現場施作擾動是否造成影響。		4. 感謝委員指教，此部分已在期末報告第 106 頁至第 107 頁加強說明。	
5. 目前申請專利為現地玻璃化方法與今年度模場技術是否相同？		5. 感謝委員指教，現地玻璃化方法所申請專利部分，是就污染土壤現地玻璃化及資源回收再利用部分提出申請，此部分仍為第 2 年計畫所發展技術相同。	
6. 請確認模場執行時間為 108 年 1 月至 108 年 11 月？		6. 感謝委員指教，本年度模場試驗計畫執行期間為 108 年 1 月至 108 年 11 月；而整體計畫為 2 年計畫，第 1 年計畫為 107 年 1 月至 11 月，第 2 年計畫為 108 年 1 月至 108 年 11 月。	
7. 以加熱處理底泥時，是否已對底泥之有機污染物已揮發，而非玻璃化之影響說明之？		7. 感謝委員指教，因底泥污染物之蒸氣壓相當低，常溫下不易揮發，但可因迅速加熱導致所有有機物於短時間內即遭到加熱氣化、氧化、摧毀或是反應生成其他物	



<p>8. 本計畫模場技術為玻璃化？相反其之(目前溫度控制未如預期其原因，以及如何應用於實際模場)？宜作相關說明；另本技術是否能實際用在實場？</p>	<p>質，其中最令人擔憂的就是類戴奧辛物質之蒸發以及可能生成類戴奧辛物質並自加熱中之污染土壤或是底泥逸散排出，因此進行空氣污染物之採樣與分析。此部分係針對重金屬污染部分進行處理，有機污染物之宿命並未進行探討。</p> <p>8. 本計畫之模場技術為底泥污染整治模場試驗，玻璃化部分如期末報告中所敘述，模場已經整治完成，無重金屬污染土壤可供進行現地模場試驗，故以污染情況較嚴重之土壤進行測試，放入桶中後，模擬現場進行試驗，計畫內容差異部分在計畫書及期中報告均有說明，並且將計畫中原本沒有之 Dioxin 模場試驗納入。此部分並無溫度控制未如預期之情況，本技術目前尚未實際應用於實場；但以目前成果應用於現場應屬可行。</p>
<p>委員二</p> <p>1. ISPIE/BiRD 法中，如何釐清因外部灌入高溫熱水，造成污染物的脫附移除對去除率的貢獻，以確認經過熱篩後微生物降解的真正貢獻。</p> <p>2. 部份實驗污染物去除率為負值(二仁溪模場試驗-風化之戴奧辛)，請說明偵測極限、QA/QC 的執行情況。</p> <p>3. 請說明 ISPIE/BiRD 法及現地污染土壤玻璃化法每批次可處理量及放大規模的可行性，以確認實場應用性。</p>	<p>委員二</p> <p>1. 感謝委員指教，ISPIE/BiRD 法並未灌入熱水，而是灌入熱乳化液，此部分已經於第 87-89 頁說明，其可能之移除機制為脫附、溶解及生物降解，請委員參考。</p> <p>2. 感謝委員指教，此部分是因為高度氯化之戴奧辛同源物降解為低氯數之同源物，而低氯數同源物有累積現象，故造成單一同源去除率為負值；若是總 i-TEQ 隨時間增加導致整體總 i-TEQ 降解率為負，則是因為 4 氯同源物之毒性當量因子遠較 7 氯與 8 氯同源物之之毒性當量因子為大，所以即使整體均有脫氯，但只要 4 氯同源物稍有累積現象，將導致整體之 i-TEQ 濃度不降反增，所以會有去除率為負值之情況。</p> <p>3. 感謝委員指教，SPIE/BiRD 法及現地污染土壤玻璃化法每批次可處理量均可達公噸級以上，前者之估算標準為直徑 1.5 公</p>



<p>4. 本計畫完成重金屬污染土壤現地玻璃化的測試，有潛力做為整治用客土或玻璃瀝青資材，可思考更有能源效益的加熱方式，以降低單位處理成本。</p> <p>5. 以高溫乳化液進行現地相反轉熱篩分解 Lindane 及 DDT 的實驗，如何排除/定量土壤中污染物因升溫脫附對去除率的貢獻，以確認真正由熱篩菌降解的貢獻比例。</p>	<p>尺且底泥深度僅 30 公分之圓形處理器即可將處理量放大達公噸級，而玻璃法在國外已經有將底泥挖出移至大型電磁感應爐（遠大於 1.0 公噸）之前例可循，二者應皆具有相當高之實場實用性。</p> <p>4. 感謝委員指教，計畫完成重金屬污染土壤現地玻璃化的測試，除可做為整治用客土或玻璃瀝青資材，也已經完成較高經濟價值之多孔環保材之測試。目前之電磁感應加熱是已知熱效率最高之加熱方式，在綠色永續整治架構下，應尚屬可行且對社會經濟有相當正面貢獻之工法。目前雖有其他較低溫固化或是化學方式固化，但其成品不僅無法回收再利用且尚須進一步進行掩埋或是其他最終處置，耗費更多成本。</p> <p>5. 感謝委員指教，以高溫乳化液進行現地相反轉熱篩分解 Lindane 及 DDT 的實驗，如何排除/定量土壤中污染物因升溫脫附對去除率的貢獻，以確認真正由熱篩菌降解的貢獻比例。此部分在本計畫之 ISPIE/BiRD 之檢測方法係以 SpeedExtractor 進行萃取，其萃取效率相當高。升溫脫附後之 DDT 或 Lindane 若未能被 4.0 PV 之冷水有效移除，即算做是 ISPIE 未能有效去除部分；的確有可能將已經脫附但可能溶解於水中、植物油中或是在界面活性劑之微胞中 DDT 或 Lindane 未計算在內。本研究為了確認是生物降解效果，最後之砂箱生物降解是單獨將計算殘餘之乳化液加入土壤中進行，所以，此部分應可釐清。</p>
<p>委員三</p> <p>1. 計畫成果和自評表成果豐碩。</p>	<p>委員三</p> <p>1. 感謝委員肯定。</p>



<p>2. P.68 頁有關污染土壤玻璃化後之後續再利用應要符合 TCLP 之標準，另有四組未達標準要說明。</p>	<p>2. 感謝委員指教，第 68 頁未達到法規標準的是經過王水全萃取所的溶出濃度，並非一般 TCLP 之溶出濃度。未能通過土壤管制標準者已經加強說明於第 68 頁。</p>
<p>3. 模場將污染土壤玻璃化加熱到 1400~1600°C，在實場上是否有困難，請說明。</p>	<p>3. 感謝委員指教，在實場加熱到 1400°C，應屬可行且已在乾燥之土壤中嘗試成功，且在調配之 20-60% 不等之含水率下也屬可行；在現地施行時，較大困難反而是污染土壤之堅硬程度或是有混雜岩石之情形，本計畫主要是針對受污染之農地土壤為主，此部分也應可避免，因為耕種中農地，表層受污染土壤經翻耕，通常沒有石塊以及堅硬結塊之土壤。</p>
<p>4. 有關二仁溪戴奧辛之降解後，似乎造成毒性變大了，請說明。</p>	<p>4. 有關二仁溪戴奧辛之降解後，似乎造成毒性變大，是因為較高氯數同源物降解為較低氯數同源物，而較低氯屬同源物之相對降解速率較緩慢而有累積之情形，且較低氯數同源物之毒性當量因子較高，星形之下，即使整體氯絕對濃度下降，但經換算後之毒性當量濃度可能會升高。</p>
<p>5. 自評表 B 研發技術轉移備註已累積 11 項專利、土基會專案 7 項、另 1 項審查中、1 項申請中與 P.110 頁 5.9 內容不同，請確認。</p>	<p>5. 感謝委員指教，11 項係指本實驗室已累積 11 項專利，其中 3 項屬於科技部產出，1 項是自行研發，7 項是土基會計畫產出。自評表 B 研發技術轉移備註已經更正為土基會專案已累積 7 項專利、另 1 項審查中，其餘均刪除。</p>
<p>6. 有關污染土壤玻璃化進行再利用部分，請確認表 5-2 檢測結果，均符合 TCLP 標準。</p>	<p>6. 感謝委員指教，表 5-2 檢測結果係以強酸全萃取方式進行溶出檢測，並非 TCLP 標準，全萃取方式進行溶出遠較 TCLP 更加嚴格，5-2 檢測結果已經確定符合農地土壤管制標準。</p>
<p>7. P.63 頁 4.4.3 節最後一行、4.5 節第 9 行... 第 3「潔」之化...及 P.71 頁 5.3.3.3 節之錯、缺字請修正。</p>	<p>7. 感謝委員指教，已經更正。</p>





## 委員四

1. 於現場整治時，由於土壤及地下水中的物質可能會影響相反轉的溫度，建議進一步確認現場整治對於相反轉的溫度影響。本計畫擬發展有效控溫技術，建議補充說明控溫技術的具體作法。
2. 本研究係將已在實驗室中已經添加高濃度 HCB 與 Aroclor 1254(各 100mg/kg)之二仁溪底泥且已經置放 1 年之底泥取十分之一進行混合後權充現地樣品。建議補充說明此模擬之底泥樣品之合理性。
3. 建議補充現地量測之項目包括溶氧、pH 值、氧化還原電位與溫度。
4. P.48，由於中石化場址之 Dioxins 污染濃度非常高，部分可達數萬或數十萬 ng I-TEQ/kg，為避免實驗室污染，本計畫將先以焚化爐或火力發電廠之集塵灰代替使用。請補充說明其合理性。
5. P.48，將酸洗後的上層液加入 2.0g 之 200 mesh 過篩活化銅粉，搖晃均勻並靜置，再取其液相至中性矽膠淨化管柱。請補充說明添加銅粉的目的。
6. P.55，現地相反轉與微生物添加。圖 5-5 Lindane 與 DDT 於管柱中進行相反轉回

## 委員四

1. 感謝委員指教，此部分的確為現地施行並比較其結果與實驗室中差異，此部分會在未來計畫中嘗試確認。控溫技術自第一年計畫已經嘗試，並無法完全成功，主要是因為電磁感應加熱效率相當高，導致插入底泥中之鋼絲瞬間形成高熱之情況，鋼絲周圍之孔隙水已經沸騰，但整體底泥溫度仍無法達到相反轉溫度，故在第 2 年計畫中，仍回到先前以沸水加入乳化液方式進行。
2. 感謝委員指教，此部分因為第 1 年試驗有多次失敗重新進行試驗之情形導致原有底泥完全用罄，故未能再在實驗室留存高濃度底泥；故第 2 年模場試驗也未如此進行。
3. 感謝委員指教，現地量測記錄已經補充於附錄中。
4. 感謝委員指教，此部分係依照環檢所陳元武組長之建議，其原因是因為中石化之海水池底泥中 OCDD 與 OCDF 濃度非常高，雖然其 TEF 不高，但很容易污染實驗室，導致後續在實驗室中進行樣品前處理受到交互污染之機率大增。此種情形在已經認證之實驗室即發生過，為避免此情形，陳組長建議利用火力發電廠之集塵灰代替，因為集塵灰中各項同源物之濃度較為平均，相關說明請見第 48 頁。
5. 感謝委員指教，活化銅粉為高純度零價銅，可將底泥中硫化物有效去除，以免干擾後去 GC-ECD 之測定。
6. 感謝委員指教，圖 5-5 Lindane 與 DDT 與後續之砂箱試驗並非一連續性試驗，且



- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>收之殘餘率似乎顯示對於 Lindane 與 DDT 的去除有增益性，但是本實驗是在管柱中進行，現地的效果應進一步說明。建議釐清去除率的增加是因為乳化或生物效應所造成的結果。</p> <p>7. P.59，重金屬污染現場模場玻璃化之操作特性似乎不是使用底泥。請補充說明與本計畫目標之合理性。建議補充說明對於矽酸鹽含量低的農地土壤，如何進行現地玻璃化。建議補充說明本研究現地土壤玻璃化的處理量。</p> <p>8. P.68，本研究進行 20、30、40 及 60% 不等含水率之真實污染土壤之玻璃化。惟玻璃化溫度高達 1400°C。建議補充說明含水率的影響機制(表 5-2)。</p> <p>9. 本研究利用農地玻璃化的產品進行相關瀝青試驗，結果顯示目前只有 C5 組別(5.0%玻璃添加與 5.8%之瀝青油添加)有通過法規規範，添加比例似乎偏低。</p> <p>10. 完成玻璃化之重金屬污染土壤經過添加本實驗室之發泡劑配方進行多孔材質製作，建議補充相關環保測試，以進一步證實作為輕質骨材或是多孔隔熱建材之可行性。</p> | <p>砂箱試驗是單獨獨立之試驗，無法相互比較。</p> <p>7. 感謝委員指教，重金屬污染土壤玻璃化是在土壤中進行，底泥玻璃化已經在 2 年前計畫中完成並且已經獲得專利，此次計畫目標之一就是要將已經成功應用於底泥之玻璃化技術嘗試應用於土壤介質。目前所嘗試之土壤，其矽酸鹽含量均適中，如有較低之土壤，可添加石英砂即可有效改善。目前現地土壤玻璃化的處理量約為 180 公克，在報告第 109-110 頁已經針對此技術放大處理進行推估。由於工業界已經有公噸級之電磁感應加熱設備，將其放大尺度應屬可行。</p> <p>8. 感謝委員指教，已經加強說明於第 69 頁。</p> <p>9. 感謝委員指教，此部分之實驗室在委員要求進行資源化探討後商請本校土木系黃建維老師協助實驗，由於並未將黃老師列入協同主持人，純為義務協助，故在證明技術可行且可預知添加更多油分即可以符合規範後就未再進行更多試驗。</p> <p>10. 感謝委員指教，因時間有限，本計畫未能繼續進行此部分研究，已經另行向其他單位申請計畫才能有足夠經費繼續進行相關研究。</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

專案主持人：張書奇 (簽名及蓋章)



# 行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

□申請計畫書 ■期中報告  
□修正計畫書 □期末報告 審查意見回覆對照表

計畫年度	108 年度	計畫類型	<input type="checkbox"/> 研究型 <input checked="" type="checkbox"/> 模場型
計畫類別	<input checked="" type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 調查 <input type="checkbox"/> 其它		主持人： 張書奇    NO： A7
計畫名稱	二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫(結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證)(二)		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一		委員一	
1. 108 年度專案成果績效自評表，成果豐碩，填寫詳盡，值得欽佩。		1. 感謝委員肯定。	
2. 本計畫為第 2 年計畫，應完成模場底泥採樣、分析與馴養，模場設計與設施安裝，以及模場現地相反轉試驗，均如期完成，值得肯定。		2. 感謝委員肯定。	
3. 本計畫中，「結合相反轉法與加蓋法進行污染底泥整治方法」已於 108.5.1 獲專利發明第 I658008 號，土壤及底土壤及底泥現地玻璃化方法及設備，亦在申請專利中，值得肯定。		3. 感謝委員肯定。	
委員二		委員二	
1. 已完成土壤及底泥現地玻璃化方法及設備專利案件申請，後續情形請納入期末報告。		1. 感謝委員肯定與指教，後續情況將繼續追蹤辦理。	
2. 玻璃化之土壤於後續再利用，建議進行效益評估。		2. 感謝委員指教，玻璃化之土壤於後續再利用之效益評估將於期末報告提出。	
3. 二仁溪底泥戴奧辛試驗以 WBA 組降解速率最佳，建議先行再確認。		3. 感謝委員指教，二仁溪底泥戴奧辛試驗之 WBA 組結果將再確認並於期末報告中提出說明。	
委員三		委員三	
1. 此與計畫題目「二仁溪污染底泥」，但實際上是進行土壤整治，請補充說明。如果今年目標為土壤，建議前言應說		1. 感謝委員指教，計畫名稱為「二仁溪污染底泥」是因為此計畫有一部份是在二仁溪進行模場試驗，且因模場試驗	



<p>明本案所擬處理之土壤相關議題。</p>	<p>須獲得水利署第六河川局與台南市水利局之核准，因為兩政府機關僅核准「二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫」，如果更改計畫名稱，必須函文解除原本之許可並重新申請（資料準備有10項附件且尚須水利計師測繪並簽證），預計費時約3-4個月，而計畫期程不足11個月，在計畫獲得核准後再進行用地許可申請，對於計畫執行造成實質困難。故以計畫本質及實際使用區域並未變更之情形下，沿用原本已經申請獲得5年許可之計畫名稱。此計畫名稱部分懇請委員見諒。前言部分將加強說明土壤部分。</p>
<p>2. P.68 第二段，結果顯示含水率對於玻璃化有影響，然而玻璃化溫度高達1400°C，含水率的影響機制應補充說明。</p>	<p>2. 感謝委員指教，此部分之可能機制將於期末報告補充說明。</p>
<p>3. 建議補充說明對於矽酸鹽含量低的農地土壤，如何進行現地玻璃化。</p>	<p>3. 感謝委員指教，矽酸鹽含量過低之土壤則必須添加矽酸鹽才能有效玻璃化。</p>
<p>4. 建議補充說明本研究現地土壤玻璃化的處理量。</p>	<p>4. 感謝委員指教，目前實驗室自製之Prototype設備之單次處理量為180 g之土壤，以目前電磁感應加熱在金屬冶煉工業已經有以噸級計之設備，要開發完成以單次處理量為噸級之設備應屬可行。</p>
<p>5. 本研究將玻璃化的土壤作為瀝青混凝土的添加物，除了馬歇爾試驗外，建議應進一步評估其可行性(例如增加瀝青量似乎會影響穩定值)。</p>	<p>5. 感謝委員指教，此部分是與土木系老師合作進行，增加油量的確影響其穩定值，此部分似乎可以用現有資料進行推估，在無法有效推估情形下，將再進行一組以添加油量對穩定值影響之實驗並於期末報告中說明。</p>





<p>6. P.73，本年度相反轉測試只針對 Lindane 及 DDT，亦僅進行管柱試驗，建議後續進行現地試驗。</p>	<p>6. 感謝委員指教，Lindane 及 DDT 之乳化液相反轉回收與生物降解部分，除進行管柱回收試驗外，也會進行真實農地土壤中添加 Lindane 及 DDT 在不同條件下之小型砂箱生物降解實驗。由於台灣目前尚無 Lindane 及 DDT 之場址，恐無法進行現地模場試驗。</p>
<p>委員四</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 專案執行進度符合期程及工作內容。</li> <li>2. 砂箱對 Lindane 去除效率不佳，是否為污染物傳輸與砂箱介質環境干擾可強化探討。</li> <li>3. HCB 生物降解未如預期，除溫度影響，是否其他環境條件亦有影響其作用？</li> <li>4. 玻璃化技術若於二仁溪部份場是否符合現地穩定工法，宜評估之。</li> </ol>	<p>委員四</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定。</li> <li>2. 感謝委員指教，砂箱對 Lindane 去除效率不佳，因並無雨水入滲或是橫向水流之問題，僅有擴散之傳輸，其影響應屬有限；較可能之原因為土壤中原生之土壤微生物之影響，將在期末報告中加強說明。</li> <li>3. 感謝委員指教，HCB 生物降解在第一年計畫曾經針對環境因子影響進行探討，其中以溫度之影響最大，其他環境因子如 pH 值、有機質含量與乳化液殘餘量均無明顯影響。</li> <li>4. 感謝委員指教，玻璃化技術應用於二仁溪污染底泥之重金屬污染部份已經於 104 年計畫完成，結論為可行且已經獲得專利。</li> </ol>
<p>委員五</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告/意見回覆中錯別字多，應小心校訂。</li> <li>2. 文中出現許多縮寫，但無定義，應補充。</li> <li>3. P.67 圖 5-1 說明內容與 P.69 圖中照片不一致；P.68 內文圖 5-2(b)~(e)，在 P.69 中僅見(a)~(b)。</li> </ol>	<p>委員五</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指教，將再小心校訂。</li> <li>2. 感謝委員指教，此部分將在最前頁中，補列詞彙定義以改正此問題。</li> <li>3. 感謝委員指教，遵照意見更正。</li> </ol>



4. P.68 最後一段結論有誤，玻璃化後所有重金屬均可通過法規標準不等於這些土壤品質可直接現地回用。	4. 感謝委員指教，P.68 最後一段結論將依委員意見修正。
5. 5.3.3 節應補充玻璃化後成品做為瀝青資材的優劣評估標準及成品品質等級說明。	5. 感謝委員指教，5.3.3 節將補充玻璃化後成品做為玻璃瀝青添加料之資材優劣評估規範已經於報告中說明，此類工程規範僅要求必須符合規範(僅有最低要求)，並無優劣等級區分及成品品質等級相關說明，此部分將請教土木系專家再於期末報告補充說明。
6. 相反轉法如何確認現地施做後各層深度的實際溫度，以確認施做工法的有效性，避免現地低溫造成效果不彰。	6. 感謝委員指教，相反轉法施做後各層深度的實際溫度並未測定，將進行試測並於期末報告中說明。
7. 表 5-12 底泥處理方法之成本應補上幣別。	7. 感謝委員指教，遵照意見更正。
委員六 1. 建議導入綠色及永續導向型整治(GSR)概念，比較土壤玻璃化技術與現行農地污染整治技術之環境、經濟及社會等面向差異性，探討此技術於實場所需電容量、碳排放等成本效益。 2. P.74 表 5-6 標題應修正為土壤中 Lindane 及 DDT 生物降解批次實驗條件。	委員六 1. 感謝委員指教，目前正在研讀有關 <b>GSR 文獻</b> ，將遵照委員意見於期末報告盡力補充說明。 2. 感謝委員指教，遵照意見更正，但因屬砂箱實驗，故改為土壤中 Lindane 及 DDT 生物降解砂箱實驗條件。
<p style="text-align: right;">專案主持人： <u>張書奇</u> (簽名及蓋章)</p>	



行政院環境保護署

「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

■申請計畫書    □期中報告    審查意見回覆對照表  
□期末報告

計畫年度	108 年度	計畫類型	<input type="checkbox"/> 研究型 <input checked="" type="checkbox"/> 模場型
計畫類別	<input checked="" type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 調查 <input type="checkbox"/> 其他		主持人：張書奇
計畫名稱	二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫(結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗)(第 2 年)		
委員審查意見		計畫單位回覆	
<p>委員一：</p> <p>1. 建議檢討計畫書撰寫格式，將內容調整成較清楚易懂的方式。計畫目標寫法為一大段，不易瞭解。整本計畫內容太多，但需要詳細說明之重要部份又太簡單。</p> <p>2. 研究團隊在微生物之菌相分離與菌相結構研究與 Dioxins 的檢測分析之 QA/QC 品質是否可達預期目標，因為需與屏科大合作。</p>		<p>委員一：</p> <p>1. 感謝委員指教。計畫書格式是依據計畫徵求書規定格式撰寫。計畫目標(研究目的)一段已經改寫為列舉式(第 8 頁)。整本計畫書內容計畫背景部分已盡量精簡，有關戴奧辛篩選菌群研究則以加強說明(詳見施行方法第 5.戴奧辛熱篩菌群研究及第 6 之 Lindane 與 DDT 土壤砂箱實驗。</p> <p>2. 感謝委員指教。菌相與菌群結構部分由主持人實驗室進行，部分較佳結果也會進行 next generation sequencing 進行 metagenomic study; Dioxins 的檢測分析之 QA/QC 品質應可達預期目標，本實驗室之樣品前處理部分以內標品 (Internal standard solution) 與清理標準品 (cleanup standard, CS) 作為 QA/QC 指標；屏東科技大學則以去除標準品 (recovery standard, RS) 進行品質管控，代為檢測之，每次都會審視標準品情況，若不符 QA/QC 要求，不會作為本計畫報告之數據。</p>	



- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>3. 建議將研究主要發展的技術在污染模場試驗的項目及成果說明清楚，例如(1)以現地相反轉法去除底泥及土壤中疏水性有機污染物之效果有何特點及效益評估。(2)結合熱篩後優勢菌種之主動式生物降解，到底有何效益？優勢菌種是否將來會篩選出來？(3)砂箱試驗及土壤玻璃化回收試驗有何特殊目的或技術，執行目的為何？希望能提出能配合試驗模場的環境特性的環境條件與技術現場測試結果。</p> <p>4. 本計畫預計可能面臨的困難問題有四項，它確實存在，但解決方法需再檢討，造成消耗性資材費用太高 168 萬元，建議聚焦研究。</p> <p>5. 建議補充兩年期計畫歷次審查意見及回覆說明。</p> | <p>3. 感謝委員指教。(1)此部分將於期中報告進行比較及評估。(2)由熱篩菌具有降解速率明顯較為優勢之情況，此外這類菌群大都屬於內孢子生成菌，可製成生物粉末，具有極高之商業價值，本計畫會進行 NGS 定序，將確認菌種(若 Database 尚未登錄)，將嘗試自行分離培養。(3) 砂箱試驗及土壤玻璃化去除試驗執行目的是為確認在無法進行模場試驗之情況下進一步確認現地施行之可行性，玻璃化後回收資源再利用是第 1 年計畫審查委員要求進行回收可行性研究。</p> <p>4. 感謝委員指教。本項研究之構想書原本是 3 項子題，經署內審查建議納入戴奧辛研究，故目前有 4 項子題，即 PCB 與 HCB 之現地整治模場試驗、土壤中 DDT 與 Lindane 污染整治之砂箱實驗、土壤中重金屬污染玻璃化與資源回收再利用研究(原本無資源回收，經審查委員要求納入計畫範圍)與底泥中戴奧辛生物降解研究。第一年計畫因臨時工作項目增加而計畫經費縮減導致部分委託屏東科技大學檢測款項尚未支付，今年(第 2 年)計畫仍維持上年度計畫 4 項子題(仍較構想書多出 1 子題)。計畫經費仍維持預核額度不得增加，此部分懇請委員諒解。</p> <p>5. 感謝委員指教。已將歷次審查意見檢附於自評表之後。</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

委員二：

1. 學術與技術成果之應用性平衡。
2. 持續專注技術開發與關鍵議程之實用性。

委員二：

1. 感謝委員肯定。
2. 感謝委員指教，遵照辦理。



<p>委員三：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 主持人之學術研究能力與土水污染技術發展能力均佳，足以勝任本專案計畫。計畫主持人近五年的研究與土水技術發展績效亦佳。</li> <li>2. 本專案計畫執行團隊學術研究能力與土水污染技術發展能力佳，本團隊足以勝任本專案計畫。本計畫團隊近年對土水污染相關計畫執行績效佳。</li> <li>3. 本專案計畫對未來土壤及地下水污染整治工作推動有貢獻。</li> <li>4. 依本計畫申請書中所列的成果與績效自評表可推知，本計畫執行所獲得的研究成果除了論文發表外，已有多項專利(已獲得或申請中)，對國內土水污染領域有貢獻。</li> <li>5. 本專案計畫書撰寫具體，研究方法具可行性。</li> <li>6. 本專案計畫執行後所獲得的研究成果對土水污染實場整治具應用潛力。</li> <li>7. 本專案計畫書中的文獻蒐集完整，計畫主持人對國內外本研究領域的現況了解。</li> <li>8. 專案執行期限合理，計畫書中也已說明計畫執行的預期成果。</li> <li>9. 本計畫為延續性計畫，本年度之前的歷年專案執行成果已有學術論文發表，並已提出專利申請，部分成果已獲專利。</li> <li>10. 本計畫書已依計畫構想審查委員意見調整(修正)。</li> </ol> <p>委員四：</p>	<p>委員三：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定。</li> <li>2. 感謝委員肯定。</li> <li>3. 感謝委員肯定。</li> <li>4. 感謝委員肯定。</li> <li>5. 感謝委員肯定。</li> <li>6. 感謝委員肯定。</li> <li>7. 感謝委員肯定。</li> <li>8. 感謝委員肯定。</li> <li>9. 感謝委員肯定。</li> <li>10. 感謝委員肯定。</li> </ol> <p>委員四：</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------





1. 第一年之期末審查意見回覆(含歷次)請附報告內(因為二年度計畫)。
2. 本年度計畫新增 Dioxins 實驗，因本項檢測技術需要長時間之養成，為使實驗成果能更瞭解及數據有效性，同時可以減少經費，建議本項工作商請檢驗所協助辦理。
3. 未來污染土壤玻璃化之毒性溶出，建議能多考慮各種極端環境條件下之釋出情形。

委員五：

1. 本研究將利用奈米植物油乳化液在溫度 49-99°C 之間進行相反轉，並結合微生物熱篩後具有分層優勢菌之特性進行後續之主動式生物降解。
2. 於現場整治時，由於土壤及地下水中的物質可能會影響相反轉的溫度，建議進一步確認現場整治對於相反轉的溫度影響。
3. 本計畫擬發展有效控溫技術，建議補充說明控溫技術的具體作法。
4. 建議對現場的溫度量測及控溫範圍應作明確說明。
5. 建議探討植物油分子量對於整治技術的影響。

委員六：

1. 感謝委員指教。已將歷次審查意見檢附於自評表之後
2. 感謝委員指教。此部分將與環檢所陳元武組長進行研商，可能採部分樣品平行檢測方式進行；因環檢所本身業務屬性，恐無法承諾完全協助本計畫所有樣品檢測(因環檢所原本培養之 GC-qQq-MS 專業檢測人員已調職)。
3. 感謝委員指教。此部分除進行一般溶出實驗外，也會進行全萃取，此部分則依照底泥檢測方法進行消化萃取，可測試已處理之土壤在最極端環境下所可能完全釋出之重金屬之量。

委員五：

1. 感謝委員肯定。
2. 感謝委員指教。
3. 感謝委員指教。將於期中報告中具體說明。
4. 感謝委員指教。現場的溫度量測及控溫範圍已加強說明於第 46 頁。
5. 感謝委員指教。委員所提之研究方向非常有意義，但本計畫目前經費與人力可能無法負荷，將視情況納入執行，無法承諾正式納入計畫書中，此部分懇請委員見諒。

委員六：



<p>1. 績效成果自評應以 108 年度為準，計畫尚未開始應無工作進度達成數。</p> <p>2. 摘要：低溫相反轉程序如何提高有機污染物的「去除率」？</p> <p>3. 本連度底泥膜場試驗規劃進行一次現地相反轉試驗，如何確立最佳/優化之操作條件？</p> <p>4. 玻璃化模場實驗如何克服現地土質與含水率不均質的問題？設計之電磁感應加熱裝置每批次可處理的土壤體積為何？</p> <p>5. 本技術提出的二種方法均屬高耗能技術，應進行成本效益評估。</p>	<p>1. 感謝委員指教。原本以為要填入第 1 年計畫之完成數目，已修正為僅填入第 2 年計畫部分。</p> <p>2. 感謝委員指教。將一律改為去除率。</p> <p>3. 感謝委員指教。此部分已經確定低溫下 1、3、5 次加熱循環之結果無顯著差異，但是溫度 50、65 與 80°C 下，以 65 與 80°C 所篩選菌種較為有效，將以 65°C 單次加熱循環進行現地模場試驗。</p> <p>4. 感謝委員指教。玻璃化實驗所處理為農地土壤，因為每年均進行翻耕，不均質或是含有較大礫石之之情況非常少，玻璃化前因為必須加入添加物，故必須進行簡單之拌勻動作，也可減少此方面之影響。目前，僅製作完成小型之測試原型設備，直徑約為 5 公分，長度約為 10 公分。在原理可行、法規要求與現地農地條件下，可加大至直徑 30 公分、深度 30 公分。30 公分以下未曾進行翻耕較難以進行攪拌，而且法規通常規範 0-30 公分之表土與裡土部分。若是更為深層之土壤，則須與大型機具結合，方能進行</p> <p>5. 感謝委員指教。玻璃化部分已經在第 1 年期末報告中進行成本效益評估，現場加熱相反轉與生物降解部分之效益評估也將於期中報告時提供。</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



本署審查意見	計畫單位回覆





# 行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

□申請計畫書 □期中報告  
□修正計畫書 ☒期末報告 審查意見回覆對照表

計畫年度	107 年度	計畫類型	<input type="checkbox"/> 研究計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 模場試驗
計畫類別	<input type="checkbox"/> 調查 <input checked="" type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 其他		主持人：張書奇
計畫名稱	二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫(結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證)		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一		委員一	
1. 污染土壤銅、鋅污染之玻璃化處理之必要性，因銅、鋅很少以熱處理。		1. 感謝委員指教。以本計畫預定進行現場玻璃化之農地場址而言，其污染面積及深度均相當有限，其面積約為整體面積之 5% 以下，且多為表土污染。但銅濃度超過標準約 27 倍 (達 7,458 mg/kg)，鋅超過標準約 32 倍(達 19,169mg/kg)。若能以玻璃化法進行快速之整治（該農地因污染未能與周圍農地一起更改為工業用地），在經濟效益上與目前之客土或是深淺土壤稀釋方法比較，應尚屬可行。	
2. 二仁溪底泥菌群分解 Lindane 與 DDT 可能有好氧與厭氧均可行，但好氧菌是否為採樣之結果？		2. 感謝委員指教。Lindane 與 DDT 是在土壤中進行，批次實驗部分係模擬真實土壤情況更動其含水率，即乾燥、約 60%孔隙含水以及超過 100%含水（即完全被水淹沒）三種情形。但因台灣地區真實之 Lindane 與 DDT 污染場址難尋，故以二仁溪污染底泥作為菌種來源，菌群中有好氧菌群，應屬正常情況，而非取樣之誤差。	
3. 二仁溪底泥之 PCR-DGGE 分析對 PCB 及 HCB 之移除效果的菌種宜再確認。添加乳化液（1%）之影響及其效果是否影響菌種之變化？		3. 感謝委員肯定，此部分因 DGGE 之目視解析能力有限，依目前圖譜無法確認 1%乳化液添加量是否造成菌相明顯變化，且因田口試驗中有其他較強控制因子可能對菌相變化影響更大，如含水率（圖 5-7）。	



為確認其差異，將 DGGE 圖譜以 imageJ 進行影像色層分析並以 SPSS 進行群集分析，可得圖 5-10 結果，第 1、2、3 組相似度甚高，也是屬於含水率最低之組別；1% 乳化液添加量組別菌相差異相當大。詳細說明見第 80 頁。

4. 底泥中戴奧辛濃度偏低 78 ng-TEQ/kg，要有效果可能很很難，建議改為較高濃度底泥及改善分析 Dioxins 之 QA/QC 及分析能力。

4. 感謝委員指教。此濃度是受限於用以摻配之集塵灰中戴奧辛濃度較低，也因為本人實驗室並非戴奧辛等級之實驗室（應有類似無塵室之集塵設備、防滲漏鋪面、氣簾等），操作高濃度戴奧辛有污染實驗室及周圍環境之虞。低濃度的確不容易觀察到顯著變化，所幸在最後管柱實驗時加入二仁溪底泥直接進行熱篩，其結果相當好，也開啟另一低濃度戴奧辛降解菌種研究之路。

5. Dioxin 管柱實驗得到熱篩菌群在一個月有效，在 60~80°C 有效，可再確認。

5. 感謝委員肯定及指教。此部分在第二年計畫已經無工作項目也無經費支持，恐無法繼續研究。但會向土基會建議，繼續進行此方面研究，其結果應可為國際戴奧辛污染整治做出顯著貢獻。

委員二

1. 期末報告對研究計畫的執行現況、研究流程及方法說明具體完整。
2. 計畫後續執行工作項目及內容已於報告書中第 104 頁說明，並已提出相關建議。
3. 計畫執行進度與預定進度大致相符，計畫執行進度並無落後。
4. 期末報告所說明的研究內容與原計畫目的大致相符。整治的目標污染物能否更明確一點（是 PCB 或是氯化 VOC？或是二者均是？）。

委員二

1. 感謝委員肯定。
2. 感謝委員肯定。
3. 感謝委員肯定。
4. 感謝委員肯定。本計畫是以底泥中 PCB、HCB、戴奧辛以及土壤中 Lindane、DDT 為主；三氯乙烯部分僅是為了說明熱篩菌對於戴奧辛應屬確實具有較佳降解效果之輔助說明。



5. 根據期末報告內容所提出之討論與建議合理，但是對於整治工程實務上，仍待進一步說明討論（第二年度）。	5. 感謝委員肯定。將在第二年度計畫中提出說明。
6. 期末報告所說明的整體研究成果符合預期，但工程實務的應用性仍待更具體的說明討論。例如：實務工程可行性評估因子為何？（何種條件下適用？）工程施作執行的程序與操作參數建議...等。	6. 感謝委員指教。已加強說明於第 103 頁。
7. 本研究計畫的學術產出及活動、人才培育符合預期。	7. 感謝委員肯定。
8. 本計畫的研發成果已提出專利申請，以前執行的計畫也已有專利申請（核可）。	8. 感謝委員肯定。
9. 本計畫對國內土壤地下水污染領域的研究發展有所助益。	9. 感謝委員肯定。
委員三	
1. 完成發表國內 5 篇研究論文及撰寫國外期刊論文。	1. 感謝委員肯定。
2. 現地污染土壤玻璃化方法已申請專利。	2. 感謝委員肯定。
3. 第 93 頁第一次戴奧辛批次實驗結果無明顯差異，簡報結果與討論說明經熱篩後有效果，請再說明。	3. 感謝委員指教。已加強說明，請參閱第 96 至 97 頁。
4. 有關戴奧辛的檢測技術上比較困難，建議後續為證明處理效果，建議可以請本署環境檢驗所平行分析。	4. 感謝委員指教。誠如委員所言，委託合格檢測機構進行檢測之費用昂貴，非本計畫經費所能完成，故委請屏東科技大學謝季吟老師進行分析；若要請環檢所協助，必須視環檢所情況，目前陳元武先生已經升任組長，且該科人員縮減，恐無法親自協助分析。
5. 建議增列第二年計畫之甘特圖。	5. 感謝委員指教。已經增列第二年甘特圖，請參閱第 67 頁。
委員四	委員四
1. 本案所提的相反轉溫度請定義明確。請	1. 感謝委員指教。相反轉溫度之定義與測定



<p>補充說明如何測定相轉換溫度。</p> <p>2. 根據期末報告溫度範圍 45~90°C，請補充說明如何藉由配方控制相反轉溫度。</p> <p>3. 相轉換溫度是否會受到現地土壤條件的影響。</p> <p>4. 建議補充說明每一種乳化劑的相轉換溫度範圍。</p> <p>5. 報告中提及（5.4 節）可在短時間內完成現地多次向反轉程序並提高有機污染物之回收率。請補充說明如何決定相反轉的次數。</p> <p>6. 建議補充說明奈米植物油乳化劑的基本化學結構。以及基本化學結構對相反轉溫度的影響。</p> <p>7. 請補充說明如何控制場址整治時的溫度到相反轉溫度的範圍。</p> <p>8. 題目中所提之低溫現地相反轉，請補充說明低溫的範圍。</p> <p>9. 建議評估電磁感應加熱的經濟效益。</p>	<p>方式已加強說明於施行方法，請參閱第 44-45 頁。</p> <p>2. 感謝委員指教。配方控制相反轉溫度已加強說明於施行方法，請參閱第 44-45 頁。</p> <p>3. 感謝委員指教。相反轉溫度一般而言較不售土壤之影響，而是受到水相中其他具有類似界面活性劑物質之影響。</p> <p>4. 感謝委員指教。兩種乳化劑之相反轉溫度已經補充說明於施行方法，請參閱第 45 頁。</p> <p>5. 感謝委員指教。相反轉次數係以加溫超過相反轉溫度以及隨即降溫至低於相反轉溫度，視為一次，反覆數次，即可完成多次之相反轉操作。</p> <p>6. 感謝委員指教。奈米植物油乳化劑的基本化學結構以及基本化學結構對相反轉溫度的影響，本實驗室並未多加研究，僅針對約 10 種不同之植物油進行配方研製，不常溫下為液態或是固態植物油均可形成奈米乳化液。</p> <p>7. 感謝委員指教。實際現場掌控之方法在報告中有概略說明，目前已加強說明，請參閱第 61 頁。</p> <p>8. 感謝委員指教。本計畫所使用之配方可在攝氏 45 度左右進行相反轉。</p> <p>9. 感謝委員指教。有關電磁感應加熱玻璃化的經濟效益已經於報告中說明，針對底泥整治部分之說明，已經補充說明，請參閱第 105 頁。</p>
<p>委員五</p> <p>1. 低濃度量測結果有隨時間增加出現 DDT（Aroclor 1254）濃度上升之情形。例如：</p>	<p>委員五</p> <p>1. 感謝委員指教。第 75 頁圖 5-5、第 85 頁圖 5-16 濃度上升原因已經補充說明於第</p>



<p>第 75 頁圖 5-5、第 85 頁圖 5-16。</p> <p>a. 應補充分析 QA/QC 及手法穩定性，以確認數據品質。</p> <p>b. 需要的穩定期間？</p> <p>2. 以田口實驗規劃多因子與對多污染物之分析測試，不同因子有不同影響趨勢時，如何決定操作之最佳參數？</p> <p>3. 玻璃化土壤技術之適用性、處理量、現場操作可行性、均勻性可加強說明。</p> <p>4. 現地各場址特性不同，熱篩條件如何決定？</p>	<p>87 頁。</p> <p>a. QA/QC 及手法穩定性已經補充分析，請參閱第 87 頁</p> <p>b. 需要的穩定期間一般約為 14-28 天不等。</p> <p>2. 感謝委員指教。最佳操作參數之決定係依據現地污染物濃度及批次實驗因子反應決定，針對兩種以上污染物的確可能控制因子情況不同，將取其較顯著控制因子部份且依較高濃度或是超標情況較嚴重者為主要考量。</p> <p>3. 感謝委員指教。此部分已經併同第 2 位委員針對工程施作考量適用性及工程操作應注意因子及參數進行說明，請參閱第 103-104 頁。</p> <p>4. 感謝委員指教。誠如委員所言，各場址之微生物菌群不同，應在實驗室中先進行現地菌群熱篩測試，再依據測試結果進行施作；但是以目前經驗，在未進行之前可依經驗式進行推估。</p>
本署審查意見	計畫單位回覆
<p>本署委員</p> <p>1. 本計畫屬模場型，目前部分實驗樣品待檢測及探討數據成效，是否影響第二年期進場執行之期程。</p>	<p>本署委員</p> <p>1. 感謝委員指教。本計畫為模場型計畫，依目前進度而言，第 2 年計畫僅污染土壤玻璃化與 Aroclor 1254 及 HCB 之二仁溪底泥模場試驗，污染土壤玻璃化進度超前，Aroclor 1254 及 HCB 可於計畫截止前完成相關測試，並不致影響第 2 年計畫之施作。其中無法定論之戴奧辛生物降解測試部分在原計畫書中即未列入第 2 年計畫，故不影響第 2 年計畫執行。</p>



2. 本計畫執行工作項目多，附錄數據資料請加附目錄，以利檢視及對照工作項目之數據呈現。	2. 感謝委員指教。本報告業於表次增列附錄次，以便於委員審視及對照。
---------------------------------------------	------------------------------------

專案主持人：張書奇 (簽名及蓋章)





行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

□申請計畫書 ☒期中報告 審查意見回覆對照表  
□修正計畫書 □期末報告

計畫年度	107 年度	計畫類型	<input type="checkbox"/> 研究計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 模場試驗
計畫類別	<input type="checkbox"/> 調查 <input checked="" type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 其他		主持人：張書奇
計畫名稱	二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫(結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證)		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一		委員一	
1. 期中報告對計畫執行現況、流程及方法已具體說明。		1. 感謝委員肯定。	
2. 本計畫無自籌款。		2. 感謝委員意見，本計畫的確無自籌款。	
3. 期中報告對本計畫後續執行工作項目已說明 (p. 86 & 87) 。		3. 感謝委員肯定。	
4. 計畫執行進度與預定進度相符，並未落後。		4. 感謝委員肯定。	
5. 期中報告顯示計畫研究內容與原計畫目的相符。		5. 感謝委員肯定。	
6. 期中報告的初步成果顯示，依據原計畫設計與初步成果所提出之討論與建議合理。		6. 感謝委員肯定。	
7. 經濟效益建議評估。		7. 經濟效益將於期末報告加強說明。	
8. 適合採用本工法的必要條件建議討論		8. 採用本工法的必要條件將於期末報告加強說明。	
9. 類似計畫已執行多年，期末報告中對實務應用應有更完整的討論(應用條件與操作參數&流程) 。		9. 應用條件、操作參數與流程將於期末報告加強討論與說明。	
10. 已增加管柱試驗，成果相對較具參考價值。		10. 感謝委員肯定。	
11. 期中報告的初步成果顯示，目前的研究成果符合原計畫書所預期的成果。		11. 感謝委員肯定。	
12. 期中報告的初步成果顯示，本計畫已有初步研究成果，報告中說明已有四位碩士研究生助理與跨領域團隊參與試驗，培育土水整治相關人才。		12. 感謝委員肯定。	
13. 期中報告已有初步成果，本成果是否可獲得專利或技術轉移(前期成果佳)，尚待未來期末報告中說明。		13. 感謝委員意見，本計畫預計今年將針對熱篩菌群進行專利申請，並將於期末報告中加強說明。	
14. 期中報告已有初步成果，本研究可提升國內土壤與地下水污染整治技術與應用，符合政策。也可提升國內土水整治事業的發展，對社會經濟發展有助益。		14. 感謝委員肯定。	



委員二	委員二
<p>1. 計畫對於快速玻璃化之測試條件未能詳加說明，請補充。另成果僅說明污染農地，無底泥部分之成果，意請補充。</p> <p>2. 對於生物降解成效之評估，以及係受生物降解影響，或是吸附去除之原因探討，宜列入後續評估，以利釐清本計畫之成效。</p> <p>3. 生物降解過程之產物分析，建議應列入後續執行工作項目，以進一步了解可能之降解途徑。</p>	<p>1. 感謝委員意見，目前已有多項成果，並將於 2018 年環工年會中發表 3 篇論文(土壤玻璃化、土壤污染物生物降解與底泥中污染物生物降解)，快速玻璃化之測試條件將於期末報告加強說明。</p> <p>2. 感謝委員意見，土壤部分將進行真實土壤管柱相反轉實驗與預備進行下一年度之砂箱實驗，由於真實土壤中有機質無法去除，僅能針對有無添加菌群及有無進行相反轉之 4 種條件實驗，嚴格說來，以加速溶劑萃取設備進行樣品前處理時，所有污染物於萃取階段應可達 95%以上回收率（其他損失可能發生在淨化流洗、去硫管柱流洗及濃縮等階段），應不致因未能脫附而過度高估處理效率(即殘存於樣品中之污染物不致產生因吸附於有機相未能回收而過度高估處理效率之情況)，應尚屬保守之效率估算方式，底泥中情況亦然，故應尚可有效代表技術成效。較可能進行比較的是在田口試驗時以模擬土壤中添加不同土壤有機質時造成之差異進行比較說明，但因為土壤有機質在土壤及底泥中也同時扮演電子接受者與電子供給者之角色，也無法全然釐清是否純粹因吸附作用所致。</p> <p>3. 感謝委員意見，因本實驗室並無 GC-MS 或是 LC-MS 設備，若要利用本校之科技部貴重儀器進行大量樣品分析，則因為不屬科技部計畫，將依照外部樣品計費，經費將嚴重不足；若以目前 GC-ECD 配合採購標準品進行分析，也會因為同分異構物難以分離、標準品昂貴且須進行國外期貨採購及毒化物管制需重新申請環保局許可及毒管卡等，非目前計畫經費與時程所能負擔並及時完成，此部分尚請委員見諒。</p>





<p>委員三</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 期中報告內容冗長，建議圖表宜分章編號，以利閱讀。</li> <li>2. 本研究名稱為二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫，但試驗對象卻又為依集塵灰特性摻配之模擬底泥，重金屬及戴奧辛之濃度與物種分布皆無法真實反映，建議應以真實之二仁溪污染底泥為試驗對象，以符實際。</li> <li>3. 報告之錯別字仍多，宜加強校稿以提升品質，舉例而言，報告內多次將「第一年」誤植為「地一年」，即為明顯錯誤。</li> </ol>	<p>委員三</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，將於期末報告中修正。</li> <li>2. 感謝委員意見。計畫名稱使用「二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫」是因為將在二仁溪現地繼續進行模場試驗，為符合台南市政府與水利署第六河川局用地許可證所准許之計畫名稱，故繼續使用此計畫名稱。戴奧辛研究原本並未納入計畫範圍，但因上年度計畫之成果顯示對 Aroclor 1254 有極佳效果(其中有 dioxin-like PCBs 之同源物)，故希望本研究能夠進行底泥中戴奧辛之相反轉及生物降解實驗，其實原本希望使用台南安順場址之底泥，但因台南安順場址底泥中 OCDD 之濃度超高恐污染實驗室，以致無法達到 QA/QC 要求，故依照環檢所陳元武科長建議採用集塵灰摻配方式進行。正如本計畫土壤部分也使用到新竹農地土壤與台中污染農地土壤，並非二仁溪底泥。土壤重金屬部分則是希望能將二仁溪底泥污染整治模場可行技術應用在土壤部分，證明建立跨環境介質之平台技術可行性。</li> <li>3. 感謝委員意見，期末報告中將一併確實改善。</li> </ol>
<p>委員四</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 底泥摻拌集塵灰試驗其 TCDD 反而升高原因宜由試驗設計釐清可能原因？</li> </ol>	<p>委員四</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見。底泥摻拌集塵灰試驗，其 TCDD 反而升高之主要原因有二，一在於 TCDD 在底泥中不易完全均質分布，採樣時為避免此情況，已經在每一批次瓶中均採集三個樣品再混合為一個樣品並送樣分析方式進行，盡量避免誤差；另一個可能原因是前處理效率不同，由於戴奧辛檢測之前處理為本實驗室首次進行，而配合分析工作之屏東科技大學謝季吟老師實驗室也是購入 GC-QqQ-MS 後首次進行戴奧辛檢測，經檢視回收率，發現第 14 天樣品之回收率明顯高於第 0 天之回收率，即使實際樣品中濃度相近，但因回收率高，就會有上升之情況。而標準檢測方法僅要求回收率合乎 QA/QC 要求即可，不會以</li> </ol>



<p>2. 依目前實驗室相關結果如何用於實際模場如何規劃，宜強化論述之。</p> <p>3. 請檢核日結進度與結果，是否符合預期進度與效益？</p>	<p>回除回收率之方式報導，故有濃度升高之情況。</p> <p>2. 感謝委員意見。將依目前研究相關結果於期末報告中加強說明。</p> <p>3. 感謝委員意見。目前進度符合原規劃進度，計畫尚未執行完成前，尚無法完整說明其效益，整體效益部分也將於期末報告中說明。</p>
<p>委員五</p> <p>1. 文獻回顧及研究方法說明清楚，惟 P.42 誤植日期為 104、105 年。</p> <p>2. 表 23 應說明 Y、N 之代表意義。</p> <p>3. P.71 文中說明於第 0、7、14、28、49 天採樣分析，但圖 32 僅有第 0 及 49 天的數據點連線，請說明原因。</p> <p>4. 文中說明實驗均為二重覆，但列出數據均為單一值，應寫出變異範圍。</p> <p>5. 進度符合預期。</p>	<p>委員五</p> <p>1. 感謝委員意見。已遵照意見修改。</p> <p>2. 感謝委員意見。遵照意見加以說明。。</p> <p>3. 感謝委員意見。實際執行之學生已完成樣品分析，但在繳交報告前無法完成所有數據整理，為了解污染物是否已經降解並決定如何比較控制因子，故要求報導最後一次採樣分析結果，將於期末報告提供所有分析結果。</p> <p>4. 感謝委員意見。將遵照意見修正並附上誤差值 (error bars)。</p> <p>5. 感謝委員肯定。</p>
<p>委員六</p> <p>1. PCB 與 HCB 之批次降解實驗 QA/QC 未完全通過，請補充說明重新規劃該實驗之期程。</p> <p>2. 本計畫第一年為實驗階段，各項實驗前置作業及分析規劃完備，期第二年之模場試驗指日可待。</p>	<p>委員六</p> <p>1. PCB 與 HCB 之第一次批次降解實驗 QA/QC 未完全通過，目前已經完成第二次實驗並積極準備進行管柱實驗中，進度並未落後，所有資料將於期末報告呈現。</p> <p>2. 感謝委員肯定。</p>
<p style="text-align: right;">專案主持人：張書奇 (簽名及蓋章)</p>	



# 行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

□構想書 ☒申請計畫書 □期中報告  
□修正計畫書 □期末報告 審查意見回覆對照表

計畫年度	107 年度	計畫類型	<input type="checkbox"/> 研究計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 模場試驗
計畫類別	<input checked="" type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 其他	主持人：張書奇 NO：2	
計畫名稱	二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫(結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證)		
委員審查意見		計畫單位回覆	
<p>委員一</p> <p>1. 底泥與土壤菌相差異大，宜加以評估後續對土壤及底泥之應用效應。</p> <p>2. 本研究過去已有相關研究基礎，且第一年為實驗室小型模場，建議經費宜大幅降。</p>		<p>委員一</p> <p>1. 感謝委員指教。本年度計畫將針對其環境前後差異性進行風險評估及管理說明。並依照委員意見於計畫完成時說明其應用效應。</p> <p>2. 感謝委員指教。第一年計畫費用較高是因為依照署內建議加入戴奧辛底泥測試研究，因戴奧辛樣品檢測費用甚高(外部檢測費用每一樣品為 25,000 元，本計畫預計執行 48 樣品，共需 1,200,000 元，若加計執行實驗耗材及校方管理費用，恐超過 1,500,000 元)，本計畫幸運獲得屏東科技大學謝季吟老師願意協助檢測，但仍需支付檢測費用，目前核定費用上限 2,500,000 元，因尚需進行土壤玻璃化設備製作先期測試、底泥中 HCB 與 PCBs 污染整治相反轉(含設備製作)及生物降解批次及管柱實驗與土壤 <math>\gamma</math>-HCH 及 DDT 污染相反轉(含設備製作)及生物降解批次及管柱實驗，而削減幅度超過 31%，執行計畫將倍加困難。計畫經費已將專任助理費用完全刪除，以免造成計畫執行之重大困難。</p>	
<p>委員二</p> <p>1. 主持人(執行團隊)的學術研究能力與技術發展能力足以勝任本計畫</p> <p>2. 主持人(執行團隊)近五年研究與技術發展績效佳</p>		<p>委員二</p> <p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員肯定。</p>	



3. 本專案對未來土壤及地下水污染調查及整治工作推動的貢獻相對具體，本計畫未來執行成果的呈現與說明建議應將可實務應用的部分明確說明(本計畫屬於模場試驗計畫，補助經費較高，研究成果在實務應用性的說明應更具體完整)	3. 感謝委員指教，將於成果報告中加強說明。
4. 本專案預估之成果績效包含論文發表(研討會或期刊論文)與實務應用的專利申請(前其計畫已有部分成果申請專利，但該專利是否具實務應用性仍建議說明)(本計畫屬於模場試驗計畫，研究成果的實務應用性相對重要，建議多說明本計畫成果的實務應用)	4. 感謝委員指教，期刊論文將依規定投稿，專利之實務應用部分將於成果報告中加強說明。
5. 本研究計畫書撰寫具體	5. 感謝委員肯定。
6. 本研究計畫書所擬定的研究方法可行	6. 感謝委員肯定。
7. 本研究計畫書所擬定的研究內容與所預期的研究成果，對未來土壤或地下水污染場址調查整治(或評估)的實場應用性仍待說明(計畫書中對研究成果的實務應用性的說明仍有待未來執行成果的說明)(本試驗模場有多種污染物，成果的說明與呈現是否具參考性，建議評估)	7. 感謝委員肯定與指教，第一年計畫成果報告將針對實場應用性加強說明並於第二年模場試驗進行技術可行性之驗證；本研究針對多種污染物，有機污染物部分均屬疏水性之持久性有機污染物，將於成果報告時進行評估並加強說明。
8. 本研究計畫書的文獻蒐集尚完整，對國內外本研究領域的現況了解	8. 感謝委員肯定。
9. 本研究專案執行期限合理	9. 感謝委員肯定。
10. 本研究計畫書中對研究的預期成果已說明	10. 感謝委員肯定。
11. 本計畫為延續性計畫	11. 感謝委員肯定。
12. 本研究計畫對預期成果的呈現說明以學術發表與實務型技術轉移為主	12. 感謝委員肯定。
13. 本研究計畫已依原計畫構想書時的審查意見修正	13. 感謝委員肯定。
委員三	委員三
1. 模場對象之二仁溪並非公告場址，整治之目標物如 HCB、PCB、Dioxins 的濃度在台灣河川調查中也並非是最高，分佈已非均質，應審慎處理，模場試驗之樣本及其代表性。	1. 感謝委員指教。二仁溪底泥雖非公告場址(應仍屬計畫徵求書可補助範圍)，但已確定是污染超過現行底泥品質指標上限值之場址。二仁溪底泥中之 HCB 與 Dioxins 濃度的確可能不是最





	<p>高值，HCB 似乎在高雄港區域底泥及河口之海水底泥中有更高值(港灣及海水區域底泥尚未納入現行土水法管制範圍)；底泥中 Dioxin 濃度除中石化為全國最高外，其他底泥資料相對較少，清華大學凌永健教授曾於 1995 測得三爺溪與二仁溪匯流處下游不遠處之 17 種 total PCDD/F 之 I-TEQ 為 14.20 ng/g，張皇珍等(2010)曾於安順廠海水底泥中檢測得 17 種 total PCDD/F 之 I-TEQ 為 87.9 ng/g。PCBs 部分據成功大學李俊璋老師研究(2004)顯示，二仁溪魚體中肌肉、肝與腎之 PCB 濃度均為當年所有河川檢測之最高值，底泥中 PCB 測值引用當年台灣大學王一雄教授計畫之檢測值為所有當年檢測底泥中最高值，近年來之資料顯示濃度略有降低，但缺乏橫向整體資料可供比對。模場之底泥中 PCBs 的確為非均質分布情況，此部分會將底泥取出後以低轉速攪拌機進行充分混合後再進行實驗，以避免隨時間採樣之檢測值大幅變動之情況。</p>
<p>委員四</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.計畫書撰寫內容相當詳盡，對於研究規畫與模場試驗均有清楚的說明，有助於計畫之執行。</li> <li>2.本計畫係利用焚化爐或火力發電廠之集塵灰，作為菌種馴養之對象，實與底泥之性質差異甚大，是否仍需考量以底泥作為馴養微生物之基質為宜？</li> <li>3.現地玻璃化之模場試驗規劃，其中對於</li> </ol>	<p>委員四</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定。</li> <li>2. 感謝委員指教，此部分菌種仍是取自二仁溪底泥，並且以底泥:集塵灰比例為 4:1 之方式進行馴養，仍保有大部分之底泥特性，採用集塵灰之理由是因其中 17 種 PCDD/F 之比例較為平均，且其分布之均質性甚佳，遠比自行購買 17 種 PCDD/F 標準品進行添加更為均質，可有效避免因未能均質化造成後續實驗檢測誤差困擾。也不會像中石化安順廠海水底泥中 OCDD 之濃度可達數萬 PPT 之情況，此種樣品非常容易造成實驗室污染而導致實驗結果品質堪虞。</li> <li>3. 感謝委員指教。玻璃化模場部分現地</li> </ol>



現地之特性、玻璃化操作特性、玻璃化處理範圍，以及成效評估指標等，建議應予以說明。	土壤尚未進行採樣，其各項特徵性檢測結果尚無法提供，但玻璃化技術之操作特性、處理範圍與成效評估指標已加強說明於計畫書修訂稿第 52 頁。
本署審查意見	計畫單位回覆
本署委員： 1.經費編列合理。 2.請補專任助理薪資對照表。 3.請於計畫書修定稿中補充說明與協同主持人之合作方式。。	本署委員： 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員指教，由於經費刪減過多，無法雇用專任助理，故應無檢附本校專任助理薪資對照表之必要，敬祈見諒。 3. 感謝委員指教，已補充說明於第 33 頁。



# 行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☒構想書
 ☐申請計畫書
 ☐期中報告
 ☐修正計畫書
 ☐期末報告
 審查意見回覆對照表

計畫年度	107 年度	計畫類型	<input type="checkbox"/> 研究計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 模場試驗
計畫類別	<input checked="" type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 其他	主持人：張書奇	NO：27
計畫名稱	二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫(結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證)		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一：		委員一	
1. 由底泥被活化與土壤可能應用性？環境差異性處理後應評估其風險管理。		1. 感謝委員指教。底泥經處理後其原本菌相有所改變，但仍為本土現地菌群，基本上應該不致增加其風險；土壤方面之應用性正是本計畫之重點，審酌土壤與底泥差異主要在於質地之差異、有機質比例、含水量較底，及相對矽砂(silicate)含量可能較低等，為保持厭氧菌之脫氯作用順利進行，現場可能必須進行灌溉將土壤淹沒於水下來進行。本年度計畫將針對其環境前後差異性進行風險評估及管理說明。	
2. 產氫之控制是否能有效控制為微生物適合生長量？		2. 感謝委員指教。產氫之控制恐無法達到，且若要進行產氫控制可能必須針對菌群及殘餘乳化液進行即時監測與控制，以目前檢測技術在真實污染底泥中難以進行。	
委員二		委員二	
1. 土壤(底泥)性質的改變？ <i>In situ</i> 的可能性？		1. 感謝委員指教。土壤及底泥性質經過相反轉後將有殘餘之乳化液在其中，部分菌相將有所改變，預計土壤物理性質應無明顯改變，肥力喪失應屬有限，若有部分喪失可以人工增肥方式補充；玻璃化部分係針對高污染土壤進行玻璃化，已經玻璃化之土壤可作為田埂路基、透水鋪面基材、生態過濾池濾材或是經過破碎後直接摻配回原本之土壤繼續使用。本計畫所有技術均針對 <i>in situ</i> application 為技術開發目標，故均具有高度之現地整治可行性。	
2. 菌相的改變？		2. 感謝委員指教。菌相的確有改變，目前 PCR-DGGE 結果顯示僅有 1 株菌與目前	



<p>3. 工程化的可能？</p> <p>委員三</p> <p>1. 計畫題目與內容似乎關聯性不強，應補充說明。</p> <p>2. 玻璃化是高耗能的做法，且玻璃化後原來之土壤無法回復土壤之原始功能，其適用性為何？</p> <p>3. 歷年的研究累積成果聯貫性如何？</p>	<p>資料比對上有 97%相似度，僅為同一屬之菌種，其他相似度更低，應該都是屬於目前未被發現之菌種，但可有效降解 PCBs 與 HCB。</p> <p>3. 感謝委員指教。工程化之可能性部分已經於 105 年度計畫期末報告中敘述（詳見該報告第 74 頁），其說明請參考此對照表之附件一。</p> <p>委員三</p> <p>1. 感謝委員指教。主標題係因二仁溪模場之用地許可係針對計畫名稱核給，故無法更動。副標題部分已經依照委員意見進行修改，直接將技術名稱標明於副標題中。</p> <p>2. 感謝委員指教。玻璃化的確原為高耗能之整治方法，但本團隊所開發之快速玻璃化之溫度為 1600°C 以下，與傳統電漿玻璃化之溫度可高達 3000°C 或以上（部分可達 5000°C 以上）不同，且目前最佳加熱時間僅 90 sec 即可完成，另電磁感應加熱方式之熱效率一般可達 90%，已經大幅降低能量需求。玻璃化部分係針對高污染土壤進行玻璃化，已經玻璃化之土壤可作為田埂路基、透水鋪面基材、生態過濾池濾材或是經過破碎後直接摻配回原本之土壤繼續使用。</p> <p>3. 感謝委員指教。歷年研究之連貫性應屬相當一致，乳化液回收方式已經嘗試以奈米乳化液、雙層乳化液及高油量乳化液進行污染物回收及繼續生物分解(99-103 年計畫)，105-106 年度計畫則是利用本實驗室乳化液可在高溫時進行相反轉之特性進行高度有效之係地相反轉回收及生物分解，故屬高度連貫性之研究（70 天內去除率可達 97%）。104 年度研究則是提出 3 項新技術開發，經研究證實均為有效之方法，且 2 項已經獲得專利，其中底泥玻璃化在模場試驗有安全顧慮，故在 107 年度計畫擬先應用於土壤部分，均屬相當有連貫性之研究。</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------





<p>委員四：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫第一年度內容係針對受重金屬污染之土壤為研究對象，並進行限地玻璃化之探討。此與計畫題目“二仁溪污染底泥”之關聯性為何？</li> <li>2. 第二年度計畫內容則規劃以生物降解方式，評估模擬土壤之污染物降解成效，此亦與專案題目關聯性不大？</li> <li>3. 本案探討對象為污染土壤或是底泥？玻璃化或生物降解技術？彼此間之關聯性應有明確釐清與說明。</li> </ol>	<p>委員四：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指教。主標題係因二仁溪模場之用地許可係針對計畫名稱核給，故無法更動。副標題部分已經依照委員意見進行修改，直接將技術名稱標明於副標題中。</li> <li>2. 感謝委員指教。第 2 年計畫部分將完成土壤砂箱試驗、土壤玻璃化模場試驗與二仁溪底泥整治模場試驗，此與修正後之計畫名稱應為相符。</li> <li>3. 感謝委員指教。本計畫內容包括土壤及底泥，技術包括玻璃化與生物降解，此部分已在本計畫申請書之計畫背景部分加強說明，請委員參閱本計畫申請書第 3-4 頁。</li> </ol>
本署審查意見	計畫單位回覆
<p>本署委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 請說明 105 及 106 年度具體之成果。</li> <li>2. 請說明 107 年度研究之價值及突破。</li> <li>3. 請說明本專案題目與研究內容不符之原因。</li> <li>4. 本研究是否適用於土壤污染？如農藥。</li> </ol>	<p>本署委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指教。本研究團隊於 105 年度完成實驗室內之相反轉回收及生物降解試驗；106 年度計畫以相反轉技術結合微生物生物篩選及降解技術進行底泥污染整治之現地模場試驗，證實對於現地已經風化之多氯聯苯污染物 Aroclor 1254 可在 70 天內達到 97% 之去除率（對六氯苯效果類似），此結果應屬目前文獻中之最佳值。</li> <li>2. 感謝委員指教。107 年將會擴展其應用領域及持續精進此技術，預期在土壤中可獲得相當之結果，可突破目前土壤中有機污染物處理之困境。此外，本計畫也將戴奧辛污染底泥納入研究範圍，預期也可為戴奧辛污染底泥整治帶來突破。</li> <li>3. 感謝委員指教。主標題係因二仁溪模場之用地許可係針對計畫名稱核給，故無法更動。副標題部分已經依照委員意見進行修改，直接將技術名稱標明於副標題中。</li> <li>4. 感謝委員指教。本計畫之土壤目標污染物將納入六氯環己烷與滴滴涕，六氯環己烷俗稱靈丹，為早期之農藥之一種，另一目標污染物滴滴涕（DDT）也是早期廣</li> </ol>



	泛施用之農藥之一。此二者也屬於持久性有機污染物。
--	--------------------------



## 附件一

本技術工程化可能遇見之困難及其解決方案說明如下

預期困難有（1）現場進行乳化液加溫至 95°C 之困難、（2）插入管狀之隔絕設施進行高溫乳化液注入操作時保溫之困難、（3）乳化液注入及追加清水時確保向上流出之技術困難、（4）細小顆粒揚起時取出上層高濃度水柱水之困難、（5）後續採樣之困難。解決方案說明如下表。

附表 1 現地工程施作預期困難及其解決方案

項次	預期困難	解決方案
1.	現場進行乳化液加溫至 95°C 之困難	將以租用中型發電機(4000W 以上)配合目前實驗室中之 30 加侖之專業開水機於現場進行乳化液製備，完成製備後於高溫 95-98°C 時以隔膜幫浦立即灌注。
2.	插入管狀之隔絕設施進行高溫乳化液注入操作時保溫之困難	灌注期間為避免於管線中溫度下降，將以保溫材料進行管線包裹，盡量降低降溫幅度。在必要時將以本實驗室獨有之電磁感應加熱法於管線末端進行再次加熱。
3.	乳化液注入及追加清水時確保向上流出之技術困難	在管柱實驗中，流向控制非常簡易，在現場進行時則大為不同，將以自行設計組裝之多環噴嘴式裝置進行注入，並且在管柱下方以底泥採樣專用之簡易逆止裝置增加向下流出之阻力。
4.	細小顆粒揚起時取出上層高濃度水柱水之困難	再追加 4.0-5.0 PV 之清水時，細小底泥顆粒會有揚起且懸浮於上方水柱中之情況發生，已經找到現成可以將上方顆粒壓回表面之設備，可以有效地將這些顆粒與水分開。
5.	後續採樣之困難	由於現場施作時，水深可能較深，採樣不易。此部分將以較長之小口徑玻璃管進行採樣，小口徑管有相對較佳之強度且較不易遇到阻礙物；也不排除使用 SPME 方式進行採樣分析。



行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會  
土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

## 108 年度專案成果績效自評表

### 一、專案基本資料

填表日期：108 年 12 月 18 日

專案性質	<input checked="" type="checkbox"/> 實驗性質 <input type="checkbox"/> 非實驗性質	專案類別	<input type="checkbox"/> 研究專案 <input checked="" type="checkbox"/> 模場試驗
研究主題	<input type="checkbox"/> 調查 <input checked="" type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 其他		
申請機構系所	國立中興大學環境工程學系	計畫主持人	張書奇
專案名稱	二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫(結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證)(第2年)		
專案執行期程	<input type="checkbox"/> 申請階段 <input type="checkbox"/> 期中 <input checked="" type="checkbox"/> 期末		

### 二、成果績效自評

「計畫總預估數」應與計畫審查核定值相符，請執行單位依實際達成之量化成果填寫於「結案達成數」欄位中。

#### (一) 學術面

項目		目標達成程度	申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半 年 達成率	備註 (說明未達成原因 或學術產出發表名稱)
A 學術 產出 及 活動	1.國內投稿 (篇數)	(1)論文	0	0	0	NA	
		(2)研討會論文	4(2年期)	6(2年期)	7(2年期)	175%	已於 107 年發表 5 篇，並於 108 年 5 月奈米研討會發表 1 篇；預計 2019 環工年會發表 2 篇。
	2.國外投稿 (篇數)	(1)期刊論文	1(2年期)	1(2年期)	1(2年期)	100%	於 108 年 11 月 30 日前完成投稿。
		(2)研討會論文	0	0	0	NA	
	3.報告 (篇數)	(1)技術報告	0	0	0	NA	預計產出 4 份碩士論文，目前撰寫中。
		(2)研究報告	0	0	0	NA	
	4.專著 (本數)		0	0		0	
	5.辦理學術 會議(場數)	(1)研討/說明會	0	0	0	NA	
		(2)成果發表會	0	0	0	NA	
		(3)論壇	0	0	0	NA	
B	7.研發人員	(1)已開發技術	0	0	0	NA	
		(2)技術平台	0	0	0	NA	
	7.研發人員	(1)碩士	4	0	4	0%	養成碩士 4 位，已於 108 年 7 月畢



項目 \ 目標達成程度			申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半 年 達成率	備註 （說明未達成原因 或學術產出發表名 稱）
人才 培育	(人數)						業。
		(2)博士	0	0	0	NA	
	8.研究團隊 (個數)	(1)跨領域團隊	1	1	1	100%	已與電機系蘇武昌教授組成跨領域團隊
		(2)跨機構團隊	1	1	1	100%	已與嘉南藥理大學蔡利局教授、屏科大謝季吟教授組成跨機構團隊
		(3)形成研究中心	0	0	0	NA	
		(4)形成實驗室	0	0	0	NA	
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)					

## (二) 產業面

項目 \ 目標達成程度				申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半 年 達成率	備註 (說明未達成原因 或專利、技術轉移 相關詳細資料)
A 智慧 財產 權	1.專利 (件數)	已 核 准	發明	0	0	0	NA	
			新型/設計	0	0	0	NA	
			合計	0	0	0	NA	
		申 請 中	發明	1(2 年期)	1(2 年期)	1(2 年期)	100%	108/5/16 已送達專利事務所提出請。
			新型/設計	0	0	0	NA	
			合計	1(2 年期)	1(2 年期)	1(2 年期)	100%	108/5/16 已送達專利事務所提出請。
B 研 發 技 術 移 轉	2.先期技術 成果移轉	件數		0	0	0	NA	土基會專案已累積7項,另有1項審查中。
		授權金(仟元)		0	0	0	NA	
		衍生利益金(仟元)		0	0	0	NA	
	3.技術移轉 (專利)	件數		0	0	0	NA	土基會專案已累積7項,另有1項審查中。
		授權金(仟元)		0	0	0	NA	
		衍生利益金(仟元)		0	0	0	NA	
	4.技術移轉 (應用技)	件數		0	0	0	NA	土基會專案已累積7項,另有1項審查中。





目標達成程度 項目			申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半年 達成率	備註 (說明未達成原因 或專利、技術轉移 相關詳細資料)
	術)	授權金(仟元)	0	0	0	NA	
		衍生利益金(仟元)	0	0	0	NA	
	5.可移轉 產業技術	(1)技術(件數)	1	1	1	100%	土基會專案已累 積 7 項,另有 1 項 審查中。
		(2)品種/系(件數)	0	0	0	0	
C 產 學 研 合 作	6.促成合作 研究	件數	1	1	1	100%	已促成 1 件產學 合作計畫,目前簽 約中。
		金額(仟元)	50	50	50	100%	
	7.促成投資	件數	0	0	0	NA	
		投資金額(仟元)	0	0	0	NA	
	8.促成取得 業界科專	件數	0	0	0	NA	
		業界投資金額 (仟元)	0	0	0	NA	
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)	0	0	0	NA	

## (三) 政策面

目標達成程度 項目			申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半年 達成率	備註 (說明未達成原因或 其他詳細資料)
A 服 務 便 民	1.技術服務	次數	5	3	5	100%	
		收入(仟元)	200	50	220	110%	
	2.諮詢服務	次數	5	3	8	160%	。
		收入(仟元)	0	0	0	NA	
B 支 援 合 作	3.協助政府制 定 (件數)	(1)政策	0	0	0	NA	
		(2)法規	0	0	0	NA	
		(3)規範	0	0	0	NA	
		(4)標準	0	0	0	NA	
D 社 會 效 益	4.獲得認證(件數)		0	0	0	NA	
	5.獲得獎項(件數)		0	0	0	NA	
	6.提升能源效率(%)		0	0	0	NA	
	7.節能減碳效率(%)		0	0	0	NA	
8.其他指標 (請自行命名)		(請自填)					



**三、請依學術成就、技術創新、經濟效益、社會影響等方面，評估研究成果對現況或本署之學術或應用價值。（簡述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性，500字為限）**

台灣河川底泥及土壤中存在許多相對風險高之疏水性有機污染物，亟應發展本土化之整治技術。目前文獻中之工程技術且多半都是以址上或是離場上進行。本計畫是國際間第一個以台灣本土熱篩菌進行多氯聯苯、六氯苯、六氯環己烷、滴滴涕與戴奧辛之實驗室實驗或現地模場試驗。國際間，除本團隊外，尚無以現地相反轉法去除底泥及土壤中疏水性有機污染物之先例，故具有學術報導價值；除應用高溫乳化液進行現地相反轉外，也結合微生物熱篩後具有分層優勢菌之特性進行後續之主動式生物降解，是國際間尚未報導過之新方法，技術實屬創新；以往單純加入奈米乳化液之方法效果有限，本計畫是將實驗室內加熱之製程於現場進行後立刻注入，縮短製備時間且可提高處理效果，故有相當高經濟效益。本計畫之研究也發現新菌種及菌群，可提高本土菌應用之經濟效益；而本計畫所研發之技術將尋求廠商進行技術授權移轉，可有效提升我國環保業界之底泥及土壤整治技術水準，有利於企業拓展海外事業版圖並有助國內青年就業。針對環保署之土壤及底泥保護政策規範與風險評估而言，若能發展多種本土之底泥及土壤整治技術，面對未來多種型態之污染個案與不同污染場址特性，將可有數種污染整治技術可資運用。





## 研究成果中文摘要

台灣之底泥污染情況相當普遍，不論是在河川中下游之底泥或是河口附近海水底泥均已遭受污染，其中疏水性有機物及重金屬污染嚴重，污染物檢測濃度在全世界相關文獻報導中均名列前茅，如台南安順場址海水池底泥中戴奧辛與汞之污染，以及二仁溪底泥中之多氯聯苯、多溴聯苯醚、多環芳香烴類、聯苯二甲酸酯類塑化劑以及重金屬之污染，底泥污染也可藉由食物鏈破壞生態系及影響人體健康，急需經濟有效之整治技術。東南亞地區農地土壤也遭受相當高濃度之重金屬與有機物污染，農地污染直接衝擊食品安全及人體健康，而目前污染整治技術效果卻相對有限。由於本研究團隊於 106 年度計畫結合現地相反轉及生物降解技術( ISPIE/BiRD ) 進行底泥污染整治之現地模場試驗，證實對於現地已經風化之多氯聯苯污染物 Aroclor 1254 與六氯苯可在 70 天內達到 98% 之去除率。本計畫之第 1 年計畫也以實驗室批次降解實驗證實對於土壤中 Lindane 及 DDT 也相當有效；單次低溫 ISPIE 去除效率與多次相當，故於模場試驗將持續使用單次操作；快速玻璃化技術於實驗室批次實驗證實可應用土壤污染整治；相反轉去除研究已經證實可行，擴展技術應用廣度部分有兩面向，一面向為將此技術應用於戴奧辛污染底泥整治，另一面向為將此技術應用於遭受持久性有機污染物污染之土壤。ISPIE/BiRD 經證實可有效去除土壤中 99.94% 之 DDT 及 92.26% 之 Lindane。在優化原本技術部分，著重於改進乳化液配方以降低相反轉溫度，經測試結果可達到  $85.3 \pm 10.3\%$  之去除率。本計畫也將底泥玻璃化技術成功應用於土壤重金屬污染土壤之玻璃化，並完成至少三種回收再利用技術研發，即現地再使用、瀝青玻璃原料與環保多孔材；戴奧辛之試行模場試驗結果顯示在 35 天之內可將極低濃度之 OCDD 與 OCDF 降解去除 82.8 % 與 93.6 %。本計畫為 2 年期計畫之第 2 年計畫，第 1 年已完成實驗室批次實驗與管柱實驗，第 2 年則為現地模場與砂箱試驗。目前已申請 1 項專利、發表 7 篇研討會論文及將完成 1 篇 SCI 期刊論文發表。

關鍵詞：底泥整治、土壤整治、二仁溪、模場試驗、相反轉法、持久性有機污染物、戴奧辛



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

## 研究成果英文摘要

Sediment contamination in Taiwan is a prevailing environmental problem no matter in freshwater and seawater. Concentration levels of some hydrophobic organic compounds (HOCs) and heavy metals are ranked at the front all over the world. For example, the sediments in a seawater lagoon at An-Sun site in Tainan is heavily contaminated by Dioxins and mercury while the sediment in Er-Ren River is highly contaminated by polychlorinated biphenyls, polybrominated diphenyl ethers, phthalate esters, polycyclic aromatic hydrocarbons, and heavy metals. Soils in the southeastern Asia are heavily contaminated by heavy metals and HOCs and very few cost-effective technologies are available. Our research team has successfully applied an integrated process by coupling *in situ* phase inversion emulsification and biological reductive dechlorination (ISPIE/BiRD) to achieve 98% removal of Aroclor 1254 and HCB within 70 days. The 1<sup>st</sup> year study on Lindane and DDT revealed that ISPIE/BiRD is effective on remediation of Lindane- and DDT-contaminated soils. *In-situ* vetrification is feasible for heavy-metal contaminated soils. The 2<sup>nd</sup> year study confirmed that ISPIE/BiRD can not only stabilize the heavy metals and the vitrified products can be recycled to make valuable porous materials. ISPIE/BiRD is definitely feasible in real soils by removing 99.94% of DDT and 92.26% of Lindane. In optimizing the ISPIE/BiRD on sediment remediation, a removal of  $85.3 \pm 10.3\%$  was achieved by a single operation of ISPIE. For dioxin remediation pilot study, 82.8 % and 93.6 % removals were achieved for OCDD and OCDF, respectively. The results highly support the vetrification of soils, ISPIE/BiRD on soil remediation, and ISPIE/BiRD on sediments contaminated by HCB, PCBs and dioxin-like compounds. One patent application has been filed and 7 conference papers have been either published or accepted. One Sci journal article will be published.

Keywords: Sediment Remediation; Er-Ren River; Pilot study; Phase inversion temperature method; Persistent organic pollutants; Dioxins.





# 目 次

報告大綱.....	1
第 1 章. 前言 .....	3
第 2 章. 研究目的.....	11
第 3 章. 文獻探討 .....	15
3.1 文獻回顧與探討 .....	15
3.2 模場試驗背景說明.....	34
3.3 目標及內容.....	39
第 4 章. 研究方法與過程.....	41
4.1 施行方法說明.....	41
4.2 模場試驗.....	53
4.3 土壤玻璃化之砂箱試驗.....	57
4.5 Lindane 與 DDT 土壤砂箱實驗.....	63
4.6 現場復原.....	64
4.7 成果發表.....	64
4.8 工作進度與甘特圖.....	64
第 5 章. 結果與討論.....	67
5.1 污染土壤快速玻璃化.....	67
5.2 土壤中 Lindane 及 DDT 之 ISPIE/BiRD 實驗.....	76
5.3 二仁溪污染底泥整治之模場試驗.....	86
5.4 熱篩菌群降解之戴奧辛批次分解研究.....	96
5.5 土壤整治技術之風險評估.....	102
5.6 本技術與以往技術之差異說明.....	105
5.7 本技術在實場應用之適用條件及工程實務考量因子與操作參數.....	107
5.8 玻璃化技術與現行底泥整治技術之比較.....	108
5.9 本專案衍生技術專利延續辦理情形.....	112
5.10 結論.....	113
5.11 主要建議意見及未來或後續執行建議.....	114



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

## 圖次

圖 1-1 河川底泥之組成(Mulligan et al., 2010) .....	4
圖 1-2 中石化安順廠戴奧辛與汞之環境樣品濃度.....	8
圖 2-1 現地相反轉法施作前中後之預期優勢菌群分布示意圖.....	12
圖 2-2 電磁感應加熱玻璃化之前段(a)、中段(b)與後段(c)情況 .....	13
圖 3-1 HCB (a), Aroclor 1254(b), HCH (c), DDT (d), and 2378-TCDD (e)之分子17	
圖 3-2 厭氧情況下之 PCBs 可能生物分解路徑 .....	19
圖 3-3 好氧情況下之 PCBs 可能生物分解路徑 .....	19
圖 3-4 序列情況下之 PCBs 可能生物分解路徑 .....	20
圖 3-5 確認具有降解 PCB 能力之菌株與脫鹵球菌有相當高親緣關係 .....	20
圖 3-6 HCB 可能之生物脫氯反應路徑 .....	23
圖 3-7 氯苯類降解過程中之菌相結構.....	25
圖 3-8 $\gamma$ -HCH 之好氧(a)及厭氧(b)生物降解路徑.....	28
圖 3-9 棕腐真菌(brown rot fungi)降解 DDT 之路徑.....	28
圖 3-10 白腐真菌(white rot fungi)(a)與細菌 <i>Alcaligenes eutrophus</i> (b) 降解路徑 .....	29
圖 3-11 食品級奈米乳化液動態光散射儀量測結果與電子顯微鏡影像.....	30
圖 3-12 <i>Dehalococcoides</i> 在不同溫度下脫氯作用主要基因表現情況，* 為 ND .....	32
圖 3-13 培育溫度對 <i>tceA</i> 基因表現之影響，30°C 以▲表示，22°C 以△表示，14°C 以■表示.....	32
圖 3-14 加熱時間與溫度關係.....	33
圖 3-15 二仁溪與三爺宮溪主要流域圖（Google Map） .....	36
圖 3-16 二仁溪支流三爺宮溪永寧橋於豐水期（左）與枯水期（右）河面情況 .....	36
圖 3-17 二仁溪水質檢測結果之 pH 值(a)、導電度(b)、DO(c)、BOD(d) ....	37
圖 3-18 二仁溪底泥粒徑分布情形.....	37
圖 3-19 預定進行模場試驗之台中市大里區夏田里.....	38
圖 3-20 台中市大里區地質剖面圖.....	39
圖 4-1 河道中測量之斷面位置.....	42
圖 4-2 計算近似斷面之斷面圖.....	42
圖 4-3 模場試驗流程圖.....	44
圖 4-4 現地試驗設施操作示意圖.....	54
圖 4-5 現地模場試驗之設施(以單一組為例).....	55
圖 5-1 現地真實污染土壤玻璃化之裝置，裝置分解之情況(a)、組裝過程 (b)~(e)與實際加熱之情況(f).....	69



## 目次、圖次與表次

圖 5-2 現地真實污染土壤玻璃化成品(a)及切開後之內部情況(b) .....	70
圖 5-3 土壤玻璃化後玻璃添加量對穩定值(a)及流度(b)之影響 .....	74
圖 5-4 以重金屬污染土壤製作之多孔材（張書奇老師實驗室） .....	75
圖 5-5 Lindane 與 DDT 於管柱中進行相反轉回收之殘餘率 .....	77
圖 5-6 疏水性污染物移除率與其 log <i>K<sub>ow</sub></i> 值之相關性 .....	77
圖 5-7 DDT 砂箱試驗中 BiRD 趨勢圖 .....	78
圖 5-8 Lindane 砂箱試驗中 BiRD 趨勢圖 .....	80
圖 5-9 DDT 砂箱實驗之 PCR-DGGE 結果圖 .....	81
圖 5-10 Lindane 砂箱實驗之 PCR-DGGE 結果圖 .....	81
圖 5-11 砂箱試驗之較佳組別之 NGS 菌相在門之層次分析結果 .....	84
圖 5-12 砂箱試驗之較佳組別之 NGS 菌相在屬之層次分析結果 .....	85
圖 5-13 DDT (a)與 Lindane (b)之田口實驗結束時各組別之氧化還原電位值 .....	85
圖 5-14 各菌群之主成份分析結果 .....	86
圖 5-15 ISPIE 操作之移除程度 .....	87
圖 5-16 ISPIE 操作過程中上層底泥中溫度變化 .....	87
圖 5-17 ISPIE 操作過程後底泥管柱中 PCBs 殘餘量 .....	88
圖 5-18 ISPIE 操作過程後兩組別底泥中 PCBs 殘餘量 .....	89
圖 5-19 ISPIE 操作過程後各組別底泥中 HCB 殘餘量 .....	89
圖 5-20 第 2 次模場試驗之後續 BiRD 中 PCBs 風化組之各實驗條件下降解趨勢 .....	90
圖 5-21 風化組第 1 及第 2 次模場試驗後續 BiRD 之 PCBs 最終殘餘濃度 ...	90
圖 5-22 第 2 次後續 BiRD 中 PCBs 添加組之各實驗條件下降解趨勢 .....	91
圖 5-23 添加組第 1 及第 2 次模場試驗後續 BiRD 之 PCBs 最終殘餘濃度 ...	91
圖 5-24 後續 BiRD 中 HCB 添加組之各實驗條件下降解趨勢 .....	91
圖 5-25 模場試驗 PCBs 之 NGS 菌相在門之層次分析結果 .....	92
圖 5-26 模場試驗 PCBs 之 NGS 菌相在屬之層次分析結果 .....	94
圖 5-27 WBS 中 PCBs 之 <i>Sulfurimonas</i> 屬在第 0 天(a)及 70 天(b)之情況 .....	95
圖 5-28 戴奧辛之降解趨勢圖 .....	97
圖 5-29 60°C 下進行熱篩 60 分鐘之菌群之類戴奧辛物質之降解情形 .....	97
圖 5-30 二仁溪底泥中戴奧辛濃度在不同試驗條件下變化情形 .....	99
圖 5-31 風化回收組 17 種同源物樣品濃度去除率 .....	99
圖 5-32 工作流程分析 .....	103
圖 5-33 以實驗樣品重與電費成本作圖之經驗公式 .....	110
圖 5-34 以實驗樣品重與電費成本作圖之經驗公式 .....	110
圖 5-35 不同粒徑玻璃砂之出流質量圖 .....	113



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

## 表 次

表 1-1 本計畫書與原核定之研究構想書差異說明.....	3
表 1-2 荷蘭之底泥與土壤中 SRC 值 (mg/kg, 乾重) .....	7
表 1-3 台灣地區十二條河川之中下游底泥戴奧辛背景調查數據.....	8
表 3-1 本計畫相關污染物之物理化學特性(Unknown, 2015b) .....	17
表 3-2 Aroclor 1254 所含氯聯苯同源物成分 .....	18
表 3-3 確認具有降解 PCB 能力之菌株(Sowers and May, 2013).....	20
表 3-4 生物產氫技術之比較 (楊榮芳, 2014) .....	26
表 3-5 已報導之產氫菌、使用基質、測試程序及相對氫氣產量.....	26
表 3-6 張書奇實驗室所調製之食品級奈米乳化液特性.....	30
表 3-7 以田口方法進行快速玻璃化處理二仁溪底泥之結果 (mg/kg) .....	34
表 4-1 二仁溪斷面量測水深當時斷面面積.....	43
表 4-2 模場試驗之不同組別.....	43
表 4-3 暗發酵產氫菌馴養所使用之基質.....	47
表 4-4 PCBs 與 HCB 萃取條件 .....	50
表 4-5 變性梯度膠體之配置.....	52
表 4-6 本試驗使用之引子對序列.....	52
表 4-7 戴奧辛分析條件.....	63
表 4-8 本計畫之甘特圖(第2年).....	65
表 5-1 污染農地土壤先期檢測結果.....	67
表 5-2 真實污染農地土壤不同含水率下玻璃化檢測結果 (mg/kg 乾重) .....	70
表 5-3 天然料洛杉磯磨損率試驗結果.....	71
表 5-4 玻璃料健度試驗結果.....	71
表 5-5 馬歇爾配合設計法之參數.....	73
表 5-6 各試體級配之過篩百分率.....	73
表 5-7 各試體之特性.....	74
表 5-8 各試體之馬歇爾試驗穩定值與流度值.....	75
表 5-9 以重金屬污染土壤製作之多孔材特性鑑定 (張書奇老師實驗室) .....	76
表 5-10 土壤中 Lindane 及 DDT 生物降解砂箱實驗條件 .....	78
表 5-11 DDT 砂箱實驗之定序結果 .....	81
表 5-12 Lindane 砂箱實驗之定序結果 .....	81
表 5-13 底泥中戴奧辛物降解批次實驗條件及實驗結果.....	96
表 5-14 現地模場實驗各組別之 k 值及 $t_{1/2}$ .....	99
表 5-15 文獻中戴奧辛同源物之半生期(以全年平均氣溫為+7°C 估計, 單位: h).....	100
表 5-16 戴奧辛厭氧環境下之生物降解文獻彙整.....	101



## 目次、圖次與表次

表 5-17 工作流程危害列表.....	104
表 5-18 風險評價基準表.....	104
表 5-19 風險評價結果.....	105
表 5-20 一般底泥處理方法之成本 (Keillor, 2007).....	109
表 5-21 市場上資源回收再製多孔材可取代之產品及其毛利估算.....	112
表 5-22 本研究團隊執行本專案衍生之專利辦理情形.....	113
表 5-23 立即可行建議意見及未來或後續執行建議.....	115
表 5-24 中長程建議意見及未來或後續執行建議.....	115





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

## 附錄次

- 附錄一 檢測原始資料(含現地測量資料)
- 附錄二 本計畫獲得用地許可公文
- 附錄三 本研究團隊歷年研發之技術差異說明
- 附錄四 本計畫復舊作業程序
- 附錄五 本計畫之品保品管作業程序



## 詞彙 Glossary

16S rRNA= 16S ribosomal RNA

2,3,7,8-TCDD = 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin

Aroclor 1254 = A commercial name of PCBs used by Monsanto Company with 12 carbon and 54% of the molecular weight accounted by chlorine.

BA = Bioaugmentation

BiRD =Biological reductive dechloronation

BS = Biostimulation

DDT = Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane

DGGE = Denaturing gradient gel electrophoresis

DNA = Deoxyribonucleic acid

FBA = Fresh bioaugmentation

FBK = Fresh background

FBS = Fresh biostimulation

FMEA = Failure mode effect analysis

FNR = Fresh natural recovery

GC-ECD = Gas Chromatography - Electron Capture Detector

HCB = Hexachlorobenzene

ICP-OES = Inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy

ISPIE = *in situ* phase-inversion emulsification

I-TEQ = international toxic equivalent

Lindane =  $\gamma$ -hexachlorocyclohexane

ND = Not detected.

NGS = Next-generation sequencing

NR = Natural recovery

PCBs = Polychlorinated biphenyls

PCDDs = Polychlorinated dibenzodioxins

PCDFs = Polychlorinated dibenzofurans

PCR = Polymerase chain reaction

PIT = phase-inversion temperature

PVC = polyvinyl chloride

SCI = Science Citation Index

$t_{1/2}$  = Half life

WBA = Weathered bioaugmentation

WBK = Weathered background

WBS = Weathered biostimulation

WNR = Weathered natural recovery

XRF = X-ray Fluorescence Spectrometer



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(空白頁)



## 報告大綱

本報告為執行行政院環境保護署「108 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」項下「二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫(結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證)(第 2 年)」之期末報告，目前各工作項目均已經按預定進度完成。本報告以下分為計畫成果摘要與計畫報告本文兩大部分，計畫報告本文下分五章說明，即前言、研究目的、文獻探討、研究方法與過程、結果與討論；於第五章之後為參考文獻與附錄；專案成果績效自評表置於專案基本資料表之後。



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(空白頁)





## 第1章. 前言

**章節摘要：**本章主要針對計畫之背景進行說明，共分為河川底泥重要性、研發技術原因、計畫主要方法與計畫經費期程進行簡要說明。

本研究團隊於 104 至 106 年度陸續完成磁性活性碳、污染底泥玻璃化（已獲得專利）、改良式凝膠分離法（已獲得專利）、現地相反轉結合生物分解法（已申請專利）四項主要技術，其中現地相反轉結合生物分解法已經完成現地模場試驗，且證實對風化之污染物去除效果極佳，故底泥中戴奧辛污染以熱篩菌群進行生物分解去除法之研究也納入本計畫。本計畫之原計畫書與日前提出計畫書之內容略有更動，以下表說明之。本計畫所研發技術包括玻璃化、現地相反轉去除及生物降解；研究環境介質包含土壤及底泥；研究之污染物包括法規規範之 8 種重金屬、列管持久性有機污染物 (persistent organic pollutants, POPs) 中之 $\gamma$ -六氯環己烷 ( $\gamma$ -hexachlorocyclohexane, 俗名 Lindane,  $\gamma$ -HCH)、滴滴涕 (Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane, DDT)、多氯聯苯 (polychlorinated biphenyls, PCBs) 及六氯苯 (hexachlorobenzene, HCB) 與戴奧辛 (Dioxins)。第 1 年計畫因應土基會需求增加之戴奧辛生物降解實驗，但工作項目雖增加，申請經費仍刪減，導致部分戴奧辛檢測經費難以支付之窘境；第 2 年計畫因土壤模場試驗部分因現地已經將高污染濃度土壤裝入太空包堆置於現場，已經無法重新開太空包並將污染土壤鋪在地面上進行試驗，故將製作砂箱進行試驗，以儘量接近現場實作條件為目標，此部

表 1-1 本計畫書與原核定之研究構想書差異說明

原計畫書項目	更新後計畫書項目	差異說明
1. 重金屬污染土壤玻璃化模場試驗及去除再利用	重金屬污染土壤玻璃砂箱試驗及回收再利用測試	因無法進行模場試驗，改為砂箱實驗，原資源化項目 <u>農地田埂一項改為玻璃瀝青道路鋪面粒料，將增加規範之檢測相關費用</u> 。
2. DDT 及 $\gamma$ -HCH 土壤生物降解砂箱試驗	DDT 及 $\gamma$ -HCH 土壤生物降解砂箱試驗	未變更。
3. HCB 及 PCBs 污染底泥整治模場試驗	HCB 及 PCBs 污染底泥整治模場試驗	未變更
4. (無)	新增戴奧辛分解菌群研究及模場試驗	因第 1 年計畫成果顯示熱篩後之分解菌群可分解低濃度戴奧辛， <u>故繼續研究不同條件篩選之菌群及其降解效果，並進行 NGS 分析。且進行二仁溪模場試驗樣品之分析。</u>



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

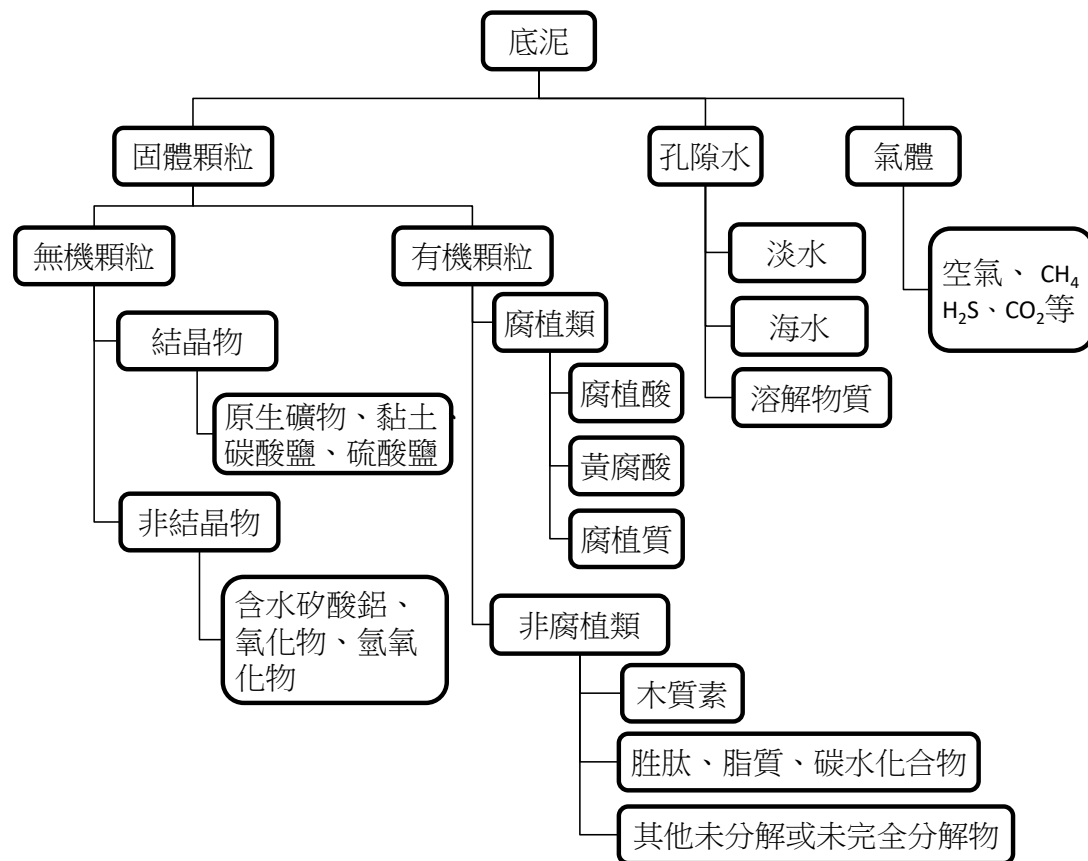


圖 1-1 河川底泥之組成(Mulligan et al., 2010)

分希望能夠節省一部份經費挹注於增加回收做為玻璃瀝青道路鋪面粒料之規範檢測費用及戴奧辛檢測相關費用。因為第 1 年計畫結果發現兩不同菌群均可有效降解低濃度之戴奧辛，今年針對戴奧辛之熱篩菌群進一步研究，除以不同條件進行熱篩後生物降解實驗且將進行 16S rRNA gene 次世代定序及菌群研究；計畫開始執行後，計畫團隊以為二仁溪模場試驗既然已經進行 PCBs 與 HCB 在底泥中濃度之定期採樣檢測，故也將風化組樣品進行戴奧辛之檢測分析，此舉就如同已經針對戴奧辛污染底泥整治進行模場試驗，只是馴養菌並未針對戴奧辛進行馴養。

河川底泥在河川生態系中扮演極為重要功能，如河川自淨功能、浮游生物棲地、河川底棲（benthic）或是淺水棲（epibenthic）生物之棲地、洄游魚類覓食與繁衍地等。河川底泥既可成為河川污染之去處（sinks）也可成為污染源頭（sources）（CCME, 2001）。底泥不僅與地表水水質緊密互動，息息相關，也與地下水污染有互動關係。當地下水遭受污染時，枯水期地下水涵養河川時，污染物也可進入底泥孔隙中，在超越底泥涵容能力時可進而污染河川水質；同理，當河川水涵養地下水時，河川污染物也有機會進入地下水含水層中。而底泥之組成如圖 1-1 所示



(Mulligan et al., 2010)。而按照我國現行土壤與地下水污染整治法（99 年 2 月 3 日施行）之定義，底泥係指因重力而沉積於地面水體底層之物質，其定義偏向固體顆粒，因孔隙水與氣體應不至有明顯沉降行為。美國環保署定義底泥係指起源於岩石或未固結沉積物之碎裂物質經過水體傳輸、懸浮或是沉降之物質(Unknown, 2015a)，此定義似乎更局限於無機顆粒，本計畫之底泥定義以我國法規定義為準。

底泥遭受 POPs 之污染後，污染物將可循食物鏈進入動植物及人體，造成生態系損害及人體健康危害。POPs 大多為疏水性之有機污染物，亦即水溶性較低而脂溶性高之有機污染物，通常具有較高之  $\log K_{ow}$  值，容易蓄積於底泥有機質中，一旦進入生物體內，容易累積於脂肪組織。一般以為，此類污染物質既存在於底泥中，則相對不易移動，對生態系與人體健康而言風險應不如存在土壤或地下水中者，但是以荷蘭所制定之環境嚴重風險濃度（serious risk concentration, SRC）而言，疏水性有機污染物則是以底泥中者之風險較處於土壤中者為高（按：此值愈低者，對環境或人體健康風險愈大），綜整該報告中所提供之污染物，大部分底泥中重金屬之 SRC 較土壤中為高，表示相同濃度下之重金屬在土壤中之風險較高，多環芳香烴類則幾乎完全一致，表示風險程度大致相當，單環芳香族（如苯、甲苯、二甲苯、乙苯、苯乙烯等）數值也相近，塑化劑部分則是高低互見，其中仍以含有苯環結構之氯化有機物之差異最大，顯示這一類污染物在底泥中之風險較在土壤中為高，但是 DDT 例外，茲摘錄報告中部份數值供參考，如表 1-2 所示 (Lijzen et al., 2001)。雖然人體風險部分因國人與荷蘭人飲食習慣與食物類別難免有異且氣候不同可導致暴露途徑與攝取量之不同，但以兩國均面海，且國人飲食習慣日漸西化，可算是歐美國家中較為相近者；生態風險部分由於國內研究正在建立本土化生態指標中，此部分僅供參考。其中，氯苯類以二氯苯並無差異而六氯苯（hexachlorobenzene, HCB）在底泥中相對風險最高，其土壤中 SEC 為底泥中 SEC 之 8.7 倍；PCBs（polychlorinated biphenyls, PCBs）類中除 PCB180 外，其餘土壤中 SEC 為底泥中 SEC 之 1.1 至 4.5 倍，故 HCB 與 PCBs 應屬相對風險較高者；DDT 在土壤中風險較高， $\gamma$ -HCH（即 Lindane）與 Dioxins 則大致相仿；重金屬在土壤中風險高出底泥甚多。由於目前 PCB 類污染物已經沒有商品化之單品可購買，故本計畫選定 Dioxins、HCB 及 Aroclor 1254 作為本計畫底泥中之目標污染物；而土壤中污染物則以重金屬、Lindane、DDT 為目標污染物。

我國河川底泥污染依行政院環境保護署過去十餘年來持續監測資料顯示，二仁溪底泥中屢次檢出含氯之疏水性有機污染物。就 PCBs 而言，其底泥表層（0~15 公分）底泥中之 PCBs 之主要成分為 Aroclor 1240，深層則接近 Aroclor 1242 和 Aroclor 1254 之特徵（16~35 公分），其濃度為 0.48~4.32 mg/kg（王一雄，



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

2000), PCBs 部份, 因已經遠超我國現行之底泥品質指標標準下限值 ( $0.09 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 約 5~50 倍; 中山大學李宗霖教授團隊於 2004 年曾檢測高屏溪河口之 PCBs, 最高濃度可達  $6.681 \text{ mg/kg}$ , 為現行指標之下限之 74.2 倍, 為上限之 6.0 倍; 嘉南藥理科技大學陳意銘教授團隊曾於 2005 至 2006 年於二仁溪採樣, 經檢測後發現濃度可高達  $2.718 \text{ mg/kg}$ , 為現行指標之下限之 30.2 倍且已超出上限值 2.4 倍; 本計畫主持人曾於 2011 年 5 月針對二仁溪與三爺溪匯流處之底泥進行模場試驗之底泥採樣及分析, 在分析之前已經針對所有底泥 (約 500 公升) 進行充分混合才取樣, 經檢測發現 PCBs 平均濃度已經超出下限值 2.71 倍, 但該採樣處之 PCBs 並非採自歷史檢測紀錄上全河段最高處。HCB 之檢測資料相當有限, 目前僅有環保署資料顯示中央政府管理之 26 條主要河川中, 以八掌溪與急水溪中濃度較高, 但均在  $10 \text{ } \mu\text{g/kg}$  以下, 中山大學李宗霖教授團隊於 2004 年曾檢測高屏溪河口之 HCB, 濃度介於  $0.151\text{-}8.109 \text{ } \mu\text{g/kg}$  之間; 本計畫主持人曾於 2014 年針對二仁溪之中下游 6 個地點進行底泥採樣之 HCB 檢測, 濃度介於  $0.8\text{-}1.3 \text{ } \mu\text{g/kg}$  之間, 雖然濃度並不高, 但也證實台灣河川底泥中仍有 HCB 存在且幾乎無未檢出之樣品, 可見污染相當廣泛。由以上數據可見, 我國底泥 PCBs 污染相當嚴重而 HCB 污染相當廣泛; 且此兩種污染物在底泥中之風險較土壤中相同濃度污染之風險更高, 實有進一步進行整治技術研發之必要。

我國底泥戴奧辛污染檢測紀錄相當有限, 潘姓學者曾於 2002 年針對高屏溪與二仁溪進行底泥戴奧辛檢測 (見表 1-3), 發現高屏溪底泥中總毒性當量 (包含戴奧辛及毒性平面狀多氯聯苯) 為  $0.502\text{-}1.69 \text{ pg-TEQ/g}$  (乾重), 平均為  $0.898 \text{ pg-TEQ/g}$  (乾重,  $n=4$ ), 其中戴奧辛含量範圍為  $0.436\text{-}1.61 \text{ pg-TEQ/g}$  (乾重); 而二仁溪之總毒性當量 (包含戴奧辛及平面狀毒性多氯聯苯)  $0.395\text{-}77.4 \text{ pg-TEQ/g}$  (乾重), 平均為  $20.9 \text{ pg-TEQ/g}$  (乾重,  $n=4$ ), 戴奧辛含量範圍  $0.369\text{-}66.9 \text{ pg-TEQ/g}$  (乾重), 平均為  $17.8 \text{ pg-TEQ/g}$  (乾重,  $n=4$ ) (潘復華, 2002)。環檢所民國 89 年執行之「高屏溪、東港溪水體環境分析研究」, 於民國 88 年 9 月至 89 年 9 月間, 針對高屏溪流域之旗尾橋、里嶺大橋、高屏大橋及雙園大橋採樣, 進行底泥中戴奧辛檢測, 測得濃度範圍為  $0.27\text{-}0.90 \text{ pg-TEQ/g}$  (乾重) (李俊璋 et al., 2006); 環檢所曾於 2005 年針對洋子厝溪、二仁溪、阿公店溪與香山地區底泥進行採樣檢測, 測得洋子厝溪  $28.0 \text{ (ND-168.5) ng/g}$  (乾重,  $n=12$ ), 二仁溪為  $19.1 \text{ (ND-135.3) ng/g}$  (乾重,  $n=12$ ), 阿公店溪為  $2.0 \text{ (ND-11.5) ng/g}$  (乾重,  $n=12$ ), 香山地區  $1.1 \text{ (ND-5.1) ng/g}$  (乾重,  $n=12$ ), 但其所使用單位未經轉換為 TEQ (田倩蓉 et al., 2007); 張木彬教授團隊曾對水庫底泥進行檢測, 發現平均濃度為  $14.7 \text{ ng/g}$  (乾重)。而海水底泥部分則以中石化安順廠之資料較容易取得, 因此發現較為精準的汞污泥數





## 前言

值，以及目前世界單點測量最高戴奧辛污染的測量點，為 979,000 pg WHO-TEQ/g (黃煥彰，2003)；近日之測值有張木彬團隊之 8,723 ng-TEQ/kg (即 8,723 pg-TEQ/g)，而目前我國法規「底泥品質指標之分類管理及用途限制辦法」(101 年 1 月 4 日) 規範上限值為 68.2 ng-TEQ/kg (即 68.2 pg-TEQ/g)，下限值為 6.82 ng-TEQ/kg (即 6.82 pg-TEQ/g)，比較以上歷史性測值顯示，大部分底泥中戴奧辛濃度已超過下限值，少部分已經超過上限值，其中以中石化安順廠海水池底泥中戴奧辛濃度已達上限值之 127.9 倍以上，故亟需一有效技術加以處理。重金屬汞之濃度在中石化安順廠海水池底泥中濃度也相當高，可達到 1,000 mg/kg 以上。由環保署環檢所資料如圖 1-2 中 A 區 (為海水池區域) 所示，其中打星號 (\*) 或以藍色標示者為汞之濃度 (單位為 mg/kg)；小圓圈記號或紅色標示者為戴奧辛之濃度 (pg-TEQ/g，乾重)。

表 1-2 荷蘭之底泥與土壤中 SRC 值 (mg/kg, 乾重)

污染物	土壤中之 SRC			底泥中之 SRC		
	SRC <sub>eco</sub>	SRC <sub>human</sub>	整合 SRC <sub>soil</sub>	SRC <sub>eco</sub>	SRC <sub>human</sub>	整合 SRC <sub>sed</sub>
砷	85	576	85	5900	3300	3300
鎘	13	28	13	820	1800	820
鉻	220	-	-	-	17600	17600
銅	96	8600	96	660	>100000	660
汞	36	210	36	1500	6700	1500
鎳	100	1470	100	2600	>10000	2600
鉛	580	622	580	63000	3210	3210
鋅	350	46100	350	6600	>100000	6600
Dioxins	-	0.00036	0.00036	-	0.00021	0.00021
DDT	1	31	1	9.5	11	9.5
γ-HCH	1.2	1.3	1.2	5	0.3	0.3
二氯苯(總合)	19	476	19	19	336	19
六氯苯	2.0	2.7	2.0	2.0	0.23	0.23
PCB28	-	0.69	0.69	-	0.06	0.06
PCB52	-	0.28	0.28	-	0.03	0.03
PCB101	-	0.61	0.61	-	0.20	0.20
PCB118	-	1.9	1.9	-	0.69	0.69
PCB138	-	0.32	0.32	-	0.28	0.28
PCB153	-	0.46	0.46	-	0.37	0.37
PCB180	-	0.17	0.17	-	0.45	0.45
PCB77	-	0.00063	-	-	0.00014	-
PCB105	-	0.00063	-	-	0.00021	-
PCB118	-	0.00076	-	-	-	-
PCB126	0.92	0.00030	-	0.92	0.00016	-
PCB156	-	0.00032	-	-	0.00027	-
PCB157	-	0.00032	-	-	0.00025	-
PCB169	-	0.00026	-	-	0.00018	-



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

表 1-3 台灣地區十二條河川之中下游底泥戴奧辛背景調查數據

項次	河川	採樣站	戴奧辛(pg-TEQ/g)
1	淡水河	4	6.47
2	頭前溪	3	2.14
3	客雅溪	3	3.72
4	中港溪	4	3.95
5	北港溪	2	0.9
6	朴子溪	3	2.38
7	鹽水溪	2	3.44
8	高屏溪	4	0.5
9	東港溪	5	1.84
10	蘭陽溪	2	0.6
11	二仁溪	4	2.34
12	鹿耳門溪	3	14.2

資料來源：環保署，引自黃煥彰 (2003)

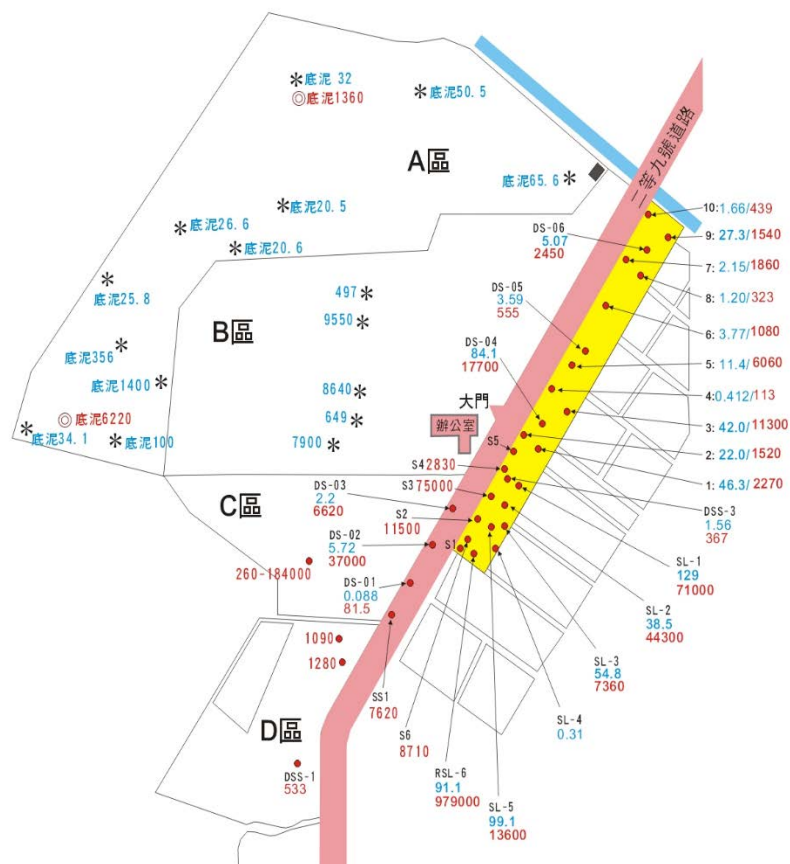


圖 1-2 中石化安順廠戴奧辛與汞之環境樣品濃度

我國土壤之重金屬污染已經有數十年歷史，早期桃園地區曾傳出鎘米事件，





## 前言

台南灣裡地區因回收廢五金造成許多土地遭受重金屬污染，後來則是彰化地區因受到小型電鍍廠排放廢水進入灌溉溝渠造成農地因灌溉而遭受污染；較為近期則是楠梓加工出口區之 K7 廠排放含有重金屬廢水造成後勁溪污染，台中市大里地區也是因引用已受重金屬污染之地表水進行灌溉，造成數十公頃農地遭受污染。故本計畫將以快速玻璃化之方式進行土壤重金屬固化作為研究之一部分。

本計畫之申請計畫期程為 2 年，目前核定執行之計畫為第 2 年計畫，執行期間自民國 108 年 01 月 04 日至 108 年 11 月 30 日止，經費來源為行政院環境保護署，計畫總經費為新台幣 280 萬元整。



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(空白頁)



## 第2章. 研究目的

章節摘要：本章主要針對計畫之研究目的進行說明。

本專案計畫研究目的有四項，條列如下

1. 將底泥中已經證實成功之現地乳化液相反轉及生物分解法(*in situ phase-inversion emulsification and biological reductive dechlorination*, ISPIE/BIRD)應用於土壤中 POPs (含 Lindane 與 DDT) 污染整治
2. 將 ISPIE/BIRD 進一步精進，朝低溫相反轉及特殊菌群研究發展 (含 HCB 與 PCBs)
3. 將底泥快速玻璃化技術應用於農地重金屬污染之現地固化處理(法規規範之重金屬)並加上資源回收再利用
4. 測試不同熱篩條件下菌群對於低濃度 Dioxins 降解效果及其菌群結構研究。

研究目的 1 係著眼於將底泥整治中高度成功之 ISPIE/BIRD 應於中國大陸及東南亞國家農地土壤中最常見之有機污染物 Lindane 與 DDT；研究目的 2 則是繼續將 ISPIE/BIRD 施作過程持續最佳化研究，是否可將目前實驗室內之電磁感應加熱技術結合，並且發展有效控溫技術，可在更低能耗之情況下進行有效之去除；研究目的 3 則是將已經證實可應用於污染底泥玻璃化之固化技術進一步擴展應用於土壤中重金屬之固定化與無害化；研究目的 4 則是將前年度（107 年度）所發現之低濃度 dioxin 降解菌進一步探討其熱篩條件及相應之菌群結構。ISPIE/BIRD 之操作原理以圖 2-1 所示，經過現地加入高溫水在油中乳化液將造成孔隙水中之氣體遭到加熱形成氣泡，而將表層底泥浮動造成輕微擾動之情況且因上層水柱影響而迅速降溫，下層底泥因受較長時間之高溫接觸達到微生物熱篩之效果，產氫之內孢子生成菌（如 *Clostridia* 屬之菌群）將成為優勢菌，上層迅速降溫結果將無熱篩效果而僅有略微增溫之效果，而絕大多數已知之厭氧還原脫鹵菌群最適宜生長溫度均在 35-37°C 之間，也因增溫效果成為上層底泥中主要優勢菌，故於去除操作完畢後，可形成如圖 2-1 之優勢菌群分布；下方產氫菌可利用殘餘之乳化液進行產氫，上層之厭氧還原脫鹵菌群則可有效利用氫氣作為電子供給者將尚未完全移除之含氯 HOCs 繼續分解去除；在稍微加壓壓實之後，可使已經蓬鬆之底泥回復為較緻密之情況，由下方為擾動底泥向上傳輸之污染物通量受到阻隔與生物分解之屏障，避免直接接觸上部水體以及表層底棲生物。



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

以下針對技術之學術性、創新性與產業應用價值說明計畫之重要性。就學術性而言，ISPIESB 從未有其他任何研究團體進行嘗試，且乳化液應用於底泥之研究僅有少數報導，本團隊先前以雙層乳化液進行十溴聯苯醚之回收與降解已經順利發表於 SCI 期刊(Chang et al., 2017)，由於目前尚無技術可在現地以溫和物理化學程序結合生物分解可在數十天內達到高度去除率之報導，此技術應具有繼續研發及在學術界發表之價值，目前已經發表 2 篇 SCI 期刊(Chang et al., 2019a; Chang et al., 2019b)。就創新性而言，ISPIESB 屬於研究團隊全新發想之技術，目前並無任何文獻有類似之構思或嘗試，應屬完全之創新，此部分應無疑問，目前已經獲得中華民國專利(張書奇 et al., 2019)，專利證號為 I 658008，專利期為 2019/05/01- 2037/11/16。

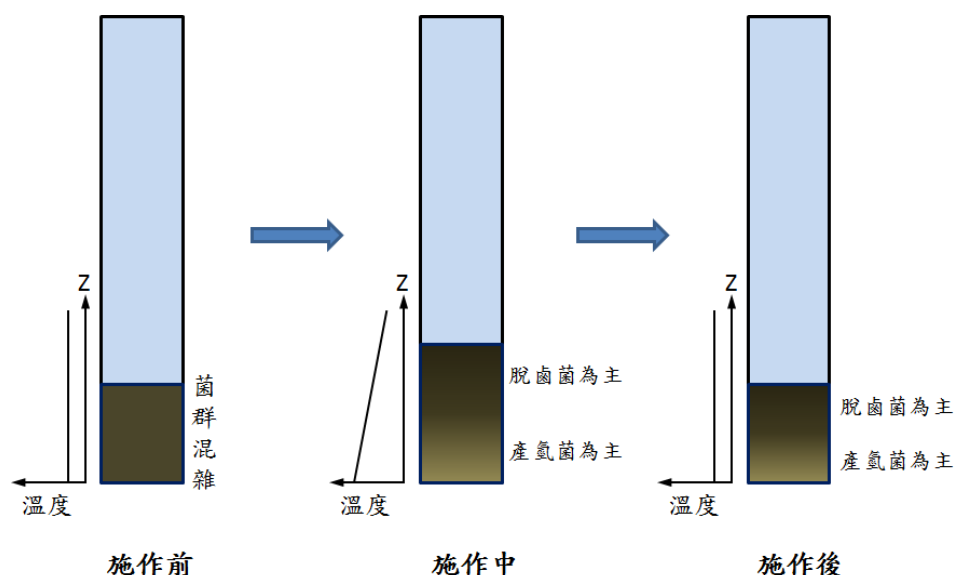


圖 2-1 現址相反轉法施作前中後之預期優勢菌群分布示意圖

電磁感應加熱主要是靠磁滯效應(magnetic hysteresis)與渦電流(eddy current)磁滯效應必須感應磁場內之物質具有明顯磁矩方可，一般氧化鐵之 Curie Temperature 約在 600-700°C 左右，所以當電流接通後在線圈內會產生強磁場，此時可見已經混合在底泥樣品中之鐵砂均豎立起來，但在溫度超過 600-700°C 以上時，此現象即消失；在 Curie Temperature 以上，鐵磁性物質之磁滯現象將消失，必須靠感應渦電流繼續加熱（以及部分石墨坩堝之電磁感應）加熱。試驗之加熱期間嘗試以照相與錄影方式記錄經過情形，但因輻射熱造成現場溫度過高，攝錄影器材也容易因此過熱必須中斷，所以整體測試時間因而拉長。此處將多次照相之結果呈現如圖 2-2 所示，記錄加熱至 1450°C 之前期、中期與末期之情況，圖 a 為 700°C 以下，圖 b 為 700°C 以上之情形，圖 c 為最終完成時移出坩堝之情形。



## 研究目的

本計畫將原本在底泥玻璃化已經相當成功之技術應用於重金屬污染之農地土壤，且由於此技術可能較為耗用能源，故精益求精，繼續研發將玻璃化成品回收做為有價資材之可行性研究。

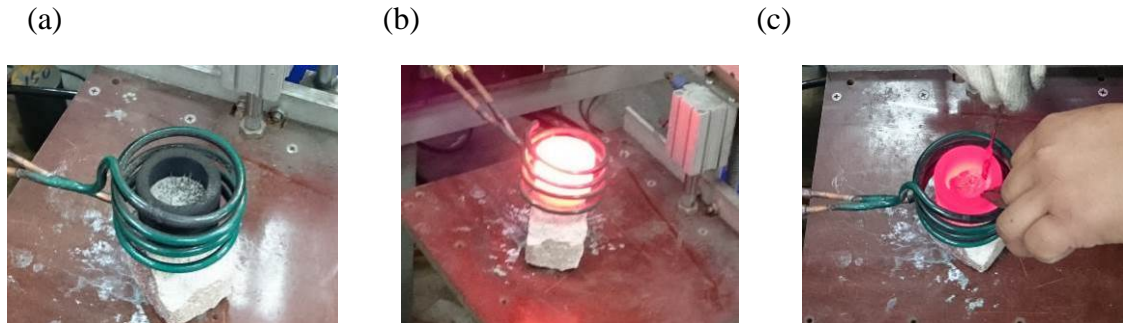


圖 2-2 電磁感應加熱玻璃化之前段(a)、中段(b)與後段(c)情況

就產業應用價值而言，目前台灣之河川底泥整治市場尚未興起，但在歐美地區已經是數十年之既有市場，而中國大陸市場目前已經因政府主導開始進行整治，如深圳地區在 3 年前即有河涌整治計畫進行（按：河涌包括底泥），因目前既屬已經證實可行，應可成功進攻國際市場，但是也應繼續發展周邊技術，以持續領先國際。



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(空白頁)





## 第3章. 文獻探討

章節摘要：本章主要針對與本計畫相關之文獻進行回顧與探討。

### 3.1 文獻回顧與探討

國內底泥整治技術發展及實場整治尚處於嬰兒期，國外則有相當多場址已經進行大規模整治，其中較為常見者有浚渫法（dredging）、水域掩埋（confined disposal）、自然回復（natural recovery）、水下掩埋（confined aquatic disposal）、現址加蓋處理（*in situ* capping）及深海棄置（deep ocean dumping）(Adriaens et al., 2006)。以下僅就目前較盛行之自然回復法、浚渫法、活性碳添加法與底泥加蓋法進行說明。自然回復法基本上與地下水污染之監看式自然衰減法（monitored natural attenuation）類似，主要是監測底泥中之污染物藉由生物與非生物程序（如稀釋、擴散、吸附、光解、水解、生物降解等程序）是否可在合理時間範圍內達到整治目標之評估方法，若是學理上可行，則可與當地主管機關進行研商受體風險、整治目標、整治時間與監測方式再進行(Wiedemeier et al., 1999)；浚渫法（dredging）則是利用動力機械將污染底泥直接挖除並且運送到中間處理單元進行處理後再進行最後處置，其中間處理可利用目前相當成熟之廢棄物處理技術進行處理，最終處置也是應用廢棄物最終處置方式進行處理，其最為人詬病者即為浚渫過程中可導致污染程度高之細小底泥顆粒再懸浮、遷移而擴散污染，其次則是因高污染之細小顆粒較難有效移除導致成效往往存疑(Perelo, 2010)；活性碳添加法最主要之清除機制有賴活性碳對於非極性或是相對低極性物質之強吸附能力，能夠有效降低其生物可及性，甚至當已吸附污染物之活性碳為水生浮游動物攝食後，仍能有效吸持污染物，甚至能夠降低其體內之污染物累積濃度(Millward et al., 2005)，此種方法較適用於流速緩慢之河川、港灣或是停留時間長之湖泊，但對於一般國土較為狹小、河道較為狹窄且坡陡流急之底泥而言，則較不適用。現址加蓋處理為近十年來國外應用最廣之方法，即在污染底泥之上方鋪設加蓋物，希望能夠降低底泥之生物可利用性與遷移擴散程度，通常在河道寬廣且流速較緩之情形下較為適用，因加蓋物容易受到下方厭氧微生物產氣作用之影響而鼓起或是受到洪水侵襲失去錨定而破壞。近年來也有在加蓋物中加入奈米零價鐵進行主動處理之例子，稱之為主動式加蓋處理（active capping）；此外，也有將天然沸石(Jacobs and Förstner, 1999)、薄層有機物(Murphy et al., 2006)、天然植物殘餘物與有機吸附材(Tang and Weber, 2006)、飛灰(Burgess et al., 2009)或是活性



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

碳(Jonker et al., 2009)吸附物質加入底泥中以降低其生物可利用性之研究。但以台灣之河川多為河面狹窄，坡陡流急，且每年均有數次颱風及較高頻率之暴雨侵襲之氣候條件，底泥上方外加一層加蓋物可能並不適合；且近來有學者應用生命週期評析方法研究指出雖然自然回復與天然有機物衍生活性碳在污染整治效果上可能不如煤炭衍生之活性碳，但就整體技術生命週期對環境之衝擊而言，煤炭衍生之活性碳顯然造成更大之環境負擔(Sparrevik et al., 2011)。

本計畫目標污染物為 HCB 與 Aroclor 1254，HCB 在底泥中降解往往停頓於二氯苯 (dichlorobenzene, DCB) 與氯苯 (monochlorobenzene, MCB)，故將這些衍生物之物理化學特性一併整理如表 3-1 所示。氯苯類化合物曾被用於殺蟲劑、殺草劑之原料及各種化學品之原料或是中間產物，如製藥、香料、色素等(Adrian and Görisch, 2002; Chen et al., 2010)，也曾經用於殺滅洋蔥、高粱、小麥及其他穀物種子之黴菌，在遭到殺蟲劑應用禁用後，也曾經用於軍方煙火或是儀式用藥劑及用於生產合成橡膠、電極製作時之孔隙控制材料、木材防腐劑等(Unknown, 2015b)。HCB 雖然已經禁用多年，但在環境中污染情況廣泛且不易降解，故也列名於最早期之 12 種持久性有機物染料 (persistent organic pollutants, POPs) 名單中(Chen et al., 2010)。三種 DCB 中，則以 1,4-DCB 之商業用途最大，25-55% 用於浴室與垃圾儲存桶之芳香劑，也用於殺滅蛾類、黴菌等，近年來也用於製造聚苯硫醚樹酯；1,2-DCB 則主要做為製造 3,4-dichloroaniline 除草劑之前驅物，也可當作合成色素及除臭劑之溶劑；1,3-DCB 則用於除草劑與除蟲劑製造，也用於藥物與色素製造(Unknown, 2015b)。多氯聯苯早期主要用途為加熱熱媒、變壓器與電容器絕緣油、阻燃劑、油墨、黏著劑、複寫紙中之隱藏油墨、油漆、殺蟲劑之延伸劑、塑化劑、聚烯烴類載劑、表面塗料、電氣絕緣、金屬表面塗層等。美國境內商品化製造時期為 1929 至 1977 年，其中最大宗使用者為 Aroclor 1016、Aroclor 1242 與 Aroclor 1254，Aroclor 為 Monsanto 公司之商標名，4 個數字之前 2 個數字為單一分子中之碳數（所有 PCBs 應該都是 12，僅有 Aroclor 1016 是例外，其碳數仍為 12），後兩個數字為氯所占質量百分比（僅有 Aroclor 1016 是例外，其氯質量百分比為 42%），晚期製造之 Aroclor 1254 高氯數之帶有 ortho 位置之氯之四氯聯苯同分異構物較早期者更多，以毒性當量計算時其毒性當量更高，且 Aroclor 1254 在禁用前數年內產量與用量均達高峰，這是近來許多學者投入 Aroclor 1254 研究之主要原因(Unknown, 2015b)。也由於 PCBs 之廣泛使用及其商業應用範圍非常廣，導致污染範圍也非常廣，加上後來發現其在環境中難以降解且有相當高之毒性，也列名為最早期之惡名狼藉之 POPs 名單中(Geyer et al., 2000)。環己烷的六氯衍生物可用作農藥。它包括  $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -、 $\epsilon$ -等異構體，其中  $\gamma$ -HCH



是最重要的異構體，並且是該種殺蟲劑的活性成分，俗稱靈丹，英文俗名為 Lindane。戴奧辛之源頭幾乎都是由工業程序所產生(Olie, 1980)，其中包括焚化、造紙之漂白與製漿過程、除蟲劑、除草劑與除藻劑之製造過程等(Gilpin et al., 2003)；此外一些戴奧辛具有類似持久性污染特性、類似誘引反應功能及致毒機制之化合物稱為 dioxin-like 物質(Van den Berg et al., 1998)，如 polychlorinated dibenzopdioxins (PCDDs), dibenzofurans (PCDFs), biphenyls (PCBs)及其他物質。在工業化之前，自然界中戴奧辛濃度非常低 (Czuczwa et al., 1984; Schechter et al., 1988; Ferrario and Byrne, 2000)。但現在幾乎所有人體內均有不同程度之戴奧辛存在，尤以居住在高度工業化國家者(Schechter and Gasiewicz, 2003)。一般認為戴奧辛具有致癌性、致畸胎、誘發氣座瘡等。

由表 3-2 之污染物之物理化學特性可知 HCB 與 Aroclor 1254 均屬不易溶於水之污染物；且兩者之  $\log K_{ow}$  均高，大多在 5 以上，表示在水與底泥有機質之間，兩者均傾向吸附於有機質中而不易進入水相中；其密度除 DDT 外，均大於水，不溶於底泥孔隙水中之 HCB、PCBs、Lindane 及 2378-TCDD 污染物均可能向下移動；相當高之沸點與相對低之  $K_H$  值顯示這些污染物不易由水中進入氣相，即使提供底部散氣，也不易進入氣相中（亦即氣提法是無效的），Aroclor 1254 之  $K_H$  值則相

表 3-1 本計畫相關污染物之物理化學特性(Unknown, 2015b)

污染物名稱	HCB	Aroclor 1254	$\gamma$ -HCH	DDT	2378-TCDD
分子量	284.78	328	290.83	354.51	322
MP (°C)	231	No data	112.5	108.5	305
BP (°C)	325	363-390	323.4	260	No data
閃火點 (°C)	242	No data	~65	72.2-77.2	164.2
密度(g/cm <sup>3</sup> , 23°C)	2.044	1.54	1.89	0.99	1.80
蒸氣壓(mmHg, 25°C)	1.09E-05	7.71E-05	4.20E-05	1.60E-07	1.50E-09
Log $K_{ow}$	5.73	6.5	3.72	5.18; 6.91	6.8-7.58
水溶解度 (mg/L, 20°C)	0.006	0.012, 0.057	17	0.025	1.93E-05
$K_H$ (atm-m <sup>3</sup> /mol)	5.80E-04	2.00E-03	3.50E-06	8.30E-06	1.62E-05

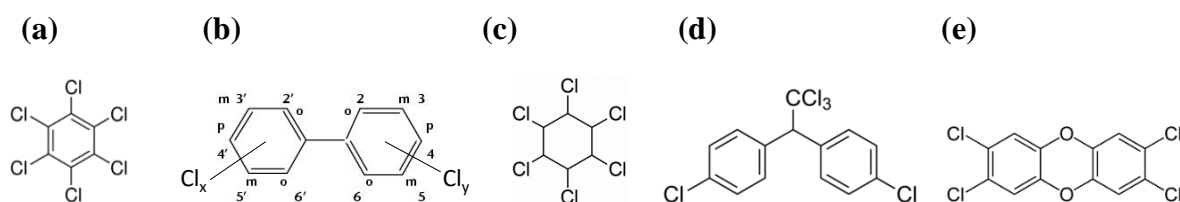


圖 3-1 HCB (a), Aroclor 1254(b), HCH (c), DDT (d), and 2378-TCDD (e)之分子



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

表 3-2 Aroclor 1254 所含氯聯苯同源物成分

Peak no.	Relative retention time (compared with $\gamma$ -lindane capture)	BZ no. <sup>b</sup>	Congener assignment	% of unlabeled Aroclor
1	1.496	52	2,2',5,5' <sup>c</sup>	220
2	1.528	49	2,2',4,5' <sup>c</sup>	126
3	1.641	44	2,2',3,5' <sup>c</sup>	145
4	1.735	41, 64, 71, 72	2,2',3,4' <sup>d</sup> ; 2,3,4',6' <sup>d</sup> ; 2,3',4',6' <sup>d</sup> 2,3',5,5' <sup>e</sup>	77
5	1.798	40, 103	2,2',3,3' <sup>c</sup> ; 2,2',4,5',6' <sup>c</sup>	54
6	1.885			85
7	1.916	74	2,4,4',5' <sup>d</sup>	22
8	1.945	70	2,3',4',5' <sup>c</sup>	32
9	1.978	66, 95	2,3',4,4' <sup>c</sup> ; 2,2',3,5',6' <sup>d</sup>	57
10	2.038	91	2,2',3,4',6' <sup>d</sup>	67
11	2.122	56, 60	2,3,3',4' <sup>d</sup> ; 2,3,4,4' <sup>d</sup>	32
12	2.182	101	2,2',4,5,5' <sup>c</sup>	74
13	2.231	99	2,2',4,4',5' <sup>d</sup>	63
14	2.289			116
15	2.332	83	2,2',3,3',5' <sup>d</sup>	79
16	2.379	97	2,2',3',4,5' <sup>c</sup>	56
17	2.428	87	2,2',3,4,5' <sup>c</sup>	71
18	2.469	85	2,2',3,4,4' <sup>d</sup>	51
19	2.523	77, 110	3,3',4,4' <sup>c</sup> ; 2,3,3',4',6' <sup>d</sup>	80
20	2.633	82	2,2',3,3',4' <sup>d</sup>	29
21	2.697	151	2,2',3,5,5',6' <sup>d</sup>	73
22	2.735			57
23	2.785	118, 149	2,3',4,4',5' <sup>c</sup> ; 2,2',3,4',5',6' <sup>d,e</sup>	67
24	2.878	143	2,2',3,4,5,6' <sup>d,f</sup>	73
25	2.900	134	2,2',3,3',5,6' <sup>d,f</sup>	35
26	2.924			35
27	2.964	146	2,2',3,4',5,5' <sup>d</sup>	86
28	3.027	153	2,2',4,4',5,5' <sup>c</sup>	134
29	3.062	132	2,2',3,3',4,6' <sup>d</sup>	56
30	3.163	141	2,2',3,4,5,5' <sup>d,e</sup>	94
31	3.239	130	2,2',3,3',4,5' <sup>d</sup>	91
32	3.265	137	2,2',3,4,4',5' <sup>d,e</sup>	36
33	3.327	138	2,2',3,4,4',5' <sup>c</sup>	122
34	3.355	158	2,3,3',4,4',6' <sup>d</sup>	64
35	3.415	129	2,2',3,3',4,5' <sup>d,e</sup>	70
36	3.632	128	2,2',3,3',4,4' <sup>c</sup>	100
37	3.790			138
38	3.916	156	2,3,3',4,4',5' <sup>d</sup>	91
39	3.981	172	2,2',3,3',4,5,5' <sup>d</sup>	78
40	4.123	180	2,2',3,4,4',5,5' <sup>d,e</sup>	208

對較高有較高趨勢進入空氣中； $\gamma$ -HCH 水中溶解度較高，可能回收效果會略差。相對地，當 HCB 降解至 DCB 與 MCB 時，其 log  $K_{ow}$  降低 2 個數量級，水中溶解度急遽增加，蒸氣壓也增加約 5 個數量級，其性質與三氯乙烯類似，因此有可能由吸附相經由水相進入氣相。Aroclor 1254 之同源物結構式如圖 3-1b 所示。將此圖與表 3-3 之 Aroclor 1254 之所有同源物之化學式命名比較，即可看出 Aroclor 1254 中氯鍵結於 ortho 位置（與聯苯鍵相鄰位置如 2, 2', 6, 與 6'）之同源物非常多。

底泥中 PCBs 之生物降解方面，在國外方面，本計畫主持人張書奇之指導教授 Prof. Peter Adriaens（University of Michigan at Ann Arbor）為極少數於 1980 年代即進行 PCBs 生物分解實驗之前驅研究學者之一（Adriaens et al., 1989），並且近年來也致力於河川底泥之研究（Adriaens et al., 2006），PCBs 之生物分解可分為礦物化（Mineralization）與共代謝（Cometabolism）兩種，礦物化是指將 PCBs 完全分解為氯離子、二氧化碳與水，共代謝則是微生物在進行結構相似之其他污染物分子分解時也同時將 PCBs 分解，共代謝之結果通常只累積中間產物，而無法





達到完全礦物化，但在某些情況下，曾經有不同菌種可相繼以共代謝方式，將目標污染物礦物化之情況。環境中影響 PCBs 生物分解之因子至少包括化學物結構、官能基鍵結情況、水中溶解度、底泥吸附情況、其他 DNAPL 存在與否、污染物濃度、水溫、可利用之電子供應者、競爭之電子接受者、pH 值等 (Borja et al., 2005)。厭氧與好氧情況下之 PCBs 可能生物分解路徑如圖 3-2 與圖 3-3 所示。其餘詳細之可能生物分解路徑可參考相關文獻，如 Borja 學者之論文。於厭氧情況下，微生物可有效脫除對位與間位之氯 (*para and meta*)；而好氧情況下，則較容易脫除鄰位 (*ortho*) 位置上之氯，故有學者提出以厭氧－好氧序列式處理之方式降解 PCBs，如圖 3-4 所示 (Abramowicz, 1990)。近年來學者針對能夠有效降解 PCBs 之菌株進行回顧，發現相關菌株與目前可以有效降解地下水含氯有機污染物氯化乙烯類污染物之菌株有相當之親緣關係 (如表 3-3 與圖 3-5 示)，均屬於綠彎菌門 (*Chloroflexi phylum*) 之菌種。此現象也再次顯示脫鹵球菌適合之生長條件似乎也可有效刺激 PCB 降解菌之生長。

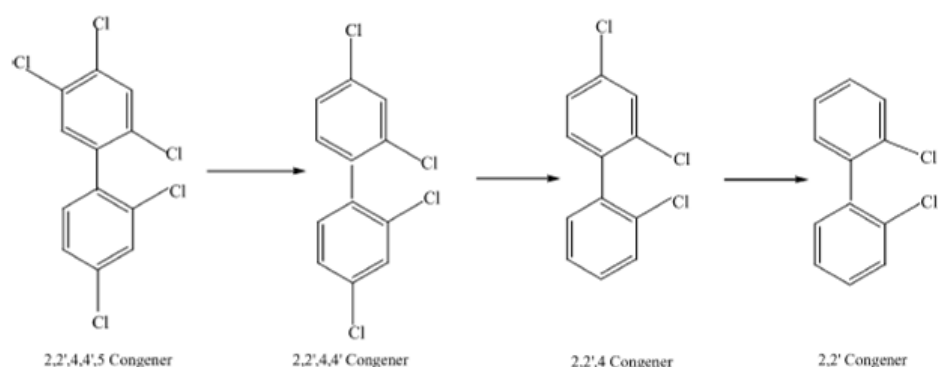


圖 3-2 厭氧情況下之 PCBs 可能生物分解路徑

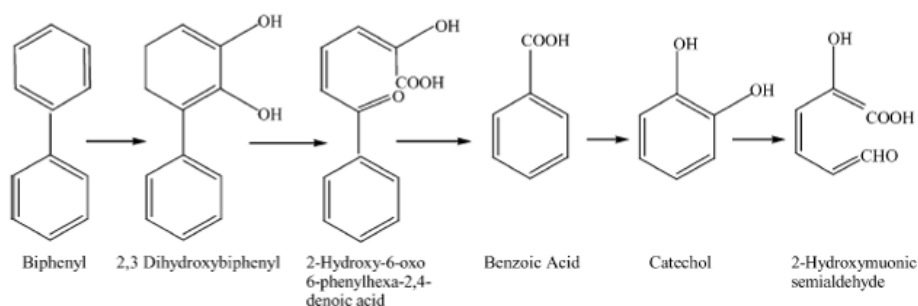


圖 3-3 好氧情況下之 PCBs 可能生物分解路徑



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

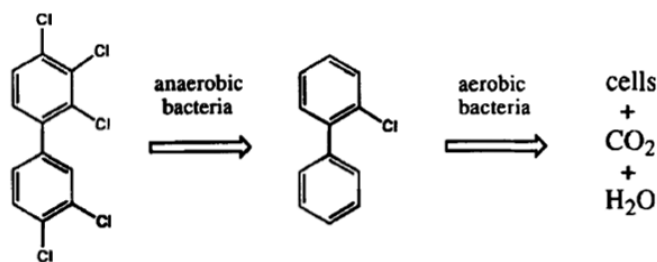


圖 3-4 序列情況下之 PCBs 可能生物分解路徑

表 3-3 確認具有降解 PCB 能力之菌株(Sowers and May, 2013)

菌株	電子供給者	培養情況	參考文獻
<i>Dehalobium chlorocoercia</i> DF-1	氫氣、甲酸	Isolate	Wu et al. (2002)
Strain o-17	乙酸	Co-culture	Cutter et al. (2001)
Phylotype DEH-1 0	不明確 <sup>a</sup>	Sediment microcosm	Fagervold et al. (2007); Fagervold et al. (2005); Watts et al. (2005)
Phylotype SF-1	不明確 <sup>a</sup>	Sediment microcosm	Fagervold et al. (2007); Fagervold et al. (2005); Watts et al. (2005)
<i>Dehalococcoides</i> sp. CBDB1	氫氣	Isolate	Adrian et al. (2009)
<i>Dehalococcoides mccartyi</i> 195	氫氣	Isolate	Fennell et al. (2004)

註：<sup>a</sup>於 acetate, propionate, butyrate 混合液中生長。

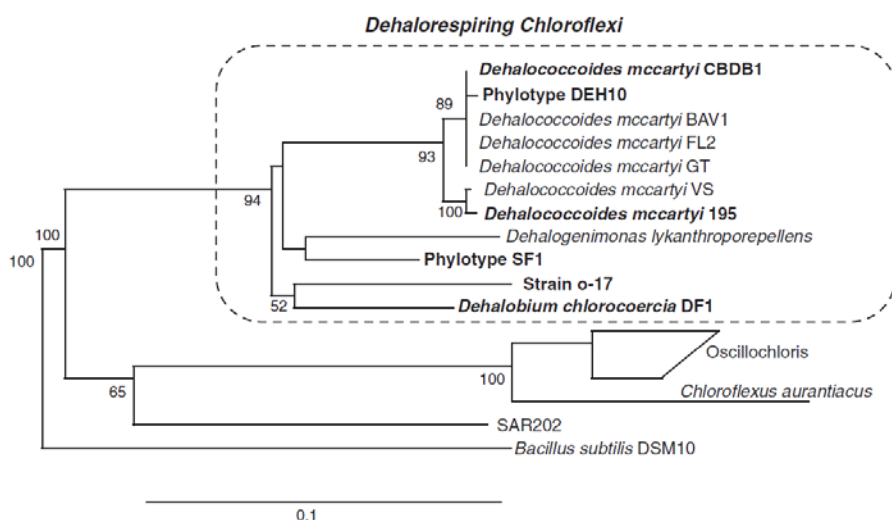


圖 3-5 確認具有降解 PCB 能力之菌株與脫鹵球菌有相當高親緣關係

國內底泥中 PCBs 之生物降解方面，則以東吳大學張碧芬與袁紹音教授曾以基隆河底泥進行 PCBs 生物分解研究（Chang et al., 2001）、台灣大學王一雄教授曾調查底泥中 PCBs 之變遷（王一雄，2000）及嘉南藥理科技大學錢紀銘、陳意銘、林健榮教授等曾以二仁溪底泥進行 PCBs 生物分解相關研究（錢紀銘等，





2005；陳意銘等，2005），這些學者之研究證明台灣地區基隆河底泥與二仁溪受污染河段底泥微生物均對於 PCBs 具有一定之分解能力；張碧芬與袁紹音教授證明其所培養之菌群在硫酸還原及甲烷生成情況下可有效進行還原脫氯作用；王一雄教授說明 PCBs 中 congeners 分解活性與 HPLC 及 GC 分離時間有正相關關係存在；錢紀銘、陳意銘、林健榮教授等則對二仁溪中底泥之污染分佈及商品化 PCBs 之脫氯作用進行探討，再次證明二仁溪底泥中之 PCBs 與 Aroclor 1242 近似，且以 3,4,5-TCB 所馴養之菌種針對 Aroclor 1242 之脫氯量有明顯提升。本計畫主持人所執行之科技部「整合式河川底泥復育技術開發計畫」（原為國科會計畫 NSC 98-2622-E-005-024-CC2），已經針對二仁溪底泥之模擬樣品加入 Aroclor 1242 為實驗樣品，成功馴養有效之 PCB 還原脫氯菌群，並經模場試驗證實現地之厭氧脫氯菌群在相對較為適宜之條件下可在 140 天內將 Aroclor 1242 降解超過 90%(Chang et al., 2014)；但因王一雄教授較近期之研究指出二仁溪底泥中 PCB 之型態已漸漸轉變，與 Aroclor 1254 較為相近(Wang, 2000)。經過本計畫實地採樣檢測結果也證實已經轉變為較高氯數之 PCBs，而在現地模場試驗也發現其降解程度比 Aroclor 1242 明顯降低，在 190 天之試驗後，發現 Aroclor 1254 最佳降解百分比僅達 76.4%，較自然回復法之 59.1% 僅稍佳而已，且因試驗之系統係屬開放系統，試驗後期均有回升之情況，故仍具有許多不確定性，也顯示出二仁溪底泥中之 PCBs 可能仍具有相當高之隨細顆粒漂浮之遷移特性以及具有較高生態與人體健康風險（因容易蓄積於表層底泥且容易進入食物鏈）；因此，若能在短時間內移除表層底泥中絕大部分之 PCBs，對於防止其 PCBs 污染擴大與生物蓄積放大（biomagnification）之危害與風險將具有顯著貢獻。

國外從事 HCB 研究較早，曾有學者發現在嚴重污染河段常常可見之底棲生物紅蟲（*Tubifex tubifex*）攝食表層有機碳較高之細小底泥顆粒後會將其糞便排出於底泥之表層，導致在底泥中之 HCB 朝泥水界面之表層移動且其濃度提高約 3.5 倍(Karickhoff and Morris, 1985)，若河水中尚有部分溶氧，則有可能抑制其厭氧脫氯反應，並且位於界面之 HCB 將更容易隨河水遷移形成較高生態與健康風險，也有學者發現紅蟲可能是三刺棘魚（three-spined stickleback）攝取 HCB 之主要來源之一，而三刺棘魚為著名之小型底棲魚類之一(Egeler et al., 2001)，故也可能是較大型肉食性魚類之 HCB 來源之一。1992 年，學者 Hollinger 報導可利用乳酸、葡萄糖、乙醇或異丙醇之微生物菌群可有效以還原脫氯反應降解 HCB、五氯苯（pentachlorobenzene, PeCB）、三種四氯苯（tetrachlorobenzene, TeCB）異構物、1,2,3-三氯苯（1,2,3-trichlorobenzene, 1,2,3-TCB）及 1,2,4-三氯苯（1,2,4-trichlorobenzene, 1,2,4-TCB），但對於三氯苯（trichlorobenzene, TCB）之厭氧生物降解則僅進行 4 週，尚未見到進一步降解到 DCB(Holliger et al., 1992)。德國 Dörfler



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

學者則是刺激土壤中微生物進行 HCB 之降解，其最終產物為 1,3-DCB，主要降解路徑為  $\text{HCB} \rightarrow \text{PeCB} \rightarrow 1,2,3,5\text{-TeCB} \rightarrow 1,3,5\text{-TCB} \rightarrow 1,3\text{-DCB}$ ，其中 1,3,5-TCB 累積較多，雖有其他脫氯產物存在，但濃度上皆不如此路徑之各階產物(Brahushi et al., 2004)。在 2002 年，Adrian 與 Görisch 學者歸納了之前 HCB 生物降解之代謝路徑如圖 3-6 所示。A 型降解路徑較容易將三個鄰近的氯基中間的氯移除（如圖中的較粗之虛線），B 型降解路徑較容易將 3-5 個鄰近的氯基的最旁邊或最遠處的氯移除（如圖中的較粗之實線），細線與打叉的線則代表尚未觀察到高速率之轉化或是無法確認為 A 或 B 型，線旁之數字為反應自由能，似乎細菌會優先進行可獲得較多能量之反應(Adrian and Görisch, 2002)。大鼠腸胃中之細菌及數種 *Staphylococcus* species 則被研究發現可將 1,2,4-TCB 降解為 DCB 及 MCB(Tsuchiya and Yamaha, 1984)；其他來源菌種如土壤(Ramanand et al., 1993)、河川或湖泊底泥(Beurskens et al., 1994; Bosma et al., 1988; Chang et al., 1997; Nowak et al., 1996)、河口底泥(Masunaga et al., 1996; Pavlostathis and Prytula, 2000)、海中底泥(Yonezawa et al., 1994)、活性污泥(Yuan et al., 1999)均曾經被報導，由於 HCB 水中溶解度甚低，進行批次降解反應時常利用正己烷形成兩相以確保能夠持續提供 HCB 供微生物降解。將 MCB 繼續進行厭氧還原脫氯分解僅在底泥中曾經被發現，但因為僅在高氯數之氯苯存在之情況下才發生，故被認為可能是一種共代謝反應(Adrian and Görisch, 2002)。由於 DCB 與 MCB 之繼續降解攸關 HCB 是否能夠完全礦化與無毒化，近年來，學者們深入探討可進行進一步降解之菌種，發現這些菌種與地下水中進行四氯乙烯與三氯乙烯之菌種重疊性非常高，如脫鹵球菌 *Dehalococcoides* 菌屬中的 *Dehalococcoides mccartyi* 即曾被報導可將 MCB 繼續還原脫氯及其特定生物酶之基因 *cbrA*(Pöritz et al., 2013)，其他可將 1,2-DCB 與 MCB 繼續反應之菌種屬於 *Dehalobacter* 菌屬(Nelson et al., 2011)。也有學者針對河川中獲得之污泥進行氯苯類降解且針對其菌相進行 pyrosequencing，得知在不同階段有不同之菌群結構，如圖 3-7 所示(Vandermeeren et al., 2014)；也有學者在實驗室中之 microcosm 反應器中成功將 MCB 完全轉化為二氧化碳與甲烷(Liang et al., 2013)。但截至目前為止，尚無任何文獻顯示曾經於河川底泥中進行實場整治之報導。

國內從事底泥中 HCB 研究之學者主要為東吳大學張碧芬教授與嘉南藥理大學陳意銘教授，東吳大學張碧芬教授曾利用都市生活污水處理之污泥進行 HCB 之降解，發現所測試之最佳條件是 pH 值為 7.0，溫度為 30°C，固體物濃度為 26.8g/L，而其最終產物為 1,2-DCB 與 1,4-DCB，濃度在 50 mg/L 以下應不會造成生物分解抑制(Yuan et al., 1999)。觀察張碧芬教授與德國 Dörfler 學者之結果暗示



土壤中與污泥中存在截然不同之 HCB 降解菌可將 HCB 分解為不同之 DCB 異構物。張碧芬老師也曾使用南台灣石化區排放口附近河川底泥進行 HCB 厭氧分解，發現較佳之條件是 pH 值為 6.1-6.9，溫度為 29-37°C，加入三價鐵與四價錳會抑制反應，加入乳酸或丙酮酸可加速反應，主要產物為 1,3,5-TCB(Chang et al., 1997)。陳意銘教授則是在實驗室中架設水族箱模仿河川中底泥情況下進行試驗，自二仁溪採實際不同深度底泥進行試驗，發現經過 180 天實驗後發現，未添加 yeast extract 組別對於低濃度 5 ppm 之 HCB 移除幾近於零，有添加 yeast extract 組別對於低濃度 5 ppm 之 HCB 顯出 90-120 天不等之遲滯期，最終產物為 1,3,5-TCB；未添加 yeast extract 組別對於高濃度 20 ppm 之 HCB 移除幾近於零，有添加 yeast extract 組別

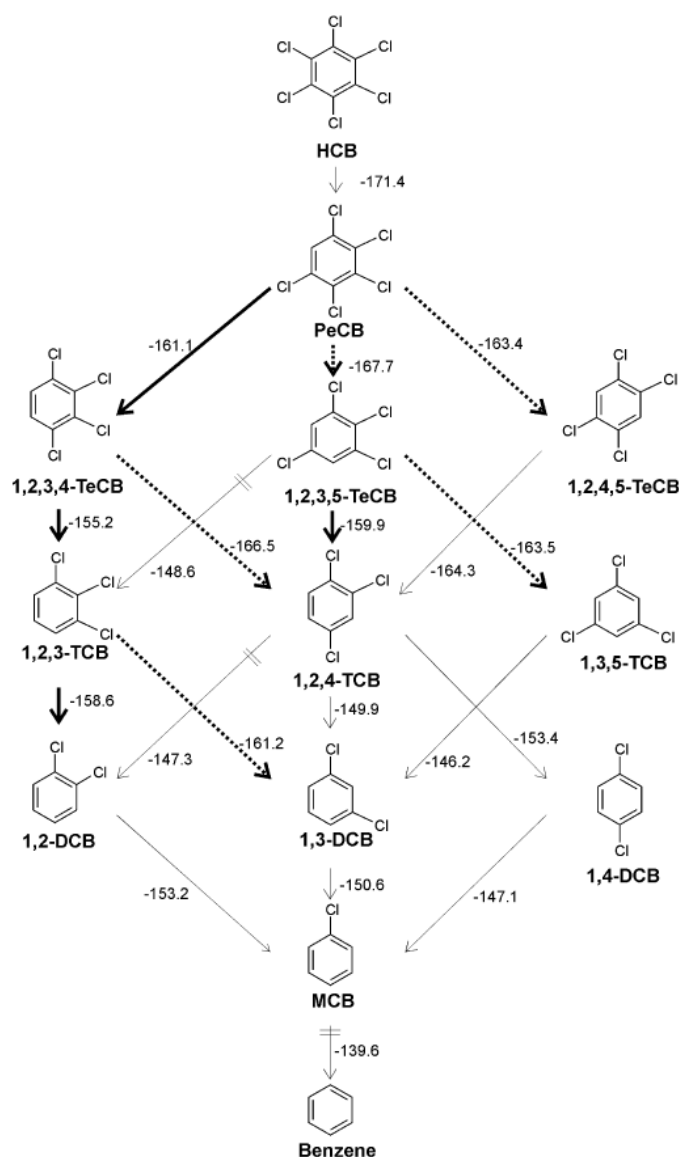


圖 3-6 HCB 可能之生物脫氯反應路徑



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

對於高濃度 20 ppm 之 HCB 顯出 60-90 天不等之遲滯期，最終產物仍為 1,3,5-TCB(陳意銘, 2005)，較為深層之底泥(深度 15 公分以下)之遲滯期較短。陳意銘教授另外自二仁溪採實際不同深度底泥進行試驗，再次進行 28 週試驗後，發現最上層(0-1 公分)之殘餘率分別為 70.2% (未添加 yeast extract) 與 55.4% (添加 yeast extract)，最深層(3 公分以下)之殘餘率分別為 1.8% (未添加 yeast extract) 與 4.6% (添加 yeast extract)。顯示 HCB 在不同深度之降解率大為不同，愈是接近表層其降解率愈低(陳意銘, 2013)。對照國外研究，均經過 3-4 個月不等之馴養與 2 至 3 次之移植，才能開始正式實驗，顯示要進行 HCB 之降解實驗必須盡早開始，避免過長之馴養期耽誤研究期程。國內另有李宗霖教授與方孟德博士曾經進行台灣高雄沿海底泥中 HCB 監測，結果顯示 40 個樣品中僅有 1 個樣品為未檢出 (ND)，其餘濃度介於 0.2-61.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Lee et al., 2000a)；其後再次進行監測並與世界上其他曾經發表之文獻報告比較，台灣之最高濃度僅次於烏克蘭黑海之監測記錄，污染程度可謂名列世界前茅(Lee et al., 2005)；早年也曾經針對數條河川底泥進行監測，發現濃度較高者為高屏溪、楓港溪、二仁溪、濁水溪與鹿耳門溪等。

由於本計畫欲將底泥中厭氧產氫與鹵化有機污染物之生物復育作結合，故茲就暗發酵產氫進行文獻評述。目前主要之生物產氫技術為可分為生物光解 (biophotolysis)、光發酵 (photofermentation) 與暗發酵 (dark fermentation) 三種 (Hallenbeck et al., 2012)，其中以暗發酵技術最為成熟且對環境要求最低，最易應用於實場化，主要優缺點如表 3-4 所示。主要之暗發酵菌群包括絕對厭氧菌 (如 *Clostridia*、*Rumen bacteria*、*Methanogens*、*Thermophiles* 等)、兼氣菌 (如 *E. coli*、*Enterobacter sp.*、*Citrobacter sp.* 等) 與好氧菌 (如：*Alcaligenes*、*Bacillus* 等) (Vrije and Claassen, 2003)。相關已知之菌種如表 3-5 所示(Kothari et al., 2012)。在所有產氫菌中，其中 *Clostridia* 與 *Enterobacter* 是被研究得最多的。暗發酵之產氫菌主要利用氫酵素 (hydrogenase) 將有機物的電子傳遞至氫離子進而產生氫氣。主要影響暗發酵產氫的因子包括基質、溫度、pH 值、氫氣分壓等。暗發酵最大優點即可利用廣泛之有機物質作為碳源，法國學者針對以農業廢棄物進行暗發酵相關研究進行回顧，目前已經報導用於暗發酵之農業廢棄物有玉米桿、玉米葉、玉米莖、青草、米糠、高粱、甘蔗渣、大麥桿、大麥糠、乳牛糞尿、牛糞尿、養牛廢水、豬污泥、豬糞尿、米、胡蘿蔔、大白菜、雞皮、蛋、瘦肉、生廚餘、熟廚餘、糖精、萊姆皮、豆莢、起司乳清與棕櫚油工廠廢水等(Guo et al., 2010)，此與台灣部分河川底泥中可能存在各式各樣有機廢棄物不謀而合。學者 Lee 等人在實驗室內測試添加可食用油 (玉米油、椰子油、大豆油與牛脂肪) 是否得以加速 PCE 或





TCE 的還原脫氯作用，結果顯示產生 250 mL 以上的氣體，並且高達 236 mg/L TCE 被完全降解(Lee et al., 2000b)，也顯示本研究欲利用食用油做為發酵產氫基質之構想是可行的。暗發酵的最適溫度，主要依據菌種的類別大致區分為中溫(25-40°C)與高溫(40-65°C)，一般反應器之中溫條件操作在 35-37°C，但有文獻指出 26°C 亦有一定之產氫效率(Logan et al., 2002)，顯示較低之溫度亦可行發酵反應，以本計畫目標場址二仁溪匯流處而言，經過本實驗室 2 年模場試驗監測溫度均介於 19-32°C 之間，夏季則介於 26-32°C 之間，應可提供穩定之環境。就操作條件而言，pH 值介於 5.0-7.0 之間可較適合產氫酶作用，較低之 pH 可能較容易形成如丁酸與乙酸，在偏高與中性 pH 值下，乙醇、乙酸、丙酸與己酸較容易形成(Fang and Liu, 2002)。

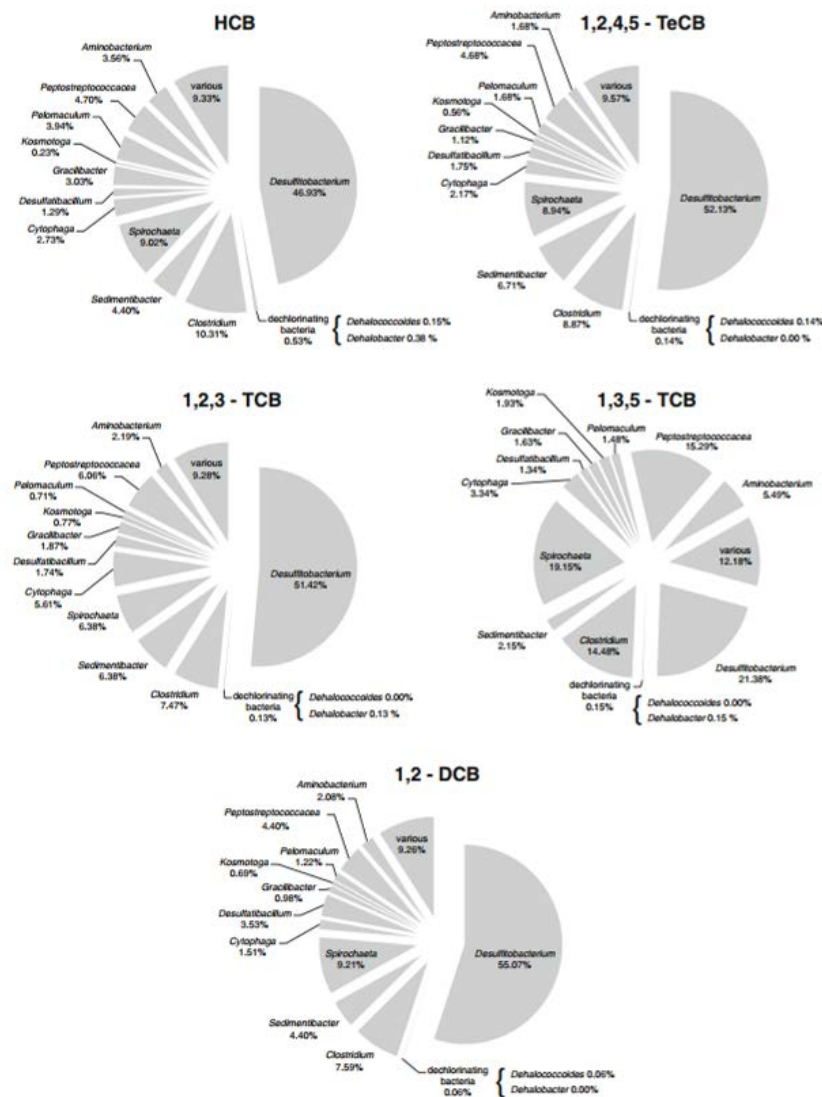


圖 3-7 氯苯類降解過程中之菌相結構



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

也有學者指出在  $\text{pH} < 6$  時，較容易形成乙酸與丁酸， $\text{pH}$  較高時容易形成乙醇與乙酸(Temudo et al., 2008)；經過本實驗室 2 年模場試驗監測  $\text{pH}$  均介於 6.8-7.5 之間，屆時可能需要稍微調整現地之  $\text{pH}$  值。發酵時在氣態中之氫氣分壓也必須考慮，但此部分在底泥環境中應無須考慮，因為所有產出之氫氣會立刻被使用完，通常其半生期均以秒計(Lovley and Goodwin, 1988)。而目前針對產氫菌之篩選最常使用者即為熱篩選，如文獻中曾以蔗糖為基質進行有熱篩（ $90^{\circ}\text{C}$  下 20 分鐘）與無熱

表 3-4 生物產氫技術之比較（楊茱芳，2014）

技術程序	產氣效率 ( $\text{ml H}_2/\text{l/h}$ )	轉換率	優點	缺點
生物光解	2.5-13	$\leq 0.18$	基質為水，不虞匱乏。 與碳無關。 產物單純，只有氫與氧。	產生氧氣可干擾產氫酶之作用。 效率仍低。 產氣可能具有爆炸性 需要大量表面積。 低體積產率。
光發酵	12-83	$\leq 1\%$ ， 80%	可利用廢棄物產氫。 可達到相當高之轉換率。 可由暗發酵產物中再次產氫。	以 <i>nitrogenase</i> 產氫之效率仍低。 低光合作用轉換率。 反應器成本仍過高 需要大量表面積。
暗發酵	$10-15 \times 10^3$	33%	可利用各種廢棄物產氫。 反應器技術簡易且成熟。 非無菌狀態也可行。 固定型混合菌可達高效率。	產生較多副產物。 低 COD 移除率。 反應器間之差異大。

表 3-5 已報導之產氫菌、使用基質、測試程序及相對氫氣產量

Organism	Substrate	Process	Maximum yield of $\text{H}_2$ ( $\text{mol H}_2/\text{mol substrate}$ )
<i>Enterobacter aerogenes</i> HU-101 (mutant AY-2)	Glucose	Batch (blocking metabolites formation)	1.17
<i>Enterobacter aerogenes</i>	Molasses	Ar sparging, batch	1.58
<i>Enterobacter aerogenes</i>	Molasses	Batch	0.52
<i>Clostridium butyricum</i>	Glucose	$\text{N}_2$ sparging continuous	1.4-2.3
<i>Enterobacter cloacae</i> IIT BT 08	Glucose	Continuous (immobilized bioreactor)	2.3
<i>Citrobacter</i> sp. Y19	Glucose	Batch Ar sparging	2.49
<i>Rhodospseudomonas palustris</i> P4	Glucose	Batch, with intermittent purging of Ar	2.76
<i>Clostridium butyricum</i> EB6	POME	Batch	3.2 (L/L med)
<i>Clostridium butyricum</i> ATCC19398	Glucose	Batch	1.8
<i>Clostridium acetobutyricum</i> M121	Glucose	Batch	2.29
<i>Clostridium tyrobutyricum</i> FYa102	Glucose	Batch	1.47
<i>Clostridium beijerinckii</i> L9	Glucose	Batch	2.81
<i>C. thermolacticum</i>	Lactose	Continuous	3.0
<i>Clostridium thermocellum</i> 27405	Delignified wood fiber	Batch	1.6
<i>Klebsiella oxytoca</i> HP1	Glucose	Batch	1.0
<i>T. thermosaccharolyticum</i> PSU-2	Sucrose	Batch	2.53
<i>T. saccharolyticum</i> JW/SL-YS485	Xylose	Batch	0.88
<i>Caldicellulosiruptor</i>	Sucrose	Batch	5.9
Mixed culture (predominantly <i>Clostridium</i> sp.)	Glucose	$\text{N}_2$ sparging, continuous HRT: 8.5 h	1.43
Mixed microflora	Wheat starch co-product	$\text{N}_2$ sparging continuous	1.9
Mixed microflora	0.75% soluble starch	Chemostat HRT: 17 h	2.14
Mixed microflora	Sewage-sludge	Anaerobic and acidogenic digestion	1.7

篩之污泥微生物產氫之比較，發現有熱篩之反應器產氫量顯然優於無熱篩者，以





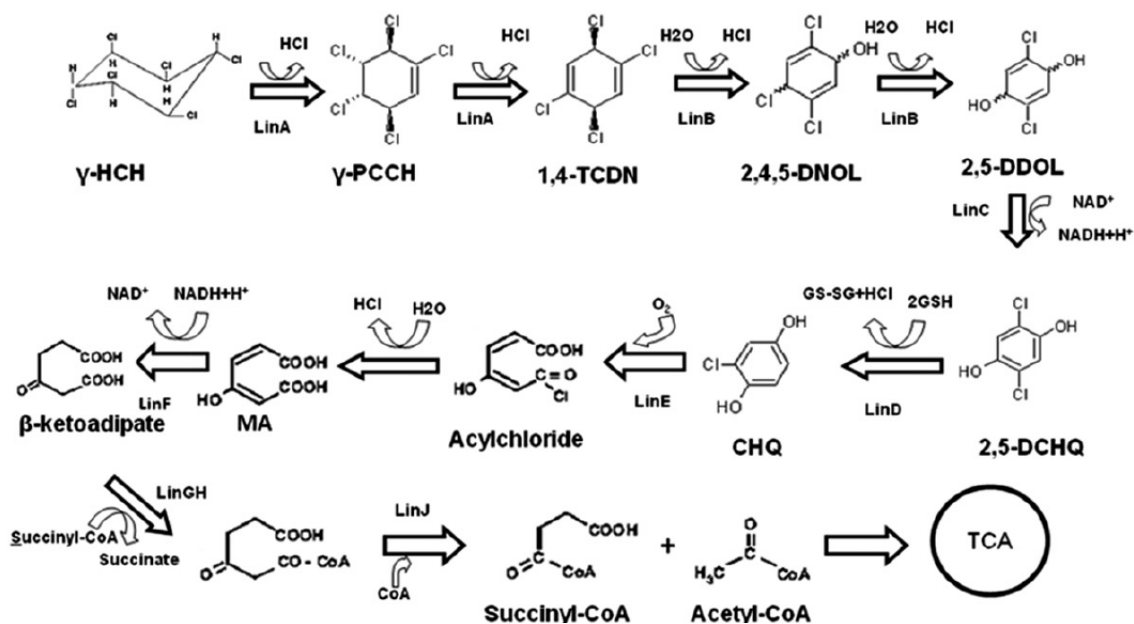
限制性片段長度多態性 (Terminal restriction fragment length polymorphis) 進行菌群分析，發現兩組 *Clostridium* 菌種在產氫階段為最優勢菌，在產氫量減少時，有 2 組菌之呈現增加趨勢，第 1 組包括 *Bifidobacteriumthermophilum*；第 2 組則包括 *Bacillus* spp.、*Melissococcus* spp.、*Spirochaeta* spp.與 *Spiroplasma* spp.(Duangmanee et al., 2007)。本計畫主持人與雲林科技大學楊榮芳教授合作研究地下水中三氯乙烯降解研究時曾針對污染地下水中進行熱篩，確定可以篩選出有效之利用食用油乳化液作為基質進行產氫之菌種；而本計畫將利用現址相反轉法進行高溫水在油中乳化液持續注入造成至少 90°C 下暴露 20 分鐘以上之條件，促成底泥中之微生物轉換為以能夠產生內孢子之 *Clostridium* 菌種，再利用其在底泥中利用乳化液進行產氫，所產之氫氣可供在上層底泥中之還原脫鹵菌群進行 HCB 與 PCBs 之降解。在土壤中則是期望能夠有助於  $\gamma$ -HCH 與 DDT 之降解，詳見以下之文獻回顧。

$\gamma$ -HCH 之生物降解可分為好氧及厭氧 2 種方式 (如圖 3-8)，好氧降解路徑可由  $\gamma$ -HCH 漸漸形成類似 quinone 之結構，再進行開環反應，最後形成 acetyl-CoA 和 succinyl-CoA，就可全部進入 TCA cycle 而完全礦化(Nagata et al., 2007)。厭氧生物降解路徑相對簡單許多，但可能產生 1,3 二氯苯及氯苯，最終也可產生苯。最早從事  $\gamma$ -HCH 生物降解之學者可能是 MacRae，他以 *Clostridium* sp. 在液相中進行厭氧生物降解，75%的 Lindane 已經轉化為氯離子，表示降解效果相當不錯 (MacRae et al., 1969)；Quintero 等人以甲烷產生菌進行生物強化方式之生物降解實驗，發現無法完全分解，而是產生許多中間產物，如 pentachlorocyclohexane 異構物(PCCH)、tetrachlorocyclohexane (TCCH)、1,2,3-trichlorobenzene (1,2,3-TCB)、1,3-dichlorobenzene (1,3-DCB) 和 chlorobenzene (CB)。Ohisa 學者以 *Clostridium* sp. 及 *Clostridium rectum* 可降解  $\gamma$ -HCH 為  $\gamma$ -TCCH(三氯環己烷)(Ohisa et al., 1980)，而 Boyle 學者則嘗試以硫酸鹽還原菌進行 lindane 脫氯，發現最終會累積氯苯或是苯(Boyle et al., 1999)。DDT 之生物降解目前似乎偏重真菌之降解，其中早在 1965 年就有學者進行相關研究(BARKER et al., 1965)，諸如細菌 *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus* sp., "*Hydrogenomonas*", 及真菌 *Saccharomyces cerevisiae*, *Phanerochaete chrysosporium* 及 *Trichoderma viridae* (Johnsen, 1976; Kanta Sharma et al., 1987) 由於些細菌將 DDT 降解為 DDD 均需要另種碳源存在，所以一般認為其反應為共代謝形式，其中較為特別的是 *Pseudomonas aeruginosa* 可將 DDT 完全礦物化(Golovleva et al., 1982)。1987 年 Bumpus 與 Aust 就觀察到白腐真菌 (white rot fungus) *Phanerochaete chrysosporium* 可在 30 天降解 50%之 DDT(Bumpus and Aust, 1987)，其降解路徑請參考圖 3-9 及圖 3-10。



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(a)



(b)

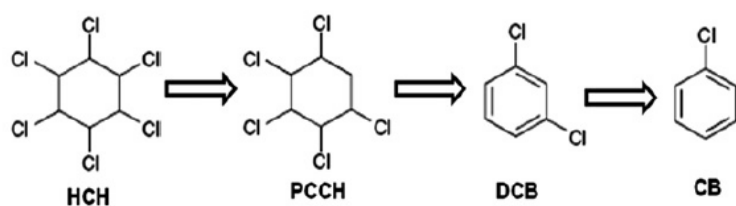


圖 3-8  $\gamma$ -HCH 之好氧(a)及厭氧(b)生物降解路徑

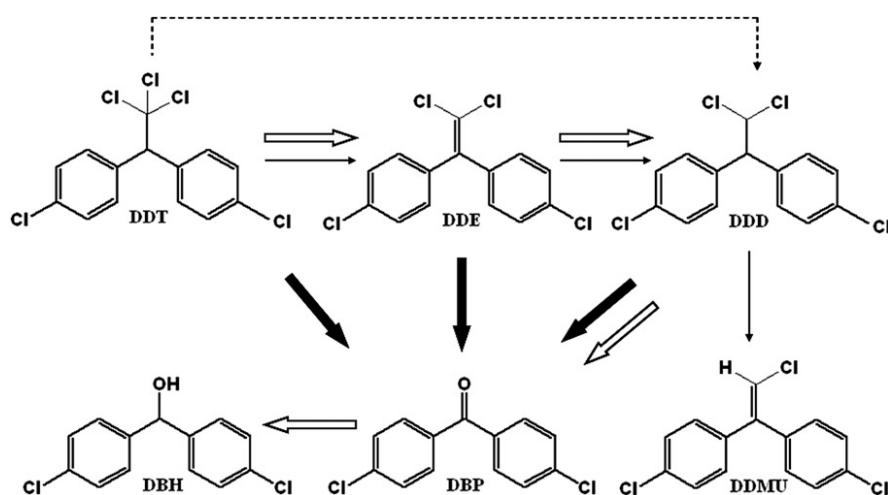


圖 3-9 棕腐真菌(brown rot fungi)降解 DDT 之路徑



(a)

(b)

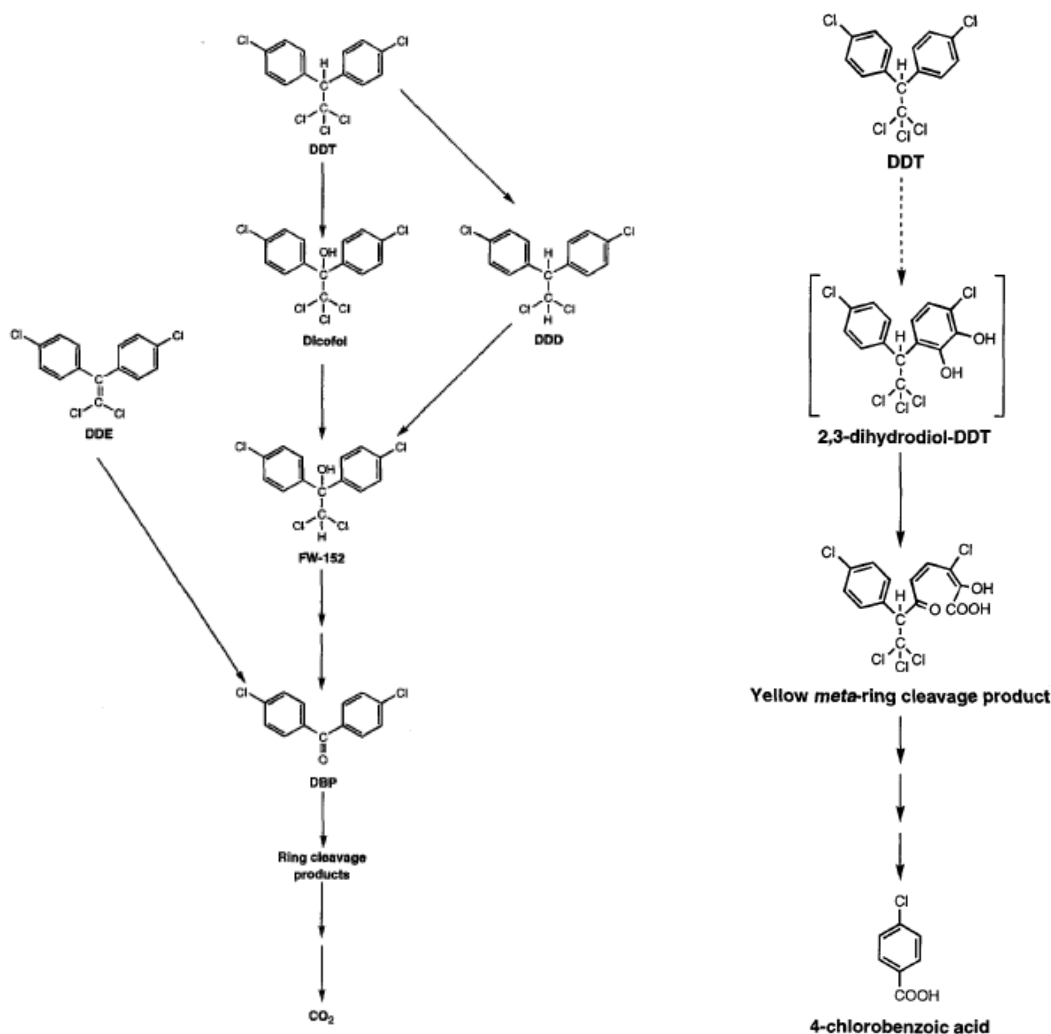


圖 3-10 白腐真菌(white rot fungi)(a)與細菌 *Alcaligenes eutrophus*(b) 降解路徑

土壤或底泥中戴奧辛之分解已有多種方法發表，但所有方法都需要將底泥挖出處理，如游離輻射分解、鹼性觸媒分解、次臨界水處理、熱脫附、現址光解(僅限土壤)、離場溶劑與液化氣體萃取、蒸氣蒸餾及機械方式(球磨機)以及生物分解(Kulkarni et al., 2008)，但文獻中之生物分解都是先以化學處理進行絕大部分之分解後再進行生物分解，如國內高志明老師團隊曾經以離址方式先以 Fenton 法進行處理，經過 Fenton 法處理後已經達到 99% 之 TCDD 去除率之後再進行生物分解(Kao and Wu, 2000)。近幾年較為突出之研究應屬美國路易斯安那州立大學 Binh 等學者所完成之序列式厭氧-好氧程序之生物降解技術，但最佳去除率約僅有 60%(Binh et al., 2016)。本研究則是嘗試以現址處理為前提之整治方法研發，此為與以往技術最大不同之處。

本計畫將以計畫主持人張書奇所發明之奈米植物油乳化液（已獲專利）之高



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

濃度原液作為容易分解產氫之基質及電子供應者，使厭氧發酵菌進行反應產生氫氣，有效提供鹵呼吸菌群進行 PCBs 與 HCB 之還原脫氯反應。計畫主持人張書奇所發明之奈米植物油乳化液係於實驗室中進行升溫與降溫程序所產生的，升溫之程度必須高於相反轉溫度（phase inversion temperature, PIT），使得原本是油在水中之乳化液轉化為水在油中之乳化液，目前本實驗室已經掌握數十種乳化液配方，其相反轉溫度在 40 至近 100°C 之間，待乳化液溫度降至 PIT 以下，即形成奈米乳化液(Tadros et al., 2004)。此奈米乳化液具有以下特性：(1) 其配方為完全之食品級配方，可直接注入復育整治之土壤、地下水或底泥中，可完全為微生物所分解利用；(2) 其粒徑在 100 奈米以下，比表面積較一般市售之乳化液高出 10 倍以上；(3) 由於粒徑小，在地下水或底泥孔隙中之傳輸速度與離子型態追蹤劑相當（如表 3-6 所示）。其在顆粒大小經動態光散射儀量測結果與實際在電子顯微鏡下之型態分佈如圖 3-11 所示。

表 3-6 張書奇實驗室所調製之食品級奈米乳化液特性

項目	市場技術* <sup>1</sup>	本實驗室技術
油顆粒粒徑	約 1000 nm	100 nm 以下
地下水層中傳輸距離	1~2 m	> 5m
傳輸速度	<<V <sub>追蹤劑</sub>	約等於 V <sub>追蹤劑</sub>

註：\*<sup>1</sup> 以目前市場上之 EOS<sup>®</sup>為比較對象

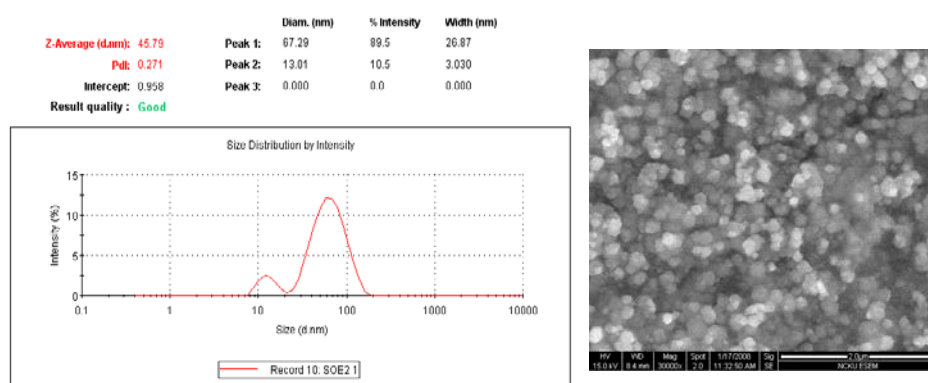


圖 3-11 食品級奈米乳化液動態光散射儀量測結果與電子顯微鏡影像

由於本計畫目標污染之降解菌種與地下水中降解氯化乙烯類污染物之菌群高度類似，針對脫鹵菌群之最適溫度應加以探討目前文獻之報導。目前溫度對於微生物進行氯化有機溶劑類污染之反應速率之影響已經有學者進行實驗，如美國威斯康辛大學 Moran 學者在其他條件相同下測試 12°C 與 24°C 下之 TCE 降解反應速率，發現兩類 TCE 分解菌在 24°C 下一階降解反應速率常數為 12°C 下一階降





解反應速率常數之 2.6 倍與 1.6 倍，故其結論為此兩類菌之分解反應速率常數大致遵循  $Q_{10}$  原則，即溫度每上升  $10^{\circ}\text{C}$ ，反應速率上升為原來 2 倍(Moran and Hickey, 1997)。*Dehalococcoides* (*Dhc*) 已經被德國學者證實可同時將 TCE 與 1,2-DCA 降解為乙烯(Schmidt et al., 2014)，此菌也有研究顯示可能為 PCB、氯苯類、 $\gamma$ -HCH 及 DDT 污染物行厭氧還原脫氯作主要優勢菌之一(Taş et al., 2010; Vandermeeren et al., 2014)。美國喬治亞理工學院學者在不同溫度下對 *Dhc* 進行脫氯反應時之相關基因表現情況進行評估，其結果如圖 3-12 所示。其中灰色柱塊為  $35^{\circ}\text{C}$  之情況，黑色柱塊為  $40^{\circ}\text{C}$  情況，白色柱塊為  $30^{\circ}\text{C}$  下未添加 TCE 之樣品。由結果可知在第 6 天以  $35^{\circ}\text{C}$  下之 *Dhc* 之生長情況最佳（見圖 3-12A）且各項基因表現均呈現相對較佳之情況（見圖 36-12B、C 與 D）；至第 42 天時，所有組別中 *Dhc* 均有減少之情況，但仍以  $35^{\circ}\text{C}$  下之減少情況較為輕微，*tceA* 與 *bvcA* 基因在  $35^{\circ}\text{C}$  下仍有正向表現（up-regulated），僅有 *vcrA* 為抑制表現（down-regulated），但相對程度仍較  $30^{\circ}\text{C}$  與  $40^{\circ}\text{C}$  為佳。中國大陸與香港學者也提出  $35^{\circ}\text{C}$  為 *Dhc* 之較佳生長溫度(Hu et al., 2013)。因此可以推論 *Dhc*（脫氯球菌）較佳之生長與降解 TCE 之溫度應在  $35^{\circ}\text{C}$  附近，同時顯示此微生物對於溫度變化是非常敏感的(Fletcher et al., 2010)。柏克萊加大之 Alvarez-Cohen 教授團隊針對 *tceA* 基因表現進行研究，想要理解是否可以用 *tceA* 基因表現程度作為現地整治中研厭氧脫氯菌之活性之生物指標（biomarker），其結果顯示在  $14^{\circ}\text{C}$ 、 $22^{\circ}\text{C}$  與  $30^{\circ}\text{C}$  三個溫度下，虛線為 *Dhc* 之 *tceA* 基因數量（參考圖 3-13 中左邊之 y 軸），可發現三種溫度下之 *Dhc* 之 *tceA* 基因數量在實驗期間均相當接近；實線為每一 *tceA* 基因轉錄之 copy 數量，以及轉錄為 mRNA 之數量，顯示分解菌製造 *tceA* 所編碼（encoded）之生物酶之數量，發現在  $30^{\circ}\text{C}$  下之 copy 數與  $22^{\circ}\text{C}$  下之 copy 有 5-10 倍之差距。雖然 copy 數僅能間接代表分解菌之活性，未必能夠完全作為實際活性之指標，但仍顯示較高溫度下，其活性相對有明顯增加(Johnson et al., 2005)。近年來另有一種菌 *Dehalogenimonas* spp. 也具有降解 TCE 與 1,2-DCA 為乙烯之能力(Maness et al., 2012)，目前僅有一篇論文報導其最佳生長溫度介於  $28-34^{\circ}\text{C}$  之間，但並未提供任何數據(Moe et al., 2009)。而文獻中也曾經報導 *Dehalobacter* sp. 可將 1,2-DCA 完全降解為乙烯（ethene），其最佳生長溫度亦為  $35-37^{\circ}\text{C}$ (Hu et al., 2013)，此菌有研究顯示可能為氯苯類污染物降解之優勢菌之一(Vandermeeren et al., 2014)；*Burkholderia* sp. 也被發現能夠降解 TCE，最佳生長溫度也是  $37^{\circ}\text{C}$  (Zhang et al., 2000)；最近，經鑑定可分解 1,2-DCA 之 *Ancylobacter aquaticus* UV5 之脫鹵酶（dehalogenase *dhla*）之最佳活性溫度也是  $37^{\circ}\text{C}$  (Kumar et al., 2014)。其他尚有 *Desulfitobacterium dichlooroeliminana* DCA-1、*Sulfurospirillum* spp. 與部分脫硝菌、鐵還原菌等可能均具有降解 TCE 與 1,2-DCA 之能力但並無溫度比較之試驗(van



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

der Zaan et al., 2009)。綜上所述，35-37°C 應屬較適宜分解 TCE 與 1,2-DCA 菌群之分解代謝之溫度，此溫度較台灣地區典型底泥溫度高出 5-15°C 以上，若能藉由注入高溫之乳化液將上層底泥溫度提高至 35±2°C 之區間，應有機會提高生物反應速率至原本之 1-2 倍。

圖 3-12 *Dehalococcoides* 在不同溫度下脫氯作用主要基因表現情況，\* 為 ND

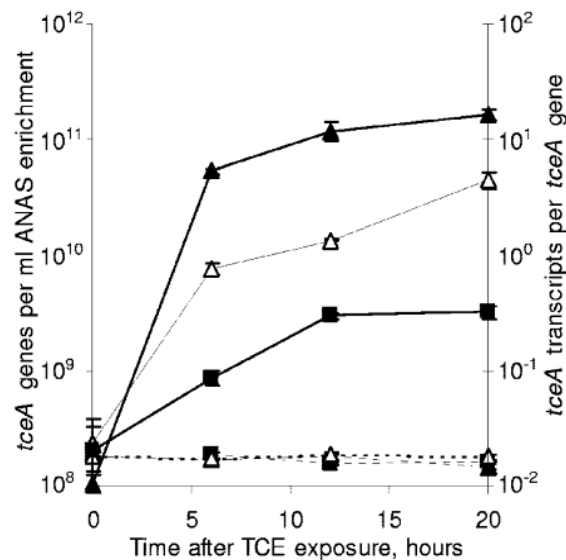


圖 3-13 培育溫度對 *tceA* 基因表現之影響，30°C 以▲表示，22°C 以△表示，14°C 以■表示

快速電磁感應加熱將底泥玻璃化在文獻中尚無任何記載，但是電磁感應加熱是非常成熟之加熱方法，最常見之例子即是應用於電磁爐，只要是具有鐵磁性之物體均可因高頻率交流電感應生磁之磁極反轉磁滯現象而快速加熱。針對小型線





圈（直徑約 3.0 公分）內之鐵棒可在 1-2 分鐘內輕易熔融，亦即可於短時間內達到一般鑄鐵或鋼鐵之熔點  $1150^{\circ}\text{C}$  以上，作為現址玻璃化應用已經足夠。電磁感應加熱主要是靠磁滯效應（magnetic hysteresis）與渦電流（eddy current）磁滯效應必須感應磁場內之物質具有明顯磁矩方可，一般氧化鐵之 Curie Temperature 約在  $600-700^{\circ}\text{C}$  左右，所以當電流接通後在線圈內會產生強磁場，此時可見已經混合在底泥樣品中之鐵砂均豎立起來，但在溫度超過  $600-700^{\circ}\text{C}$  以上時，此現象即消失；在 Curie Temperature 以上，鐵磁性物質之磁滯現象將消失，必須靠感應渦電流繼續加熱（以及部分石墨坩堝之電磁感應）加熱，但由圖 3-14 可見，在  $700^{\circ}\text{C}$  溫度爬升非常快，也顯示的確在加入鐵砂之情況下藉由磁滯效應（magnetic hysteresis）加熱之效率的確較高，若以對數模式進行模擬可得到  $R^2$  為 0.9903 之曲線方程式如下

$$T = 360.27 \times \ln(t + 1) + 7.1218 \text{-----} (1)$$

其中  $T$  為溫度， $t$  為時間。依此曲線方程式推估，達到  $600^{\circ}\text{C}$  與  $700^{\circ}\text{C}$  之時間分別需 3.40 與 4.72 秒，而加熱到  $1400^{\circ}\text{C}$  則需要 47.60 秒。

依據田口方法進行玻璃化最佳條件測試時，為探討不同控制因子及各項不同變動水準下對於玻璃化反應後產物的影響進行田口試驗。此次試驗中的控制因子包含溫度（變動水準為  $1200$ 、 $1400$ 、 $1600^{\circ}\text{C}$ ）、含水率（變動水準為  $0\%$ 、 $30\%$ 、 $60\%$ ）、藥劑含量（變動水準為低、中、高）及維持時間（變動水準為  $60$ 、 $90$ 、 $120$  秒），並以  $L_9(3^4)$  直交表配置實驗條件為 9 組實驗，其結果如表 3-7 所示，第 7 組及第 9 組條件均可產生完全符合底泥品質指標之最終產品，此底泥可直接留在原底泥環境中無須清除。本計畫將針對重金屬污染之土壤進行玻璃化固化測試，針對其成品進行毒性溶出試驗及王水消化全萃取處理，以確認此技術應用於土壤污染場址之適用性，並針對其回收作為相關之可行性進行探討。

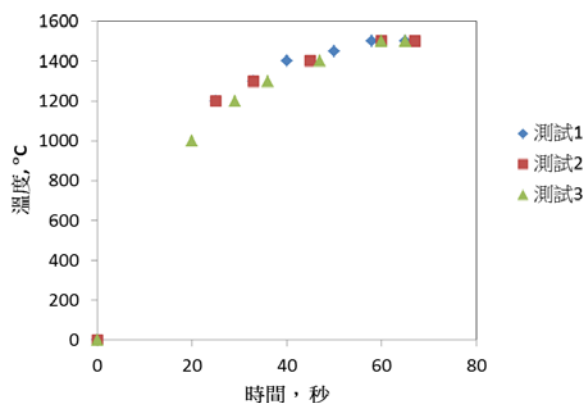


圖 3-14 加熱時間與溫度關係



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

表 3-7 以田口方法進行快速玻璃化處理二仁溪底泥之結果 (mg/kg)

Test	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
1	7.1 (Y)	ND (Y)	48.9 (Y)	481.2 (N)	ND (Y)	126.9 (N)	11.2 (Y)	229.3 (Y)
2	4.1 (Y)	ND (Y)	42.5 (Y)	264.0 (N)	ND (Y)	91.5 (N)	4.5 (Y)	163.0 (Y)
3	8.8 (Y)	ND (Y)	159.0 (Y)	336.5 (N)	ND (Y)	87.0 (N)	6.1 (Y)	367.2 (Y)
4	2.5 (Y)	ND (Y)	18.9 (Y)	170.1 (N)	ND (Y)	76.6 (Y)	2.5 (Y)	3.8 (Y)
5	4.9 (Y)	ND (Y)	100.0 (Y)	168.8 (N)	ND (Y)	55.0 (Y)	6.5 (Y)	100.9 (Y)
6	2.7 (Y)	ND (Y)	39.9 (Y)	322.7 (N)	ND (Y)	111.8 (N)	4.9 (Y)	44.1 (Y)
7	<b>3.4 (Y)</b>	<b>ND (Y)</b>	<b>25.5 (Y)</b>	<b>61.5 (Y)</b>	<b>ND (Y)</b>	<b>34.7 (Y)</b>	<b>ND (Y)</b>	<b>12.8 (Y)</b>
8	1.5 (Y)	ND (Y)	29.5 (Y)	198.0 (N)	ND (Y)	76.7 (Y)	0.3 (Y)	ND (Y)
9	<b>2.7 (Y)</b>	<b>ND (Y)</b>	<b>35.0 (Y)</b>	<b>145.3 (Y)</b>	<b>ND (Y)</b>	<b>59.6 (Y)</b>	<b>0.9 (Y)</b>	<b>73.2 (Y)</b>

### 3.2 模場試驗背景說明

以下將針對進行模場試驗之底泥場址與土壤場址進行說明。

#### 3.2.1 底泥場址背景說明

如同計畫背景中所述，二仁溪污染源有畜牧廢水、燃燒廢五金、電鍍、酸洗、廢油、皮革、印染等。歷經多年之學者與環保署調查資料顯示，二仁溪底泥中 PAHs 濃度顯然過高，有整治復育之必要(余光昌 and 凌慧紋, 2004)。PCBs 部份，因已經遠超我國之現行底泥品質指標下限值 ( $0.09 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 約 5 ~ 50 倍，應以積極方式進行隔離與工程復育(行政院環境保護署, 2012)。戴奧辛在二仁溪底泥中之含量為  $0.369 \sim 66.9 \text{ pg-TEQ g}^{-1}$ ，平均值為  $17.8 \text{ pg-TEQ g}^{-1}$  (潘復華, 2002)，在沒有顯著健康風險下，宜以監看式自然衰減方式進行。重金屬污染部份，以三爺宮溪(台南市仁德區境內)沿岸之工廠廢水與台南灣裡地區之廢五金酸洗最為嚴重。此外，文獻中亦曾經指出二仁溪底泥中含有高量之多溴二苯醚與壬基苯酚等污染物(田倩蓉, 2008)。事實上，二仁溪底泥中尚有許多污染物未經有效檢測及鑑定。二仁溪支流三爺宮溪流域工廠及人口密集，流域所經之地有八個污染區塊，亦即大灣工業區、太子工業區、乙甲工業區、太乙工業區、仁德區工廠聚落、新田工業區、保安工業區、嘉南藥理科技大學旁工廠聚落。主要污染源為電鍍業與金屬表面處理業之廢水，次要污染源為皮革業、印染業、水洗業、酸洗業之工業廢水；另外



生活污水部分粗估約有十萬人口之生活污水也排入三爺宮溪。其重金屬污染據稱是全台灣最嚴重者，據計畫主持人張書奇於三爺宮溪永寧橋下進行底泥採樣之經驗，此溪之底泥有明顯之偏黃與偏綠之顏色，初步研判是重金屬鉻及銅之污染非常嚴重所致。

水文地質方面，二仁溪全長約 65.18 公里，流域面積達 350.4 平方公里，由於河道迂迴，故在台灣主要河川中是屬於緩降河川，坡度較為平緩。二仁溪之上游為著名之月世界，流域上游集水區以第三紀上新世之古亭坑泥岩為主。每逢大雨，大量粉粒與砂礫被沖蝕帶入河川並沖刷至下游，其沖蝕程度為全國河川之冠，此現象也驗證本實驗室於 98 年 11 月與 99 年 4 月兩度至二仁溪採集底泥樣本時發現經八八水災（民國 99 年莫拉克颱風過境引起）之後，二仁溪河床之表層底泥之顆粒粒徑分佈、色澤與污染程度與較深層底泥有明顯差別。二仁溪流域之平均雨量約 1850 公釐，多集中於豐水期（4-9 月）。此降雨集中現象似乎也導致二仁溪水質在豐水期期間之溶氧相對較高（行政院環境保護署全國環境水質監測資訊網，2010）。二仁溪與三爺宮溪之流域與主要水質測站、底泥採樣點之名稱等如圖 3-15 所示。左上角落之地圖可以顯示二仁溪（較粗之藍色曲線）與三爺宮溪（較細之藍色曲線）中下游，右下角之大圖中，於五空橋下游有一道大排水溝由東向西，最後在三爺宮溪與二仁溪匯流處一同匯入二仁溪。實際選定之模場試驗位置之考量因子為：（1）底泥之粒徑分佈適中，針對全部污染河段而言較具有代表性；（2）底泥與河水中之氯離子與硫酸鹽離子濃度較適中，顯示為輕度之感潮河段，對全部污染河段而言較具有代表性（南楚橋下底泥中與河水中之氯離子與硫酸鹽離子濃度過高）；（3）河水與底泥因污染嚴重，幾乎全年均處於厭氧狀態，針對厭氧與好氧狀態調控較為簡易。基於以上考量，選定三爺宮溪永寧橋下游為第一優先場址，二層行橋上下游為第二優先場址。此外，復因三爺宮溪之上游較少泥沙沖蝕淤積之情況，污染分佈接近表層，容易操作；且三爺宮溪之流量與二仁溪主流比較相對較小，設置模場試驗設施之安全性較佳，故以三爺宮附近為較佳之選擇。永寧橋上下游於豐水期及枯水期之照片如圖 3-16 所示。

以下就預定場址匯流處之水質及底泥背景資料說明如下，此處以三爺宮溪永寧橋及其上游之五空橋、二仁溪之二層行橋以及匯流處下游之南楚橋共四測站之 2015-2017 年之水質做一簡單比較，如圖 3-17 為所示。由圖中可以看出，水質酸鹼度中性偏鹼，多分布在 pH 值 7.4-8.2 之間；導電度均相當高，顯示離子濃度高，可能是處於感潮河段之影響，似有隨季節變化之情形；溶氧部份，永寧橋與五空橋（平均值 2.0 mg/L）均較二層行橋與南楚橋（平均值 6.1 mg/L）為低，顯示三爺宮溪污染程度較高且偏厭氧；生化需氧量部分，永寧橋與五空橋均較二層行橋





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

與南茆橋為高，顯示有機污染物可能較多，且永寧橋與五空橋 BOD 似乎有季節性規律變化。由各項指標看來，近三年來，無論是二仁溪或是三爺宮溪，污染尚無明顯降低情況。

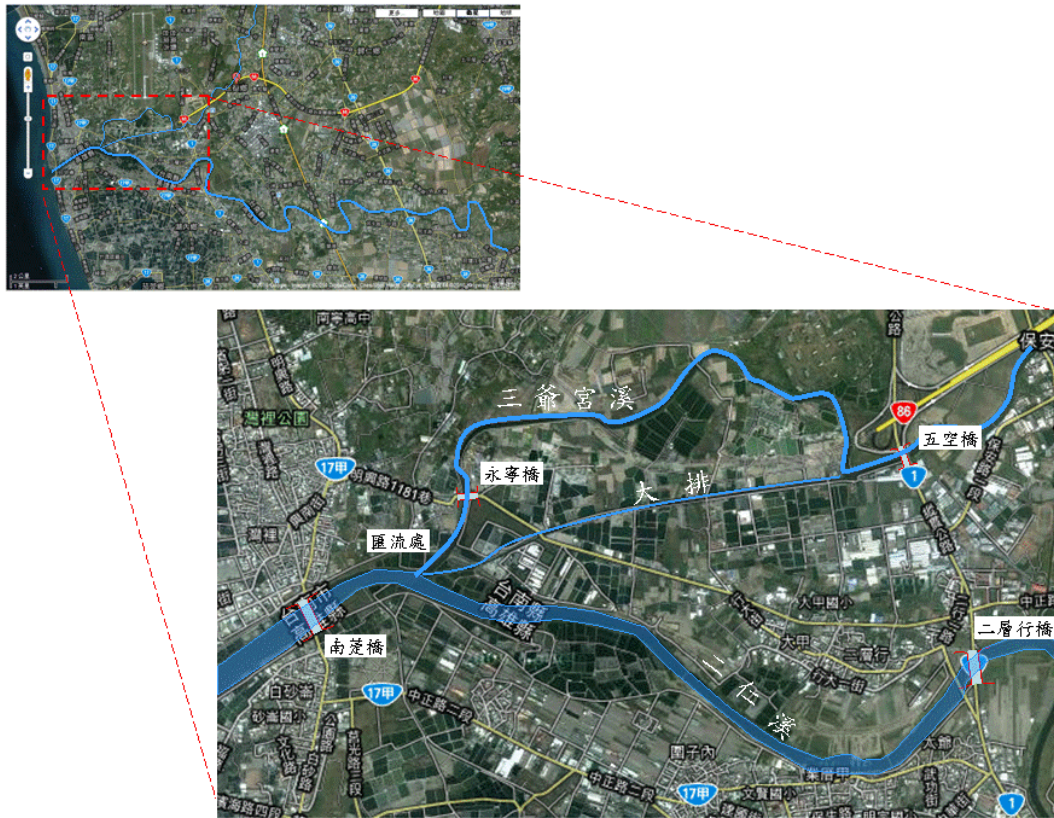


圖 3-15 二仁溪與三爺宮溪主要流域圖（Google Map）

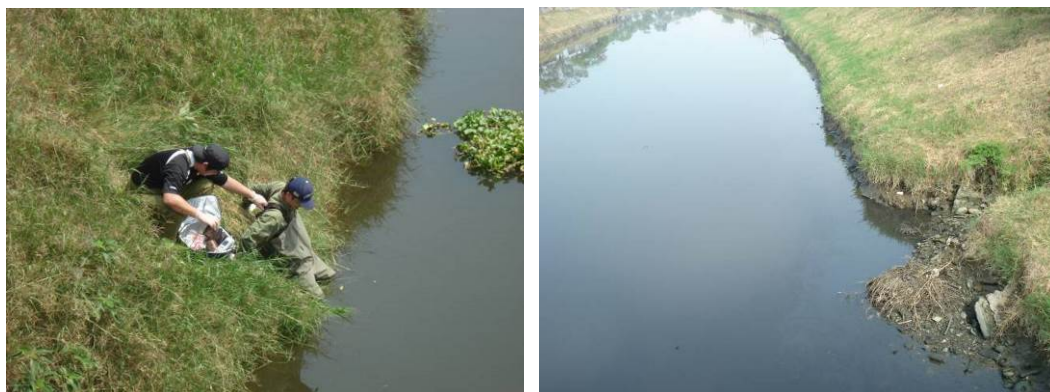


圖 3-16 二仁溪支流三爺宮溪永寧橋於豐水期（左）與枯水期（右）河面情況

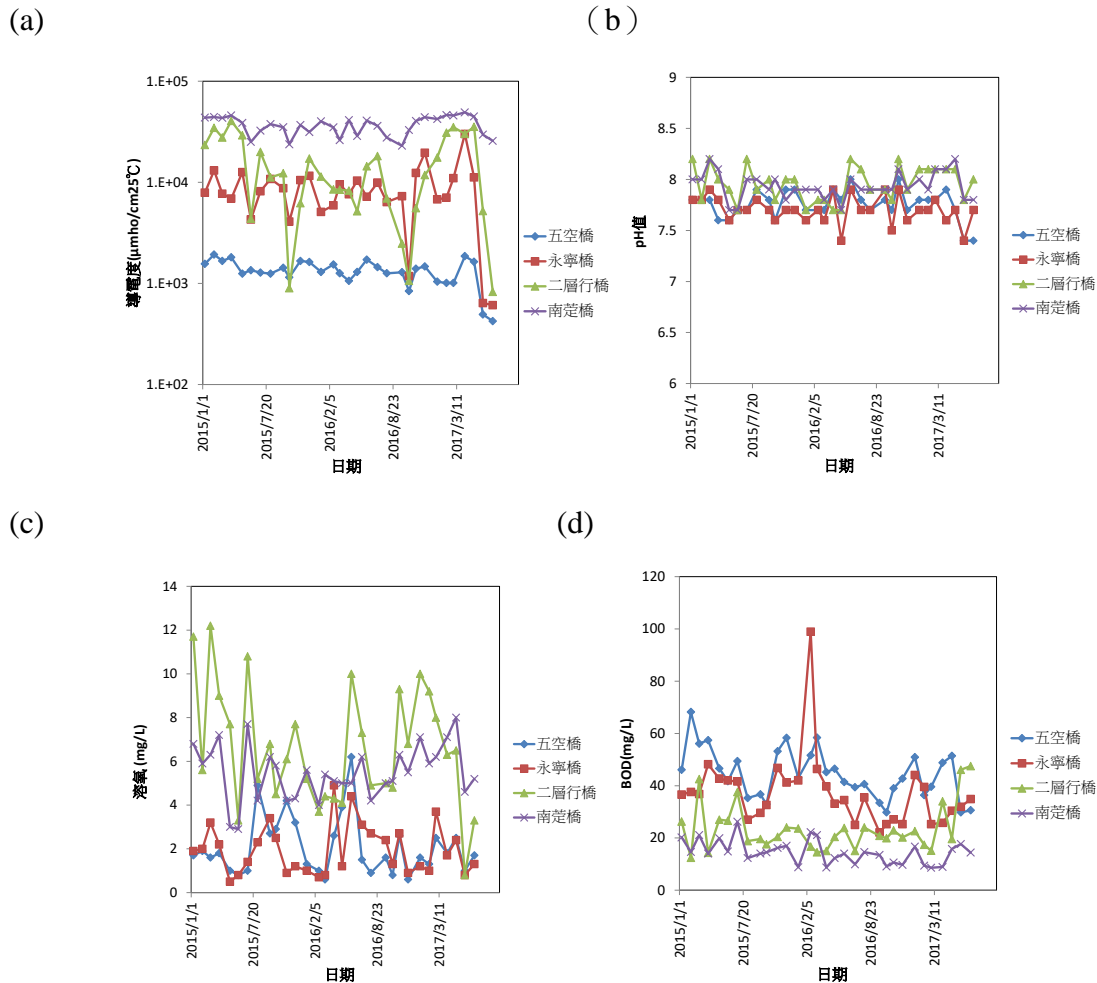


圖 3-17 二仁溪水質檢測結果之 pH 值(a)、導電度(b)、DO(c)、BOD(d)

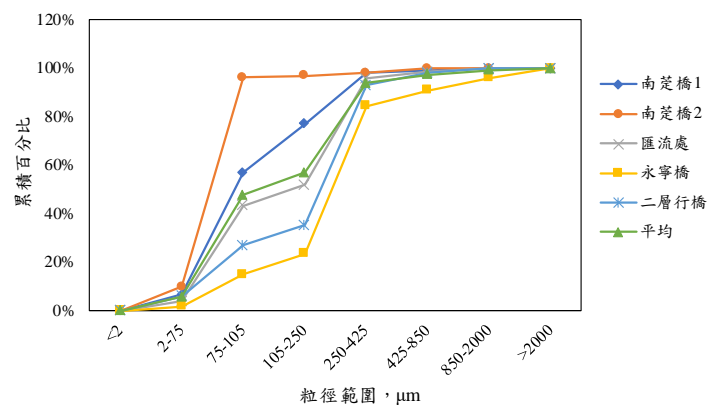


圖 3-18 二仁溪底泥粒徑分布情形

以底泥粒徑分布而言，根據本計畫主持人親自採樣之經驗而言，三爺宮溪永寧橋附近之底泥屬於較少砂土顆粒與黏土顆粒者，其中黏土顆粒最高者為南楚橋一帶，其次為三爺宮溪與二仁溪匯流處（如圖 3-15 所示）。南楚橋 2 之樣品非常特殊，位於南楚橋上游北側接近岸旁，該處為明顯之砂土與黏土質之土壤，且似乎有廢油傾倒之情況，表面泛綠且有極重之重油氣味。永寧橋之底泥樣品非常難



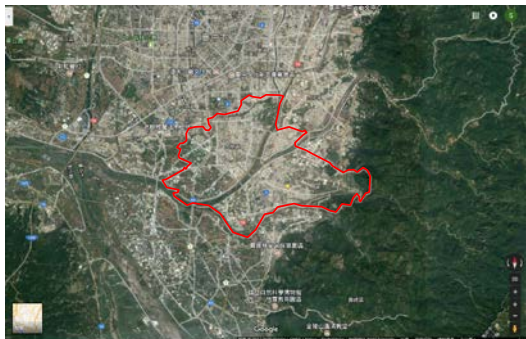
二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

以採集，因為每次採樣勺撈起之底泥中有太多垃圾，待摒除大顆粒之垃圾之後，剩下之底泥相當有限，單一採樣瓶之樣品通常需採集 10 次以上方能完成。因此，其粒徑分佈較難呈現現地樣品之實際情況，就現場以手指觸感（簡易之土壤顆粒分級方法）而言，與其他採樣地點較無太明顯差別，故較適合做為模場試驗地點。

### 3.2.2 土壤模場背景說明

本計畫擬於已遭受污染之農地進行模場試驗，經查行政院環保署土壤及地下水污染整治基金管理會所提供之可供模場試驗之重金屬土壤污染場址大多在台中市大里區(如圖 3-19a 紅框)，經聯絡台中市環境保護局水質及土壤保護科後認為大里區夏田里之農地污染可能較為可行(如圖 3-19b 紅框)。夏田里舊名「詹厝園」，位於台中市大里區西方邊界偏南，緊貼大里溪，其中央由北到南有中投公路貫穿，右側有 74 號快速道路，南有國道 3 號。其農地面積相當廣，農業人口居多，工業則以十股區域有一些小工廠，另沿著大里溪岸有數家砂石混凝土預拌廠。此區域之污染應為上游之電鍍廠、金屬表面處理業及其他零星工業之重金屬廢水排入灌溉渠道中，經農民引用受污染水進行農地灌溉所致。

(a)



(b)



圖 3-19 預定進行模場試驗之台中市大里區夏田里

水文地質條件大里區位於台中盆地東南方，除東邊竹子坑為山麓外，全境均為平地。可依河川分為三部分—大里溪以北、大里溪和頭汴坑溪以南以及位於東北角的大里溪與頭汴坑溪所包圍之十九甲。境內河川都源自太平區山區，於五張犁附近匯流入烏溪水系，此區中央為其支流大里溪由東北向西南貫穿全區，並匯入頭汴坑溪後，再匯流草湖溪，之後轉向西流，經過烏日區後才與烏溪會合。此外大里溪另一支流旱溪舊河道流經本區北邊，經水利工程將旱溪改道直接引入大里溪。大里溪廢河道亦被更新做為灌溉排水系統之一，稱為中興大排。大里區氣候為亞熱帶季風型，年均溫為攝氏約 23 度，平均溼度約 77%，平均降雨量約 1,640 公釐。就地質而言，主要屬臺灣西部麓山帶地質區之一部分，





除夏田里分布在平原區的沖積層外，另含二個單位分布在丘陵區域，由老至新分別是約二百五十萬年前上新世的錦水頁岩，在本區丘陵地區前緣，主要由頁岩組的岩層和約 250-100 萬年前上新-更新世的卓蘭層，分布在本區東側的丘陵地區，緊鄰錦水頁岩之東出露(outcrop)，是以砂岩和頁岩互層為主的岩層。九二一大地震造成的地表破裂線以北偏東 15 度角走向切穿本區丘陵地前緣，與目前污染區域夏田里所在之平原區有一段距離。圖 3-20 中所示之大里之地層岩心採樣位置係在大里區東北方靠近山麓地帶，其表層主要為礫石層且間雜有粗砂層(中央地質調查所, 2014)。

地下水層屬臺中地區地下水資源分區，北起於大安溪、南止於烏溪、東接山陵地、西臨台灣海峽，包括臺中盆地、后里臺地、大肚臺地、八卦臺地、大甲扇狀平原及清水海岸平原等小區，面積約 1,180 平方公里。地下水的補注多源自河流地表水入滲，其中以臺中盆地及大甲溪扇狀平原地下水較豐富，大肚臺地、八卦臺地及清水海岸平原受紅土影響導致含水層較細而薄，故地下水資源較為缺乏。另地下水水位方面，自北而南水位愈高而較接近地表，豐原一帶水位約地面下 60 公尺，潭子一帶約 50~55 公尺，太平沖積扇扇頂部份約 20 公尺，臺中市南部已接近地面。水位受雨水入滲、人為抽水及河川補注影響甚鉅。依據台中市地區區域性監測井之平均井深資料所載，大里國小(於夏田里東北邊界約 500 公尺)監測井之地下水位距井口 1.9 公尺，可見其地下水為相當淺之自由含水層。

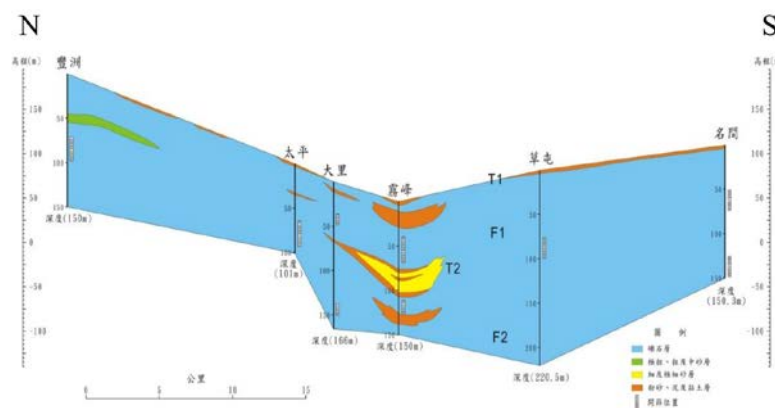


圖 3-20 台中市大里區地質剖面圖

### 3.3 目標及內容

本計畫為 2 年期計之第 2 年計畫，目標及內容分年簡述如下。

#### A. 底泥模場試驗

- i. 完成初次採樣：針對試驗場址必須進行現地採樣，完成 HCB 與 Aroclor



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

### 12545 之檢測

- ii. 完成現地模場之現地相反轉之回收測試：進行模場規模之現地相反轉回收測試，同時測定熱篩效果。
- iii. 完成現地模場之回收後加蓋持續監測：完成清潔後底泥作為加蓋物之後續監測，以確認加蓋效果。
- iv. 完成模場試驗後之復原工作：依據向第六河川局切結試驗完後應完全復原之規定完成復原工作。

### B. 污染土壤玻璃化砂箱試驗

- i. 完成初次採樣：針對試驗場址必須進行現地採樣，完成八種重金屬之檢測
- ii. 完成實驗室中實際污染土壤玻璃化測試及參數。
- iii. 完成砂箱中自行設計之玻璃化設備進行模擬現地土壤玻璃化測試。
- iv. 完成玻璃化後之資源回收再利用之測試。

### C. Lindane 與 DDT 土壤砂箱實驗

- i. 完成初次採樣：針對試驗場址必須進行現地採樣，完成 Lindane 與 DDT 之檢測。
- ii. 完成砂箱之現地相反轉之去除測試：進行現地相反轉去除測試，同時測定熱篩效果。
- iii. 完成回收去除後持續監測：完成後續生物降解之後續監測。

### D. 完成成果發表：含環保署成果發表會應完成之期中與期末報告、海報與簡報各 1 份，SCI 期刊論文 1 份，研討會論文 4 份。



## 第4章. 研究方法與過程

**章節摘要：**本章針對本計畫相關研究方法與過程，如底泥樣品分析、菌種馴養、實驗室分析、管柱內相反轉回收實驗、管柱內加蓋處理實驗、加蓋後持續監測實驗、成果發表與報告撰寫以及工作進度與甘特圖進行介紹並分段說明。

本計畫為 2 年期計畫之第 2 年計畫，以下僅敘述第 2 年計畫部分。本計畫之協同主持人蘇武昌教授將協助低溫多次相反轉之電磁感應模組之開發及測試並且協助土壤中  $\gamma$ -HCH 及 DDT 相反轉測試、底泥中 HCB 與 PCBs (Aroclor 1254) 相反轉測試；蔡利局老師則是負責模場之先期準備事宜，如協調當地設施之架設、底泥採樣配合、底泥樣品貯存、現場底泥挖取與混合、現場設施維護等；計畫主持人則是負責整體計畫構思、實驗設計、實驗室內所有實驗測試之監督執行、資料分析及成果彙整，並且居間協調整體計畫之順利進行。

### 4.1 施行方法說明

本年度計畫為模場試驗，亦即將第 1 年度成果應用於模場試驗，現地情況簡述如下。目前完成申請之位置在圖 4-1 之斷面 1 之西側河岸邊，亦即三爺溪、大排與二仁溪匯流處西北側，由於該處已經為二仁溪之堤防線內，故屬於二仁溪水利地，需申請第六河川局之水利地使用許可方可使用。斷面量測係於現地進行實際量測，依據白沙崙漁港潮汐參考表，當時潮汐為中潮漲潮期間，水位應略高於枯水期之平均水位。模場用地許可申請時原始模場試驗設施設計，針對二仁溪流向而言，試驗設施之最大遮斷面長度約為側面長度之一半，且以當時水深最深為 1.90 公尺，故最大通流遮斷面積為 1.56 平方公尺。測量之斷面位置標示如圖 4-2。用以計算近似斷面之斷面圖如圖 4-2 所示。測量水深方式是以聲納偵測，並以衛星定位系統確定測定之位置。測定之位置與水深如表 4-1 所示；圖 4-2 之斷面積逐一計算結果如表 4-1 所示。以當時枯水期之三爺溪通洪斷面為 150.0 平方公尺，試驗設施之最大通洪遮斷面積為 1.56 平方公尺，即此試驗設施之通洪遮斷面積百分比為 1.0%。若以三斷面總合為 410.2 平方公尺，則此試驗設施之通洪遮斷面積百分比為 0.38%，完全符合第六河川局之規定。進行模場規模之現地相反轉回收測試，同時測定熱篩效果。預期將於現地採取至少 16 根(每組至少 2 重複)大型透明 PVC 管之管柱（預計為 6 英吋透明 PVC 管），插入深度至少為 30 公分，上方應預留至少 25 公分之頂空，16 根管柱分配如表 4-2 之 8 組使用，亦即每組 2 根



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)



圖 4-1 河道中測量之斷面位置

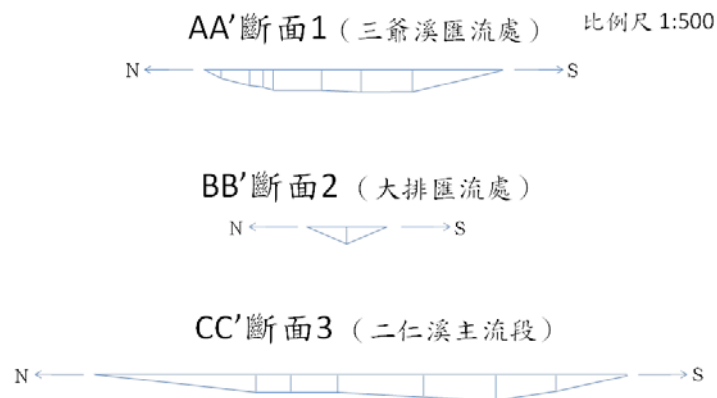


圖 4-2 計算近似斷面之斷面圖

管柱，安置管柱需先將管柱以滑動手錘將管柱錘入底泥中約 30 公分。管柱取樣設備將使用本實驗室自行開發之玻璃管柱採樣器，可以有效吸持底泥於管柱中，並將管柱提出水面後下方立即加上管帽。實驗用管柱於第 1 年計畫已完成設計與製備，並且提供後續採樣深度之標定位置。本年度執行工作項目包括模場底泥採樣及分析、場址選定、試驗設施預先施工、預先組裝、現場施工、現地相反轉試驗、現地回收底泥加蓋試驗與持續監測採樣分析、模場試驗後復原工作、成果發表，請參見圖 4-3 之模場試驗流程，依序說明如下。

4.1.1. 模場底泥採樣及分析：針對試驗場址必須進行現地採樣，至少完成 HCB 與 Aroclor 1254 之檢測、總菌數定量、PCR-DGGE 與菌種鑑定。底泥採樣方法、HCB 與 Aroclor 1254 檢測方法均與第 1 年計畫相同，總菌數定量、PCR-DGGE 與菌種鑑定等也都與第 1 年計畫相同，唯一不同處是此初次採樣是要確定後續之模場試驗確定之底泥來源，HCB 與 Aroclor 1254 背景濃度愈高者愈佳，因為將會有 1 組(8 管之底泥)是必須測試目前方法對已經風化之



HCB 及 Aroclor 1254 的去除效果，為盡量找到高濃度之位置，將在匯流處上游、

表 4-1 二仁溪斷面量測水深當時斷面面積

斷面	經度	緯度	水深(m)	面積(m <sup>2</sup> )
1	120.1928140	22.9218340	0.0	150.0
	120.1927000	22.9217500	1.5	
	120.1927000	22.9217000	2.7	
	120.1927167	22.9216833	3.1	
	120.1927167	22.9216667	3.6	
	120.1927333	22.9215833	4.0	
	120.1926833	22.9215333	3.9	
	120.1926500	22.9214500	3.8	
	120.1927000	22.9213000	0.0	
2	120.1924000	22.9209000	0.0	20.5
	120.1924500	22.9208500	2.9	
	120.1925000	22.9208000	0.0	
3	120.1924000	22.920300	0.0	239.7
	120.1923833	22.9200167	2.9	
	120.1923500	22.9199667	2.9	
	120.1923500	22.9198833	3.1	
	120.1923333	22.9197333	3.7	
	120.1922833	22.9196167	4.3	
	120.1922500	22.9195167	2.7	
	120.1922000	22.9194000	0.0	
合計 斷面面積 (m <sup>2</sup> )				410.2

表 4-2 模場試驗之不同組別

組別	添加污染物	進行 PIT 回收	生物刺激	生物強化
風化背景	無	無	無	無
風化回收加蓋	無	有	無	無
風化回收加蓋刺激	無	有	有	無
風化回收加蓋刺激加強	無	有	有	有
添加背景	有	無	無	無
添加回收加蓋	有	有	無	無
添加回收加蓋刺激	有	有	有	無
添加回收加蓋刺激加強	有	有	有	有

匯流處、匯流處下游、匯流處至南楚橋北岸（歷史資料顯示相對高濃度之位置）採取至少 3 組樣品，此 3 組樣品至少各自採取 100 公升體積之樣品，將各自樣品置入桶槽中以人力進行緩慢均質化，避免曝氣；再從已均質化之底泥樣品中取出至少 10.0 g 之底泥樣品 3 個，總共至少 9 個樣品，帶回





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

實驗室進行萃取分析，所有樣品將以三爺溪溪水覆蓋以保持厭氧狀態後先送到協同主持人蔡利局教授實驗室靜置暫存，因為三爺溪溪水已經呈厭氧，可當作如同無氧水（deoxygenated water）使用，且因其本為現地背景之水，可當作最佳之隔離水層，無須擔心稀釋底泥中污染物濃度。完成分析並比較結果後，再決定試驗位置。由於測試組別將分 8 組，即(1)風化控制組（不加任何干擾進行持續監測，也可稱為風化背景組）、(2)風化回收加蓋組（近似現地已風化污染物進行回收後加蓋）、(3)風化回收加蓋刺激組（進行回收後加蓋與生物刺激）、(4)風化回收加蓋刺激加強組（除改變環境條件也加入生物強化）、(5)添加背景組（添加後不加任何干擾進行持續監測）、(6)添加回收加蓋組（添加後進行回收及加蓋）、(7)添加回收加蓋刺激組（進行回收後加蓋與生物刺激）與(8)添加回收加蓋刺激加強組（除改變環境條件也加入生物強化），如表 4-2 所示。如果在現地無法找到適當之地點，將已在實驗室中已經添加高濃度 HCB 與 Aroclor 1254（各 100 mg/kg）之二仁溪底泥

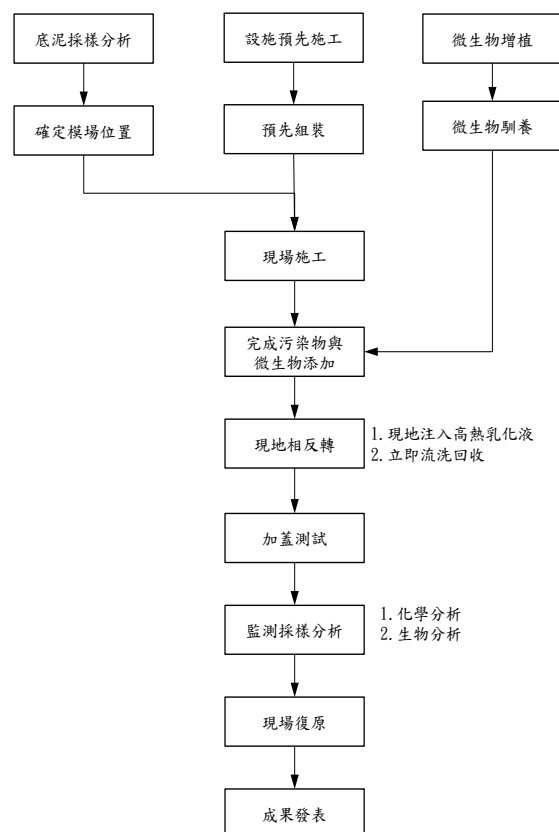


圖 4-3 模場試驗流程圖

且已經置放 1 年之底泥取十分之一進行混合後權充現地樣品，十分之一之





比例係考量儘量不要衝擊現地底泥樣品之物理化學性質與微生物生長情況。

- 4.1.2. 確定模場位置:目前申請之位置在匯流處，可依目前稍微挪移，只要仍屬同一地號即可。為確保進行模場試驗時是在採樣時之同一地點，將於採樣時以 **GPS** 進行採樣點定位並佐以釘立木樁方式進行，以確定實際試驗時能夠在相當類似之位置進行。前 4 組必須在現地進行，因為不能外加污染物進入現地底泥環境，故將於第一次採樣所得之 3 個地點之底泥暫存於嘉南藥理科技大學蔡老師實驗室，俟獲知分析結果並且考量出入通路以及架設設施便利性等因素再確定模場試驗之地點（若無更高濃度將仍以目前位置為首選）。在地點確定後將先安放工作架，主要支柱鋼管之安放可能需要舢舨進行協助（本實驗室備有 2 艘充氣艇也可協助），惟進行安放時將聘請當地之救生教練從旁協助以維護計畫主持人（計畫主持人本身具有長泳 3000 公尺以上實力與 **CMAS** 認證潛水員資格）與研究生之安全性。將至少安放四根支柱形成一正方形或菱形並且以角鋼將支柱共同固定，對於河川有洪水氾濫時可具有較佳之抵抗能力，且由於部分鬆軟底泥厚度相當深，可達 2.0 公尺，此橫置之角鋼也可做為繫留固定試驗用管柱容器在固定高度，不致發生持續沉陷之現象。
- 4.1.3. 菌群之馴養及鑑定：暗發酵產氫菌群、**HCB** 厭氧脫氮菌群、**PCBs** 厭氧脫氮菌、 $\gamma$ -**HCH** 厭氧脫氮菌、**DDT** 降解菌，並以 **PCR-DGGE** 進行菌相觀察與菌種定序鑑定步驟說明如下。
- 4.1.3.1. 底泥及土壤採樣：計畫前一個月即先進行預先採樣，以便進行菌種馴養。底泥採樣將依據行政院環境保護署底泥採樣方法（**NIEA S104.30C**）進行底泥表面下 0-15 公分之採樣；土壤採樣將依據行政院環境保護署土壤採樣方法（**NIEA S102.63B**）進行表土採樣。抓取採樣將以一般不鏽鋼製勺子進行採樣，土心採樣工具將以計畫主持人實驗室所自行組裝之管柱採樣器進行。此採樣器構造簡述如下，採樣管之管柱材質為透明 **PVC** 管，上方加裝一逆止閥，供壓入採樣管之河水流出且採樣管柱仍可順利壓入底泥。管柱直徑為 1.5 英吋，為避免因 **PVC** 材質對有機物檢測結果之影響，樣品在現場除進行加藥與並立即加蓋保持厭氧外，待運送至計畫主持人實驗室時，當日即於厭氧箱中進行樣品分裝，以 1 英吋不鏽鋼套環套於管柱之一端，並將底泥或土壤推出，於推出過程中，切除外部與 **PVC** 接觸之底泥或土壤作為重金屬分析之用，內部之未接觸底泥或土壤則作為分析有機物之用。現地量測之項目包括溶氧、**pH** 值、氧化還原電位與溫度。
- 4.1.3.2. 菌種馴養:由現地採回樣品，底泥或土壤微生物在厭氧環境下經馴化增殖



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

培養處理後，作為脫氯實驗之微生物來源，目前處理方式如下：於厭氧操作箱內取 400 ml 底泥放入含 400 ml 厭氧培養基的容量 1 L 血清瓶中，培養基成分為 1.0 L 之無菌水（pH 7.1）中含  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.35 g、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.27 g、 $\text{NH}_4\text{Cl}$  2.7 g、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.10 g、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.10 g、 $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.02 g、Yeast Extract 5.0 g 以及 Resazurin sodium 0.005 g（氧化還原指示劑）。此外，為能夠保留特定脫鹵菌群，也將使用可液有效培養 *Dehalococcoides* spp. 之培養基，減述如下，10 ml 之 PBS(內含 27.2 g of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  per liter, 34.8 g of  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  per liter), 10 ml 鹽水溶液（每公升中含 53.5 g 之  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 7.0 g of  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 2.0 g of  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), 2 ml 之微量礦物溶液 [每公升中 0.3 g 之  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0.1 g 之  $\text{ZnCl}_2$ , 0.75 g 之  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 1.0 g 之  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 0.1 g 之  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 1.5 g 之  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.02 g 之  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , 0.1 g 之  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ , 1 ml 之  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ], 2 ml 之  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  solution (62.5 g/liter), 1 ml 之氧化還原指示劑 (1 g/L 之 resazurin), 10 ml 之飽和碳酸氫鈉溶液 (260 g 之  $\text{NaHCO}_3$  per liter), 10 ml 以過濾滅菌之維他命工作液（每公升含 0.02 g 之 biotin, 0.02 g 之 folic acid, 0.1 g 之 pyridoxine hydrochloride, 0.05 g 之 riboflavin, 0.05 g 之 thiamine, 0.05 g 之 nicotinic acid, 0.05 g 之 pantothenic acid, 0.05 g 之 p-aminobenzoic acid, 0.05 g 之 cyanocobalamin, 0.05 g 之 thiocetic acid, 1 g 之 mercaptoethane-sulfonic acid [coenzyme M]), and 10 ml 之 amorphous 硫酸亞鐵溶液 [每公升含 39.2 g 之  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 24.0 g 之  $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ] (此溶液必須以去離子水清洗三次以充分去除解離之硫離子。維他命、碳酸氫鈉、硫酸亞鐵溶液均是在主要基質經過滅菌釜滅菌冷卻後再加入，且加入時必須同時以  $\text{N}_2\text{-CO}_2$  (80:20 [vol/vol]) 混合氣體曝氣以進行換氣(Edwards and Grbić-Galić, 1994; Liang et al., 2015)。本研究將維持此 2 種不同培養方式之菌群作為實驗菌群，進行降解實驗時，將以加入不同比例方式進行。另外菌群將以 80°C 熱篩 30 分鐘後加入特定產氫基質進行馴養。使用之基質組成如表 4-3 所示(Hendrickson et al., 2002)。使用時是將 1.8 mL S1、2.2 mL S2、0.67 mL S3 與 2.4 mL S4 混合並加入 12,000 mg/L 葡萄糖（作為碳源）與 4000 mg/L 蛋白胨（作為氮源）配製成 1.0 L 即為產氫用之基質。實驗步驟首先將收集現地微生物菌體，以冷凍離心機（Hitachi himac CR22E, Hitachi）於 4°C、6000 rpm 下離心 15 分鐘收集菌體，倒去上層液後，隨後以無機鹽緩衝液或生理食鹽水以再懸浮與再離心方式清洗菌體兩次，清洗目的在於洗去殘存於菌體外的有機物質以免影響後續實驗結果。隨後以上述測試基質懸浮菌體，並調整 OD 600 值至實驗起始值約 0.2-0.3，



將菌液分裝於 125-mL 血清瓶中，每瓶裝填 40 mL，以橡膠墊片與鋁蓋密封血清瓶，再以氫氣置換瓶中之瓶頂空氣以模擬地下水厭氧環境。最後將製備完全之系列血清瓶培養於 26°C，並定期採樣分析瓶頂之氣體組成、pH 值、OD 值、發酵產物組成。瓶頂氣體與發酵產物組成分別以氣相層析儀-電導度偵測器與氣相層析儀-火焰離子偵測器分析，分析條件見化學分析一節，並利用檢量線定量濃度，pH 值與 OD 值則分別以 pH meter 與分光光度計分析之。確認現地菌相內含有目標產氫菌後，即可進行後續乳化劑馴養，並再確認結合乳化劑產氫的表現。HCB、PCB、 $\gamma$ HCH 及 DDT 分解菌馴養將在 30°C 恆溫培養箱靜置培養，分組定期加入商品化多氯聯苯 Aroclor 1254、HCB、 $\gamma$ HCH 及 DDT，使濃度分別達 1.0 ppm。在 30°C 恆溫培養箱靜置培養，每隔 2-4 週再次加入可達相同濃度的污染物。

表 4-3 暗發酵產氫菌馴養所使用之基質

溶液編號	成份	儲備液濃度. (g/L)
S1	Resazurin	1.0
	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	16.7
	MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	120
	KCl	86.7
	MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1.33
S2	CoCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	2.0
	HBO <sub>3</sub>	0.38
	CuCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.18
	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.17
	ZnCl <sub>2</sub>	0.14
S3	FeCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	18.5
	Biotin	0.002
	Folic acid	0.002
	Pyridoxine HCl	0.01
	Riboflavin	0.005
S4	Thiamin	0.005
	Pantothenic acid	0.005
	Nicotinic acid	0.005
	Vitamin B12	0.0001
	p-Aminobenzoic acid	0.005
	Thiotic acid	0.005

經馴化增殖培養 1-2 個月後，自各該污染物馴化增殖培養菌液取出 5.0 ml 之懸浮混合液，放入含 45 ml 培養基的血清瓶（容量 120 ml）中，控制組則不加入混合菌液而以 5.0 ml 已滅菌之培養基取代，分別加入先前馴化時所添加的污染物（溶解於丙酮或甲醇中），使其濃度分別為 5.0 mg kg<sup>-1</sup>（相當於文獻資料中相對較高值）。所有程序皆在厭氧條件下操作，將分為添加與未添加乳化液之組別繼續馴養。添加污染物完成後，密封容器並



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

於 30°C 溫度下靜置培養。Dioxins 分解菌之馴養將採類似之作法，菌種採自二仁溪，因二仁溪底泥中曾經檢測出 Dioxins 污染，由於中石化場址之 Dioxins 污染濃度非常高，部分可達數萬或數十萬 ng I-TEQ/kg 且 OCDD 與 OCDF 濃度為其他同源物之數千倍至數萬倍，在處理過程中極容易造成實驗室環境污染，造成後續檢測低濃度戴奧辛之嚴重干擾問題（環檢所陳元武組長之經驗談），為避免實驗室污染，本計畫將先以焚化爐或火力發電廠之集塵灰代替使用，其主要理由即在於集塵灰中一定有戴奧辛存在，但文獻中均顯示其各種同源物之濃度分布較為均勻，造成實驗室污染之風險明顯較低。

4.1.4. 實驗室分析：實驗室分析分為物理性分析、化學性分析與生物分析，分述如下。

4.1.4.1. 物理分析：主要為粒徑分析與含水率分析，簡述如下。底泥粒徑分析已經完成，土壤粒徑分析分法有土篩法、吸管法、比重計分析法、離心機分析法、雷射粒度分析儀等，本計畫將使用將為普遍之土篩法進行粒徑分析，針對矽粒與黏粒將以較容易進行之吸管法換算。含水率分析將依據行政院環境保護署公告之「土壤及底泥水分含量測定方法－重量法」(NIEA S280.62C) 之方法進行。

4.1.4.2. 化學分析：化學分析部分則針對 HCB、多氯聯苯 (Aroclor 1254)、 $\gamma$ HCH、DDT、Dioxins 與 8 種重金屬為標準之分析方法分別說明如下。

4.1.4.2.1. PCBs 檢測方法：分為萃取、淨化與上機分析。使用加壓快速萃取裝置 (SpeedExtractor E-916, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland)，萃取底泥中萃取步驟如下：先行組裝不銹鋼萃取槽，裝入下部濾紙及 5.0 mL 之 230 mesh 矽膠粉末，接著填入無水硫酸鈉及 5.0 g 乾燥底泥之混合物。加入擬似標準品十氯聯苯，再放入上部濾紙後以表 4-4 之萃取條件萃取 PCBs。淨化步驟依據環檢所之硫酸/高錳酸鉀淨化法 (NIEA M187.00C)，以酸處理萃取液。使用減壓濃縮機濃縮萃取液至 3 mL 後緩慢加入濃硫酸 2 mL，搖晃均勻並靜置，將上層液移至另一乾淨的瓶子。為避免硫化物對電子捕捉偵測器 (ECD) 干擾，以公告之去硫淨化法 (NIEA M186.01C) 處理已酸洗之萃取液。將酸洗後的上層液加入 2.0 g 之 200 mesh 過篩活化銅粉，搖晃均勻並靜置，再取其液相至中性矽膠淨化管柱。使用矽膠淨化法 (NIEA M183.01C) 接著處理萃取液，先以 130°C 烘 16 小時活化中性矽膠，待其冷卻後取 3.0 g 矽膠填入管柱中，再加入少量無





水硫酸鈉。以 10.0 mL 正己烷預洗淨化管柱，再移入去硫後之萃取液。於硫酸鈉層剛好暴露在空氣前，加入 80.0 mL 正己烷沖提並收集出流液，再加入 50 mL 正己烷沖提。收集所有出流液以減壓濃縮機濃縮出流液至約 1.0 mL，移入棕色氣相層析用小管（GC vial）中並以正己烷潤洗一併移入瓶中，最後再定量至 1.0 mL。儀器分析條件如下：使用儀器為氣相層析儀（Agilent 7890 GC-ECD），管柱為 DB-5（長 15 m，口徑 0.25 mm，膜厚 0.10 $\mu$ m），流量為 4 psi。注射口溫度為 250 $^{\circ}$ C，不分流；偵測器（ECD）溫度則為 300 $^{\circ}$ C。烘箱初溫為 150 $^{\circ}$ C 維持 1.0 min，以 2.5 $^{\circ}$ C/min 升溫至 280 $^{\circ}$ C，並維持 2.0 min

4.1.4.2.2.HCB 檢測方法：分為萃取、淨化與上機分析。使用加壓快速萃取裝置（SpeedExtractor E-916, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland），萃取底泥中萃取步驟如下：先行組裝不銹鋼萃取槽，裝入下部濾紙及 5.0 mL 之 230 mesh 矽膠粉末，接著填入無水硫酸鈉及 5.0 g 乾燥底泥之混合物。加入擬似標準品十氯聯苯，再放入上部濾紙後以表 4-4 之萃取條件萃取 HCB。為避免硫化物對電子捕捉偵測器（ECD）干擾，以公告之去硫淨化法（NIEA M186.01C）處理已酸洗之萃取液。將酸洗後的上層液加入 2.0 g 200 mesh 活化銅粉，搖晃均勻並靜置，再取其液相至矽酸鎂淨化管柱（或使用矽酸鎂萃取管匣）。標準淨化管柱部分使用矽酸鎂淨化法（NIEA M182.01C）接著處理萃取液，先以 130 $^{\circ}$ C 烘 16 小時活化中性矽膠，待其冷卻後取 12.0 g 矽酸鎂填入管柱中，再加入少量無水硫酸鈉。以 100.0 mL 石油醚預洗淨化管柱，再移入去硫後之萃取液。於硫酸鈉層剛好暴露在空氣前，加入 200.0 mL 石油醚沖提並收集出流液。收集所有出流液以減壓濃縮機濃縮出流液至約 1.0 mL，移入棕色氣相層析用小管（GC vial）中並以正己烷潤洗一併移入瓶中，最後再定量至 1.0 mL。萃取管匣則使用 1.0 g 矽酸鎂萃取管匣淨化（NIEA M182.01C）處理萃取液，再於管柱上方加入少量無水硫酸鈉。以 5.0 mL 丙酮/正己烷（10/90）溶液潤洗管柱，並調整流速為 2.0 mL/min。接著於硫酸鈉層剛好暴露在空氣前，加入去硫後之萃取液，再以 0.5 mL 丙酮/正己烷（10/90）溶液潤洗樣品瓶並轉移至萃尿管。待溶劑剛好通過萃尿管匣時，加入 5.0 mL 丙酮/正己烷（10/90）溶液沖提，並收集流出液。將收集的出流液以減壓濃縮機濃縮出流液至約 1.0 mL，移入棕色氣相層析用小管（GC vial）中並以正己烷潤洗一併移入瓶中，最後再定量至 1.0 mL。儀器分析條件如下：使用儀器為氣相層析儀（Perlin Elmer 680 GC-ECD），管柱為 DB-5（長 30 m，口徑 0.32 mm，膜厚 0.25 $\mu$ m），流量為 12.0 cm/sec。注射口溫度為 250





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

°C，不分流；偵測器（ECD）溫度則為 325°C。烘箱初溫為 100°C 維持 1.0 min，以 20°C/min 升溫至 140°C，再以 11°C/min 升溫至 280°C 並維持 12.0 min。

4.1.4.2.3.  $\gamma$ -HCH 與 DDT 檢測分析:土壤中  $\gamma$ -HCH 與 DDT 之檢測方法可依據環檢所 105 年 11 月 22 日發布之 NIEAM618.05C 之「土壤、底泥及事業廢棄物中有機氯農藥檢測方法—氣相層析儀法」進行，簡述如下。將冷凍乾燥之 5.0 g 之土壤，經本實驗室之加速溶劑萃取設備 SpeedExtractor E916 (Büchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland) 進行萃取，萃取溶劑為丙酮:正己烷(1:1)，加熱至 100°C，壓力為 120 bar 共 2 個循環（加熱 1 min，維持 10 min，排出 2 min; 溶劑沖洗 1 min，氮氣沖洗 4 min）。淨化方式與 PCB 及 HCB 之方式相同。分析係使用與 PCB 及 HCB 相同之管柱，以 GC-ECD 進行偵測，此檢測將以十氯聯苯為擬似標準品，管柱起始溫度須小於或等於 140 至 150°C，以分離四個 BHC 異構物。最終溫度，須達 240 至 270°C 之間，以使十氯聯苯沖提出來。以 DB-5 管柱進行分離檢測時之分析條件為載流氣體為氮氣或高純度氮氣，氣體壓力為 16 psi，注射埠溫度為 225°C，偵測器溫度為 300°C，起始溫度為 100°C 維持 2 min，升溫設定為 160°C 後以 15°C/min 升溫至 160°C，再以 5°C 升溫至 270°C，最終溫度為 270°C。在此檢測分析條件下， $\gamma$ -HCH 之滯留時間為 14.14 min，DDT 滯留時間為 31.62 min，此方法在 PCBs 含量高時易受干擾，但批次及砂箱實驗中除擬似標準品之單品十氯聯苯外，應無 PCBs 存在，故無干擾之問題。

表 4-4 PCBs 與 HCB 萃取條件

PCBs 萃 取 條 件	
溫度	100 °C
壓力	120 bar
溶劑	n-Hexane 50%, Acetone 50%
萃取槽	20 mL
收集瓶	60 mL
循環數	2 次
第一次	加熱 1 min 保持狀態 10 min 出流 2 min
第二次	加熱 1 min 保持狀態 10 min 出流 2 min
溶劑沖洗	1 min
氮氣沖洗	2 min



4.1.4.2.4. **Dioxins** 之檢測分析：**Dioxins** 之檢測方法將依照戴奧辛及呋喃檢測方法—同位素標幟稀釋氣相層析/串聯式質譜儀法（**NIEAM805.00B**）草案進行，由於方法敘述相當冗長，將不在此贅述。此方法預計在 106 年底將正式公告，本計畫主持人已經獲得屏東科技大學謝季吟老師答應在檢測分析上加以協助，目前謝季吟老師已經完成採購氣相層析/串聯式質譜儀之採購及裝置，也完成戴奧辛及呋喃檢測方法之測試，2018 年初即可接收樣品進行檢測。目前市場上 **Dioxins** 採樣分析費用為 25000 元/樣品，若無謝季吟老師協助，即無法完成檢測分析。因應計畫增加 **Dioxins** 熱篩菌群生物分解實驗，預計將進行 5 組實驗，每一組有 2 重複，預計採樣 4 次及 QA/QC 額外檢測，合計約有 50 個樣品之檢測，樣品檢測費用將大幅增加，另外尚有 1 項批次實驗之樣品檢測，可能會超過 80 個樣品。

4.1.4.3. 微生物分析：主要進行總菌數與變性梯度凝膠電泳（**DGGE**）菌相分析，以確認處理方式對於周遭微生物生態系之豐盛度之衝擊，實施步驟說明如下。總菌數分析先取適當之底泥於 15.0 mL 離心管中並加入 5.0 mL 之 PBS 緩衝溶液，以 **Vortex** 均勻混合後，取 1.0 mL 之混合液，再以離心取上層液 0.5 mL，再加入 0.5 mL 緩衝溶液，再混勻離心取上層液 0.5 mL，再加入螢光染料 **PicoGreen®**（**P11496**, **Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, USA**），並以 30°C 水浴 30 分鐘，使螢光染料與微生物雙股 DNA 結合，最後再以特殊濾紙與抽氣幫浦過濾樣品，完成過濾後，將濾紙存放在玻片與載玻片當中並確實存放，當下操作須避免光線照射，最後再以螢光顯微鏡（**Axiovert 200**, **Carl Zeiss, Germany**）觀察並逐一將菌數數量統計。**DGGE** 主要是針對序列相同但鹼基組成不同之 PCR 產物進行分析，經 **DGGE** 分析後，不同序列之 DNA 片段於膠片上不同位置處呈現亮帶，不同位置之亮帶則表示不同 DNA 片段，藉由膠片上亮帶的位置不同，來鑑定地下水中之微生物族群之多樣性。本實驗使用 **Gradient former** 進行變性梯度凝膠之配置，如表 4-5 所示。先將稀釋 1 倍之 **TAE Buffer** 預熱至 65°C，將 **TAE Buffer** 至入電泳槽內，達到 **maximum** 即可。取 22.0  $\mu$ l PCR 產物置入 well 中，並以 80 V、400 mA、60°C 的條件下進行電泳 12 小時。膠片以 0.50  $\mu$ g/mL **Ethidium Bromide** 做為染劑，將膠體染色 10 分鐘，並以去離子水退染，取出膠體後以紫外光顯像進行照膠（**Chemidoc MP**, **BioRad, USA**）。**DGGE** 膠片上之不同位置亮帶，於紫外光膠台上切下放至微量離心管內，並添加 100  $\mu$ l 無菌水保存至 4°C，經由 -20°C 與 60°C 反覆進行冷凍解凍之過程，以回溶目標 DNA 片段。再經由 PCR 及 **DGGE**



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

確認目標序列是否呈現單一亮帶，方可進行定序。將使用之引子如表 4-6 所示。DNA 定序分析簡述如下：將純化之 DNA 片段委託明欣生物科技股份有限公司 (Mission Biotech, Taiwan) 進行定序，並利用 NCBI (National Center for Biotechnology Information) 所提供之 Nucleotide BLAST 功能，將定序分析結果與其資料庫已知序列進行比對，以了解現地場址中主要菌種。

4.1.4.4. NGS 分析：高通量定序技術 (next generation sequencing, NGS) 主要是先將核酸片段化，在同時進行大量的定序分析。首先將樣品進行核酸片段化 (fragmentation)、資料庫建立 (library construction)、高通量定序 (high-throughput sequencing)、分析 (analysis)。由於可同時獲得已知或未知的 DNA 序列資訊，故常被應用在環境背景菌相調查。本實驗室僅進行 DNA 萃取步驟並確認。實驗中採樣會進行 NGS 菌相分析，由於菌數可能較少，有時需藉由離心濃縮來提高濃度以利 DNA 萃取，將使用標準之 DNA 商用套組 (Ultra Clean™ Soil DNA Kit MO BIO Laboratories, Inc) 依其步驟進行 DNA 萃取，DNA 萃取物保存於 -20°C 下。將萃取好的 DNA 樣品，先行以 NanoDrop 2000 (Thermo Scientific, Wilmington, DE 19810 USA) 量測 DNA 濃度，確認送樣之 DNA 總量有超過 150 ng，並確保送樣之樣品品質；高通量定序分析委託外界生物科技公司進行檢測分析，一次檢測需時至少 1.5-2.5 個月。

表 4-5 變性梯度膠體之配置

Denaturing solution	0%	100%	30%	70%	40%	60%
Urea	0 g	10.5 g	3.15 g	7.35 g	4.2 g	6.3 g
40% Acrylamide/Bis	3.7 5mL	3.75 mL	3.75 mL	3.75 mL	3.75 mL	3.75 mL
50X TEA Buffer	0.5 mL	0.5 mL	0.5 mL	0.5 mL	0.5 mL	0.5 mL
Formamide	0 mL	10 mL	3 mL	7 mL	4 mL	6 mL

表 4-6 本試驗使用之引子對序列

Description	Primer code	Sequence
<i>Eubacteria</i>	968f	GC clamp- AACGCGAAGAACCTTAC
	1392r	ACGGGCGGTGTGTAC
<i>Dehalococcoides</i> - specific_C1	Fp DHC 385 Rp DHC 806	GGGTTGTAAACCTCTTTTCAC GTTAGCTTCGGCACAGAGAG
<i>Dehalococcoides</i> - specific_C2	582f 728r	CTGTTGGACTAGAGTACAGC GTGACAACCTAGAAAACCGCCTT



4.1.5. 成果發表：含環保署成果發表會應完成之期中與期末報告各 1 份，SCI 期刊論文會專利申請 1 份，國內外研討會論文 2 份。此部分將依照環境保護署計畫結案要求按時完成。

## 4.2. 模場試驗

考量現場安裝柱狀實驗容器需要直接插入底泥中且安放於現地達 6-8 個月之久，試驗期間將遇到 4 月至 10 月間之梅雨期與颱風季節，為避免任何河水暴漲造成試驗設施破壞，故以較小口徑之 4 吋透明 PVC 管作為內管（外徑 114 mm，內徑 100 mm，管帽外徑 133 mm），6 吋透明 PVC 管作為外套管（外徑 165 mm，內徑 146 mm）之雙層套管之設計，如圖 4-4 所示。如此一來，管帽外徑與 6 吋透明 PVC 管內徑有約 13 mm 之間隙（即單側有 6.5 mm 之間隙）。此設計可在採樣時將外套管壓入底泥中形成如同鑽井時鑽孔之保護套，如此即可將水面下約 1.0 至 1.5 公尺之試驗內管提出水面進行採樣。由於內套管下方以管帽封死，故外界底泥中之污染物之擴散進入之情況將可阻絕，但內套管上方之鑽孔將容許河水流入與流出。圖 4-4 中由左至右分別為試驗中內套管插入底泥中情況、採樣時將外套管壓入底泥中情況以及最後將內管提出水面進行採樣之情況。由於外套管已經嵌再原來孔洞，故無坍塌之疑慮，而且完成採樣後可輕易將內套管安放至原來之孔洞內。此設施在切管完成管帽接合後將於採樣時攜至現場先是操作，必須順利操作 10 次以上，方能確定適合現地安裝。此階段不排除需要變更設計及在測試，故預留 1.0 個月時間。

4.2.1. 預先組裝測試：前 4 組因屬現地風化底泥（見表 4-2），後 4 組則屬於添加污染物之試驗，因外加污染物不得在裝置於河道底泥中，故將於同一地號內之高灘地進行試驗，此部分之容器因無需壓入水下底泥面以下，故較為簡易，且因匯流處之高灘地即使在八八水災也並未淹水，故可將 6 吋透明 PVC 管作為內管，此外套管為一般不透明之 8 英吋 PVC 管，以避免不合理之光解情況發生。同樣以管帽將底部封死後，即可進行添加 Aroclor 1254 與 HCB，將其緩慢攪拌均勻後即可開始進行試驗。為避免底泥上方溪水乾涸造成實驗誤差（高灘地之水窪處積水約為 5-15 cm），將在現地裝設簡易水塔並以重力流方式將溪水導入後在自然溢流之方式進行，惟導入之水管應沒入內套管之水面以下，避免曝氣情況發生。同樣，必須確定現場位置後，將已經均質化之底泥填裝入試驗設施中，並豎立於高灘地之底泥中，如圖 4-5。將針對風化組之設施及添加污染物組之設施在實驗室即先組裝一套進行測試，在測試完成後再完成所有設施之預先組裝，以避免將無無法順利





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

施作之設施在運至險場後才發現無法在現場有效解決之問題。

4.2.2. 模場設施設計與測試：考量現場安裝柱狀實驗容器需要直接插入底泥中且安放於現地達 6-8 個月之久，試驗期間將遇到 4 月至 10 月間之梅雨期與颱風季節，為避免任何河水暴漲造成試驗設施破壞，故以較小口徑之 6 吋透明 PVC 管作為內管（外徑 165 mm，內徑 146 mm），8 吋透明 PVC 管作為外套管（外徑 216 mm，內徑 206 mm）之雙層套管之設計，如圖 4-4 所示。如此一來，管帽外徑與 6 吋透明 PVC 管內徑有約 41 mm 之間隙（即單側有 6.5 mm 之間隙）。此設計可在採樣時將外套管壓入底泥中形成如同鑽井時鑽孔之保護套，如此即可將水面下約 1.0 至 1.5 公尺之試驗內管提出水面進行採樣。由於內套管下方以管帽封死，故外界底泥中之污染物之擴散進入之情況將可阻絕，但內套管上方之鑽孔將容許河水流入與流出。圖 4-4 中由左至右分別為試驗中內套管插入底泥中情況、採樣時將外套管壓入底泥中情況以及最後將內管提出水面進行採樣之情況。由於外套管已經嵌在原來孔洞，故無坍塌之疑慮，而且完成採樣後可輕易將內套管安放至原來之外套管之孔洞內。此設施在切管完成管帽接合後將於採樣時攜至現場先是操作，必須順利操作 5 次以上，方能確定適合現地安裝。此階段不排除需要變更設計及在測試，故預留 1.0 個月時間。

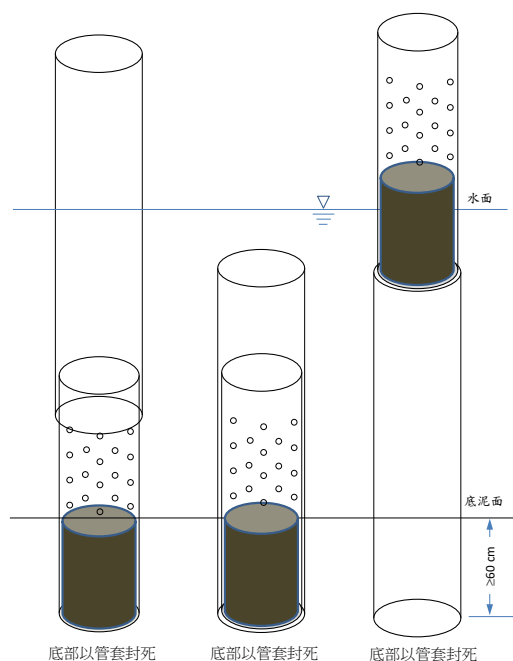


圖 4-4 現地試驗設施操作示意圖





- 4.2.3. 模場設施現場施工：現場施工分兩部分，一為風化實驗部分，一為添加污染物實驗部分。各有 4 個組別，每一組別將安裝 2 個試驗容器，風化實驗部分將安裝在現地已經預備好之工作平台之 4 根錨定之鋼管上，每一鋼管上將固定同一組別之 2 個試驗容器，且以河流上下游方向作為長軸方向以降低洪氾之水流衝擊力道。個別內套管設計如圖 4-5b 所示。注入時將以隔膜幫浦進行以避免壓力不足無法推送高熱乳化液之情況。現場一旦完成施工後可先暫置於工作架上，先完成所有設施之組裝後再一起進行底泥裝填。
- 4.2.4. 污染物添加與底泥裝填：因為底泥已經暫存於蔡利局老師實驗室，故在確定將使用之底泥後，將在蔡老師實驗室進行污染物添加作業，先將該批底泥進行均質化攪拌後再分為兩半，取用其中一半加入 Aroclor1254 與 HCB 達到約 5.0 mg/kg（乾基，依之前量測含水率進行計算）之濃度，並以人力再次進行均質化攪拌，並於蔡老師實驗室完成各個試驗容器之底泥裝填。

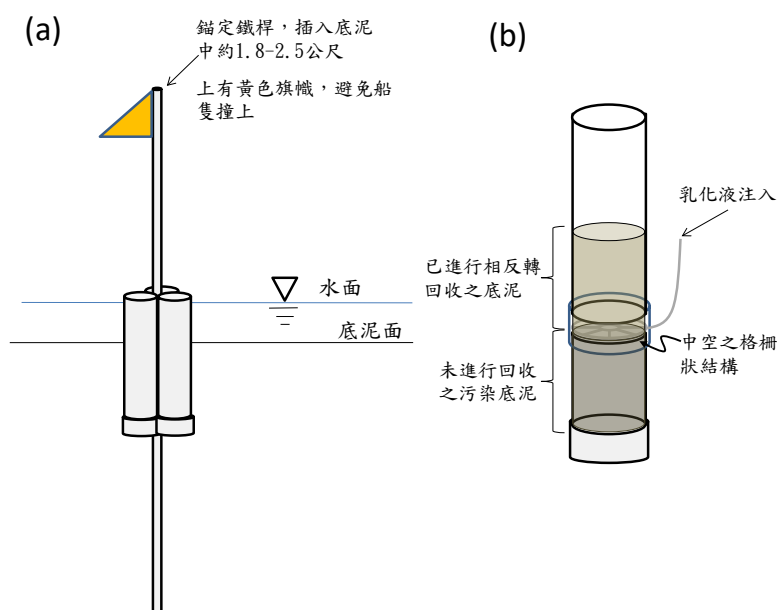


圖 4-5 現地模場試驗之設施(以單一組為例)

- 4.2.5. 現地相反轉與微生物添加：完成裝填之容器將載運至現場並於現場進行相反轉試驗，乳化液之製備如同第一年所描述，將利用本實驗室所擁有之大型高速攪拌器(30 公升)及大型電熱水機(30 加侖，水溫可控溫達 100°C)，將於現場進行高溫乳化液灌注與流洗回收，追加水至少 4.0 PV，預計將有約 120-180 公升之回收水須依照個別組別進行收集，即 12 個試驗容器需要個別回收近 10-15 公升之出流水。在低溫多次相反轉實驗部分，已經在實驗室完成可插入底泥中之針插式裝置，即在一片不銹鋼片上製作等距之鑽



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

孔，每一孔中插入約 40 公分長之烤肉用鐵棒針，即可製作出約 20-30 支鐵針之針插，將此針插插入待實驗之底泥中，即可在外加線圈之感應下進行加熱，再以監視之溫度回饋至高週波感應器之開關，即可確定升溫至指定之溫度以上，並且可以保持溫度。降溫時，可靠河水進行冷卻至相反轉溫度以下，如此即完成單次相反轉，欲完成多次相反轉，即反覆進行以上步驟即可。完成追加水流洗後，針對 **bioaugmentation** 之組別將進行微生物添加，微生物添加將在現場進行，所有需要添加之微生物將以冷藏方式載運指現場，並以滅菌之大型針筒及長約 30 公分之不銹鋼針管進行至少 9 點且 3 個不同深度之注射加入，加入後將不再擾動以維持與未加入微生物之組別較接近之情況下進行試驗。

4.2.6. 加蓋測試：完成相反轉與微生物添加後之底泥會略為膨脹，故必須將其向下壓實以回復原先之較為緻密之情況，將把上層原先約 30 公分厚之底泥壓實到 27 公分左右再繼續進行試驗，並將視第 1 年計畫最後之相反轉測試優化結果，如果上層底泥仍然是與原先濃度相近則必須在上方覆蓋約 10 公分之經過實驗室洗淨之乾淨石英砂避免上層較高濃度之污染物直接擴散進入水相而造成結果過分樂觀之情況。

4.2.7. 監測採樣分析：監測採樣頻率將依照以往模場試驗之方式，採樣時間為 7、14、28、42、70 天(預計自 3 月開始採樣至 10 月止)。採樣時將以本實驗室特製之細玻璃管進行採樣，底泥採樣深度至少 45 公分，上層約 30 公分，下層約 15 公分。採樣後之孔洞將以同樣直徑之玻璃棒插入或是以 bentonite 顆粒塞入避免污遺留染物循著孔洞向上擴散進入水相，導致結果過於樂觀（高估去除效果）。分析方法將依照本實驗室以往進行模場試驗底泥採樣前處理與分析方法進行。方法與第一年計畫雷同，將不在此贅述。

4.2.7.1. 微生物分析：主要進行總菌數與變性梯度凝膠電泳（DGGE）菌相分析，以確認處理方式對於周遭微生物生態系之豐盛度之衝擊，實施步驟說明如下。總菌數分析先取適當之底泥於 15.0 mL 離心管中並加入 5.0 mL 之 PBS 緩衝溶液，以 Vortex 均勻混合後，取 1.0 mL 之混合液，再以離心取上層液 0.5 mL，再加入 0.5 mL 緩衝溶液，再混勻離心取上層液 0.5 mL，再加入螢光染料 PicoGreen® (P11496, Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, USA)，並以 30°C 水浴 30 分鐘，使螢光染料與微生物雙股 DNA 結合，最後再以特殊濾紙與抽氣幫浦過濾樣品，完成過濾後，將濾紙存放在玻片與載玻片當中並確實存放，當下操作須避免光線照射，最後再以螢光顯微鏡（Axiovert 200, Carl Zeiss, Germany）觀察並逐一將菌數數量統計。DGGE



主要是針對序列相同但鹼基組成不同之 PCR 產物進行分析，經 DGGE 分析後，不同序列之 DNA 片段於膠片上不同位置處呈現亮帶，不同位置之亮帶則表示不同 DNA 片段，藉由膠片上亮帶的位置不同，來鑑定地下水中之微生物族群之多樣性。本實驗使用 Gradient former 進行變性梯度凝膠之配置，如表 4-5 所示。先將稀釋 1 倍之 TAE Buffer 預熱至 65°C，將 TAE Buffer 至入電泳槽內，達到 maximum 即可。取 22.0 µl PCR 產物置入 well 中，並以 80 V、400 mA、60°C 的條件下進行電泳 12 小時。膠片以 0.50 µg/mL Ethidium Bromide 做為染劑，將膠體染色 10 分鐘，並以去離子水退染，取出膠體後以紫外光顯像進行照膠 (ChemiDoc MP, BioRad, USA)。DGGE 膠片上之不同位置亮帶，於紫外光膠台上切下放至微量離心管內，並添加 100 µl 無菌水保存至 4°C，經由 -20°C 與 60°C 反覆進行冷凍解凍之過程，以獲取目標 DNA 片段。再經由 PCR 及 DGGE 確認目標序列是否呈現單一亮帶，方可進行定序。將使用之引子如表 4-6 所示。DNA 定序分析簡述如下：將純化之 DNA 片段委託明欣生物科技股份有限公司 (Mission Biotech, Taiwan) 進行定序，並利用 NCBI (National Center for Biotechnology Information) 所提供之 Nucleotide BLAST 功能，將定序分析結果與其資料庫已知序列進行比對，以了解現地場址中主要菌種。

### 4.3. 土壤玻璃化之砂箱試驗

在構想書中原定為第一年即進行之重金屬污染土壤玻璃化之實驗室試驗與模場試驗將在第 2 年才開始進行，經費也因而略有增加，施行方式簡述如下：實驗室試驗：以下針對元素分析、電磁感應加熱裝置製作及加熱參數分析、土壤測試、空氣污染物收集分析與毒性溶出試驗進行說明。

4.3.1. 實驗室試驗：以下針對元素分析、電磁感應加熱裝置製作及加熱參數分析、土壤測試、空氣污染物收集分析與毒性溶出試驗進行說明。

4.3.1.1. 土壤含水率與土壤真空乾燥：針對在現地環境中進行玻璃化必須先針對土壤進行真空乾燥之可行性進行探討，由於目前已經有管柱取樣器可在採接管柱樣品時將其下方開口進行封閉之處理，故進行密封之技術應屬可以簡單克服之部分。因此，此處將針對以真空進行乾燥後土壤在不同含水率情況下進行玻璃化對於玻璃成品之品質影響以及氣相與固體相可能產生之二次污染情況進行檢測分析，以確保此技術在現地施行之可行性。將以目前實驗室之冷凍真空乾燥機 (FD2-6P-M, Kingmech, New Taipei, Taiwan) 進行實驗，將嘗試 40% 含水率、20% 含水率，以及該設備所能提供之最低



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

含水率樣品。

- 4.3.1.2. 土壤元素分析：土壤之元素分析將參照前述重金屬分析方法鑑定主要金屬元素含量。
- 4.3.1.3. 電磁感應加熱裝置製作及加熱參數分析：電磁感應加熱裝置將以目前在實驗室中已經測試成功之電路繼續進行，主要即是以漆包線銅線區圈接上電路後即開始以電源供應進行供電測試。將先測試不同線圈圈數、不同電流大小與頻率高低對於一標準洗淨之石英砂（添加 14.2%蘇打、10.0%生石灰及其他必要添加物）所需之玻璃化所需時間測試，先行了解現行電路在 3.0 分鐘內完成玻璃化之可行性及應該掌握之重要參數，並將各項添加成分加減 50% 進行玻璃化敏感度分析。此部分之結果測試將以簡易之消化與 ICP-OES 檢測進行效果評定。
- 4.3.1.4. 現地土壤測試：將針對實驗室模擬土壤與現地土壤進行測試。測試前，將先針對該土壤之含水率、有機質及目標污染物先進行測定。實驗室模擬土壤測試部分溫度、含水率、添加物及定溫下維持時間進行測試，每一測試樣品中也加入平均濃度之 8 種重金屬，以了解在相對單純之模擬土壤中，現場最容易變化含水率與有機物比例對玻璃化結果之影響，此部分將以簡易之消化與 ICP-OES 檢測進行效果評定。完成模擬土壤測試後，再進行現地土壤進行測試，同樣以簡易之消化與 ICP-OES 檢測進行效果評定較佳參數，再確定較佳參數後才進行正式測定，並進行空氣污染物收集分析與毒性溶出試驗，並依實驗結果確認較佳之操作條件或進行微調。由於空氣污染物尚有後續收集再處理之可能，而玻璃化釋放污染物之問題顯然可能成為此技術是否可行之關鍵性問題，故將針對毒性溶出情況進行微調。
- 4.3.1.5. 空氣污染物收集分析：將依據行政院環境保護署公告之「空氣中粒狀污染物檢測法—高量採樣法」(NIEA A102.12A) 於進行快速玻璃化時進行平行採樣，即一部採樣器進行玻璃化作業上方之空氣收集採樣，另一部採樣器則在平行流徑，同時進行空氣採樣，於玻璃化作業完成後，將所收集之總懸浮固體物，進行秤量與後續之化學分析定量。針對多環芳香烴類之污染物採樣分析則參照行政院環境保護署公告之「周界空氣中苯駢(a)芘與其他多環芳香烴檢測方法—氣相層析與高效能液相層析儀偵測法」(NIEA A801.90C) 進行。針對多氯聯苯之採樣則參照「空氣中戴奧辛及呋喃採樣方法」(NIEA A809.11B) 進行，分析則參照行政院環境保護署公告之「戴奧辛類多氯聯苯檢測方法—氣相層析/高解析質譜法」(NIEA M803.00B)





進行，但因本實驗室並無高解析質譜儀，其分析將仍依照前述之萃取淨化濃縮後上機分析。

4.3.1.6. 毒性溶出試驗：決定使用之萃取液，參考環檢所公告之「事業廢棄物毒性特性溶出程序」(NIEAR201.14C)，分析玻璃化物可能溶出之物質。預分析的玻璃化物為 100% 固體物，故不進行過濾程序，粉碎後直接進行萃取。首先取 5.0 g 樣品並加入 96.5 mL 之試劑水，加蓋後以磁力攪拌器劇烈攪拌 5 min，再測量溶液之 pH 值。若 pH 值小於 5，則使用萃取液 A (pH  $4.93 \pm 0.05$ )；若 pH 值大於 5，則加入 3.5 mL 之 1.0 N 鹽酸溶液，均勻攪拌後加熱至 50°C 並維持 10 min。冷卻至室溫後測量溶液之 pH 值，若 pH 值仍小於 5，則使用萃取液 A，反之若 pH 值大於 5，則使用萃取液 B (pH  $2.88 \pm 0.05$ )。萃取步驟簡述如下：取 100 g 樣品置於萃取容器中，緩慢加入 20 倍樣品重量之萃取液，旋緊瓶蓋後置於旋轉裝置，以 30 rpm 旋轉 18 小時，室溫維持在 23°C。萃取過程中，每隔 15 min、30 min 或 1.0 hr，打開瓶蓋釋放氣體。接著以 0.6-0.8  $\mu\text{m}$  玻璃纖維濾紙過濾，再以前述化學分析方法進行溶出重金屬之消化與 ICP-OES 上機分析。全萃取部分則依照底泥檢測方法進行消化萃取，可測試以處理之土壤在最極端環境下所可能完全釋出之重金屬之量。

4.3.2. 砂箱試驗：砂箱試驗部分即是將原本為實驗室中之設備移至工廠實驗室進行，由於使用高壓電及大電流故必須有蘇武昌老師陪同進行試驗，將以自行設計之特殊內含感應線圈之玻璃化套筒於工廠實驗室進行污染土壤之玻璃化，所使用條件即第一年計畫所產出之優化條件，完成之成品將先攜回實驗室中進行相同之溶出與全萃取前處理後上機分析。並針對後續利用做測試，如路基本材級配粒料之可乘載壓力、過濾用濾材之過濾特性、原地回收再利用之透水特性等。操作特性、處理範圍與成效評估指標說明如下。

4.3.2.1. 操作特性：重金屬污染現場模場玻璃化之操作特性與底泥有相當大差異，預期在土壤質地上將有顯著差異，一般河川底泥中黏粒較少，絕大部分為砂粒及粉粒，玻璃化需要較高之砂砂比例，故於操作之前必須確認最佳之添加物內容及比例；其次是操作溫度，目前針對底泥部分已經掌握最佳溫度為 1400°C，針對土壤測試將進行 1200-1600°C 之測試，確認最價之操作區間；再其次為定溫持續時間測試，在已達固定溫度下須維持多少時間可達到最佳效果，目前在底泥測試為 90 sec，此部分將測試 60-120 sec 之範圍；最後是土壤含水率問題，底泥含水率在 30% 以下均可達到非常好之玻璃化結果，60% 以下仍可達到相當好之效果，目前模場場址已經休耕且





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

正進行挖除與客土稀釋中，目測及含水率應該在 60% 以下，將測試 20-60% 之區間（土壤乾燥可在加溫初期輕易達成）；土壤有機物之測試將進行先期 TOC 測試再決定是否需要（該場址已休耕多年）。

4.3.2.2. 處理範圍：預計現地模場測試之範圍將選定長寬深各為 1 m×1 m×0.30 m 之坵塊兩塊，先進行表土之均勻混合以避免難以比較之情況，若經先期檢測兩坵塊之重金屬濃度差異過大，將不排除先將兩坵塊之表土進行充分混合後再進行。預計單次玻璃化可處理約 2,400 cm<sup>3</sup>，預計各坵塊將劃分一半進行玻璃化，一半未進行玻璃化，將各取至少 15 土壤樣品進行消化處理及重金屬測定，玻璃化成品各 15 個，則以 3 個進行破碎處理後進行溶出及全萃取後再消化，之後上機分析；剩餘 12 個將作為 3 種不同回收利用方式之測試用樣品。

4.3.3. 成效評估指標：成效評估指標將以溶出試驗之重金屬濃度、全萃取之重金屬濃度以及回收再利用可行性三方面進行評估。溶出試驗之重金屬濃度可決定次玻璃化成品是否可視為一般事業廢棄物處理，全萃取之重金屬濃度可決定此成品是否符合土壤管制標準可留在農地繼續使用，最後之成品再利用測試則是決定此成品是否具有回收再利用之價值。目前以底泥玻璃化之經驗，原地回收再利用及多孔濾材再利用應可順利達成，第三項路基基材級配粒料則具有當高挑戰難度。原地回收再利用將以毒性溶出試驗與農地土壤污染管制標準進行評估，多空性率才將以孔隙率、比表面積、平均孔隙大小等特性進行評估，路基基材級配粒料部分將依據 07248 玻璃瀝青混凝土鋪面規範進行檢測，含三項 CNS 檢測及毒性溶出試驗。玻璃瀝青混凝土係指以適當比例之廢玻璃砂取代部分細粒料，再與符合規範之粒料、填縫料、瀝青膠泥，再生玻璃瀝青混凝土（Glass Asphalt Concrete, GAC）：係指以適當比例之再生玻璃取代部分粒料與合乎規定品質之粗、細粒料、填充料、瀝青膠泥及視需要而摻入之添加劑（如防剝劑、石灰等）經加熱拌和而成者。為發揮玻璃之夜間反光及止滑特性，玻璃瀝青混凝土可使用在路面之面層。其相關測試項目總計 36 項，本計畫無法負擔所有測試，將僅就最相關之三項進行，一為 CNS 490 粗粒料（37.5mm 以下）洛杉磯磨損試驗法、CNS 1167 使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法及 CNS 5265 瀝青鋪面混合料用礦物填縫料篩分析試驗法。由於各項試驗之粒料量均以公斤計，目前計畫經費及設備無法產出數十公斤之成品供做測試用，因此將自行修改測試方法，以適合較小規模之測試。

4.4. 戴奧辛熱篩菌群研究



- 4.4.1. 菌種增殖、馴養及熱篩：由現地採回樣品，底泥微生物在厭氧環境下經馴化增殖培養處理後，作為脫氯實驗之微生物來源，目前處理方式如下：於厭氧操作箱內取 400 ml 底泥放入含 400 ml 厭氧培養基的容量 1 L 血清瓶中，培養基成分為 1.0 L 之無菌水 (pH 7.1) 中含  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.35 g、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.27 g、 $\text{NH}_4\text{Cl}$  2.7 g、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.10 g、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.10 g、 $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.02 g、Yeast Extract 5.0 g 以及 Resazurin sodium 0.005 g (氧化還原指示劑)。此外，為能夠保留特定脫鹵菌群，也將使用可液有效培養 *Dehalococcoides* spp. 之培養基，減述如下，10 ml 之 PBS (內含 27.2 g of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  per liter, 34.8 g of  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  per liter), 10 ml 鹽水溶液 (每公升中含 53.5 g 之  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 7.0 g 之  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 2.0 g 之  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), 2 ml 之微量礦物溶液 (每公升中 0.3 g 之  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0.1 g 之  $\text{ZnCl}_2$ , 0.75 g 之  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 1.0 g 之  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 0.1 g 之  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 1.5 g 之  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.02 g 之  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , 0.1 g 之  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ , 1 ml 之  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), 2 ml 之  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  溶液 (62.5 g/liter), 1 ml 之氧化還原指示劑 (1 g/L 之 resazurin), 10 ml 之飽和碳酸氫鈉溶液 (260 g 之  $\text{NaHCO}_3$  per liter), 10 ml 以過濾滅菌之維他命工作液 (每公升含 0.02 g 之 biotin, 0.02 g 之 folic acid, 0.1 g 之 pyridoxine hydrochloride, 0.05 g 之 riboflavin, 0.05 g 之 thiamine, 0.05 g 之 nicotinic acid, 0.05 g 之 pantothenic acid, 0.05 g 之 *p*-aminobenzoic acid, 0.05 g 之 cyanocobalamin, 0.05 g 之 thiocetic acid, 1.0 g 之 mercaptoethane-sulfonic acid [coenzyme M]), and 10 ml 之 amorphous 硫酸亞鐵溶液 [每公升含 39.2 g 之  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 24.0 g 之  $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ] (此溶液必須以去離子水清洗三次以充分回收解離之硫離子，維他命、碳酸氫鈉、硫酸亞鐵溶液均是在主要基質經過滅菌釜滅菌冷卻後再加入，且加入時必須同時以  $\text{N}_2\text{-CO}_2$  (80:20 [vol/vol]) 混合氣體曝氣以進行換氣 (Edwards and Grbić-Galić, 1994; Liang et al., 2015)。本研究將維持此 2 種不同培養方式之菌群作為實驗菌群，進行降解實驗時，將以加入不同比例方式進行。Dioxins 分解菌之馴養將採類似之作法，菌種採自二仁溪，因二仁溪底泥中曾經檢測出 Dioxins 污染。熱篩依據目前經驗，採用 60-120°C 取 4 種不同溫度，並且採 30 分鐘與 60 分鐘兩種不同溫度進行，包括控制組與空白組，共有 10 組進行試驗，經過為期 70 天之初步測試，選取最佳之 1 組進行批次實驗
- 4.4.2. 檢測方法：分為前處理與上機分析，前處理再分為萃取與淨化步驟，依序說明如下。
- 4.4.2.1. 萃取：參照 USEPA Method 3545A 及 BÜCHI Labortechnik AG 之使用說明



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

進行(參見附件二)。使用加壓快速萃取裝置(SpeedExtractor E-916, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland), 萃取底泥中萃取步驟如下: 將酸洗完之 60~140 mesh 石英砂, 以丙酮、二氯甲烷、甲苯、正己烷依序浸泡, 並使用玻棒進行攪拌, 重複溶劑洗兩次, 並倒於鋪有鋁箔紙之鐵盤上, 放於抽風櫃內抽乾溶劑, 或於抽風櫃內使用加熱板加速抽乾備用。填充快萃管部分如下: 首先將快萃管、漏斗、液針、藥勺、鑷子等相關器材使用丙酮、二氯甲烷、甲苯、正己烷依序淋洗至少三次備用。將半匙石英砂加入已秤重之乾固態樣品中, 均勻混合後備用。放置下部濾紙, 填 1.5 ml 矽膠於 10 ml 快萃管中, 加入混合石英砂後之固態樣品, 再次加半匙石英砂, 將殘餘之樣品從鋁盤中轉移至快萃管內。使用液針取內標準品(Internal standard, IS), 刻度從 20  $\mu$ l 推至 10  $\mu$ l (確保加入量為 10  $\mu$ l), 沿著不鏽鋼快萃管壁添加。填入石英砂至快萃管剩餘約 1~1.5 cm, 放置上部濾紙。待設備預熱溫度(100°C)到達時, 即可開始萃取。

4.4.2.2. 淨化: 淨化步驟參考矽膠淨化法 NIEA M183.01C 及前述之 NIEA M805.01B 進行, 相同部分將不贅述。先以 180°C 烘製至少 1 小時活化中性矽膠, 待其冷卻後取 3.0 g 矽膠+20 g 濃硫酸震盪 15-20 分鐘填入管柱中, 玻璃棉及器材均以丙酮、二氯甲烷、甲苯、正己烷浸泡淋洗。首先進行酸性矽膠管柱淨化, 空管柱以正己烷(n-Hexane)淋洗至少三次填充已經淋洗清潔之玻璃棉, 以乾淨之柱狀物將玻璃棉填塞於底部。填充 15g 之 40%酸性矽膠於上述之底部已裝填玻璃棉管柱中, 以輔助震盪使酸性矽膠顆粒紮實且均勻地填充於管柱。以正己烷 15 ml 進行酸性矽膠管柱預洗, 出流之溶劑棄置於廢溶劑瓶中。待所有預先之正己烷幾乎貼平矽膠與空氣之界面時。將已經減壓濃縮(減壓濃縮之水浴溫度 55°C)之萃液樣品(約 1~2 mL)轉移至管柱, 以正己烷為流洗液, 此出流液應收集之。將裝取萃液樣品容器之瓶壁以滴管吸取正己烷潤洗 3 次, 轉移至酸性矽膠管柱; 完成轉移後, 並加入 10  $\mu$ l 之 CS, 由管柱上方加入 40 ml 正己烷進行流洗, 全部流洗液收集於減壓濃縮瓶中。在減壓濃縮之水浴 40°C 下, 減壓濃縮流洗液至約 1~2 ml。以逆向層析(沖提): 轉活性碳管柱, 斜切面朝上, 平整面朝下, 將斜切面朝上接入沖提管柱中。以 30 ml 甲苯流洗管柱(PCDD/Fs), 並收集於減壓濃縮瓶。以手動加壓方式加速進行流洗, 並加壓至 5~10 ml 刻度(有時蓋子會噴掉, 需視實際情況調整)。流洗完畢後, 減壓濃縮(減壓濃縮之水浴溫度 55°C)至約 1.0 mL, 並使用玻璃移液滴管將樣品轉移至小 Vial 瓶中, 乾式加熱吹氮濃縮(溫度 45°C)後, 再以約 0.5



~1 ml GC 等級之正己烷淋洗減壓濃縮瓶，再次將可能殘留之樣品轉移至小 Vial 瓶中，重複上述步驟兩次，吹氮濃縮至 1.5~2.0  $\mu\text{l}$ 。以液針取 10  $\mu\text{l}$  之 Recovery Standard 加入小 Vial 瓶以 pipettor 取 nonane 潤洗 Tip 兩次後，以 pipettor 吸取 20  $\mu\text{l}$  之 nonane 加入小 Vial 瓶。蓋緊瓶蓋，以 Vortex 震盪，即完成樣品前處理

4.4.3. Dioxins 之上機分析：Dioxins 之檢測分析方法將依照戴奧辛及呋喃檢測方法—同位素標幟稀釋氣相層析/串聯式質譜儀法（NIEAM805.01B）進行，由於方法敘述相當冗長，將不在此贅述。僅說明使用機型及條件，所使用機型為 Thermo Scientific TRACETM 1300 氣相層析/TSQ 8000 Evo 質譜儀，入口溫度為 280°C，載行氣體為氦氣，流速為 1.2 mL/min (constant flow)，注射體積為 2.0  $\mu\text{L}$ ，採用裂流，裂流流速: 120 mL/min，無裂流時間為 2 min，撞擊氣體為氬氣，採 Electron Impact (EI)方式進行離子化，MS 輸送溫度為 300°C，離子源溫度為 300，採用管柱為 TG-Dioxin 管柱，長度 60 m，內徑 0.25 mm，膜厚 0.25 $\mu\text{m}$ 。溫度程式如下表所示。

表 4-7 戴奧辛分析條件

分析儀器	Thermo Scientific TRACETM 1300 / TSQ 8000 Evo
管柱	TG-Dioxin (長 60 m，口徑 0.25 mm，膜厚 0.25 $\mu\text{m}$ )，1.2 mL/min He
注射口	280°C，Split，注入 2 $\mu\text{L}$ ，Split flow：120 mL/min，Splitless time：2 min
升溫方程	120°C 維持 2 min，以 25°C/min 升溫至 250°C， 再以 2.5°C/min 升溫至 285°C， 最終以 10°C/min 升溫至 320°C，並於 320°C 下保持 15 min

4.4.4. 生物分析：生物分析部分將依照前面所敘述之 PCR-DGGE 與 NGS 之方法進行。有關特殊菌群分析將俟 NGS 結果在進行 DNA 探針製作，並商請本系吳向宸老師以流式細胞儀進行單一菌群鑑測與分離菌種之可行性測試，主持人之實驗室將以傳統方式進行篩選分離培養並鑑定其 16S rRNA gene 之 DNA 序列。

#### 4.5. Lindane 與 DDT 土壤砂箱實驗

此部分將繼續第 1 年之田口實驗最佳條件進行砂箱實驗，以最佳條件（即第 8 組條件）針對 DDT 及 Lindane 分別進行砂箱實驗，砂箱實驗進行方式簡述如下：將準備雙重複之 DDT 及 Lindane 生物降解之砂箱各 2 個，控制組 2 個，空白組 2 個，砂箱將以 8 吋直徑之 PVC 管製作，高度為 30 公分。以實際未





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

受 DDT 及 Lindane 污染農地土壤混合購得之 DDT 及 Lindane 至濃度為 1.0 mg/kg (乾基) 後進行實驗，菌群為採自二仁溪底泥且是經過 DDT 及 Lindane 馴養完成之菌群，此菌群已經在第 1 年計畫進行田口試驗時確認具有降解能力。採樣時間為 0、14、28、42 與 70 天。此實驗為驗證在實驗室小型廣口瓶與模擬土壤之實驗結果在較大型真實土壤砂箱也同樣可行。檢測分析方法已經在第 4.1.4 節之化學分析一段說明。

#### 4.6. 現場復原

現場復原作業將依據本實驗室進行模場試驗用地許可申請時向第六河川局切結試驗完成後應完全復原之規定完成復原工作。復舊計畫如附錄三。

#### 4.7. 成果發表

含環保署成果發表會應完成之期中與期末報告、海報、簡報與論文各 1 份，SCI 期刊論文 1 份，國內外研討會論文 2 份。

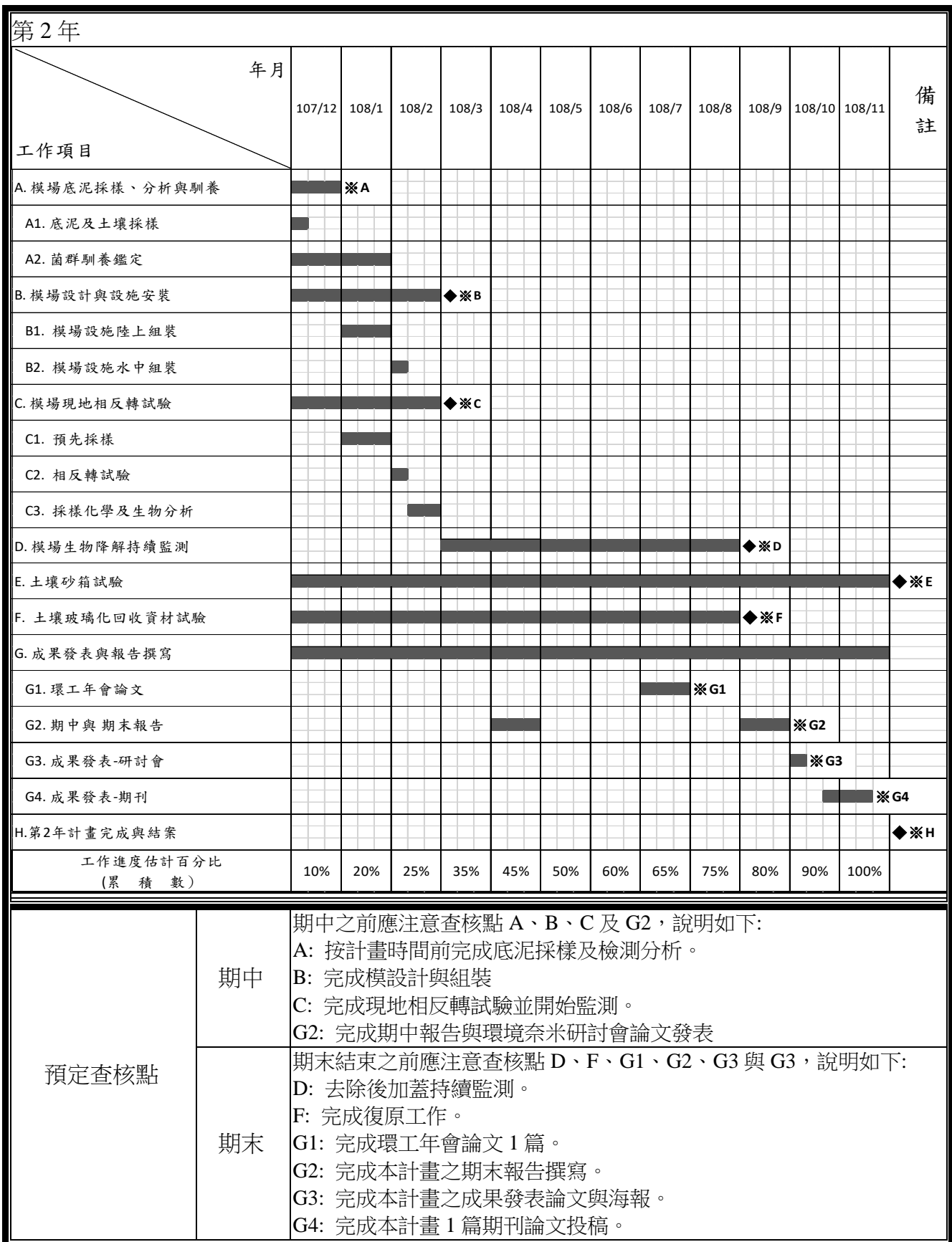
#### 4.8. 工作進度與甘特圖

第 2 年計畫之工作進度與甘特圖如表 4-7 所示，目前已經完成第 2 年計畫之進度，除成果發表部分，研討會論文業於 108 年 05 月 3-4 日於宜蘭大學舉辦之第 16 屆環境保護與奈米科技學術研討會完成發表，另有 2 篇論文業於 108 年 11 月 22-23 日環工年會口頭發表，專利申請已循校內程序送出，並於 108 年 5 月 16 日送達專利事務所。原定全期（2 年）完成 1 件專利申請，4 篇研討會論文及 1 篇 SCI 期刊論文，截至 108 年 11 月 30 日，已經完成 1 件專利申請，6 篇研討會論文，1 篇 SCI 期刊論文，目前查核點均已經達成，進度應屬符合。。





表 4-8 本計畫之甘特圖(第 2 年)





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(空白頁)



## 第5章. 結果與討論

**章節摘要：**本計畫按預定期程完成工作項目為底泥樣品採樣及分析及各主要工作項，即重金屬污染土壤快速玻璃化、土壤中有機物污染之現地相反轉乳化及生物分解、污染底泥之多次相反轉及生物分解以及底泥中戴奧辛相反轉及生物分解之目前進度說明。以下即就各工作項目之主要成果及發現分節敘述之，並於最後兩節敘述本計畫目前之結論與主要建議意見及未來或後續執行建議。

### 5.1. 污染土壤快速玻璃化

#### 5.1.1 污染土壤採樣

本計畫已經進行已知污染農地及未污染農地土之土壤採樣，未污染農地土土壤中  $\gamma$ -HCH 及 DDT 均為 ND；污染農地土壤中重金屬濃度如表 5-1 所示，就 TCLP 規範值而言，鉻、銅、汞、鉛與鋅均已經超標，而對農地及一般土地之土壤管制標準而言，銅、汞與鋅仍然超標，其中尤以鋅超標 31.9 倍及銅超標 37.3 倍，最為驚人。針對此兩種重金屬，玻璃化之安定效率必須高於 97.4% 以上才能夠符合法規要求。

表 5-1 污染農地土壤先期檢測結果

項目	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
污染農地土壤(mg/kg)	ND	ND	11.9	7458	33.78	15.3	17.3	19,169
TCLP 標準(ppm)	5	1.00	5.00	15.00	0.20	無	5.00	無
農地管制標準 (mg/kg)	60	5	250	200	5	200	500	600
一般土地管制標準 (mg/kg)	60	20	250	400	20	200	2000	2000

註:ND 為消化液在 2 倍稀釋下，小於檢量線最低點(10 ppb)

#### 5.1.2 田口實驗及現地玻璃化設備設計

第 1 年計畫已經進行田口試驗之模擬土壤與真實土壤之玻璃化後全萃取消化之檢測分析，將結果依照田口統計方法進行因子反應圖之繪製(見圖 5-1)，可發現在較理想之模擬土壤條件下，以溫度愈高愈佳，含水率與添加物加量愈高愈好，加熱延時愈久愈佳。依照田口統計之一半原則，其中顯著的控制因子為溫度與加熱延時而最佳條件為溫度 1600°C、加熱延時 120 sec，含水率 40% 及添加物加量為高時之條件最佳；而且添加物對結果影響相對輕微，表示是否添加玻璃化助劑對結果影



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

響不大。

第1年計畫中真實污染土壤進行玻璃化後成品經過全萃取（非 TCLP）消化之檢測分析發現 9 種玻璃化條件中僅有 4 組未能完全達標，其他 5 組條件均可達到法規要求。其中，9 種玻璃化條件中僅有第 1 及第 3 組中之鋅超標（表 5-5），詳究其處理條件，應屬定溫加熱延時影響較大，其次可能是添加物中具有含鋅之雜質所致。將結果依照田口統計方法對銅進行因子反應圖，可發現在真實重金屬污染土壤條件下，對銅而言，以加熱溫度中等較佳，含水率中等（20%）似乎較佳，添加物高加量似乎較佳，加熱延時愈久愈佳且趨勢明確。依照田口統計之一半原則，其中顯著的控制因子為溫度與添加物加量，最佳條件為溫度 1400°C、加熱延時 120 sec，含水率 40%及添加物加量為中時之條件最佳。而各項因子似乎對結果均有相當大之影響，信噪比高代表其可信度高。對銅而言，以加熱溫度中等較佳，含水率似乎中等（20%），添加物高加量似乎較佳，加熱延時愈久愈佳且趨勢明確。顯著的控制因子為溫度與添加物加量，最佳條件為溫度 1400°C、加熱延時 120 sec，含水率 40%及添加物加量為中時之條件最佳，而各項因子似乎對結果均有相當大之影響。

比較兩種土壤之結果，可以確定**加熱溫度**是唯一在兩種測試中均認定為顯著控制因子，故加熱溫度應為 **1400-1600°C 較佳**。其中添加物添加量在兩者中可由不顯著轉變為顯著控制因子，其理由極可能是因為石英砂中矽酸鹽比例相當高，而作為玻璃化材料，玻璃化原料之矽酸鹽應達 70% 以上，此條件在模擬土壤之主要以石英砂為基材時非常容易達到，故添加物之添加量影響不大。但因一般農地土壤中，矽酸鹽比例相對較低，故對添加物量之多寡較為敏感。

第2年計畫部分以製作現地玻璃化裝置，並進行較大量污染土壤玻璃化並且最為後續回收再利用資源物質之測試用。經過設計完成之裝置如圖 5-1 所示，圖(a)為所有裝置分解之情況，包含 1 組以不鏽鋼切割完成外模、兩個環狀之耐高熱陶瓷、底部兩片耐高熱之矽酸鈣板及一個耐高熱之高純度石墨環、組裝過程如(b)~(e)所示，先將不銹鋼部分組裝完成，再將兩片耐高熱之矽酸鈣板放入，再將石墨環放入，再將內徑與石墨環外徑相當之陶瓷環套入，再將較大之陶瓷環套入，大陶瓷環與小陶瓷環間微電次感應銅線圈置入之空間，再將此裝置直接壓入待處理之土壤中，如圖(e)所示，將內部土壤與添加物混合均勻後，即可通電進行加熱，實際加熱之情況圖(f)所示。完成之成品如圖 5-2(a)，將其切開後，內部呈現大小不同之孔洞如圖 5-2(b)，下方之加熱情況似乎不如上方均勻。



為確認不同含水率下是否可以現場玻璃化方式進行有效之重金屬穩定化，故進行 20、30、40 及 60% 不等含水率之真實污染土壤之玻璃化(約 50 g 加熱 360 min)，其成品經過粉碎過篩 100 mesh (孔徑約為 150  $\mu\text{m}$ ) 之後進行消化與重金屬檢測分析，其結果如表 5-2 所示，所有重金屬均可通過法規中一般土地土壤及農地土壤之標準(標準參見表 5-1)。含水率對於污染土壤玻璃化應造成負面效應，一在於水之比熱較大，可造成升溫較為緩慢且較為耗費能量，可是結果顯示是 20% 含水率最佳，極可能是在水分快速氣化過程中擾動土壤結構造成有利於石磨坍塌(或石墨環)之熱傳輸情況。

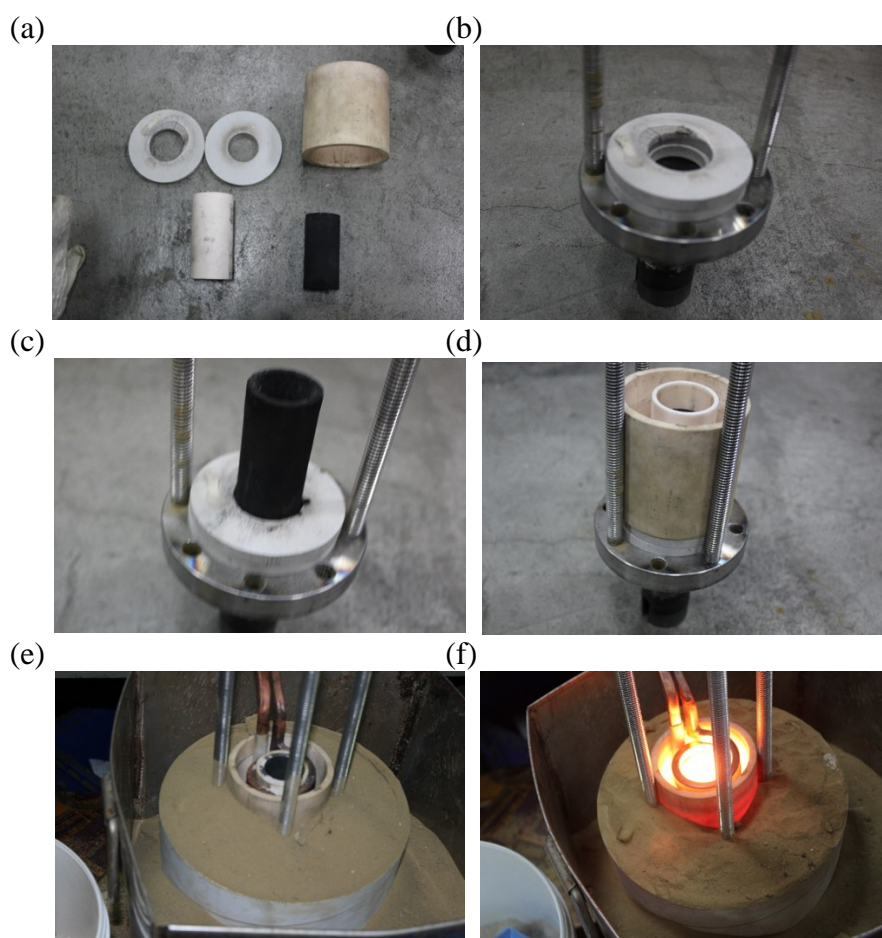


圖 5-1 現地真實污染土壤玻璃化之裝置，裝置分解之情況(a)、組裝過程(b)~(e)與實際加熱之情況(f)

由於 150  $\mu\text{m}$  之粒徑已經相當於非常細之細砂之粒徑，既然能夠通過農地土壤污染管制標準，即代表這些土壤顆粒品質有可能可以直接回收做為現地農地之土壤或是做為稀釋現地污染土壤之客土資材，但此種土質為完全之無機材質且可能較缺乏蓄水能力，也並無任何腐植質及其他有機質。依據公共工程施工綱要規範第 02931 章對植樹用客土要求為「所採用之土壤應為有機質含量[5%]以上透水良好之壤土，且不含礫石、泥塊、雜草根及其他有毒或有礙生長之雜物，並經工程司認





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

可。」，其他尚有植草用客土、鋪網客土、草種槽溝式客土植生、草種擋土柵客土植生、草種槽溝式客土植生、草種擋土柵客土植生、格床式客土植生、種植及移植一般規定之客土、客土袋育苗植法，均著重於是否適合植物生長之要求(行政院公共工程委員會, 2019)。因此，若是回收作為農地土壤，可能尚需添加有機質及若干主要養分；而一般對於污染整治用客土則無一致之規範，一般之可行之要求為「出場前，除須有每 300 m<sup>3</sup> 之實驗室檢測分析數據為依據外，進入本場址前仍須以 XRF 抽樣檢驗客土背景值含量，確認是否符合低於土壤污染監測標準值，規劃每 100 m<sup>3</sup> 客土土方以 XRF 篩測抽樣 1 組」，而 XRF 僅為粗篩，無法作為實際土壤品質依據，仍應以實驗室檢測分析數據為主，故作為污染整治用客土應屬實際可行。

表 5-2 真實污染農地土壤不同含水率下玻璃化檢測結果 (mg/kg 乾重)

含水率	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
20%	0	0	0.6	12.6	0	2.4	0.2	15.4
30%	0	0	2.3	7.1	0	2.9	0	36.1
40%	0	0.4	2.1	14.8	0	2.2	0	37.5
60%	0	0	1.2	65.7	0	2.2	0	22.4

(a)



(b)



圖 5-2 現地真實污染土壤玻璃化成品(a)及切開後之內部情況(b)

### 5.3.3 玻璃化後成品作為玻璃瀝青資材可行性測試

本試驗目的為將重金屬污染土壤製成之玻璃用於瀝青混凝土，並探討不同玻璃添加量對瀝青混凝土之成效分析。本實驗為探討玻璃添加量分別為 0%、5%、10%、15% 之比例，使用 AC-20 瀝青膠泥，並以馬歇爾配合設計法進行本實驗設計。本試驗根據行政院公共工程委員會所公告之「第 02748 章玻璃瀝青混凝土鋪面」，將重



金屬污染土壤製成之玻璃回收、破碎，使其通過 4 號篩，再做為細粒料與其他符合規範之粒料、瀝青膠泥與填充料混合成瀝青混凝土，並製成一圓柱試體，進行單壓試驗(表 5-5、5-6)。單壓試驗配合馬歇爾設計法進行，將得到穩定值(Va)與流度值(VMA)兩筆數據。穩定值可反應瀝青抗張能力、抵抗破裂能力的大小，而流度值能反應塑型的能力，若流度值越高，則代表此瀝青容易變型，流度值越低，則反應此瀝青缺乏柔性。本試驗之依馬歇爾配合設計法將重金屬土壤製成之玻璃用於瀝青混凝土，其試驗配製如表 5-7 所示。經審查委員提醒此部分研究應完全確認此回收材質確實可行，故再另外進行 C 組試驗，一併加入結果中進行討論。

#### 5.3.3.1 洛杉磯磨損率試驗

依照中華民國國家標準 490 (CNS 490) 之方法所述，對馬歇爾配合設計中所需要用到之粒料進行洛杉磯磨損率試驗，所選用之粒料為 B 級配，實驗結果如表 5-3 所示。實驗結果磨損率為 20%，根據現行規範粗粒料之磨損率最低不能大於 35%，顯示本試驗所選用之天然料符合法規規範，可用於後續馬歇爾試模之製作。

表 5-3 天然料洛杉磯磨損率試驗結果

原試樣重(g)	試驗後停留在 12 號篩之材料重量(g)	磨損率(%)
5000	3997.0	20.1

#### 5.3.3.2 健度試驗

依中華民國國家標準 1167 (CNS 1167) 對經過玻璃化之土壤進行健度試驗，本實驗使用硫酸鈉進行試驗，實驗結果如表 5-4 所示。從重量損失率可以觀察到越細之玻璃料損失率有越高之情形，綜合各粒徑分佈之玻璃料重量損失率，取其平均得到玻璃料損失率為 3.6%，已知法規規範細粒料之平均重量損失率不得超出 10%，因此可以得知透過加熱裝置所製作之玻璃料能通過法規規範，故可以嘗試將這些玻璃料用於馬歇爾配合設計法中。

表 5-4 玻璃料健度試驗結果

通過篩號	停留篩號	實驗前重量(g)	實驗後重量(g)	重量損失率(%)
4	8	100.0	98.8	1.3
8	16	100.1	99.0	1.1
16	30	100.0	95.9	4.1
30	50	100.0	92.2	7.8



### 5.3.3.3 馬歇爾試驗

依照馬歇爾設計法，使用 5 噸馬歇爾試驗機對馬歇爾試模進行壓力測試，所得之穩定值與流度值如表 5-8 所示，再將表中的數值進一步作圖，結果如圖 5-3。從圖中結果觀察，不同添加量之瀝青油與玻璃料之樣品，於穩定值的部分皆通過法規規範，穩定值可反應瀝青抗張能力、抵抗破裂能力的大小，因此可以從數據中推論瀝青油過低與過高都會導致瀝青的抗張能力下降，目前實驗數據顯示於 5.0%之瀝青油添加能擁有最高之抗張能力，而玻璃料的添加與瀝青油之結論相似，適量的玻璃料添加有著最高之抗張能力，於玻璃料低添加量(5%)有著最高之抗張能力，而隨著玻璃料的增加會導致瀝青混凝土的抗張能力降低，此部分原因可能與玻璃本身為易碎物質有關。

然而在流度值的部分，目前只有 C5 組別(5.0%玻璃添加與 5.8%之瀝青油添加)有通過法規規範，流度值能反應瀝青混凝土之塑型能力，流度值越高代表瀝青越容易變型，流度值越低則反應此瀝青缺乏柔性。從數據中可推論隨著瀝青油的增加，瀝青混凝土之塑型能力越高，而隨著玻璃料的增加，瀝青混凝土之塑型能力隨之下降；雖然目前試驗結果只有 1 組樣品同時通過穩定值與流度值之規範，但流度值不夠之問題可以透過添加瀝青油來解決，因此可以預估將現址加熱裝置所製造之玻璃用於瀝青混凝土之回收再利用是可行的方案。

將本實驗之結果與其他文獻比對，有趣的是可以發現於穩定值與流度值皆有相異之處，本實驗馬歇爾試模之穩定值在 5%玻璃料添時有最大之穩定值，並隨著玻璃料之添加穩定值逐漸下降，然而在其他文獻中，玻璃之添加只會導致穩定值下降，無法在 5%玻璃添加量中找到最大之穩定值(陳, 2001)；另一方面，本試模之流度值隨著玻璃料的添加而下降，然而其他文獻中之玻璃瀝青混凝土則是隨著玻璃料添增而使流度值上升(Zheng, 2013)；增添玻璃料而使流度值上升之原因，可能與玻璃料為親水並表面為光滑之材質有所關聯，其次則是他人所添加之玻璃料粒徑較小，而導致混凝土之流度性質增加(Wang and Huang, 2010)；造成以上原因可能在於本實驗所添加之玻璃料之粒徑偏大，通過 4 號篩並停留在 8 號篩之玻璃料佔所有玻璃料之 75%，與其他文獻所提及之玻璃粉(通過 8 號篩並停留在 16 號篩之玻璃料)相比就有較高之機械強度與低流動性。



表 5-5 馬歇爾配合設計法之參數

實驗例	粒料				瀝青		填充料	
	種類	添加量(%)	種類	添加量(%)	種類	添加量(%)	種類	添加量(%)
A0	碎玻璃	0	天然料	100	AC-20	4.2	石粉	2
A5	碎玻璃	5	天然料	95	AC-20	4.2	石粉	2
A10	碎玻璃	10	天然料	90	AC-20	4.2	石粉	2
A15	碎玻璃	15	天然料	85	AC-20	4.2	石粉	2
B0	碎玻璃	0	天然料	100	AC-20	5.0	石粉	2
B5	碎玻璃	5	天然料	95	AC-20	5.0	石粉	2
B10	碎玻璃	10	天然料	90	AC-20	5.0	石粉	2
B15	碎玻璃	15	天然料	85	AC-20	5.0	石粉	2
C0	碎玻璃	0	天然料	100	AC-20	5.5	石粉	2
C5	碎玻璃	5	天然料	95	AC-20	5.5	石粉	2
C10	碎玻璃	10	天然料	90	AC-20	5.5	石粉	2
C15	碎玻璃	15	天然料	85	AC-20	5.5	石粉	2

註：碎玻璃為污染農地土壤玻璃化成品經過粉碎之碎玻璃

試驗配製之瀝青混凝土，需符合行政院公共工程委員會所公告之公共工程施工綱要規範「第 02741 章瀝青混凝土之一般要求」，因此粒料級配需符合粗級配瀝青混凝土之品質規定。本試驗所選定之粗級配種類為 19.0 mm (3/4in.)，各試體級配之過篩百分率表如表 5-6 所示。

表 5-6 各試體級配之過篩百分率

實施例	19 mm	4.75 mm	0.6 mm	0.075 mm
	(3/4 in.)	(No.4)	(No.30)	(No.200)
規範	80~100	50~80	20~60	5~20
A0	89.1	64.4	40.3	12.4
A5	90.7	65.3	40.2	12.3
A10	91.2	65.5	39.8	12.3
A15	92.1	64.5	40	12.2
B0	88.4	65.6	40.1	12.5
B5	90.6	65.5	40.2	12.3
B10	87.7	65.3	39.7	12.6
B15	91	65.2	40.1	12.2
C0	84.3	62.1	40.8	12
C5	87.2	67.1	37.2	13.1
C10	94.1	68.4	38.1	12.9
C15	93.4	66.9	39.5	11.7



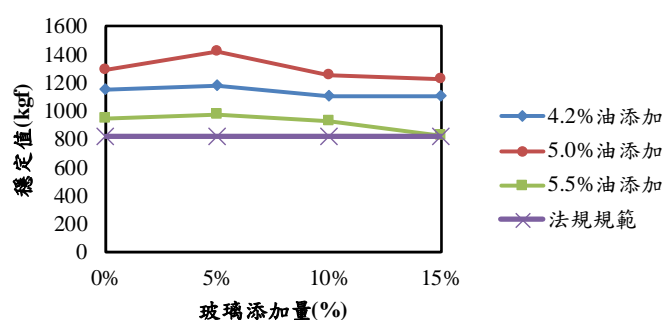
二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

表 5-7 各試體之特性

實施例	吸水率(%)	容積比重 25°C	25°C密度(kg/m <sup>3</sup> )
A0	2.29	2.28	2270
A5	1.97	2.25	2245
A10	1.4	2.25	2245
A15	1.1	2.24	2237
B0	1.4	2.31	2298
B5	1.08	2.29	2285
B10	0.99	2.29	2279
B15	0.53	2.28	2272
C0	1.39	2.26	2254
C5	0.68	2.28	2269
C10	0.63	2.26	2248
C15	0.72	2.24	2233

由試驗結果可得知，在 5% 的玻璃添加量下，能夠增加瀝青試體的穩定值，並且擁有所有試體中最高的穩定值，但隨著玻璃量增加，穩定值會逐漸下降，試體的抗張能力逐漸變小。在流度的部分，可以得知隨著玻璃添加量增加，流度值會逐漸下降，代表試體越不容易變形，同時也缺乏柔性。此部分僅需略微添加油份即可克服。由圖 5-3 及表 5-8 可知 C5 可符合密級配之穩定值 817 kgf 以上及流度值 8-14 之規範。

(a)



(b)

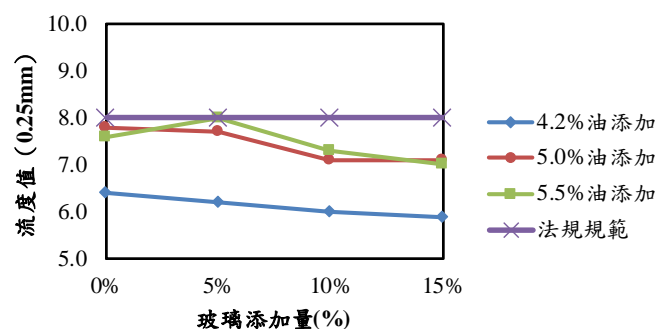


圖 5-3 土壤玻璃化後玻璃添加量對穩定值(a)及流度(b)之影響





表 5-8 各試體之馬歇爾試驗穩定值與流度值

樣品編號	穩定值 (kgf)	流度 (0.25 mm)
	規範值 $\geq 817$	規範值 8 - 14
A0	1150	6.4
A5	1177	6.2
A10	1106	6.0
A15	1101	5.9
B0	1289	7.8
B5	1425	7.7
B10	1252	7.1
B15	1230	7.1
C0	951	7.6
C5	974	8.0
C10	929	7.3
C15	823	7.0

截至目前為止，回收再利用部分已經完成現地回收再利用作為農地土壤可行性檢測、作為污染稀釋客土土壤之品質檢測以及做為玻璃瀝青之碎玻璃資材之初步檢測。但本實驗室繼續針對製作成為多孔環保材料進行研究，其結果說明如下。目前，本實驗室已經具備能力將已經完成玻璃化之重金屬污染土壤經過添加本實驗室之發泡劑配方進行多孔材質製作，其掃描式電子顯微鏡之影像如圖 5-4 所示，多項實施例之特性測定結果如表 5-9 所示。由圖 5-4 可見，其孔隙大小多在  $100\ \mu\text{m}$  以下，可藉著製成條件調整其孔隙率與密度，如下表所示。其中，實施例 2、6、11 及 12 屬於密度甚低 ( $<0.5\ \text{g/cm}^3$ ) 且孔隙率超過 80%，屬非常輕質之透氣石，可供園藝用途，可蓄水但孔隙間可以透氣；另實施例 1、4 及 7 屬於吸水率較高但孔隙率較低，可供作為沉水濾材之用；而實施例 3、9、10 及 15 則因吸水率低且孔隙率中偏高及密度低，預估以較佳之抗壓強度，可做為輕質骨材或是多孔隔熱建材等。希望能夠更上層樓，將污染土壤經過熱處理後可成為有價資材並具有商品化之潛能。

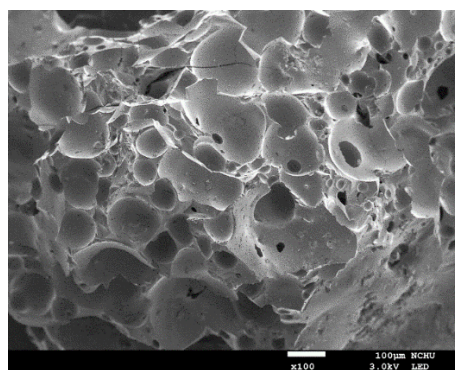


圖 5-4 以重金屬污染土壤製作之多孔材（張書奇老師實驗室）



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

表 5-9 以重金屬污染土壤製作之多孔材特性鑑定（張書奇老師實驗室）

實施例	吸水率	密度	孔隙率	可能應用
實施例 1	<b>22%</b>	1.078	56.9%	沉水濾材
實施例 2	5%	<b>0.491</b>	<b>80.4%</b>	輕質透氣石
實施例 3	7%	0.509	79.6%	多孔建材
實施例 4	<b>19%</b>	1.702	31.9%	沉水濾材
實施例 5	3%	1.032	58.7%	
實施例 6	7%	<b>0.483</b>	<b>80.7%</b>	輕質透氣石
實施例 7	<b>29%</b>	1.315	47.4%	沉水濾材
實施例 8	4%	1.252	49.9%	
實施例 9	9%	0.579	76.9%	多孔建材
實施例 10	3%	0.815	67.4%	多孔建材
實施例 11	10%	<b>0.468</b>	<b>81.3%</b>	輕質透氣石
實施例 12	3%	<b>0.443</b>	<b>82.3%</b>	輕質透氣石
實施例 13	6%	1.330	46.8%	
實施例 14	2%	1.082	56.7%	
實施例 15	<b>1%</b>	<b>0.740</b>	<b>70.4%</b>	多孔建材

## 5.2. 土壤中 Lindane 及 DDT 之 ISPIE/BiRD 實驗

本計畫第二項主要工作項目為針對土壤中 DDT 與  $\gamma$ -HCH 進行現地相反轉及生物分解試驗，第 1 年計畫已經完成土壤粒徑分析、重金屬濃度檢測、批次降解實驗，將不再贅述；第 2 年計畫在於管柱相反轉測試及砂箱試驗之後續生物降解監測。

### 5.2.1. 管柱 ISPIE 測試

由於相反轉回收之測試在於了解在使用相反轉溫度以上之熱乳化液進行回收之效率，本實驗進行條件為在二重覆之管柱中加入 Lindane 為 0.5 mg/kg 或是 DDT 為 4.0 mg/kg 之濃度下進行回收，加入乳化液前先行採樣及定量污染物濃度，加熱乳化液製溫度高於 80°C 後將乳化液自管柱之底部加入，加入乳化液後靜置 30 min，再加入 4.0 PV 之室溫清水進行推送，然後進行採樣及定量。定量之結果如圖 5-5 所示，Lindane 殘餘  $72.6 \pm 7.1\%$ ，而 DDT 則殘餘  $59.4 \pm 3.6\%$ ；亦即 Lindane 與 DDT 去除率分別為  $27.1 \pm 7.1\%$  及  $40.6 \pm 3.6\%$ ，此數值較前一期計畫之 PCBs 及 HCB 之回收率稍差，其中尤以 Lindane 之回收率最差。其原因可能與  $\log K_{ow}$  有關，由表 3-1 可知，Lindane 之  $\log K_{ow}$  值為 3.72，明顯較其他底泥中相關之疏水性有機污染物為低（均在 5.0 以上），故以水在油中乳化液進行回收時，其效果相對較差。若將同一種乳化液系統在不同化學物（Aroclor 1254、HCB、 $\gamma$ -HCH 與 DDT）之回收



比率及其  $\log K_{ow}$  值作圖可得圖 5-6，可見其疏水性污染物之移除率與  $\log K_{ow}$  之相關性相當高， $R^2$  值可達 0.9242。雖然不完全是在底泥中進行，但仍具有相當高之價值，可用來推測不同  $\log K_{ow}$  值之污染物在以此種乳化液回收之可能去除率。

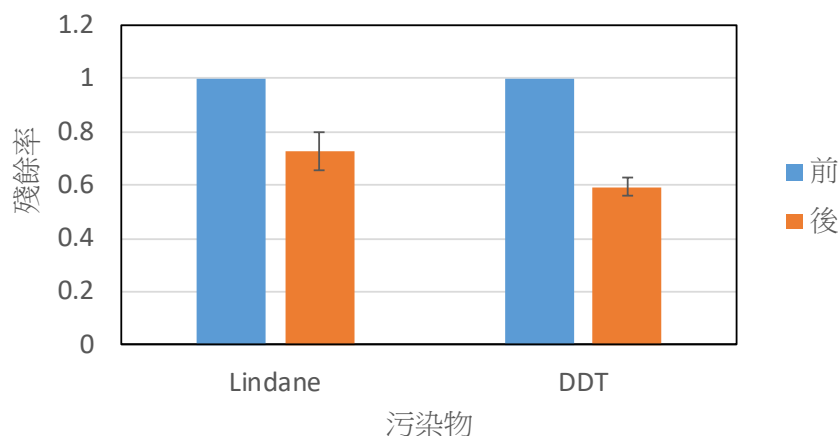


圖 5-5 Lindane 與 DDT 於管柱中進行相反轉回收之殘餘率

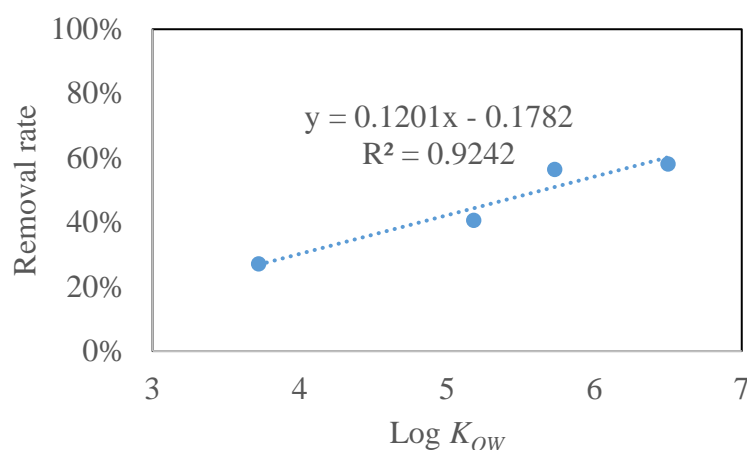


圖 5-6 疏水性污染物移除率與其  $\log K_{ow}$  值之相關性

### 5.2.2. Lindane 與 DDT 砂箱試驗之生物降解

為進行後續監測，建立 8 個 30 公分直徑之圓形砂箱（表 5-10），採用實際自新竹市取回之未污染農地土壤，分別加入約 2,000 mL 之馴養菌液，最終 DDT 砂箱之起始馴養菌濃度為  $1.92 \times 10^5$  cells/g，Lindane 砂箱之起始馴養菌濃度為  $8.4 \times 10^4$  cells/g；乳化液加量係依照第 1 年計畫之最佳條件之加量，即將原液稀釋 20 倍，加入量為土質量之 1.0%。採樣係自砂箱中心點向外每 5.0 公分半徑為一環，每一環狀帶區取一個樣品，再將上下層分開，三上層樣品經過充分混合後取出約 1.5 g，其餘冷藏於 4°C 以下；三下層樣品也經過充分混合後取出約 1.5 g，其餘冷藏於 4°C 以下。上下層樣品分別經過萃取淨化與濃縮等過程，再上機分析，其結果如圖 5-7



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

所示。

表 5-10 土壤中 Lindane 及 DDT 生物降解砂箱實驗條件

砂箱編號	加菌	加乳化液
L1	有	有
L2	無	有
L3	有	無
L4	無	無
D1	有	有
D2	無	有
D3	有	無
D4	無	無

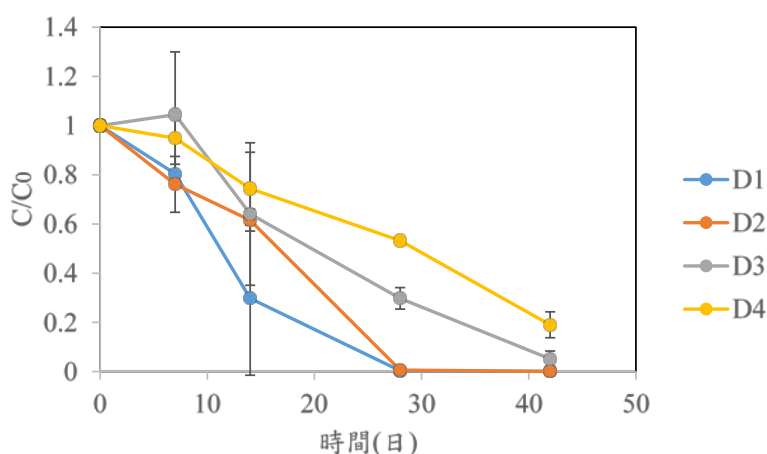


圖 5-7 DDT 砂箱試驗中 BiRD 趨勢圖

砂箱實驗為接續批次田口實驗，以個別之最佳條件(DDT 為含水率 25%、有機質 0.1%、乳化液 1.0%、pH 值 7.0，Lindane 為含水率 25%、有機質 0.1%、乳化液 1.0%、pH 值 8.5)對 DDT 與 Lindane 兩污染物分別進行砂箱實驗，於第 0 日、第 7 日、第 14 日、第 28 日與第 42 日進行採樣分析與菌相分析。DDT 砂箱實驗中各組條件與去除率如圖 5-7，結果顯示：於第 14 日之結果比較而言，降解最佳為 D1-上，其次為 D1 下(D1 為有添加馴養菌群與乳化液)，而 D4-上(D4 為無添加乳化液與無馴養菌群)之降解效果最差。若是將上下部加以平均，則是 D1(有添加馴養菌群與乳化液)之降解效果最佳，D4 最差。於第 42 日之結果顯示：D1 之降解效果最佳，有 99.94%之去除率，D2(僅添加乳化液但無馴養菌群)與 D1 相似，去除率為 99.93%，其次為 D3(僅添加馴養菌群)為 94.81%之去除率，而降解效果顯著較者為 D4，其去除率為 80.97%。綜上所言，添加乳化液組別比未添加組別之去除率高，代表添加



乳化液可有效回收且提高對 DDT 之去除效率，可能明顯增加生物之可及性，故有較佳之降解效果。此部分結果顯示添加乳化液之效果 ( $99.94 \pm 0.01\%$ ) 較未添加乳化液者似乎顯著較佳 ( $87.89 \pm 9.79\%$ )，而有添加馴養菌群 ( $97.37 \pm 3.62\%$ ) 與無添加馴養菌群則無明顯差異 ( $90.45 \pm 13.41\%$ )。由此可見，添加乳化液對後續生物降解結果似乎有顯著影響。

Lindane 砂箱實驗中各組條件及其去除率如圖 5-8，結果顯示：於第 14 日之結果比較而言，去除率最佳為 L2-下(僅添加乳化液)，次佳為 L3-下(僅添加馴養菌群)，而去除率最差者為 L1-上及 L1-下(L1 為添加乳化液及馴養菌群)，此與 DDT 砂箱實驗室結果大為不同。若是將上下平均，則是 L2(僅添加乳化液)及 L3(僅添加馴養菌群)之去除率最佳，L1(添加乳化液及馴養菌群)最差。於第 42 日之結果顯示：最佳去除率之組別為 L4(無添加馴養菌群和乳化液)，其去除率為 **92.26%**，降解效果其次為 L2 及 L3，去除率為 87.30% 及 86.47%，降解效果最稍差之組別為 L1 之 84.04%，與其他組別並無顯著差異。此部分結果顯示添加乳化液之效果 ( $85.67 \pm 2.31\%$ ) 較未添加乳化液者似乎較差 ( $89.37 \pm 4.09\%$ )，而有添加馴養菌群 ( $85.26 \pm 1.72\%$ ) 較未添加馴養菌群者似乎較差 ( $89.78 \pm 3.51\%$ )。由此可見，添加乳化液或馴養菌群對後續生物降解結果似乎均無助益，這點令人頗為意外。

相互比較可知，在砂箱實驗中之 Lindane 去除率較 DDT 差，降解效果也相對有限，其主要原因有可能是因為兩者之  $\log K_{ow}$  之差異以及實際農地土壤之關係， $\log K_{ow}$  之差異可導致 DDT 與水在油中之乳化液之油相中分布質量較多，而在油顆粒相當小之情況下，有機會直接融合而進入細胞中進行生物降解反應；而最令人意外的是 Lindane 之砂箱實驗中以 L4 表現最佳且 L2 為次佳，並 L4 與添加馴養菌之 L1 及 L3 有顯著差異，但與未添加馴養菌之 L2 無顯著差異，這意味著現地菌其實有可能比馴養菌有更佳之 Lindane 降解能力。此可能與台灣農地長期施用 Lindane 且禁用時間較晚有關，Lindane 於民國 73 年 (1984 年)，而 DDT 則是民國 62 年 (1973 年) 禁用有關(農業藥物毒物試驗所, 2019)，且 Lindane 水溶性較佳，可導致其流動性較佳，所暴露之土壤微生物可能分布較廣。

就砂箱與模場在現地執行時之可能擾動、干擾及影響而言，此次砂箱實驗除採樣時可能有擾動外，其餘時間應該均無其他干擾及影響。採樣時之擾動有可能使原本已經完全厭氧之狀況轉變為略為耗氧而影響厭氧降解之速率，此部分可能對氯化程度 ( $\text{氯元素數目} / \text{碳元素數目} = 6/6 = 1$ ) 較高之 Lindane 較為不利。模場試驗若是依照此進行，可能較大干擾是降雨或現地生物擾動，如蓄水以達到較高含水氯十，可能有水生及水陸兩棲動物之孳生，其他挺水植物或是雜草孳生之問題，這些均可造成某種程度之干擾。





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

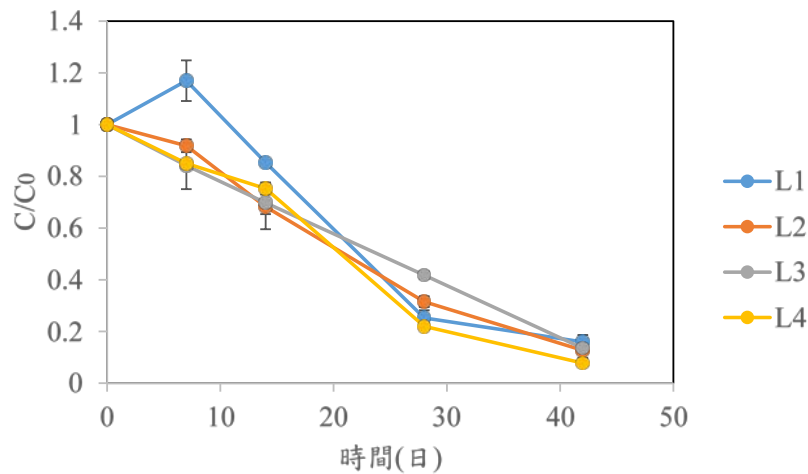


圖 5-8 Lindane 砂箱試驗中 BiRD 趨勢圖

### 5.2.3. 菌相分析

#### 5.2.3.1. PCR-DGGE 分析

本研究透過 PCR-DGGE 進行砂箱實驗中菌相分析，菌種經 DNA 萃取、聚合酶鏈鎖反應(PCR)與變性梯度膠體電泳(DGGE)染色後，以螢光照膠機拍攝之圖譜如圖 5-9 及 5-10，將較明顯之亮帶經切膠回溶與 PCR 後確認為單一亮帶並送至廠商進行定序，再將定序結果上傳至美國國家生物科技資訊中心 (National Center for Biotechnology Information, NCBI)線上資料庫 GENBANK 進行基因序列比對，找出相對應之菌種，其結果如表 5-11、5-12。

圖 5-9 中 5-10 中 D、L 開頭之編號分別為 DDT 及 Lindane 砂箱實驗之 PCR-DGGE 圖譜亮帶，由表 5-11、5-12 可知僅有 D1、D7、D9、D10、D12、L1、L5、L7、L8 之 identity 達到 97%以上，可視為定序到該菌種或為同屬但不同種之菌種，故針對此 9 種菌種進行討論。

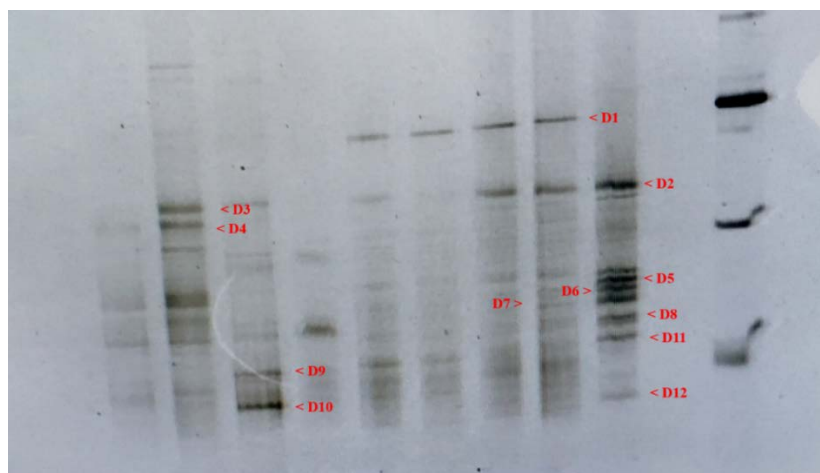




圖 5-9 DDT 砂箱實驗之 PCR-DGGE 結果圖

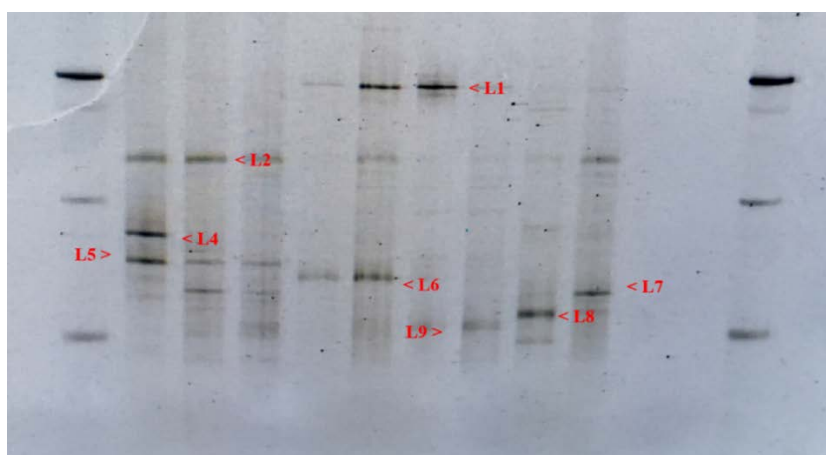


圖 5-10 Lindane 砂箱實驗之 PCR-DGGE 結果圖

表 5-11 DDT 砂箱實驗之定序結果

亮帶編號	描述	鑑定
<b>D1(1-1)</b>	<b><i>Geothrix fermentans</i> strain H5</b>	<b>98.72%</b>
D2	<i>Pseudomonas songnenensis</i> strain NEAU-ST5-5	86.56%
D3	<i>Calorithrix insularis</i> strain KR	81.93%
D4	<i>Ruminiclostridium sufflavum</i> strain CDT-1	94.72%
D5	<i>Ruminiclostridium papyrosolvens</i> DSM 2782	88.75%
D6	<i>Sporomusa sphaeroides</i> DSM 2875	96.63%
<b>D7(1-1)</b>	<b><i>Sporomusa sphaeroides</i> DSM 2875</b>	<b>97.14%</b>
D8	<i>Sporomusa sphaeroides</i> DSM 2875	84.41%
<b>D9(3-2)</b>	<b><i>Methylobacter marinus</i> strain A45</b>	<b>97.96%</b>
<b>D10(3-2)</b>	<b><i>Pseudomonas songnenensis</i> strain NEAU-ST5-5</b>	<b>97.66%</b>
D11	<i>Lechevalieria xinjiangensis</i> strain R24	84.13%
<b>D12</b>	<b><i>Azospirillum oryzae</i> strain NBRC 102291</b>	<b>97.76%</b>

表 5-12 Lindane 砂箱實驗之定序結果

亮帶編號	描述	鑑定
L1(3-1)	<i>Geothrix fermentans</i> strain H5	98.50%
L2	<i>Pelobacter acetylenicus</i> strain WoAcy1	93.27%
L3	<i>Methylobacter marinus</i> strain A45	84.80%
L4	<i>Acetobacterium fimetarium</i> strain DSM 8238	96.02%
<b>L5(O)</b>	<b><i>Methylobacter marinus</i> strain A45</b>	<b>97.77%</b>
L6(2-2)	<i>Bacillus pseudomycoides</i> strain NBRC 101232	97.21%
<b>L7(4-2)</b>	<b><i>Novimethylophilus kurashikiensis</i> strain La2-4</b>	<b>99.49%</b>
<b>L8(4-1)</b>	<b><i>Dyella flava</i> strain DHOC52</b>	<b>98.97%</b>
L9	<i>Dyella humi</i> strain DHG40	85.17%

D1 與 L1 為同菌種 *Geothrix fermentans* strain H5 為桿狀厭氧菌，該菌以使用電子接受者 Fe (III) 及其他高電位金屬能力而聞名，能使用各種基質作為電子供給



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

者(Nevin and Lovley, 2002)。定序出 D7 之菌種 *Sporomusa sphaeroides* DSM 2875 為格蘭氏陰性厭氧菌，是種能自甲醇產生乙酸鹽的細菌，也能利用氫與二氧化碳做為碳源與能量源(Möller et al., 1984)。定序出 D9 與 L5 之菌種 *Methylobacter marinus* strain A45 為格蘭氏陰性棒狀菌，而同一菌群之 *Methylobacterium* 菌群為兼性厭氧菌，能針對氯消毒副產物-三鹵甲烷與氯仿進行去除(Tsagkari and Sloan, 2019)。定序出 D10 之菌種 *Pseudomonas songnenensis* strain NEAU-ST5-5 為格蘭氏陰性，屬於假單孢菌屬之好氧性棒狀菌(Zhang et al., 2015)，其同一屬之 *Pseudomonas putida* 能脫氮也能使用硝酸鹽作為電子接受者以產生能量。為一種快速生長的細菌，經常自溫帶地區土壤(特別是受污染土壤)與水域中分離出來(Timmis, 2002)。定序出 L7 之菌種 *Novimethylophilus kurashikiensis* strain La2-4 為格蘭氏陰性菌，能自水稻根際土壤中分離出來且可利用單碳(C1)化合物(如甲烷和甲醇)作為唯一的碳源和能量源進行好氧降解(Lv et al., 2018)。定序出 L8 之菌種 *Dyella flava* strain DHOC52 為格蘭氏陰性菌，屬棒狀型好氧菌，其同一屬菌種 *Dyella ginsengisoli* 可自活性污泥中提出來，被鑑定為可利用聯苯作為唯一之碳源以及能量來源(Li et al., 2018)，也被鑑定出能利用土壤中微生物交互作用來降解 DEHP、PAHs、PCBs 等(Song et al., 2019)。

DDT 砂箱實驗中定序出菌種 D1、D7 之實驗條件為第一組：添加乳化液與馴養菌種，而 D9、D10 之實驗條件為僅添加馴養菌種。但砂箱實驗定序出來之菌種結果卻與批次降解實驗中 DDT 菌相結果並相同。DDT 降解效果最好組別為第一組，而第一組定序結果菌種 D1、D7 皆為厭氧菌，故可推測砂箱實驗第一組主要已厭氧反應為主；定序出菌種 D9、D10 之實驗組別為第三組：僅添加馴養菌種，D10 之菌種 *Pseudomonas* 為較常見之好氧降解菌群，與批次降解實驗之菌相結果相似，但 D9 之定序菌種 *Methylobacter marinus* strain A45 則在批次降解實驗中並沒有看到，且此菌種主要是以厭氧降解為主，代表 DDT 砂箱實驗第三組實驗中好氧/厭氧降解皆有反應。

Lindane 砂箱實驗中 L6、L7、L8 定序菌種皆為砂箱實驗中下層 DNA 萃取液，推測因菌種有重量會向下沉澱，故於下層 DNA 萃取液中可測得較多菌種。而 L7、L8 為同一實驗組別第四組：僅添加馴養菌群，L1 菌種 *Novimethylophilus kurashikiensis* strain La2-4 與 L8 菌種 *Dyella flava* strain DHOC52 皆為好氧菌群，代表第四組砂箱實驗主要以好氧降解途徑為主。

綜合批次生物降解實驗與砂箱實驗之菌相分析結果來看，二者所鑑定出來之菌相大不相同，僅有砂箱實驗中 D10 定序出之菌種 *Pseudomonas songnenensis* strain NEAU-ST5-5 與批次降解實驗中 D9 定序出之菌種 *Pseudomonas stutzeri* strain ATCC



17588 為同屬菌種。原因可能為添加進批次降解實驗之菌種為二仁溪採樣之河川底泥進行馴養，且大多數為厭氧降解之菌種；而砂箱實驗中使用目前無種植無使用之乾淨真實土壤，可能因放置數十年擁有較複雜之菌相，其中包含好氧與厭氧菌種，故二者菌相才有如此不同之結果。

#### 5.2.3.2. NGS 分析

NGS 分析部分因為費用較高，僅委外進行較佳組別之分析，如圖 5-11 所示。圖中 L 代表 Lindane，D 代表 DDT，第 1 個數字為原實驗組別，第 2 個數字為 1 是代表上層，1 是代表下層；L0 及 D0 是實驗最初添加之馴養菌群之菌相，而 L8 及 D8 則是原批次之 Lindane 與 DDT 田口實驗中最佳組別第 8 組之菌相。由門之層次進行分析結果顯示，同一組別之實驗砂箱上下層之菌相仍高度相似（縱向），而就菌相之分析看來（橫向），最大差異在於 *Acidobacter*、*Patescibacteria*、*Euryarchaeota*、*Bacteroidetes*、*Firmicutes* 及 *Proteobacteria* 這 5 門。另應注意之門為 *Chloroflexi*，因為近來很學者研究之 *Dehalococcoides* spp. 屬於此門，似乎 D4 與 L1 菌相中，*Chloroflexi* 門之菌群所百分比比較 L8 及 D8 稍高。

在屬之層次之分析結果如圖 5-12 所示，縱向看來，同一實驗組別之砂箱上下層之菌相仍高度相似，較為意外的是在 DDT 砂箱實驗中降解效果最佳的 D1 菌相居然與 L8 及 D8 最為相似而 L4 則與 L8 相差甚遠，且 D1 與 D8 相似度超過 L8，雖然在熱圖(Heat map)上並不明顯，但是以群集分析（cluster analysis）結果仍屬相似度較高；L0 與 D0 雖為馴養菌，但在砂箱實驗中，與進行實驗後之 L4 與 D1 呈現非常明顯差異。而就橫向之菌相分析看來，最大差異在於優勢菌屬在不同組別勢菌屬在不同組別之高低型態(patterns)間有明顯差異，兩原始馴養菌群雖各自在 Lindane 與 DDT 添加下馴養，但優勢菌群分布相似度頗高，最為特別的是 *Planococcaceae\_unclassified*、*Acetobacterium*、*Sporomusa*、*Achromobacter*、*Pseudomonas*、*Methylobacter* 與 *Methanosarcina* 這 7 屬（見圖 5-12 之 L0、D0、L8、D8）；其中，L 與 D 較大差異在於 *Acetobacterium*、*Sporomusa* 與 *Pseudomonas* 這 3 屬。其中，*Methylobacter* 與 *Methanosarcina* 之明顯差異似乎與田口實驗結束時，第 8 組在最後均完全呈厭氧有關，如圖 5-13 所示。將菌群差分布進行主成份分析時（見圖 5-14），可見 PC1（主成份 1）之兩極差異將砂箱實驗組別與原始馴養菌及田口實驗最佳組別分開，可見砂箱實驗與田口小型批次瓶中之模擬土壤中之實驗結果相去甚遠，且因砂箱實驗是摻雜有實際農地土壤原生菌群，也導致其大相逕庭，且由 PC1 已經可以解釋資料中 59.57% 之變異，可知此 PC1 為最主要差異處；相對地，PC2 僅能解釋 19.09% 之變異。且在 PC2 軸向，所有之砂箱實驗之菌相差異非常有限，但是原本馴養後用來植種之菌群與調整田口實驗中各組不同環境因



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

子導致最後演變之菌群之間有相當大之差別，且不論是在 Lindane 或是 DDT 之環境下，其演變是高度相似的。

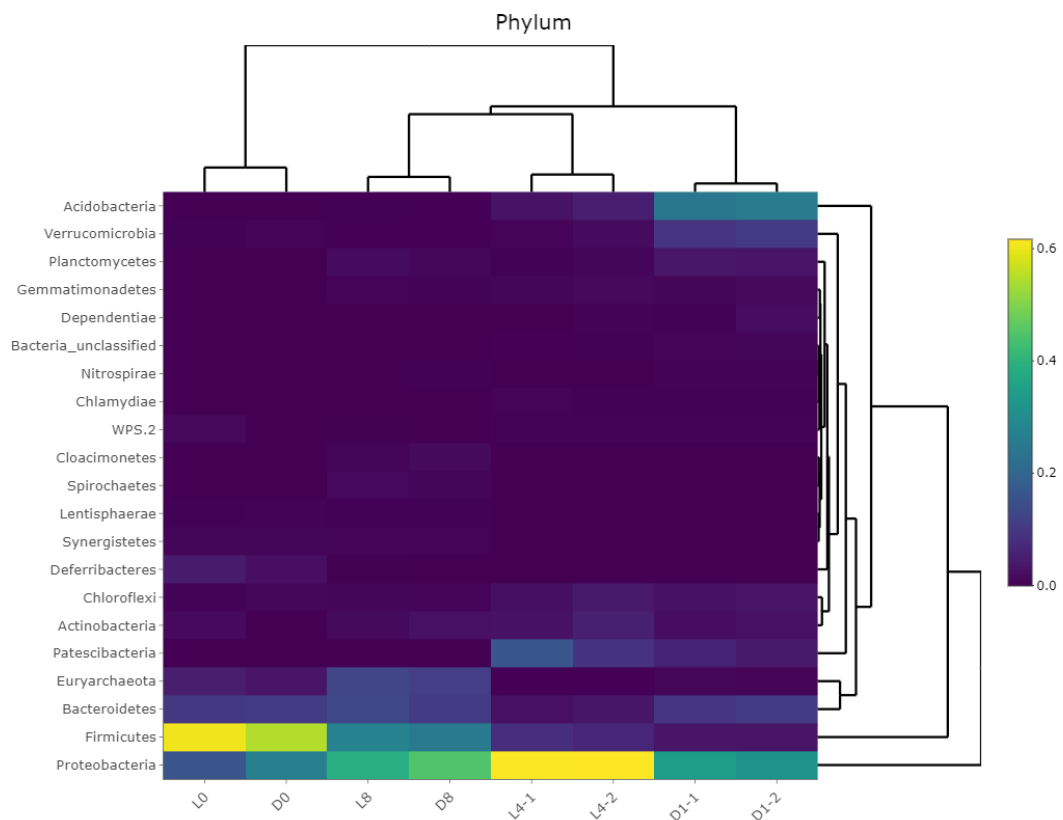


圖 5-11 砂箱試驗之較佳組別之 NGS 菌相在門之層次分析結果

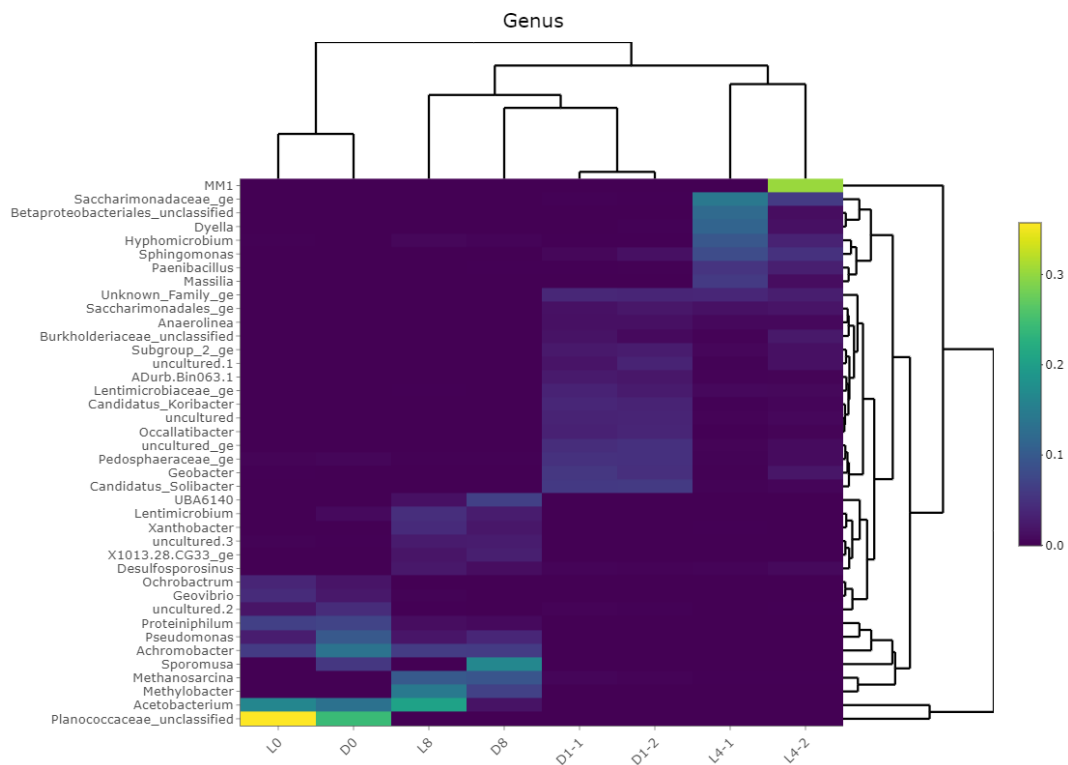
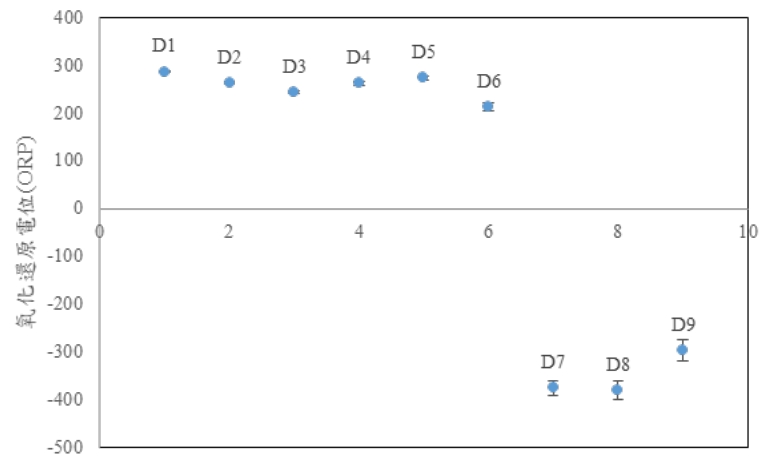






圖 5-12 砂箱試驗之較佳組別之 NGS 菌相在屬之層次分析結果

(a)



(b)

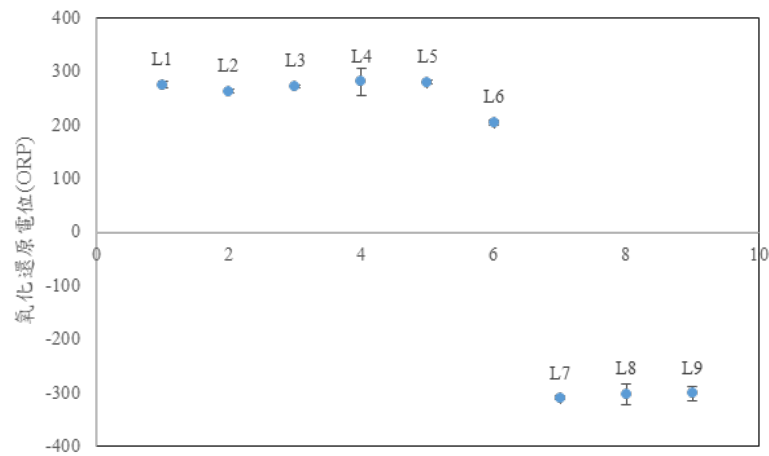


圖 5-13 DDT (a)與 Lindane (b)之田口實驗結束時各組別之氧化還原電位值



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

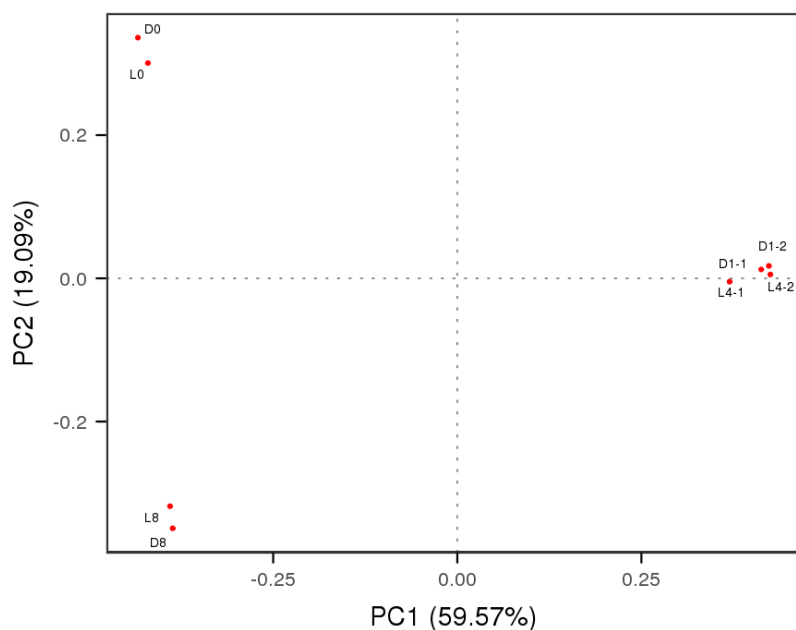


圖 5-14 各菌群之主成份分析結果

### 5.3. 二仁溪污染底泥整治之模場試驗

計畫團隊於接獲通知本計畫核定後，立即於 108 年 1 月赴二仁溪進行採樣與馴養菌群，並於 108 年 6 月完成第 1 次模場試驗，但因 2 月於現場進行 ISPIE 操作時因氣溫過低，15.6-17.6°C 之間致實驗結果不甚理想（中央氣象局, 2019），第 0 天之乳化液相反轉回收操作部分之回收率均非常不理想，其可能原因是因為試驗當天之天候相當異常，以往二仁溪附近在三月初之氣溫多在 30°C 左右，但今年 3 月 7 日當日氣溫介於過低，操作時之溫度必須比上一次低，但因當天氣溫低導致河水水溫相當低，底泥在人工撈出後也迅速降溫，在注入乳化液之後的 30 分鐘靜置時間中，管柱內整體溫度可能因底泥之低溫以及外界低氣溫造成迅速降溫，乳化液可能在注入後已經立即進行相反轉，而非在注入追加之冷水時才進行相反轉，故效果相當差。

鑒於第 1 次模場試驗效果不佳，故於 108 年 7 月進行第 2 次模場試驗，進行第 2 次模場試驗前，針對第一次模場試驗之 ISPIE 在現場回收項果不佳，先行在實驗室以現場風化底泥先進行部 PIT 溫度較低之乳化液之 ISPIE 操作測試，其結果如圖 5-15 所示。PCB 之單次 ISPIE 之去除率達到  $85.3 \pm 10.3\%$ ，此結果為歷來最佳之去除率；但是因為風化底泥中 HCB 之濃度過低，無法有效以 ISPIE 去除，去除率為 0%。由此可知，ISPIE 法最適用於中高濃度之 PCBs 與 HCB，對於相對低濃度之疏水性污染物則是效果非常有限。

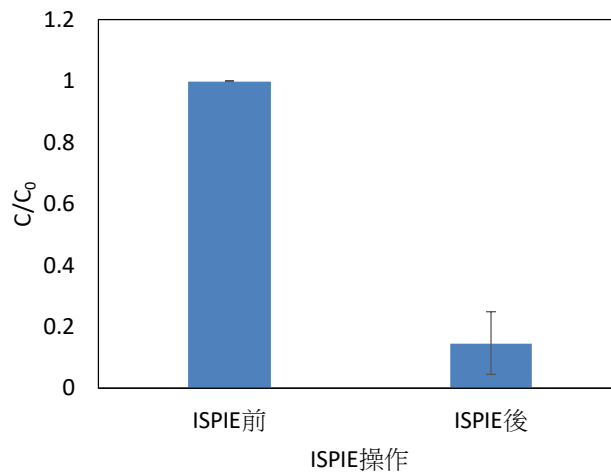


圖 5-15 ISPIE 操作之移除程度

此外，計畫審查委員曾要求對於在進行 ISPIE 實驗時之管柱內部進行溫度量測，因此進行 2 重複之溫度量測，其結果如圖 5-16 所示。上下層底泥之起始溫度均為  $29.3^{\circ}\text{C}$ ，在第 3 分鐘後兩者溫度就沒有顯著差異，直到結束。較令人意外的有兩點，一是下層底泥增溫幅度非常有限，平均最高溫僅約  $51.5^{\circ}\text{C}$ ；一是下層降溫遠比上層迅速且最終溫度較上層為低，且在第 11 分鐘左右就已經形成溫度交叉現象。下層之熱不斷向上方傳輸，溫度範圍介於  $34.0\text{-}51.5^{\circ}\text{C}$ ，上層之溫度介於  $37.0\text{-}40.5^{\circ}\text{C}$ 。由此溫度可推測現場 ISPIE 之溫度影響結果極大。前一節之乳化液系統可以有較佳之回收率之最可能原因即在於其相反轉溫度約在  $40^{\circ}\text{C}$ ，而整支管柱溫度在  $40^{\circ}\text{C}$  以上之時間僅有數分鐘，如果開發出相反轉溫度在  $35^{\circ}\text{C}$  左右之乳化液配方，則可使管柱中乳化液在冷水尚未注入時幾乎均可保持在 PIT 溫度以上，應可大幅改善回收效率，甚至達到單次 ISPIE 即可超過 90% 之平均回收率。此外，此種增溫與目前在實驗室中進行 TCE 降解菌熱篩之情況差異甚大，將不足以篩選出耐高溫之極端菌，僅能略微調整菌相而已，此部分將在 NGS 結果分析部分繼續討論。

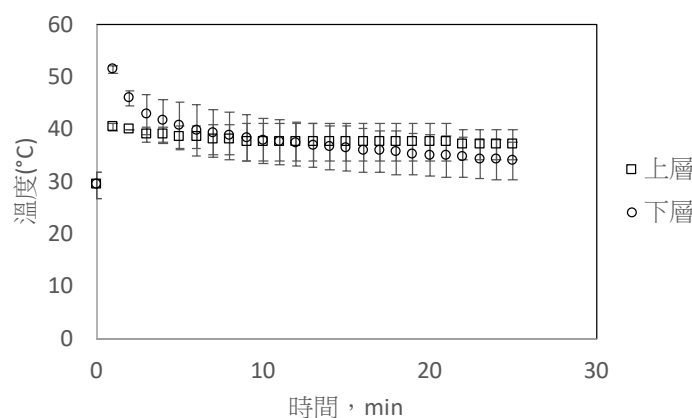


圖 5-16 ISPIE 操作過程中上層底泥中溫度變化



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

若要增加上下層溫差或是延長處於高溫之時間，必須針對提高乳化液初始溫度、底部持續加熱、上方添加冷水等多個方向嘗試，但此計畫時間已屆，故將於下年度計畫中持續進行。

第2次模場試驗前先取出超過所需之三桶底泥，先進行濃度測定，將濃度最高之一桶做為風化樣品以裝填管柱，最低之一桶做為添加樣品使用，以避免風化樣品中濃度過低之情況。但後來發現，即使如此，PCBs之濃度與往年相較，仍僅有約10-20%之濃度，在ISPIE操作後，已經大部分低於管制濃度，但迫於時效，僅能盡量完成試驗。以下先針對現場ISPIE之結果進行討論。PCBs部分之結果如圖5-17所示，風化部分之WNR部份兩管柱顯著較低，WBK與WBS顯著較WNR為高，WBK與WNR即WBS有顯著差異，WBA之回收結果則是誤差較大，與其他無顯著差異。添加組中則是FNR顯著較FBK即FBA為低，而且因為FBK比其他有進行ISPIE之3組顯著較高，可之ISPIE操作有造成顯著之去除果，但是這是風化組部分未能完全確認的。若將風化組( $65 \pm 27\%$ )與添加組( $74 \pm 7\%$ )進行比較，如圖5-18所示，可見兩組之去除率並無顯著差異。但是兩組有較大差異在於添加組之誤差值較小，風化組誤差相當大，這可能是由於添加組在加入PCBs時必須加入甲醇助溶與均勻分散於底泥中，在ISPIE操作時，接觸較為均勻，故誤差值較小，而風化之PCBs在底泥中之分布可能極度不均勻所致。

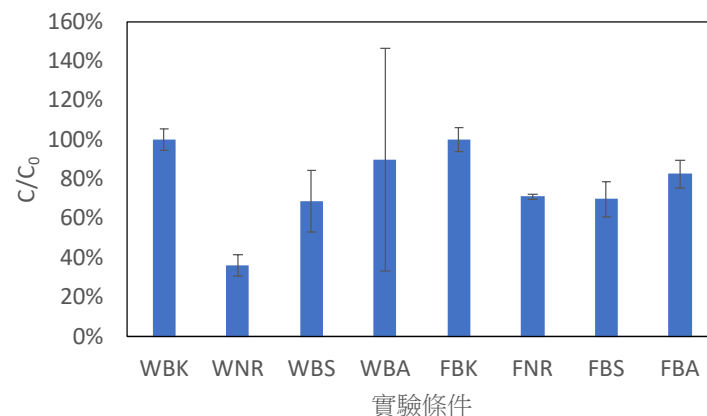


圖 5-17 ISPIE 操作過程後底泥管柱中 PCBs 殘餘量

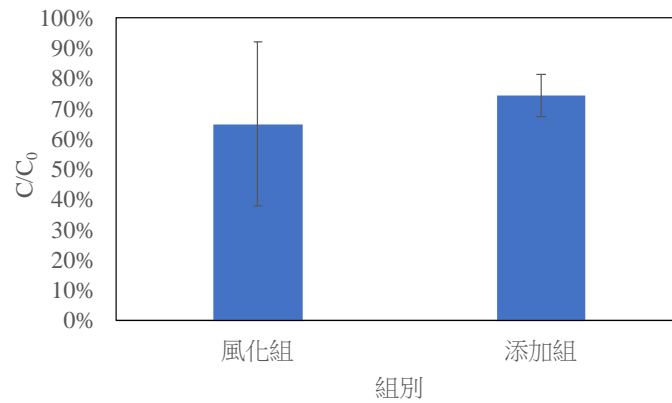


圖 5-18 ISPIE 操作過程後兩組別底泥中 PCBs 殘餘量

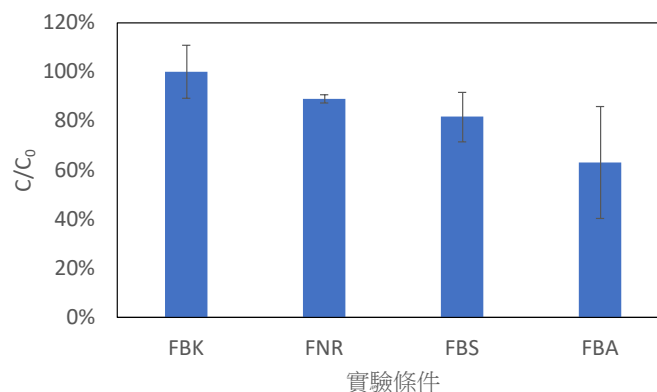


圖 5-19 ISPIE 操作過程後各組別底泥中 HCB 殘餘量

HCB 部分因為風化組中之濃度過低，無法有效定量，此處僅針對添加組進行討論。HCB 添加組中各不同實驗條件下之 HCB 殘餘量如圖 5-19 所示。其中僅有 FBA 顯著較 FBK 為低，其餘均無明顯差異。若是比較 PCBs 與 HCB，PCB 添加組為之殘餘量為  $74 \pm 7\%$  而 HCB 為  $78 \pm 13\%$ ，PCBs 似乎略佳，但是差異並不顯著。

整體而言，ISPIE 之效果遠不如在實驗室中以風化之底泥進行 PCBs 回收去除之情況，當時僅剩下  $14.7 \pm 10.3\%$ ，但實地進行時，卻有效果明顯降低之情況，最可能之原因為溫度控制更為不易，未能有效形成水在油中之乳化液；另一原因為現地模場試驗所用之風化底泥中之 PCBs 與 HCB 之濃度更低，而實際底泥中不僅有 PCBs 與 HCB 疏水性污染物，尚有其他高疏水性污染物存在，在相對濃度較低之情況下，PCBs 與 HCB 將面臨競爭而不易回收。

### 5.3.1. 模場試驗之後續生物降解

#### 5.3.1.1. PCBs 之後續生物降解

經過 ISPIE 之後，繼續監測 70 天之風化組與添加組之情況如圖 5-20 與圖 5-21 所示，PCBs 趨勢仍與第 1 次模場試驗模場試驗之情況相似，WBK 與 WNR 均有





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

逐漸上升之情形，而 WBS 與 WBA 則是維持在 100% 左右，其中 WBS 似乎表現最佳，在第 1 次模場試驗之結果也是以 WBS 最佳（見圖 5-21）。而添加組部分則是均有下降，其中以移除率是以 FBK 最高（見圖 5-22），但因起始濃度高，最終濃度仍以 FBK 最高，其次降解最多 FBA，雖然最終濃度仍以 FBK 最高，因為此組並未進行 ISPIE，故起始濃度較高。第 1 次模場試驗添加組則是以 FNR 效果最佳，FBA 次之（見圖 5-23）。

然而，整體而言，此結果與 2 年前以較高 PIT 溫度乳化液之回收與去除效果相差甚多（70 天可去除 98%），最主要原因為溫度以及污染物濃度。2 年前第 1 次試驗之乳化液 PIT 溫度較高，且當天操作時氣溫非常高，達到 31°C 以上，乳化液在管柱中保溫較為容易。今年初第 1 次模場試驗因當天氣溫過低無法有效回收 PCBs 與 HCB，第 2 次則是當天氣溫已經相當高(26-32°C)，但回收仍未臻理想，與實驗室中之測試相差相當多，但已經較今年第 1 次模場試驗為佳。其次，為濃度問題，2 年前第 1 次模場試驗之污染物濃度為此次試驗之 10 倍左右，而實驗室中測試用底泥為污染物濃度較高之底泥，故回收可能相對較容易。此外，實驗室中進行回收作業測試時，是從 100°C 熱水器中直接取水稀釋乳化液，溫度較容易控制，可能也是主要因素之一。

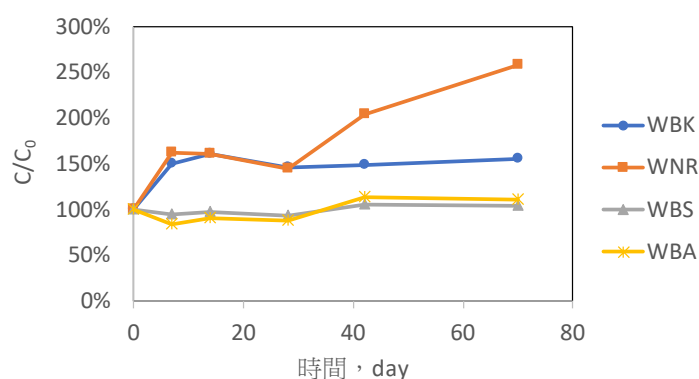


圖 5-20 第 2 次模場試驗之後續 BiRD 中 PCBs 風化組之各實驗條件下降解趨勢

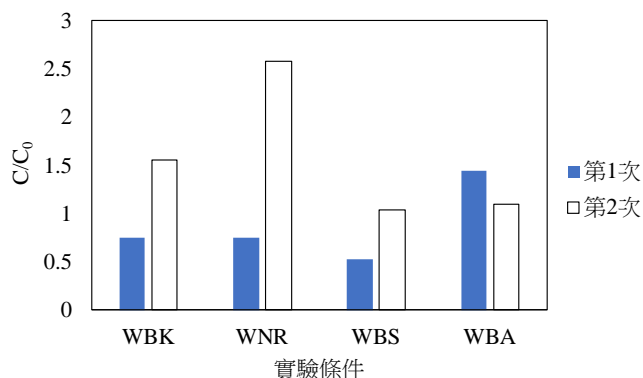


圖 5-21 風化組第 1 及第 2 次模場試驗後續 BiRD 之 PCBs 最終殘餘濃度

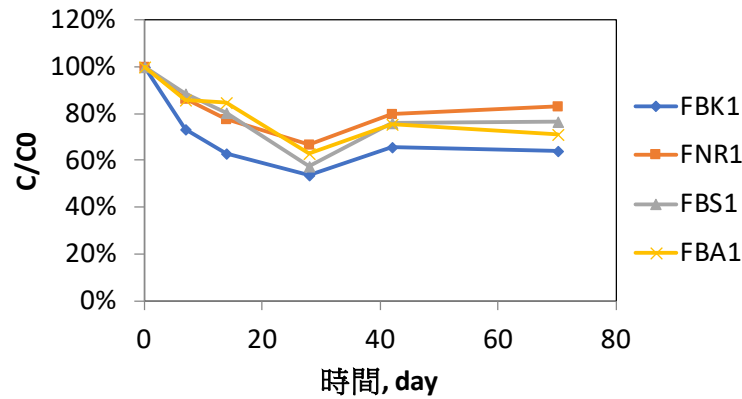


圖 5-22 第 2 次後續 BiRD 中 PCBs 添加組之各實驗條件下降解趨勢

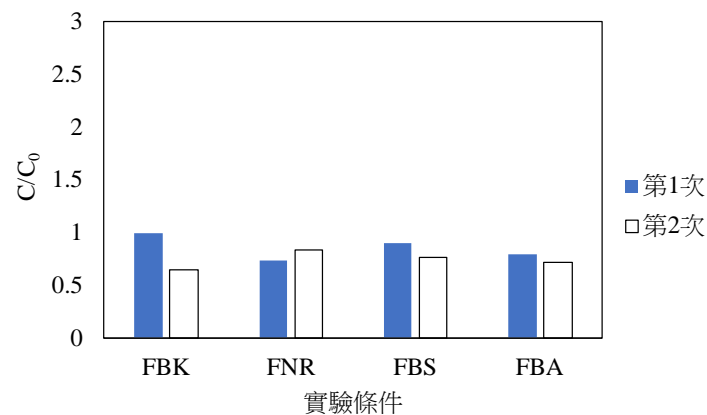


圖 5-23 添加組第 1 及第 2 次模場試驗後續 BiRD 之 PCBs 最終殘餘濃度

### 5.3.1.2. HCB 之後續生物降解

第 2 次模場試驗之 HCB 雖回收不佳，但是後續之生物降解仍均有下降，但若是與 FBK 比較，似乎下降幅度相仿（圖 5-24），表示 ISPIE-BiRD 效果不佳。與 2 年前使用 PIT 溫度較高之乳化液之效果比較，效果相當，該次模場試驗之 ISPIE 去

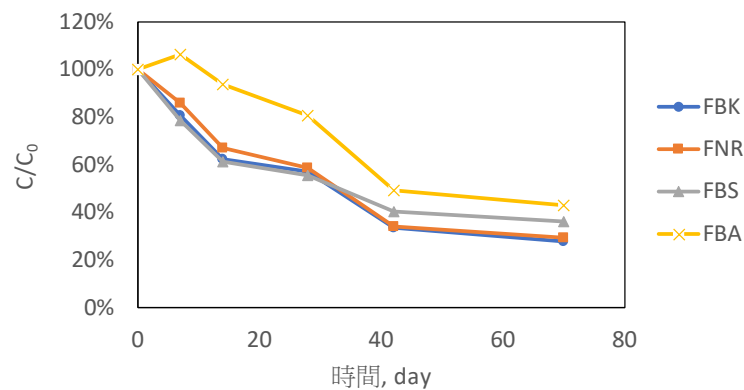


圖 5-24 後續 BiRD 中 HCB 添加組之各實驗條件下降解趨勢



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

除非常有限， $C/C_0$  為 77.6%，而此次約為 77.8%。後續之生物降解，前次 FNR、FBS 及 FBA 之 BiRD 去除率為 52%、37% 及 62%，此次模場試驗則是 71%、64% 及 59%。因此，可以推論以較低 PIT 之乳化液進行新鮮添加（剛剛污染之底泥）是比使用較高 PIT 之乳化液為佳。

### 5.3.2. PCBs 與 HCB 之 NGS 菌相分析

由於第二次模場試驗完成日期已經接近 10 月，但是 NGS 分析通常需要 2.0 個月，因此目前僅能提供今年第 1 次模場試驗之菌相分析結果，如圖 5-25 所示。圖中前 3 個英文字母代表樣品，其後之數字代表時間，0 代表第 0 天之菌相，70 代表第 70 天之菌相。由門之層次進行分析結果顯示，縱向之分析顯示，第 0 天與第 70 天分為 2 個群集，相當合理，而第 70 天之菌相則是 WNR 接近 WBK 也相當合理。橫向分析各門之菌在不同樣品之型態可知：*Bacteroidetes*、*Chloroflexi*、*Epsilonbacteraeota* 與 *Proteobacteria* 有較大之差異。應注意之門為 *Chloroflexi*，因為近來很學者研究之 *Dehalococcoides* spp. 屬於此門，但是此處可見 *Chloroflexi* 在第 70 天明顯占比變少。

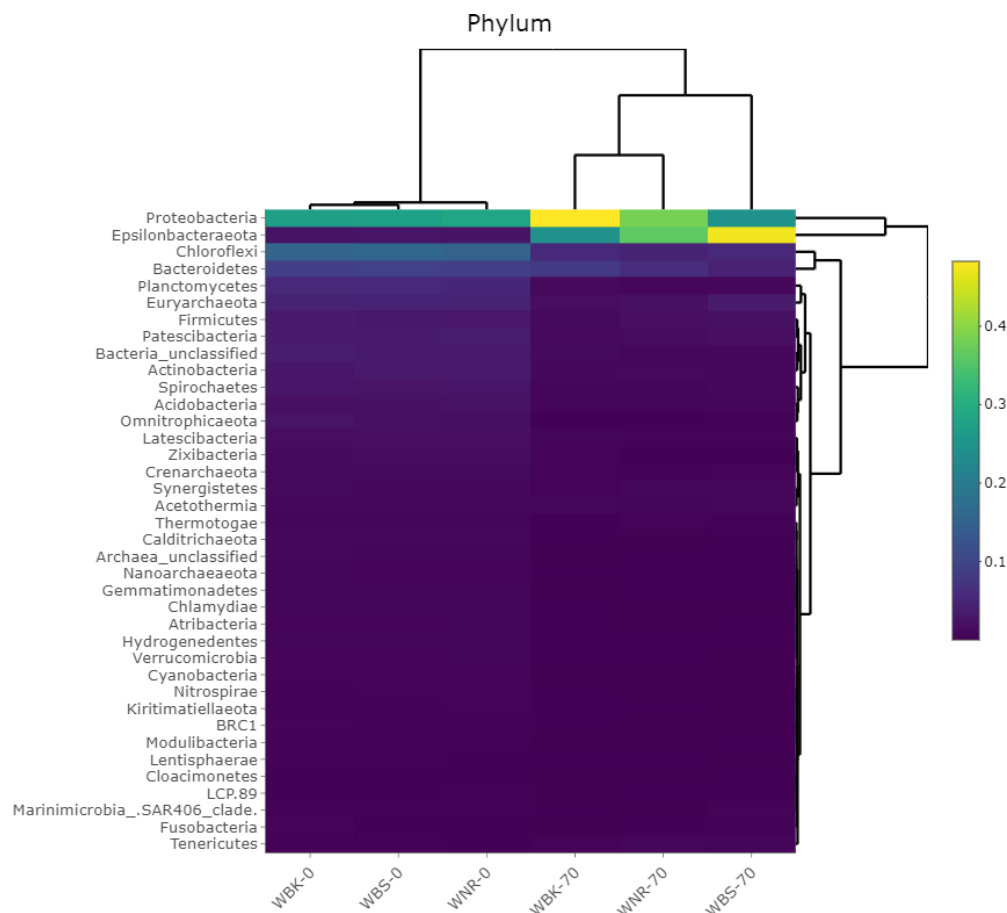


圖 5-25 模場試驗 PCBs 之 NGS 菌相在門之層次分析結果



在屬之層次之分析結果如圖 5-26 所示，縱向看來，第 0 天與第 70 天之樣品仍是分為 2 個群集，相當合理，而第 70 天之菌相仍是 WNR 接近 WBK 也相當合理。最明顯差異可能是在圖下方之菌屬，如 *Sulfurimonas*、*Thioalkalispira*、及 *Marinobacter*，其中尤以 *Sulfurimonas* 在 70 天後增加幅度最大（見圖 5-27）。以今年第 1 次模場試驗中最中去除率最佳之 WBS 為例（見圖 5-21），在第 0 天時，*Sulfurimonas* 菌屬之 16S rRNA gene copy 數僅占 0.6%，但在第 70 天，擴充到 46% 之多。國際間，曾有學者報導以海水底泥進行 PCBs 降解時發現 *Sulfurimonas* 菌屬為其中之優勢菌(Matturro et al., 2016a)；曾有學者報導：當 Perfluorooctanoic acid (PFOA) 為 perfluoroalkyl acids (PFAAs) 之主要污染物時，*Sulfurimonas* 菌屬會成為優勢菌屬之一(Sun et al., 2016)。前年度計畫中 *Sulfurimonas denitrificans* strain DSM 1251 及 *Sulfurimonas gotlandica* strain GD1 軍為主要菌群。*Sulfurimonas denitrificans* DSM 1251 在 2007 年之前為 *Thiomicrospira denitrificans*，在 2007 年重新分類為目前之名稱，屬於化學自營菌之一種，可行  $\text{CO}_2$  之固碳作用（即利用空氣中  $\text{CO}_2$  做為碳源），可利用還原態之硫（如  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 、 $\text{S}^\circ$ ）、還原態之鐵（如亞鐵離子、過硫化鐵等）、還原態之氮（如  $\text{NH}_3$ 、 $\text{NO}_2^-$ ）及氫氣作為電子供給者。近期學者研究發現在海水底泥中此菌可以利用額外提供之乳酸鹽降解多氯聯苯，而且此屬之菌可占有所有 OTUs（operational taxonomy units）約 60% 左右(Matturro et al., 2016b)。此菌也在海底熱噴泉中可被發現(Huber et al., 2003; Reysenbach et al., 2000)，可耐高溫之環境，由於現地環境為感潮河段，鹽度約為 50% 海水鹽度，故也可能是因熱篩後，此菌屬遂成為主要之優勢菌群。



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

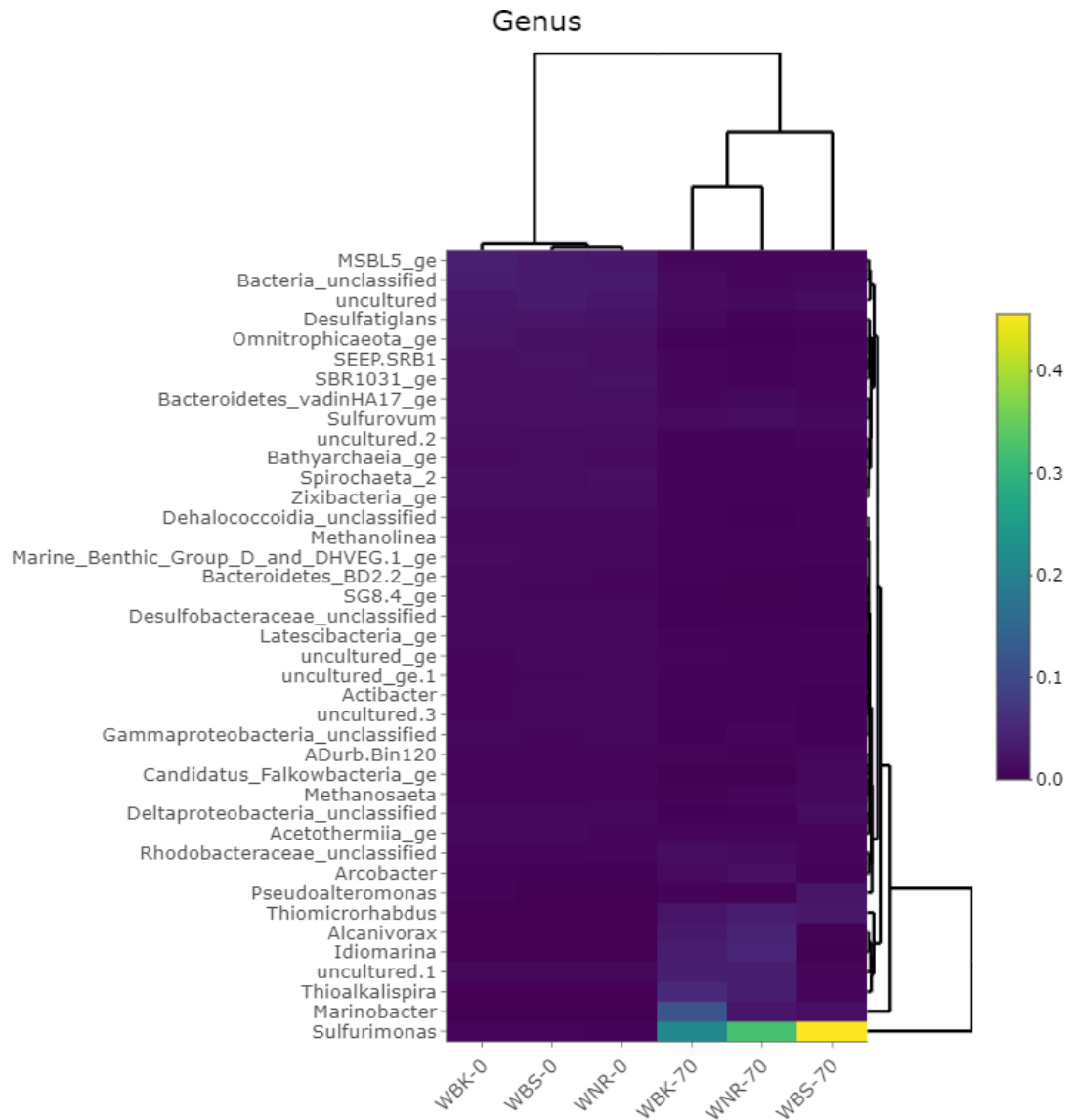
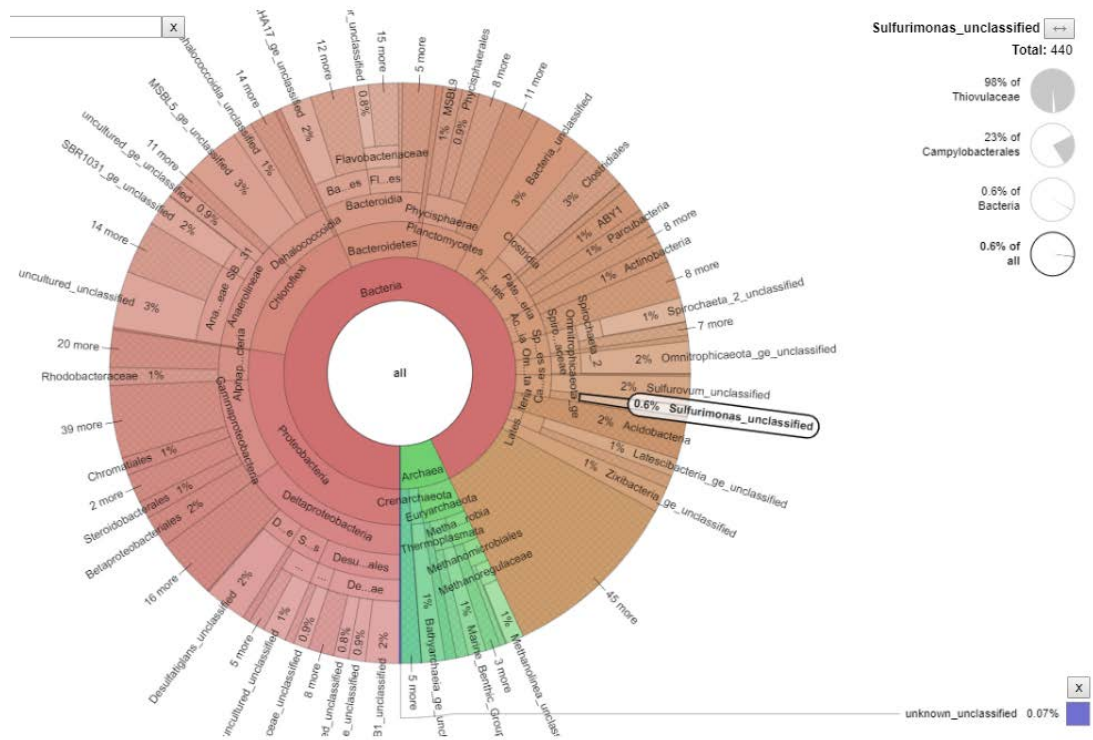


圖 5-26 模場試驗 PCBs 之 NGS 菌相在屬之層次分析結果

(a)





(b)

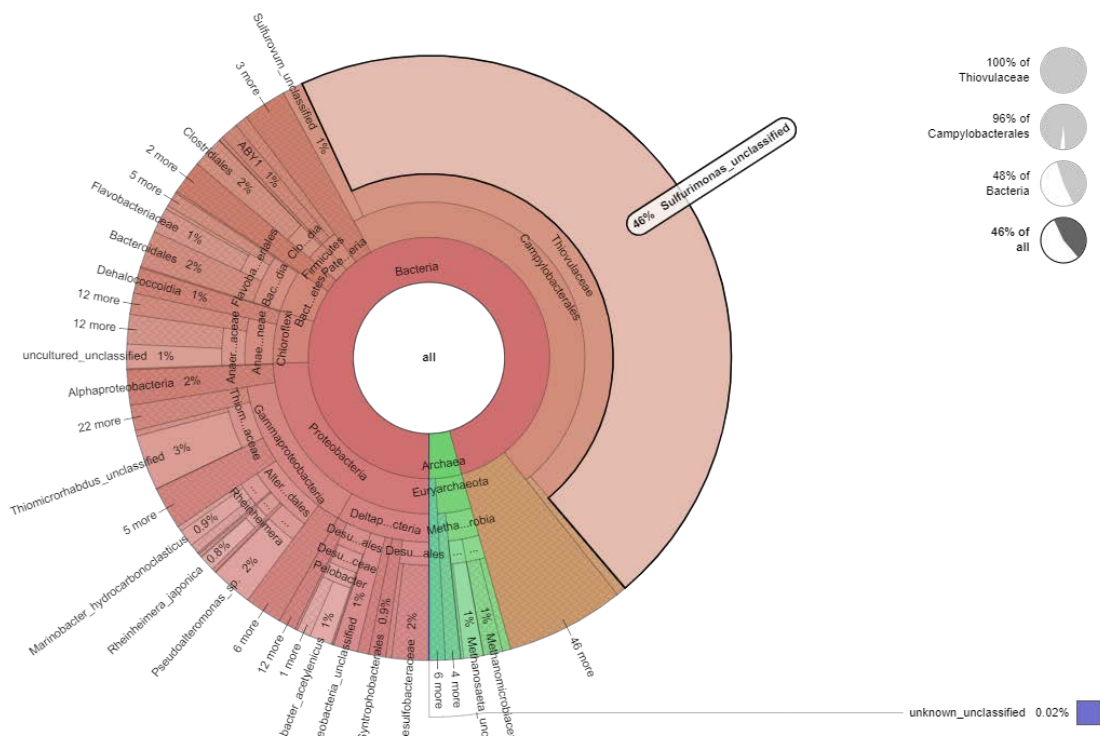


圖 5-27 WBS 中 PCBs 之 *Sulfurimonas* 屬在第 0 天(a)及 70 天(b)之情況



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

#### 5.4. 熱篩菌群降解之戴奧辛批次分解研究

本計畫原本僅針對前一年度單一條件熱篩進行戴奧辛分解似乎有效之情況，進一步設定八種熱篩條件進行菌群篩選，所篩選出來之菌群進行戴奧辛之批次降解實驗；此外，也針對前一節二仁溪底泥模場試驗進行定期採樣之底泥樣品進行類戴奧辛物質之檢測；復由於此次模場試驗之起始濃度過低，故也將針對表層底泥在不同深度之戴奧辛濃度檢測，以進一步了解模場之場址內戴奧辛分布。

##### 5.4.1 熱篩菌群之戴奧辛批次降解研究

本計畫熱篩菌群之條件如表 5-13 所示，即在 4 種不同溫度，2 種不同停留時間下進行熱篩，熱篩後之菌群即直接進行戴奧辛之批次降解研究，以模擬現場進行熱篩之情況。目前完成三個時間點之採樣分析，結果如圖 5-28。由此圖可見，應以 60°C 進行熱篩，無論是 30 分鐘或是 60 分鐘，效果較佳，其中尤以 60°C 下熱篩 60 分鐘之組別最佳，其半生期約為 36 天，此部分之結果與本實驗室另外進行三氯乙烯分解菌群熱篩及批次降解實驗之結果，相當一致，三氯乙烯降解菌群之最佳熱篩條件為 65°C 且暴露時間為 45 分鐘左右。較令人意外的是 120°C 下熱篩之菌群在不同熱篩暴露時間組別中，均分居第 2 名。此部分在三氯乙烯降解菌群之熱篩實驗時並未進行，能夠在如此高溫情況下仍能純活之菌群可能大部分為極端菌 (extremophiles)，這類菌種中大部分為古細菌。尤有經過熱篩之菌群明顯優於未熱篩之菌群，故大致可得到 3 點結論，即熱篩後菌群之降解戴奧辛能力明顯優於未熱篩之菌群，且熱篩之較佳條件是在 60°C，時間在 30-60 分鐘之間均可，其半生期約為 36 天，亦即以熱篩菌進行現地整治，可能在 1.0 年內將濃度降至 1/1024 (按：一年約 360 天為 36 天之 10 倍，而  $0.5^{10}=1/1024$ )。

表 5-13 底泥中戴奧辛物降解批次實驗條件及實驗結果

組別	熱篩溫度(°C)	停留時間 (min)	$k(d^{-1})$	$t_{1/2}(d)$
1	60	30	0.01594	43**
2	80	30	-	NA*
3	95	30	0.00287	241
4	120	30	0.00526	132
5	60	60	0.01913	36**
6	80	60	0.00113	613
7	95	60		
8	120	60	0.00247	280
9	常溫	NA	-	NA*

註：\*表示濃度並未下降，無法計算。\*\*表示該次測值之 OCDD 單一項目回收率未達標準，但誤差相當有限，故仍列入供參考。

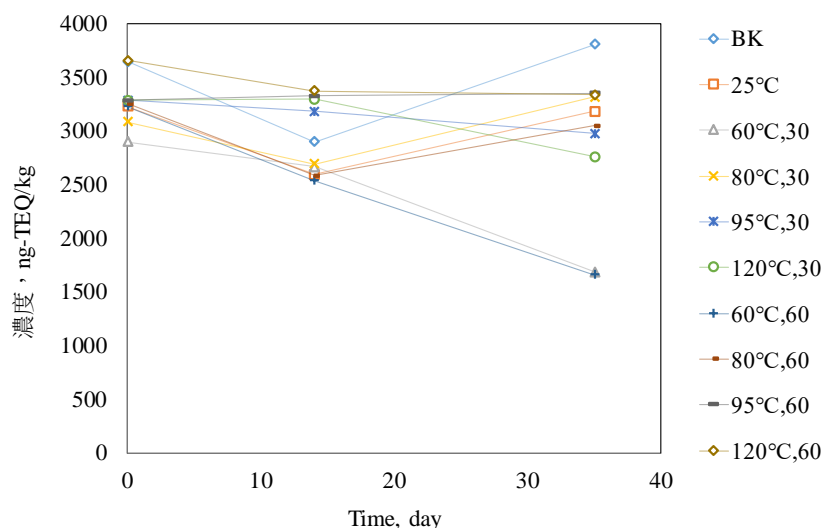


圖 5-28 戴奧辛之降解趨勢圖

由於資料量相當龐大，此處僅將 60°C 進行熱篩 60 分鐘之組別中各種類戴奧辛物質之毒性當量濃度降解情形提供如圖 5-29 所示。其中最明顯下降者為 OCDD 與 OCDF，此與生物厭氧還原脫氯是以含氯數最高之分子之降解速率較快之趨勢相符合。

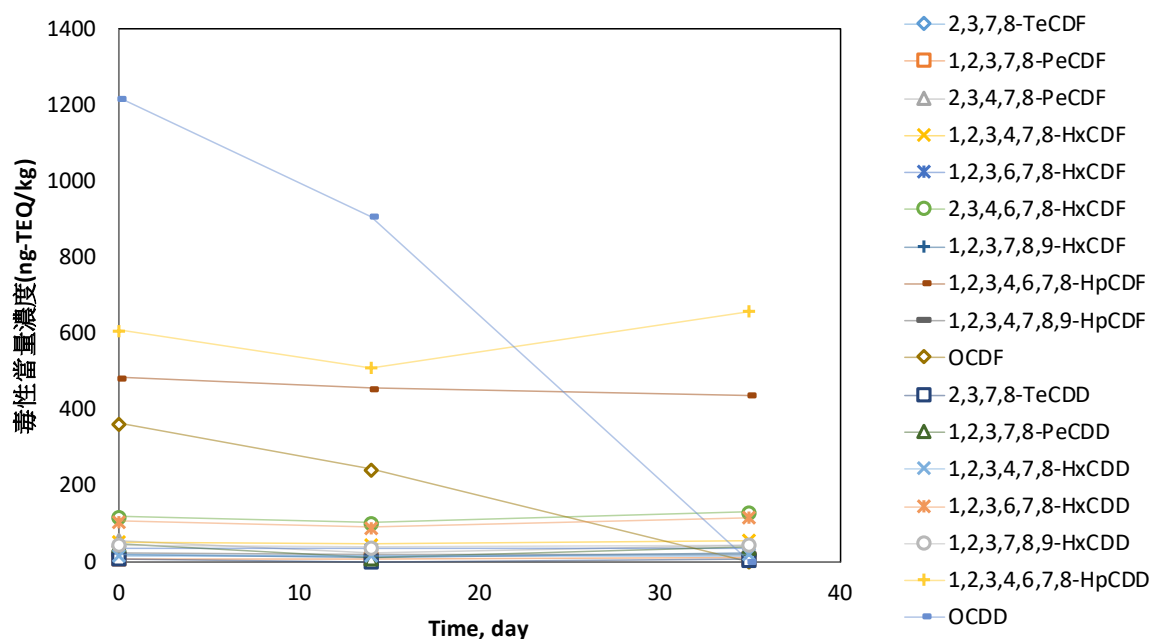


圖 5-29 60°C 下進行熱篩 60 分鐘之菌群之類戴奧辛物質之降解情形

#### 5.4.2 二仁溪模場之戴奧辛整研究

由於最初自二仁溪模場取樣之底泥中含有約 120 ng I-TEQ/kg 之戴奧辛，已經超出目前「底泥品質指標之分類管理及用途限制辦法」(101.01.04 公告施行)之 68.2



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

ng I-TEQ/kg 之上限值。故認為可藉由正在進行之模場試驗之定期採樣可順便檢測風化組中各底泥樣品中的戴奧辛，但實際開始進行檢測分析後才發現此次模場試驗之底泥中初始濃度為 5.7 至 68.0 ng I-TEQ/kg 不等，但既然開始，就仍繼續進行分析，所得結果如圖 5-30 所示。WBS 組與 WNR 組效果不佳，但是 WBA 組與 WBK 組則相對較佳。其中，WBA 組效果最佳。學者曾經估計底泥中類戴奧辛物質之半生期如表 5-14 所示(Sinkkonen and Paasivirta, 2000)，其半生期大多介於 150,000 h 至 2,400,000 h，亦即 6,250 天至 100,000 天之間，另有日本學者報 2378-TCDD 之最佳厭氧分解半生其約為 1.0 year(Matsumura et al., 1983)。以上結果與文獻比較為其 0.015% 至 4.1% 之間，此預先試驗結果較目前文獻報導值高出甚多，但與前一節之批次實驗中 60°C 下熱篩 60 分鐘之組別之半生期 36 天比較，是其半生期之 42%。若是僅就批次降解（有如添加組之生物擴增）與現場風化戴奧辛（較類似風化組之生物擴增）之降解而言，其略為改善之情況，也與之前風化之 PCBs 及 HCB 較添加之 PCBs 及 HCB 效果更佳之結果，相當類似。雖然效果相當好，但因經費有限，為節省經費，故將每一組 2 根管柱共六個樣品進行均勻混合取樣後，再進行所有戴奧辛樣品之前處理步驟，所以即使並非三重複樣品，仍應具有相當高可信度。建議進行針對戴奧辛污染底泥整治之模場試驗。

現地模場實驗各組別之毒性當量變化如圖 5-31 所示，最佳降解組別為生物刺激組，而風化回收組總毒性當量濃度飆高，是因為高氯數之同源物被降解為低氯數之同源物，故造成總毒性當量濃度上升之趨勢；風化回收組之 17 種同源物樣品濃度去除率如 5-32 所示，實驗於第 35 天之 OCDF 及 OCDD 樣品濃度去除率為 **93.6 %** 及 **82.8 %**，且觀察到 1,2,3,7,8,9-HxCDF、1,2,3,4,7,8- HxCDD、1,2,3,6,7,8-HxCDD 及 1,2,3,7,8,9-HxCDD 有明顯累積之情況。

假設其降解遵循一階動力模式，在保守估計下(僅以時間 0、14 及 35 天資料估計)，最佳降解組別為生物刺激組，其降解常數  $k$  值為  $0.0097(d^{-1})$ ，半衰期為 71 天或 1704 小時，如表 5-15 所示。將此半生期與文獻其他底泥中類戴奧辛同原物之半生期比較可之本研究之半生期明顯較短，如 OCDD 與 OCDF 在本研究中之半生期分別為 8.8 及 13.8 天，或是 211 及 331 h，與表 5-15 比較可知本實驗室之極低濃度下之 OCDD 與 OCDF 半生期約為文獻中之 0.084% 及 0.025%，雖然表 5-15 是估計在 7°C 下之情況，即使依據估算  $Q_{10}$  規則計算，仍為 0.34% 及 0.10%。在彙整戴奧辛厭氧環境下之生物降解文獻後（表 5-16），可見本研究在二仁溪底泥中進行模場試驗以 ISPIE/BiRD 應用之結果，即使在回收狀況不佳之情況下，其降解速度仍相當快速。

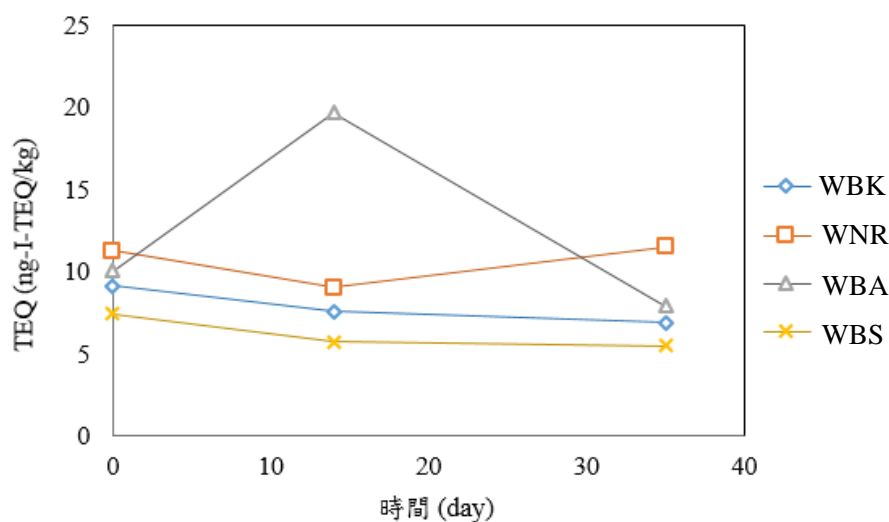


圖 5-30 二仁溪底泥中戴奧辛濃度在不同試驗條件下變化情形

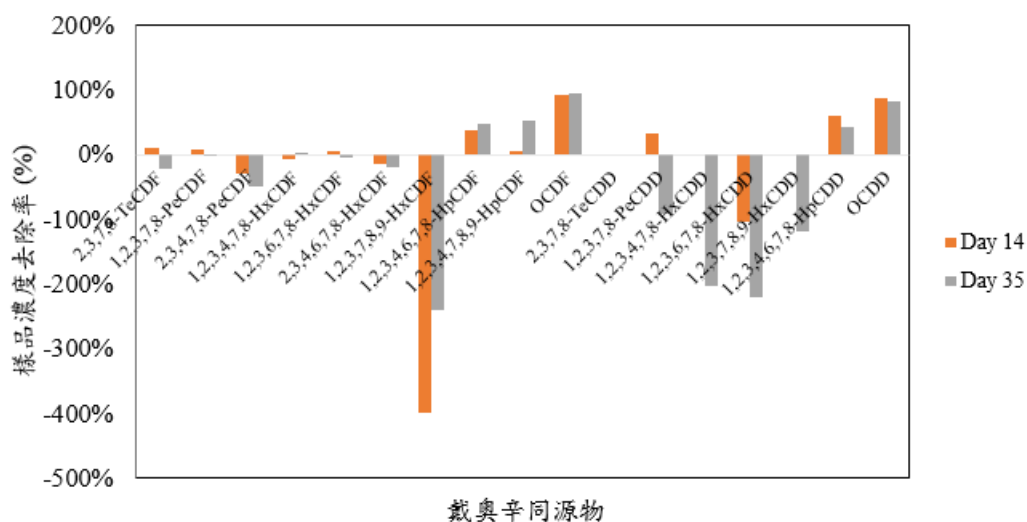


圖 5-31 風化回收組 17 種同源物樣品濃度去除率

表 5-14 現地模場實驗各組別之 k 值及  $t_{1/2}$ 

實驗組別	$k$ ( $d^{-1}$ )	$t_{1/2}(d)$	$t_{1/2}(h)$
WBK	0.0077	90	2160
WNR	-0.0015	無法計算	無法計算
WBS	0.0097	71	1704
WBA	0.0081	85	2040





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

表 5-15 文獻中戴奧辛同源物之半生期(以全年平均氣溫為+7°C 估計，單位：h)

Compound	Air	Water	Soil	Sediment
2378-TeCDD	200	4000	900 000	900 000
12378-PeCDD	360	7200	1 000 000	1 000 000
123478-HxCDD	740	14 800	2 400 000	2 400 000
123678-HxCDD	740	14 800	550 000	550 000
123789-HxCDD	740	14 800	700 000	700 000
1234678-HpCDD	1500	30 000	900 000	900 000
OCDD	3950	79 000	1 300 000	1 300 000
2378-TeCDF	320	6400	550 000	550 000
12378-PeCDF	660	13 200	450 000	450 000
23478-PeCDF	660	13 200	550 000	550 000
123478-HxCDF	1400	28 000	600 000	600 000
123678-HxCDF	1400	28 000	700 000	700 000
123789-HxCDF	1400	28 000	500 000	500 000
234678-HxCDF	1400	28 000	450 000	450 000
124678-HxCDF	1400	28 000	500 000	500 000
123468-HxCDF	1400	28 000	450 000	450 000
124689-HxCDF	1400	28 000	150 000	150 000
1234678-HpCDF	3200	64 000	350 000	350 000
1234789-HpCDF	3200	64 000	300 000	300 000
1234689-HpCDF	3200	64 000	200 000	200 000
OCDF	9600	192 000	250 000	250 000

表 5-16 戴奧辛厭氧環境下之生物降解文獻彙整

目標污染物	濃度	狀態	微生物	天數	降解效果	參考文獻
PCDD/Fs	61.5 pg-I-TEQ/g soil	-	Fungi PL1 (with 0.1% surfactant)	30	90 %	(Tachibana et al., 2007)
PCDD/Fs	200 pmol g dry wt	Semi-aerobic	<i>Dehalococcoides</i>	365	85 %	(Narihiro et al., 2010)
	830 pmol g dry wt	fed batch composting			84 %	
PCDD/Fs	OCDD : 250 ~ 350 $\mu$ mol/kg-dry slurry ; OCDF : 65 ~ 85 $\mu$ mol/kg-dry slurry	Hypoxic condition (CSTR 系統)	受五氯酚污染場址之土壤菌群	280	OCDD : 55.6 % OCDF : 47.7 %	(Wu et al., 2019)
PCDD/Fs	1018.3 WHO-TEQ ng/kg-ash	solid state fermentation under laboratory condition	with 4 bacterium and 5 Fungus (microbial biocatalyst)	21	66.7 %	(Nam et al., 2008)
OCDD	20 mg/kg	Anaerobic condition (lab)	<i>Pseudomonas mendocina</i> NSYSU (with lecithin)	75	75 %	(Tu et al., 2014)
OCDF	10.8 mg/kg	Anaerobic condition (lab)	<i>Pseudomonas mendocina</i> NSYSU (with lecithin)	64	68 %	(Lin et al., 2017)
PCDD/Fs	~10 ng-I-TEQ/kg	Anaerobic condition 現地模場試驗	現地二仁溪底泥菌群	35	<b>OCDD: 82.8 %</b> <b>OCDF: 93.6 %</b>	this study



## 5.5 土壤整治技術之風險評估

本計畫應用 106 年度之底泥整治方式在持久性有機污染物污染之農地土壤進行乳化液現地相反轉與後續之生物整治可行性研究，其研究動機在於是否可將底泥現地模場試驗成功經驗移植到土壤污染整治，復因國際間農地污染多為 DDT 與 Lindane 等農藥及殺蟲劑較為普遍，而非以多氯聯苯類物質為主，故本計畫以 DDT 及 Lindane 為目標污染物，針對委員意見嘗試針對此種技術應用改變現地菌相，是否造成環境上風險進行探討。

5.5.1 風險評估技術：在環境管理領域中，環境風險評估技術有許多種，如 Check list、Whatif、HAZOP、失誤樹分析、失效模式效應分析（failure mode effect analysis，簡稱 FMEA）等，由於就一般污染場址整治專案而言，FMEA 可以適用於整治專案整體生命週期，故本研究應用 FMEA 進行污染場址之微生物菌相改變之風險評估。此技術之應用須備齊三項基本工具：工作流程分析、風險考量基準表設定以及風險項目分析與評價，茲說明如下。工作流程分析即針對欲分析之專案流程可能產生之菌相影響進行腦力激盪提出所有可能之危害；風險考量基準表設定即是針對檢測難易度、發生頻率與後果嚴重性共三個面向制定風險評估基準表；風險評定則是就每一項可能之危害進行三個面向評分，並將得分相乘，依據風險評估學者認定檢測難易度、發生頻率與後果嚴重性三項可視為互相獨立，故以相乘方式進行風險評分，否則容易產生極化之現象，造成結果不客觀及不可靠之情況。針對本計畫之現地相反轉與後續之生物整治可能之微生物生態系風險評估，整理說明如下 2 節。

5.5.2 流程分析與工作危害：針對污染農地土壤有三種生物整治方式可進行，如圖 5-32 所示，即自然回復（Natural recovery, NR）、生物刺激（Biostimulation, BS）與生物擴增（Bioaugmentation, BA）。由於 NR 與 BS 均未外加菌種，可能之風險相對較小，此處進針對 BA 之方式進行整治可能產生之風險進行評估。腦力激盪所產生之危害項目如表 5-17 所示。

5.5.3 風險評估基準表制定：風險評估基準表內容分為檢測難易度、發生頻率與後果嚴重性分別制定，如表 5-18 所示。此表為所有危害藉以評定其風險分數之依據，且依據 FMEA 之方法制定，發生頻率為該危害可能發生之頻率，愈頻繁者分數愈高，分為 5 級；檢測難易度為愈難檢測者其分數愈高，分為 5 級；後果嚴重性則以愈嚴重者風險分數愈高，分為 10 級。

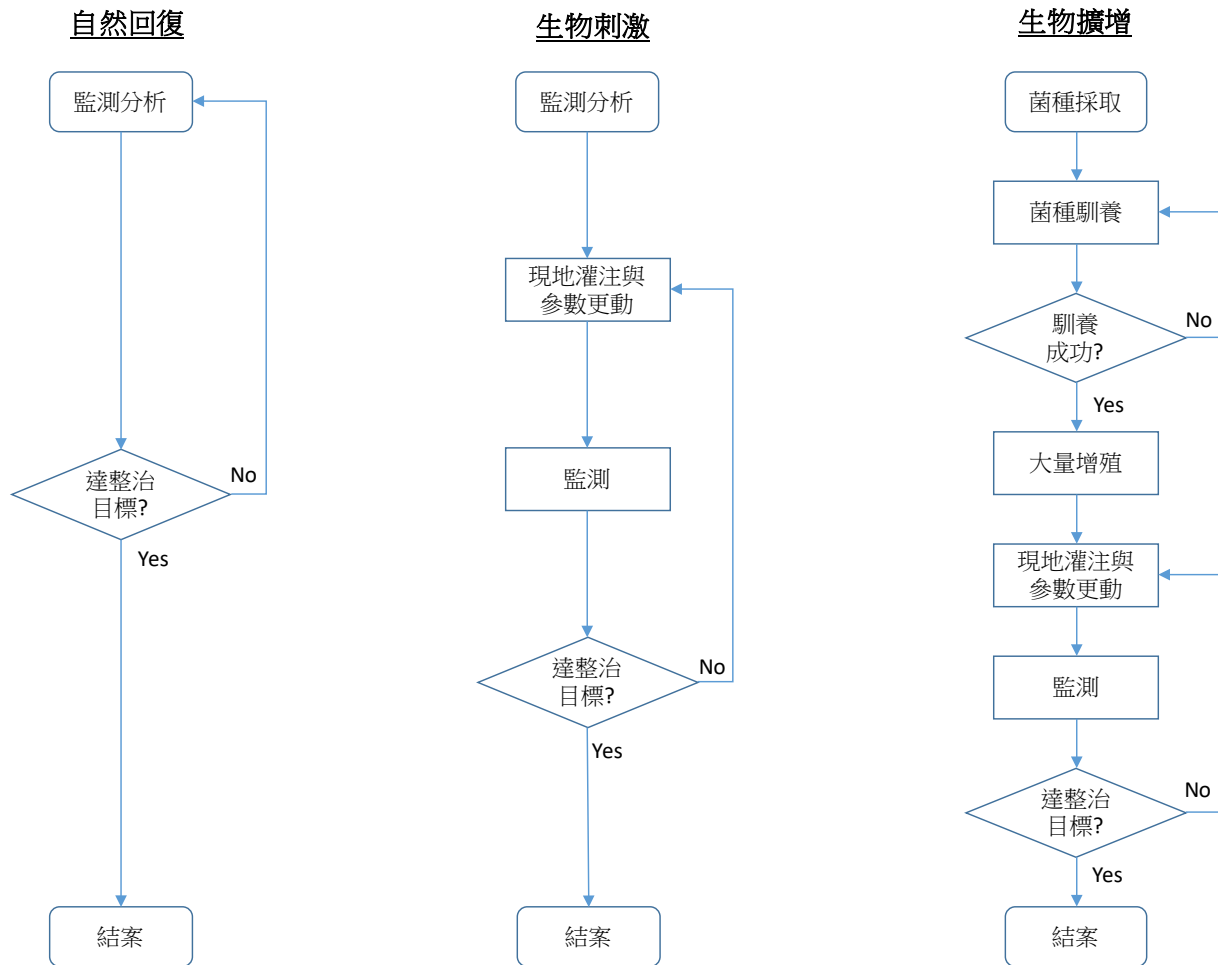


圖 5-32 工作流程分析

5.5.4 風險分數計算與排序：風險分數計算依據 FMEA 方法將三面向評定之得分相乘，即可得到一量化之風險分數，在依據此量化之風險分數加以排序，即可得到如表 5-19 之風險排序前 10 名。

5.5.5 風險說明：各項風險之簡要說明已經提供於表 5-19 之說明欄。茲將炭疽桿菌部分加強說明，因目前大部分致病菌不是耐熱菌或是內孢子生成菌。這也是巴斯德滅菌法可用來消毒牛奶及其他飲品的原因。所以主要風險經評定為炭疽桿菌在大量增殖階段不慎大量炭疽桿菌乾燥情況下生成孢子（若不是孢子型態，不易感染），則實驗室人員可能暴露，在現地地下水環境中雖有可能增殖，但相對人員暴露之機會相當低，所以實驗室負責馴養與增殖人員、現場灌注施工人員仍應做好個人防護。



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

表 5-17 工作流程危害列表

菌種採取	菌種馴養	大量增殖	現地灌注與 參數更動	監測	結案
器材污染導致 新菌種進入土 壤	實驗室中有 害菌污染	實驗室中有 害菌污染	器材污染導致 非馴養之新菌 種進入土壤	器材污染導致 新菌種進入土 壤	未確實封閉場 址，導致後續 仍有外來有害 菌種孳生
DNA 橫向傳播	化學品污染	化學品污染	藥劑未完全滅 菌導致非馴養 之新菌種進入 土壤	DNA 橫向傳播	DNA 橫向傳 播
菌種變異	菌種變異	菌種變異	菌種變異	菌種變異	菌種變異
導致植物營養 能力降低	熱篩菌群危 害	熱篩菌群危害	現地熱篩造成 耐熱菌種成為 優勢菌種	導致植物營養 能力降低	導致植物營養 能力降低
導致污染物降 解	炭疽桿菌生 成	炭疽桿菌大量 增殖	現地熱篩造成 內孢子生成優 勢菌種	導致污染物降 解	導致污染物降 解
有害代謝物產 生				有害代謝物產 生	有害代謝物產 生
有害代謝物循 食物鏈影響上 層消費者				有害代謝物循 食物鏈影響上 層消費者	有害代謝物循 食物鏈影響上 層消費者
危害人體健康				危害人體健康	危害人體健康

表 5-18 風險評價基準表

分數	發生頻率	檢測難易度	後果嚴重性
1	每年 1 次以下	肉眼可判別	無影響
2	每月 1 次至每年 1 次以上	現場簡易檢測可判別	有菌種可能變異之虞
3	每天 1 次至每月 1 次以上	一般實驗室檢測	證實至少 1 種菌種已變異
4	每天 1 次以上	專業實驗室檢測	導致數種菌種變異，但證實無危害公共衛生
5	時時發生	無法檢測	導致菌種變異，有危害公共衛生之虞
6			導致菌種變異，證實危害公共衛生，至少有 1 人以上罹病
7			導致菌種變異，證實至少有 10 人(含)以上罹病
8			危及公共衛生，導致 1 人(含)以下死亡
9			危及局部分生態系或導致 2-9(含)人以下死亡
10			危及整體生態系或導致 10(含)人以上死亡





表 5-19 風險評價結果

編號	階段	風險項目簡述	說明
35	大量增殖	炭疽桿菌大量增殖	若是經過熱篩再培養，炭疽桿菌為內孢子生成菌，實驗室環境中大量無區辨性增殖的確容易造成危險，局部人員大量暴露之機會較現場是 坐時為高。
25	菌種馴養	炭疽桿菌優化生成	馴養時可能因熱篩而造成炭疽桿菌優化生成，有危害實驗室人員之虞
491	現地灌注與參數更動	現地熱篩造成耐熱菌種成為優勢菌種	若在現地進行熱乳液化推送恐造成耐熱菌種，後續效應較難掌控。
31	大量增殖	實驗室中有害菌污染	實驗室中其他有害菌與增殖菌群一同被增殖。
32	大量增殖	化學品污染	較大規模之化學品污染。
33	大量增殖	菌種變異	在增殖過程中即造成菌種變異。
34	大量增殖	熱篩菌群危害	若是經過熱篩再培養，未知之耐熱菌與內孢子生成菌可能造成危害。
46	現地灌注與參數更動	有害代謝物產生	現地加入菌群後，可能因加入菌群有效降解，但是造成有害代謝物之累積。
47	現地灌注與參數更動	有害代謝物循食物鏈影響上層消費者	現地加入菌群後，可能因加入菌群有效降解，但是造成有害代謝物之累積，且累積之代謝物可能造成上層消費者體中累積。
56	結案	有害代謝物產生	結案後，部分未受規範之有害代謝物仍產生且累積。

## 5.6 本技術與以往技術之差異說明

本實驗室於 2009 年與瑞昶科技公司合作申請科技部（原行政院國科會）產學合作計畫進行實驗室內之奈米乳化液與奈米氧化鐵之整合式底泥整治技術研發，在實驗室內依據二仁溪之底泥條件自行製作模擬底泥並加入多氯聯苯進行試驗，發現奈米乳化液的確可以有助於 Aroclor 1242 之降解(Chang et al., 2014)，而奈米氧化鐵的確可以相當快速的去除水相中的砷與鉻，其中尤以砷之單位吸附量為文獻中氧化鐵類吸附材中最高者，可達 340 mg/g (Chang et al., 2012)；本技術於 2011 及 2012 申請土壤及地下水污染整治基金管理會之計畫獲補助後即開始進行現地之污染整治模場試驗，嘗試以奈米乳化液與奈米氧化鐵進行實場整治之模場試驗，結果



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

顯示於試驗期間且最佳條件與開放系統下，140 天內可將重金屬鉛移除約 26%，萘降解 100%，Aroclor 1242 去除率為 91.4%，Aroclor 1254 則是在 189 天之內可降解 75% 以上。

後來針對 BDE209 等高  $\text{Log}K_{ow}$  物質進行高油量乳化液之直接回收技術研發，發現單次操作有效回收具有致癌性之 Benzo(a)pyrene (BaP) 達 31.4 至 73.6%，BDE47 達 53.7 至 76.1%，BDE99 達 47.5 至 91.4%，BDE209 達 10.4 至 61.8%；且 BaP 降解最佳者為加入乳化液之組別，其半生期 ( $t_{1/2}$ ) 為 68.6 天，自然回復組則為大於 462 天，以微流體晶片進行 BDE209 快速檢測以實驗室品進行檢測之偵測極限可達 90 ppb，線性範圍可達 4 個數量級。

其後將此技術應用於塑化劑之回收與降解，第一階段模場試驗結果顯示二仁溪底泥中微生物對 DEHP 之降解能力的確比國際間之試驗結果為佳，其半生期為國際文獻數值之 1/20 至 1/30 之間；第二階段模場試驗則顯示現場風化之 PAEs 以 BBP 最容易回收，以總去除率而言，乳化液與釋氧劑添加之工程干預仍是較佳之方案。表面增強拉曼光譜用奈米金薄膜之方式進行 SERS 檢測後，靈敏性與專一性經過 40 樣品測試後均可達 100%，方法偵測極限為 6.67 mg/L，若以萃取液進行檢測，應可達到 0.67 mg/kg 之方法偵測極限。

2015 年則是針對底泥中之重金屬與有機污染物進行磁性活性碳吸附與回收、針對局部高污染成分底泥進行現址玻璃化與針對容易懸浮之微小顆粒底泥則以改良式凝膠過濾法進行去除。三項技術研發均已顯現成效，磁性活性碳經證實對砷及汞重金屬具有良好吸附效果且遵循擬二階動力方程式，添加於底泥後之較佳回收時間為 1 至 4 小時之間，Aroclor1254 之最佳去除率可達 81.9%。電磁感應加熱玻璃化之重金屬可固定 97.0-100.0% 之重金屬，1400°C 下直接玻璃化法經測試三處之底泥均能達到標準，進一步改良添加玻璃砂方法可將溫度進一步降至 1000°C，經測試三處底泥樣品，也均能達到標準。改良之凝膠已可初步分離粒徑不同之底泥顆粒，對 25  $\mu\text{m}$  以下之顆粒去除率可達 85%。

茲將各項技術之適用情況及其優缺點詳列如附錄三所示。由此表可見，本計畫與之前研發技術最大之差異在於利用原理、所需要投入材料、機具與能量相對較低，所需時間較短，且利用非生物整治技術之快速但成本較高與生物技術之分解速率較慢但成本較低之特性，在初期以非生物處理方快速降低其較高濃度，較低濃度則交由微生物進行後續降解處理。本技術兼採兩種技術之長，試圖以其最佳之互補形式進行污染場址整治，同時節省時間及節省經費，並且達成污染整治目標。



## 5.7 本技術在實場應用之適用條件及工程實務考量因子與操作參數

因為 Lindane 及 DDT 污染土壤相反轉及生物降解與重金屬污染土壤玻璃化部分隻砂箱實驗及現地土壤實際玻璃化部分尚在實驗中，此段僅針對已經發展較為成熟之重金屬污染土壤玻璃化及底泥多次相反轉及生物降解部分進行說明。而底泥污染高溫相反轉部分請參考 106 年度計畫之期末報告。

### 5.7.1 重金屬污染土壤玻璃化

本技術之適用條件及工程實務考量因子與操作參數如下。本技術適用於重金屬污染之土壤，但如過主要污染物為 As、Cd 或 Hg 可能較不適合，因為其沸點較低，As 為 614°C，Cd 為 767°C，而 Hg 為 357°C，可能在加熱過程中成為金屬蒸氣而逸散，而非固著於玻璃結構中。本次實驗中之污染土壤中此三種金屬之背景濃度均為 ND，即為非常理想之模場試驗土壤，不致有造成二次污染之虞。工程實務需要考量因子有(1)土壤中應無大型礫石或是其他雜物造成施作時無法插入土壤之情況；(2)土壤中應無其他有機污染物（如氯化有機物等）、大量土壤有機質等，以避免造成高溫時形成戴奧辛或是其他有害物質，(3)含水率不致太高，含水率過高會使得部分熱能用於蒸發水分，(4)矽含量不可過低。以重金屬污染農地而言，因為耕種所需，表層土壤通常都是無礫石存在之土壤，非常適合施作；一般農地通常不會有落葉堆積或表層堆積腐爛支樹枝樹葉情況，也相對適合施作；含水率部分只要是未加以灌溉，其表土經太陽曝曬，通常含水率不高，也較適合施作；矽含量部分，以大部分農地為保持通風及排水能力，大多具有相當高百分比之砂粒，其矽含量不致太低，有利於此技術之應用。實際操作參數，則是目前實驗中所探討之要項，即加熱溫度、含水率、玻璃化添加物加量及加熱時間。綜合兩種重金屬之安定情況，應屬加熱時間與加熱溫度影響最為顯著，故在工程施作時，應該在較高溫度下以較長加熱延時進行玻璃化，應確實掌握，否則會對結果有顯著影響。

### 5.7.2 PCB 及 HCB 污染底泥多次相反轉及生物降解

本技術因為須將約 50-60°C 之乳化劑直接注入底泥中，故必須要有客製化之半封閉式灌注及回收設施。但是本技術仍然有其限制，因為是將溫熱之水在油中乳化液自底泥下方向上傳輸，故底泥之水力傳導係數必須在合理範圍內，如果是屬於黏土質，則可能等候 4.0 PV 追加水之流經 25 公分時間可能過長。因此，在表層底泥者要為砂質壤土之場址最為可行，如台南安順廠之海水池底泥就是一極為理想之應用場址。另一主要限制可能在於目前部分底泥環境過於髒亂，有大型建築廢棄物者將較不易進行，因為灌注設施仍需壓入底泥中才能施作，如有混凝土塊或是巨石將阻礙機具壓入之施作程序。依據目前在現場整治之經驗，每次颱風暴雨之後，



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

河道中之底泥沉降厚度可超過 10 到 20 公分，由於本試驗有事先在實驗底泥上方加鋪一層白色石英砂，尚可區辨沉降之底泥，在大規模整治時應該考慮此點，應在完成回收之後在底泥上方也加鋪一層乾淨之石英砂。本技術研發初衷即希望能在枯水期完成整治，避免最後整治成果驗證之困難度。

實務執行之作為及操作之參數，因為尚須申請專利，無法詳細說明，茲略述如下。在乳化液配製方面，與執行方法所述相同，使用之非離子型疏水性界面活性劑與大豆油先行混合 15 分鐘，親水性界面活性劑先混合 30 分鐘，再加入熱水以大型攪拌機混合，比率約為稀釋 5 倍，待降溫後即保存備用。由於量過大無法滅菌，通常於使用前才製備。現場使用時，再另行以加熱至約 70°C 之去離子水進行稀釋至 20 倍後，立即加壓灌入底泥中，維持 30 分鐘後，追加 4.0 PV 之清水，即可完成單次現地相反轉之污染物回收作業，依照實驗室實驗結果，多次與單次相反轉之效果無顯著差異，故進行一次即可。每一管柱所施加之壓力依底泥之質地組成略有不同，需視情況加壓。以生物加強法為例，最後 1.0 PV 則是推入營養基質與酸鹼緩衝液；在完成回收後，自上方加入原本由二仁溪底泥取得並且馴養完成之降解菌群，輕輕混合後(避免小顆粒懸浮)，即可留置於原河道中進行生物整治，依照預訂時間進行採樣分析即可。

## 5.8 玻璃化技術與現行底泥整治技術之比較

### 5.8.1 玻璃化技術與現行底泥整治技術之成本比較

為將本技術與其他處理技術之成本作一比較，以 Philip Keillor 在 2007 年之報告為基礎，將其所有成本調整為 2000 年美國貨幣，以 2017 年美國貨幣計，其通貨膨脹約為 2000 年之 100 美元為 2017 年之 142 美元，再以新台幣兌美元匯率為 31 計算轉換。因此，表格中之單位為新台幣元/立方公尺，這些並未將浚渫之費用計入，依據該報告，美國浚渫費用每立方公尺 6,541-21,204 元新台幣之間，視整治規模而定，規模愈大，單價愈低。不過，必須注意的是表 5-20 中所列的是在美國進行整治之費用（不包含將底泥挖出之費用及最終處置之費用），可能在大規模整治下，其單價不一定比台灣為高或低，這牽涉到能源價格、機具價格、折舊、利率、稅率、最終處置費用(台灣目前每立方公尺污泥最終處置約為 8000 元新台幣)等，故只能供作參考。其中，所有數據以 Keillor (1993)之數據最為齊全，將此做為以下討論之基礎，以顆粒分離及脫水與土壤清洗併入為一項方法(二仁溪底泥通常無法以單獨顆粒分或是清洗即完成處理)並將生物降解除外後加以平均，可得平均中間處理費用為 10,562 元新台幣/立方公尺，加上浚渫與最終處置費用，平均整治成本





應在 25,103 至 39,766 元新台幣/立方公尺之間（此為直接成本）。本計畫所研發之技術因為是在現地進行，可去除浚渫與最終處置費用，以整治 384,615 立方公尺底泥之規模（Keillor 之計算基礎）經估算機具、乳化液、加熱燃料費、電費、水費等，本計畫研發之技術粗估直接成本約為 27,566 至 33,066 元新台幣/立方公尺，應尚屬具有競爭力。

表 5-20 一般底泥處理方法之成本 (Keillor, 2007)

參考資料 方法	Thompson & Francingues 2001	UWSG 1997	USEPA 1994b	Keillor 1993
顆粒分離及脫水	1145			308~2509
土壤清洗	1145		2157~5150	4358~7571
生物降解		4050~8408	4974~5591	2245~10345
熱萃取(熱脫附)		15627	12061	2289~15319
溶劑萃取		7968	4050~11093	2289~15319
熱分解	1453~4314		20469	4006~14703
化學分解				1805~54101
固化/安定化	3213			1893~9024
脫水並且合理成本處理				968~11401
電化學處理	1893			

有關底泥以感應加熱方式之效益，可以單位立方公尺中水約 30%，即 300 公斤質量；比熱為  $1.0 \text{ cal/}^{\circ}\text{C g}$  (or  $4182 \text{ joule/}^{\circ}\text{C g}$ )；另外 0.7 立方公尺為土壤，約有 1750 公斤質量，比熱約為  $0.19 \text{ cal/}^{\circ}\text{C g}$  (or  $800 \text{ joule/}^{\circ}\text{C g}$ )，則將 1 立方公尺之底泥加熱升高  $1^{\circ}\text{C}$ ，需投入  $2.84 \times 10^9 \text{ Joules}$  之能量。高週波加熱感應器之電壓為 380 V，電流為 65 A，可產生  $24,700 \text{ joule/second}$ 。模場試驗之底泥量為（6 吋管，30 公分深度），則加熱  $40^{\circ}\text{C}$  溫度差即熱轉換效率 90% 計算，需要 17.5 second 左右，則耗損電量約為 0.18 KW-Hr，亦即 0.18 度電，以每度電費 4.0 元計算，則加熱一管柱之底泥一次需消耗 0.72 元，連續三次約為 2.0 元（後兩次不須降至室溫，只需降至相反轉溫度以下）。另一方式計算，則是可以每平方公尺且深度為 30 公分計算，進行 3 次低溫相反轉之電費為 109 元，若是單次，則為台幣 39.5 元。以其他方式加熱，因熱效率較低、難以隔熱且難在現址（*in situ*）進行，費用應至少在 3.0 倍以上。

另為了推估可能實際整治費用，本研究對以實驗樣品重與電費成本及實驗樣品重與石墨成本做圖，可得到兩經驗公式，如圖 5-33 與圖 5-34。可藉此方程式推估





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

整治大量污染土壤時所需整治成本。假設整治之污染土壤重量為 1 噸，由圖可得電費整治成本為每 1 噸土需新臺幣 1,422 元，可得石墨成本為新臺幣 482 元，再加上藥劑成本 2,539 元，可得整治 1 噸污染土壤時之費用為 4,443 元。參考市面上所販售之電磁加熱爐計算整治所需儀器費用，平均每 1 噸土需耗費 1,200 元之設備費，最後可得整治每 1 噸污染土壤之費用為 5,643 元，即整治 1 立方公尺土壤所需之費用約為 14,107 元。根據坊間調查，若將含有重金屬之土壤以有害事業廢棄物進行處理，處理費每噸需 15,000 至 70,000 元不等。有害事業廢棄物處理費會根據土壤性質、重金屬濃度與種類、整治藥劑與處理方法不同而有所變動，根據這些數據與文獻回顧，可得知電磁感應加熱整治法之整治費用低於現有玻璃化法所需費用 1 至 2 倍，並低於有害事業廢棄物處理費 2 至 13 倍，顯示電磁感應加熱法有很高之潛力使用於現址整治。

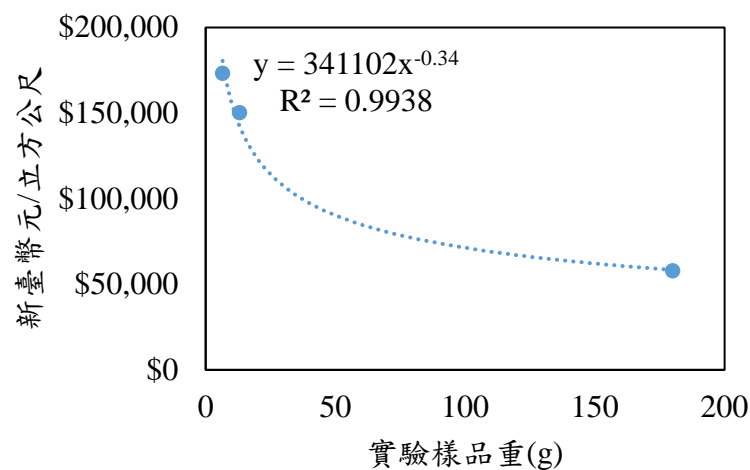


圖 5-33 以實驗樣品重與電費成本作圖之經驗公式

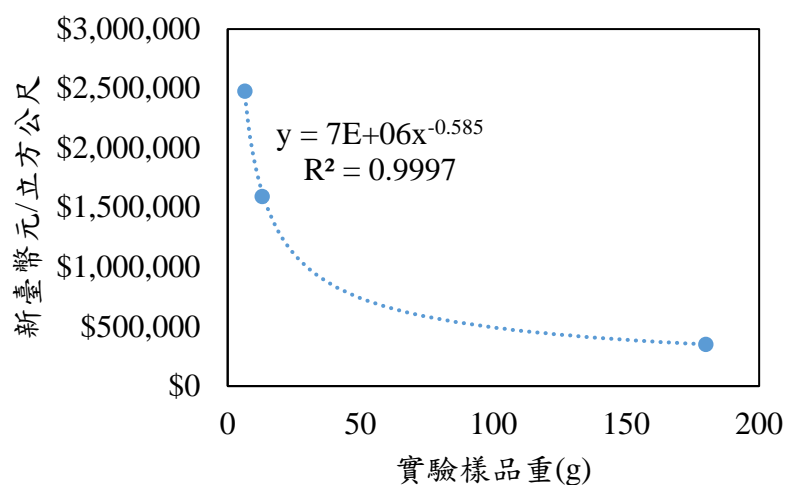


圖 5-34 以實驗樣品重與電費成本作圖之經驗公式



### 5.8.2 玻璃化技術與現行底泥整治技術之在綠色永續整治之比較

綠色永續整治之綠色永續整治之目的在於使用完整生命週期之環境衝擊低、能源用量少、碳足跡與水足跡小之技術進行污染土壤、底泥及地下水之整治，且應考慮對社會與經濟之影響(Hadley and Harclerode, 2015)。此種衡量整治技術永續性之方式將嚴重衝擊傳統固化技術，因固化技術雖可以有效穩定重金屬污染之土污泥，但通常都是高耗能且產出之固體物僅能進行安定掩埋之最終處置，有害之重金屬底泥在目前台灣掩埋場極度缺乏之情況下，其清除處理價格可達每公噸 30,000 至 50,000 元之譜；重金屬污染土壤則是每公噸 25,000-35,000 元之間；最輕微污染之台灣自來水公司之淨水無機污泥處理費用也需要每噸 4,000 元以上且平均年產生量在 25 萬噸以上，估計台灣自來水公司年處理費用在 10 億元左右，但仍苦無足夠廠商可加以清除或回收處理(林志鴻, 2010)。為了符合綠色永續整治宗旨之要求及進一步降低處理費用並提高附加價值，國際間學者已經開始嘗試將污染底泥、一般污泥及廢棄物進行資源化之研究(Chen et al., 2018; Wang et al., 2018a; Wang et al., 2015; Wang et al., 2018b)。因為固化技術可能需要較多能源投入，但在製成有價資材部分，在社會面以及經濟面均為正面之貢獻，此種資源再生之效益是傳統物化整治與生物整治技術所無法達到的。

茲將目前市面上常見之多孔材料產品進行市價訪查結果如下表 5-21 所示，由此表可看出多孔材之最終應用產品之價格差異相當大，在假設毛利率均為 20% 之情況下，可計算得到各個產品之毛利，因為採用廢棄物與污染固體物做為主要之玻璃化原料之一，故可節省原料成本，在廢玻璃回收價格扣抵回收所需投入成本後，其取得成本應為正數（即需要投入金錢進行回收），但是承接有害事業廢棄物作為原料，其取得成本應為負數，即不僅無須投入金錢進行回收，尚可因收取此種廢棄物而有額外收入，此部分以每公斤平均新台幣 20 元計算（即每公噸 20,000 元），假設摻配比例為 50%，則節省成本每公斤 10 元，將此部分計入毛利之後，在除以原本之毛利，則可發現在部分產品之毛利可提升 2.0 倍以上；而且是以**原本單價愈低之產品，其獲利提高倍數愈高**。亦即**回收之廢棄物愈是投入毛利率偏低之較低價大宗產品，其獲利改善程度愈高**。例如，過濾材部分若是更動其毛利率為 10%，則改以廢棄物作為原料，其毛利改善可超過 4.3 倍；且通常單價低之產品為較容易去化之大宗產品，且對產品原料來源要求較低，亦即對由廢棄物轉化而成之產品相對接受度較高；且在毛利大幅提升之下，製造廠商有較大之降價行銷空間。

因此，將污染土壤玻璃化並資源化為有價之資材將可大幅扭轉對固化技術之不適合作為污染整治技術之印象，其在自然資源保護與減少開採部分有顯著之助益。



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

表 5-21 市場上資源回收再製多孔材可取代之產品及其毛利估算

產品	市售價格 (元/公斤)	毛利* (元/公斤)	原料節省** (元/公斤)	調整毛利 (元/公斤)	毛利倍數
透氣石	<b>25-60</b>	<b>5-12</b>	10	<b>15-22</b>	<b>1.8-3.0</b>
吸水蛭石	<b>100-200</b>	20-40	10	<b>30-50</b>	<b>1.25-1.5</b>
擴香石	<b>100-800</b>	20-160	10	<b>30-170</b>	<b>1.06-1.5</b>
過濾材	<b>30-150</b>	6-30	10	<b>16-36</b>	<b>1.3-2.6</b>
建材	<b>40</b>	8	10	<b>18</b>	<b>2.25</b>
隔音/吸音材	120	24	10	34	1.4
隔熱材	120	24	10	34	1.4

## 5.9 本專案衍生技術專利延續辦理情形

本專案歷年衍生之專利技術共有 8 件，已獲專利 7 件，申請中 1 件，如表 5-22 所示。前一年度計畫之第一項專利底泥玻璃化方法之申請經過與專利事務所多次討論終於定案，確認將對 800-1600°C 之範圍進行專利權利項請求，業於 2016 年 5 月 14 前正式送達經濟部智慧財產局，業於 2017 年 2 月獲得發明專利；第二項專利之以改良式凝膠進行底泥顆粒分離之方法也在 2016 年初有突破性進展，已經可以在 24 秒內完成至少 85% 以上之粒徑在 25  $\mu\text{m}$  以下之底泥之截留，小於 25  $\mu\text{m}$ 、25~45  $\mu\text{m}$  與大於 45  $\mu\text{m}$  之玻璃砂，各進樣 0.5 g 經過分離後之粒徑分布與時間關係如圖 5-35 所示。假設在 25  $\mu\text{m}$  以下之底泥顆粒具有 90% 之疏水性有機污染物質吸附（國內某場址之特殊情況），此方法將可望在單次操作達到 75% 以上之去除率，此專利申請之初稿已經送專利事務所完成修訂，業於 2016 年 5 月 30 日前正式送達經濟部智慧財產局並於 2017 年 10 月 21 日獲得發明專利。最近一項專利則是 105-106 年執行計畫產出之結合現地相反轉與生物還原脫氯整治底泥中疏水性有機污染物之技術，業於 2019 年 5 月 1 日獲得專利。污染土壤現地玻璃化技術也已經循校內程序完成申請作業，目前由專利事務所進行修改中。



表 5-22 本研究團隊執行本專案衍生之專利辦理情形

專利項次及名稱	辦理情形	證書字號	期 限
1. 環境介質整治方法	已獲專利	發明第 I478876 號	2015/04/01- 2033/01/09
2. 乳化液作為土壤、地下水、底泥及其他環境介質之整治用劑	已獲專利	發明第 I511935 號	2015/12/11- 2030/04/29
3. 環境整治用乳化原液、及受污染環境之整治方法	已獲專利	發明第 I558671 號	2016/11/21- 2035/1/15
4. 污染底泥玻璃化方法	已獲專利	發明第 I571444 號	2017/02/21- 2036/5/11
5. 微流體通道型 SERS 檢測用基材之製備方法、探針型 SERS 檢測用基材之製備方法、平面型 SERS 檢測用基材之製備方法、及有機污染物之檢測方法	已獲專利	發明第 I579554 號	2017/04/21- 2035/07/05
6. 污染底泥之凝膠分離方法	已獲專利	發明第 I602606 號	2017/10/21- 2036/05/29
7. 結合相反轉法與加蓋法進行污染底泥整治方法	已獲專利	發明第 I658008 號	2019/05/01- 2037/11/16
8. 土壤及底泥現地玻璃化方法及設備	申請中	2018/10/29 提出申請	

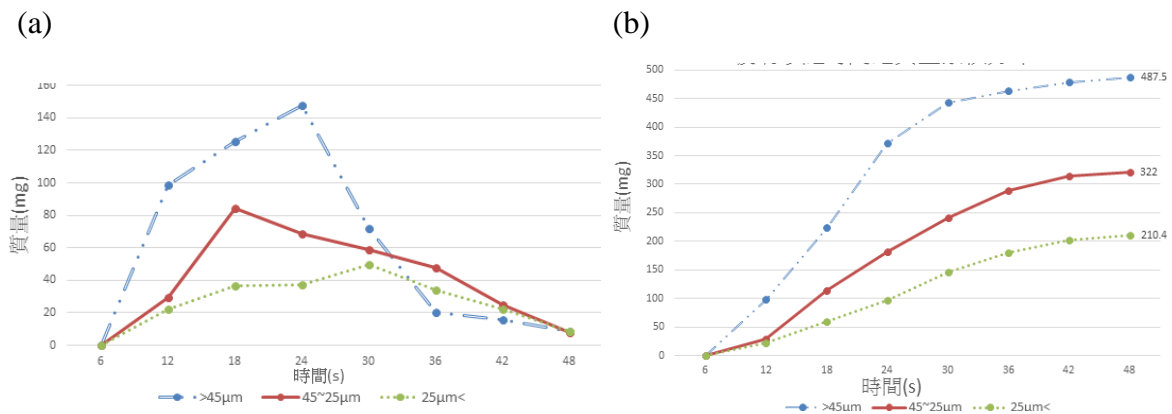


圖 5-35 不同粒徑玻璃砂之出流質量圖

## 5.10 結論

本計畫執行至今，初步結論條列如下：

1. 重金屬污染土壤現地玻璃化裝置已經完成，且經過測試可以有效將重金屬固定



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

封存玻璃中。其回收做為現地使用部分應可通過農地土壤污染管制標準及污染整治用土客土標準；作為玻璃瀝青資材部分，在適當之摻配比例下，已經可以通過洛杉磯試驗、深期試驗馬歇爾測試，顯示將玻璃化後土壤作為有價資材是具有相當高之可行性。

2. Lindane 與 DDT 之相反轉回收操作結果顯示其去除率分別為 27.1% 及 40.6%，較以往之 HCB 與 PCBs 為低，可能是  $\log K_{ow}$  值相對較低所致。
3. 砂箱實驗中 Lindane 去除率較 DDT 差，Lindane 之砂箱實驗中以 L4 表現最佳，這意味著現地菌其實有可能比馴養菌有更佳之 Lindane 降解能力。DDT 部分則以 D1 有 99.94%(添加乳化液及馴養菌)之去除率，D2(僅添加乳化液)去除率為 99.93%，表示添加乳化液之影響較大。
4. ISPIE 之操作時，上下層底泥之溫度第 3 分鐘後兩者溫度就沒有顯著差異，直到結束。較令人意外的有兩點，一是下層底泥增溫幅度非常有限；一是下層降溫遠比上層迅速且最終溫度較上層為低。
5. 本計畫第 1 次二仁溪污染底泥整治之相反轉回收操作效果相當差，應該是當天氣溫過低（約 15-17°C）所致。經比較 2 次 PCBs 去除效果，風化組以 WBS 較佳，添加組以 FBA 較佳；HCB 之降解加強效果不明顯。
6. 模場試驗菌相分析在屬之層次之分析結果中最明顯差異為 *Sulfurimonas*、*Thioalkalispira* 及 *Marinobacter* 菌屬，其中尤以 *Sulfurimonas* 在 70 天後增加幅度最大，由原本之 0.6% 增加到 46.0%。
7. 戴奧辛研究以熱篩菌群進行模擬底泥中高濃度戴奧辛生物分解批次實驗結果顯示，以 60°C 暴露 60 分鐘之組別最佳，其一階生物降解速率常數為 0.01913  $d^{-1}$ ，半生期為 36 天；而以二仁溪污染底泥整治之模場試驗之樣品同時進行戴奧辛檢測果顯示在 WBA 組別之降解速率最佳，半生期約為 15 天。
8. 戴奧辛模場試驗研究結果顯示：OCDD 與 OCDF 在本研究中之半生期分別為 8.8 及 13.8 天，或是 211 及 331 h，為文獻中報導值之為 0.34% 及 0.10%。

#### 5.11 主要建議意見及未來或後續執行建議

針對本計畫之執行所獲得之經驗與國際間發展方向，整理出建議事項說明如表 5-23 及 5-24 所示。





表 5-23 立即可行建議意見及未來或後續執行建議

項次	建議意見
1.	建議持續針對底泥中奈米污染物及新興污染物進行檢測技術、本土性生態風險評估技術及整治技術之研發，宜避免如美國目前之研發困境，近幾年來因美國政府不注重土水整治技術研發，僅側重管理技術與風險評估，導致美國學界現在土水整治研究人才凋零。
2.	建議建立我國土水環境生物質體庫，以掌握土壤、地下水及底泥中具有高度降解目標污染物之本土菌種及菌群基因資料大型數據庫（data warehouse），並利用生物資訊學與生物統計技術進行高效率資料驅動型式（data-driven）之研發，可望建立台灣自有之 environmental genomics 專家群，提升國內廠商之生物整治能力。

表 5-24 中長程建議意見及未來或後續執行建議

項次	建議意見
1.	建議針對我國養殖池底泥、近海河口底泥、埤塘底泥進行長期採樣檢測、監測、風險評估、復育與整治技術研發，並建立全國資料庫。
2.	建議政策配合土壤與底泥污染物經加工作為大宗工業產品或有用資材之循環經濟建立。
3.	ISPIE/BiRD 技術對大多數持有性有機污染物與地下水中 NAPL 污染整治均顯示效果極佳，可建立通用技術平台。



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

## 參考文獻

- Adriaens, P., Li, M.Y., Michalak, A.M., 2006. Scaling methods of sediment bioremediation processes and applications. *Engineering in Life Sciences* 6, 217-227.
- Adrian, L., Dudková, V., Demnerová, K., Bedard, D.L., 2009. "Dehalococcoides" sp. Strain CBDB1 Extensively Dechlorinates the Commercial Polychlorinated Biphenyl Mixture Aroclor 1260. *Applied and Environmental Microbiology* 75, 4516-4524.
- Adrian, L., Görisch, H., 2002. Microbial transformation of chlorinated benzenes under anaerobic conditions. *Research in Microbiology* 153, 131-137.
- BARKER, P.S., MORRISON, F.O., WHITAKER, R.S., 1965. Conversion of DDT to DDD by *Proteus vulgaris*, a Bacterium isolated from the Intestinal Flora of a Mouse. *Nature* 205, 621-622.
- Beurskens, J.E.M., Dekker, C.G.C., van den Heuvel, H., Swart, M., de Wolf, J., Dolfing, J., 1994. Dechlorination of Chlorinated Benzenes by an Anaerobic Microbial Consortium That Selectively Mediates the Thermodynamic Most Favorable Reactions. *Environmental Science & Technology* 28, 701-706.
- Binh, N.D., Imsapsangworn, C., Kim Oanh, N.T., Parkpian, P., Karstensen, K., Giao, P.H., DeLaune, R.D., 2016. Sequential anaerobic-aerobic biodegradation of 2,3,7,8-TCDD contaminated soil in the presence of CMC-coated nZVI and surfactant. *Environmental Technology* 37, 388-398.
- Bosma, T.N.P., van der Meer, J.R., Schraa, G., Tros, M.E., Zehnder, A.J.B., 1988. Reductive dechlorination of all trichloro- and dichlorobenzene isomers. *FEMS Microbiology Letters* 53, 223-229.
- Boyle, A.W., Häggblom, M.M., Young, L.Y., 1999. Dehalogenation of lindane ( $\gamma$ -hexachlorocyclohexane) by anaerobic bacteria from marine sediments and by sulfate-reducing bacteria. *FEMS Microbiology Ecology* 29, 379-387.
- Brahushi, F., Dörfler, U., Schroll, R., Munch, J.C., 2004. Stimulation of reductive dechlorination of hexachlorobenzene in soil by inducing the native microbial activity. *Chemosphere* 55, 1477-1484.
- Bumpus, J.A., Aust, S.D., 1987. Biodegradation of DDT [1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane] by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Applied and Environmental Microbiology* 53, 2001-2008.
- Burgess, R.M., Perron, M.M., Friedman, C.L., Suuberg, E.M., Pennell, K.G., Cantwell, M.G., Pelletier, M.C., Ho, K.T., Serbst, J.R., Ryba, S.A., 2009. Evaluation of the effects of coal fly ash amendments on the toxicity of a contaminated marine sediment. *Environmental toxicology and chemistry* 28, 26-35.
- CCME, 2001. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Introduction. Updated., Canadian environmental quality guidelines, 1999. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Canada.
- Chang, B.-V., Chen, Y.-M., Yuan, S.-Y., Wang, Y.-S., 1997. Reductive Dechlorination of Hexachlorobenzene by an Anaerobic Mixed Culture. *Water, Air, and Soil Pollution* 100, 25-32.
- Chang, S.-C., Chiang, P.-Y., Yu, Y.-H., Chen, T.-W., Luo, Y.-S., Tsai, L.-C., Yu, K.-C., 2014. Soybean oil nanoemulsion and magnetite nanoparticle as remediation enhancers for river sediment: from lab to field. *Journal of Soil and Groundwater Remediation* 1, 141-164.



## 參考文獻

- Chang, S.-C., Lee, S.-K., Chen, T.-W., 2019a. Effective removal of Aroclor 1254 and hexachlorobenzene in river sediments by coupling *in situ* phase-inversion emulsification with biological reductive dechlorination. *Journal of Contaminant Hydrology* 221, 108-117.
- Chang, S.-C., Wang, W.-T., Chen, Y.-J., Chen, T.-W., Chiang, P.-Y., Lo, Y.-S., 2017. Emulsion-enhanced recovery and biodegradation of decabrominated diphenyl ether in river sediments. *Journal of Soils and Sediments* 17, 1197-1207.
- Chang, S.-C., Yeh, C.-W., Lee, S.-K., Chen, T.-W., Tsai, L.-C., 2019b. Efficient remediation of river sediments contaminated by polychlorinated biphenyls and hexachlorobenzene by coupling *in situ* phase-inversion emulsification and biological reductive dechlorination. *International Biodeterioration & Biodegradation* 140, 133-143.
- Chang, S.-C., Yu, Y.-H., Li, C.-H., Wu, C.-C., Lei, H.-Y., 2012. Highly Efficient Arsenic Removal Using a Composite of Ultrafine Magnetite Nanoparticles Interlinked by Silane Coupling Agents. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 9, 3711-3723.
- Chen, I.M., Wanitchapichat, W., Jirakittayakorn, T., Sanohniti, S., Sudjarid, W., Wantawin, C., Voranisarakul, J., Anotai, J., 2010. Hexachlorobenzene dechlorination by indigenous sediment microorganisms. *Journal of Hazardous Materials* 177, 244-250.
- Chen, Z., Li, J.S., Poon, C.S., 2018. Combined use of sewage sludge ash and recycled glass cullet for the production of concrete blocks. *Journal of Cleaner Production* 171, 1447-1459.
- Cutter, L.A., Watts, J.E.M., Sowers, K.R., May, H.D., 2001. Identification of a microorganism that links its growth to the reductive dechlorination of 2,3,5,6-chlorobiphenyl. *Environmental Microbiology* 3, 699-709.
- Duangmanee, T., Padmasiri, S.I., Simmons, J.J., Raskin, L., Sung, S., 2007. Hydrogen Production by Anaerobic Microbial Communities Exposed to Repeated Heat Treatments. *Water Environment Research* 79, 975-983.
- Edwards, E.A., Grbić-Galić, D., 1994. Anaerobic degradation of toluene and o-xylene by a methanogenic consortium. *Applied and Environmental Microbiology* 60, 313-322.
- Egeler, P., Meller, M., Roembke, J., Spoerlein, P., Streit, B., Nagel, R., 2001. *Tubifex tubifex* as a link in food chain transfer of hexachlorobenzene from contaminated sediment to fish, In: Rodriguez, P., Verdonchot, P.M. (Eds.), *Aquatic Oligochaete Biology VIII*. Springer Netherlands, pp. 171-184.
- Fagervold, S.K., May, H.D., Sowers, K.R., 2007. Microbial Reductive Dechlorination of Aroclor 1260 in Baltimore Harbor Sediment Microcosms Is Catalyzed by Three Phylotypes within the Phylum Chloroflexi. *Applied and Environmental Microbiology* 73, 3009-3018.
- Fagervold, S.K., Watts, J.E.M., May, H.D., Sowers, K.R., 2005. Sequential Reductive Dechlorination of meta-Chlorinated Polychlorinated Biphenyl Congeners in Sediment Microcosms by Two Different Chloroflexi Phylotypes. *Applied and Environmental Microbiology* 71, 8085-8090.
- Fang, H.H.P., Liu, H., 2002. Effect of pH on hydrogen production from glucose by a mixed culture. *Bioresource Technology* 82, 87-93.
- Fennell, D.E., Nijenhuis, I., Wilson, S.F., Zinder, S.H., Häggblom, M.M., 2004. *Dehalococcoides ethenogenes* Strain 195 Reductively Dechlorinates Diverse Chlorinated Aromatic Pollutants. *Environmental Science & Technology* 38, 2075-2081.



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

- Fletcher, K.E., Costanza, J., Cruz-Garcia, C., Ramaswamy, N.S., Pennell, K.D., Löffler, F.E., 2010. Effects of Elevated Temperature on *Dehalococcoides* Dechlorination Performance and DNA and RNA Biomarker Abundance. *Environmental Science & Technology* 45, 712-718.
- Geyer, H.J., Rimkus, G.G., Scheunert, I., Kaune, A., Schramm, K.-W., Kettrup, A., Zeeman, M., C.G.Muir, D., Hansen, L.G., Mackay, D., 2000. Bioaccumulation and occurrence of endocrine-disrupting chemicals (EDCs), persistent organic pollutants (POPs), and other organic compounds in fish and other organisms including humans. Springer-Verlag, Berlin Hiedelberg.
- Golovleva, L.A., Pertsova, R.N., Boronin, A.M., Grishchenkov, V.G., Baskunov, B.P., 1982. [Degradation of polychloroaromatic insecticides by *Pseudomonas aeruginosa* containing biodegradation plasmids]. *Mikrobiologiya* 51, 973-978.
- Guo, X.M., Trably, E., Latrille, E., Carrère, H., Steyer, J.-P., 2010. Hydrogen production from agricultural waste by dark fermentation: A review. *International Journal of Hydrogen Energy* 35, 10660-10673.
- Hadley, P.W., Harclerode, M., 2015. Green Remediation or Sustainable Remediation: Moving From Dialogue to Common Practice. *Remediation Journal* 25, 95-115.
- Hallenbeck, P.C., Abo-Hashesh, M., Ghosh, D., 2012. Strategies for improving biological hydrogen production. *Bioresource Technology* 110, 1-9.
- Hendrickson, E.R., Payne, J.A., Young, R.M., Starr, M.G., Perry, M.P., Fahnestock, S., Ellis, D.E., Ebersole, R.C., 2002. Molecular analysis of *Dehalococcoides* 16S ribosomal DNA from chloroethene-contaminated sites throughout North America and Europe. *Applied and Environmental Microbiology* 68, 485-495.
- Holliger, C., Schraa, G., Stams, A.J., Zehnder, A.J., 1992. Enrichment and properties of an anaerobic mixed culture reductively dechlorinating 1,2,3-trichlorobenzene to 1,3-dichlorobenzene. *Applied and Environmental Microbiology* 58, 1636-1644.
- Hu, M., Zhang, Y., Liu, Y., Wang, X., Wong, P.-K., 2013. Effect of different nutrients on the anaerobic degradation of trichloroethene at optimal temperature. *International Biodeterioration & Biodegradation* 85, 103-107.
- Huber, J.A., Butterfield, D.A., Baross, J.A., 2003. Bacterial diversity in a subseafloor habitat following a deep-sea volcanic eruption. *FEMS Microbiology Ecology* 43, 393-409.
- Jacobs, P.H., Förstner, U., 1999. Concept of subaqueous capping of contaminated sediments with active barrier systems (ABS) using natural and modified zeolites. *Water Research* 33, 2083-2087.
- Johnsen, R.E., 1976. DDT metabolism in microbial systems, In: Gunther, F.A., Gunther, J.D. (Eds.), *Residue Reviews: Residues of Pesticides and Other Contaminants in the Total Environment*. Springer New York, New York, NY, pp. 1-28.
- Johnson, D.R., Lee, P.K.H., Holmes, V.F., Fortin, A.C., Alvarez-Cohen, L., 2005. Transcriptional Expression of the *tceA* Gene in a *Dehalococcoides*-Containing Microbial Enrichment. *Applied and Environmental Microbiology* 71, 7145-7151.
- Jonker, M.T.O., Suijkerbuijk, M.P.W., Schmitt, H., Sinnige, T.L., 2009. Ecotoxicological Effects of Activated Carbon Addition to Sediments. *Environmental Science & Technology* 43, 5959-5966.
- Kanta Sharma, S., Sadasivam, K.V., Dave, J.M., 1987. DDT degradation by bacteria from activated sludge.



- Environment International 13, 183-190.
- Kao, C.M., Wu, M.J., 2000. Enhanced TCDD degradation by Fenton's reagent preoxidation. *Journal of Hazardous Materials* 74, 197-211.
- Karickhoff, S.W., Morris, K.R., 1985. Impact of tubificid oligochaetes on pollutant transport in bottom sediments. *Environmental Science & Technology* 19, 51-56.
- Keillor, P., 2007. Deciding about sediment remediation. United States Environmental Protection Agency, Wisconsin, USA, p. 77.
- Kothari, R., Singh, D.P., Tyagi, V.V., Tyagi, S.K., 2012. Fermentative hydrogen production – An alternative clean energy source. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 2337-2346.
- Kulkarni, P.S., Crespo, J.G., Afonso, C.A.M., 2008. Dioxins sources and current remediation technologies — A review. *Environment International* 34, 139-153.
- Kumar, A., Pillay, B., Olaniran, A.O., 2014. Cloning, expression, purification and three-dimensional structure prediction of haloalkane dehalogenase from a recently isolated *Ancylobacter aquaticus* strain UV5. *Protein Expression and Purification* 99, 10-17.
- Lee, C.-L., Song, H.-J., Fang, M.-D., 2000a. Concentrations of chlorobenzenes, hexachlorobutadiene and heavy metals in surficial sediments of Kaohsiung coast, Taiwan. *Chemosphere* 41, 889-899.
- Lee, C.-L., Song, H.-J., Fang, M.-D., 2005. Pollution topography of chlorobenzenes and hexachlorobutadiene in sediments along the Kaohsiung coast, Taiwan—a comparison of two consecutive years' survey with statistical interpretation. *Chemosphere* 58, 1503-1516.
- Lee, M.D., Buchanan, R.J., Ellis., D.E., 2000b. Laboratory studies using edible oils to support reductive dechlorination., In: Wickranayake, G.B., Gavaskar, A.R., Alleman, B.C., Magar, V.S. (Eds.), *The Second International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds*, Monterey, CA., pp. 77-84.
- Li, Q., Lu, Y., Wang, P., Wang, T., zhang, Y., Suriyanarayanan, S., Liang, R., Baninla, Y., Khan, K., 2018. Distribution, source, and risk of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in urban and rural soils around the Yellow and Bohai Seas, China. *Environmental Pollution* 239, 233-241.
- Liang, X., Devine, C.E., Nelson, J., Sherwood Lollar, B., Zinder, S., Edwards, E.A., 2013. Anaerobic Conversion of Chlorobenzene and Benzene to CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> in Bioaugmented Microcosms. *Environmental Science & Technology* 47, 2378-2385.
- Liang, X., Molenda, O., Tang, S., Edwards, E.A., 2015. Identity and Substrate Specificity of Reductive Dehalogenases Expressed in Dehalococcoides-Containing Enrichment Cultures Maintained on Different Chlorinated Ethenes. *Applied and Environmental Microbiology* 81, 4626-4633.
- Lijzen, J.P.A., Baars, A.J., Otte, P.F., Rikken, M.G.J., Swartjes, F.A., Verbruggen, E.M.J., Wezel, A.P.v., 2001. Technical evaluation of the intervention values for soil/sediment and groundwater. human and ecotoxicological risk assessment and derivation of risk limits for soil, aquatic sediment and groundwater. National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven, Netherland.
- Logan, B.E., Oh, S.-E., Kim, I.S., Van Ginkel, S., 2002. Biological Hydrogen Production Measured in Batch Anaerobic Respirometers. *Environmental Science & Technology* 36, 2530-2535.





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

- Lovley, D.R., Goodwin, S., 1988. Hydrogen concentrations as an indicator of the predominant terminal electron-accepting reactions in aquatic sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 2993-3003.
- Ly, H., Sahin, N., Tani, A., 2018. Isolation and genomic characterization of *Novimethylophilus kurashikiensis* gen. nov. sp. nov., a new lanthanide-dependent methylotrophic species of *Methylophilaceae*. *Environmental Microbiology* 20, 1204-1223.
- Möller, B., Oßmer, R., Howard, B.H., Gottschalk, G., Hippe, H., 1984. *Sporomusa*, a new genus of gram-negative anaerobic bacteria including *Sporomusa sphaeroides* spec. nov. and *Sporomusa ovata* spec. nov. *Archives of Microbiology* 139, 388-396.
- MacRae, I.C., Raghu, K., Bautista, E.M., 1969. Anaerobic degradation of the insecticide lindane by *Clostridium* sp. *Nature* 221, 859-860.
- Maness, A., Bowmann, K., Yan, J., Rainey, F., Moe, W., 2012. *Dehalogenimonas* spp. can reductively dehalogenate high concentrations of 1,2-dichloroethane, 1,2-dichloropropane, and 1,1,2-trichloroethane. *AMB Express* 2, 54-60.
- Masunaga, S., Susarla, S., Yonezawa, Y., 1996. Dechlorination of chlorobenzenes in anaerobic estuarine sediment. *Water Science and Technology* 33, 173-180.
- Matsumura, F., Quensen, J., Tsushimoto, G., 1983. Microbial Degradation of TCDD in A Model Ecosystem, In: Tucker, R.E., Young, A.L., Gray, A.P. (Eds.), *Human and Environmental Risks of Chlorinated Dioxins and Related Compounds*. Springer US, Boston, MA, pp. 191-219.
- Matturro, B., Ubaldi, C., Rossetti, S., 2016a. Microbiome Dynamics of a Polychlorobiphenyl (PCB) Historically Contaminated Marine Sediment under Conditions Promoting Reductive Dechlorination. *Frontiers in Microbiology* 7.
- Matturro, B., Ubaldi, C., Rossetti, S., 2016b. Microbiome dynamics of a polychlorobiphenyl (PCB) historically contaminated marine sediment under conditions promoting reductive dechlorination. *Frontiers in Microbiology* 7, 1502.
- Millward, R.N., Bridges, T.S., Ghosh, U., Zimmerman, J.R., Luthy, R.G., 2005. Addition of Activated Carbon to Sediments to Reduce PCB Bioaccumulation by a Polychaete (*Neanthes arenaceodentata*) and an Amphipod (*Leptocheirus plumulosus*). *Environmental Science & Technology* 39, 2880-2887.
- Moe, W.M., Yan, J., Nobre, M.F., da Costa, M.S., Rainey, F.A., 2009. *Dehalogenimonas lykanthroporepellens* gen. nov., sp. nov., a reductively dehalogenating bacterium isolated from chlorinated solvent-contaminated groundwater. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 59, 2692-2697.
- Moran, B.N., Hickey, W.J., 1997. Trichloroethylene biodegradation by mesophilic and psychrophilic ammonia oxidizers and methanotrophs in groundwater microcosms. *Applied and Environmental Microbiology* 63, 3866-3871.
- Mulligan, C.N., Fukue, M., Sato, Y., 2010. *Sediment contamination and sustainable remediation*. Taylor & Francis Group. LLC, London, UK.
- Murphy, P., Marquette, A., Reible, D., Lowry, G., 2006. Predicting the Performance of Activated Carbon-, Coke-, and Soil-Amended Thin Layer Sediment Caps. *Journal of Environmental Engineering* 132, 787-794.
- Nagata, Y., Endo, R., Ito, M., Ohtsubo, Y., Tsuda, M., 2007. Aerobic degradation of lindane ( $\gamma$ -



## 參考文獻

- hexachlorocyclohexane) in bacteria and its biochemical and molecular basis. *Applied Microbiology and Biotechnology* 76, 741.
- Nelson, J.L., Fung, J.M., Cadillo-Quiroz, H., Cheng, X., Zinder, S.H., 2011. A Role for *Dehalobacter* spp. in the Reductive Dehalogenation of Dichlorobenzenes and Monochlorobenzene. *Environmental Science & Technology* 45, 6806-6813.
- Nevin, K.P., Lovley, D.R., 2002. Mechanisms for Accessing Insoluble Fe(III) Oxide during Dissimilatory Fe(III) Reduction by *Geothrix fermentans*. *Applied and Environmental Microbiology* 68, 2294-2299.
- Nowak, J., Kirsch, N.H., Hegemann, W., Stan, H.J., 1996. Total reductive dechlorination of chlorobenzenes to benzene by a methanogenic mixed culture enriched from Saale river sediment. *Applied Microbiology and Biotechnology* 45, 700-709.
- Ohisa, N., Yamaguchi, M., Kurihara, N., 1980. Lindane degradation by cell-free extracts of *Clostridium rectum*. *Archives of Microbiology* 125, 221-225.
- Pöritz, M., Goris, T., Wubet, T., Tarkka, M.T., Buscot, F., Nijenhuis, I., Lechner, U., Adrian, L., 2013. Genome sequences of two dehalogenation specialists – *Dehalococcoides mccartyi* strains BTF08 and DCMB5 enriched from the highly polluted Bitterfeld region.
- Pavlostathis, S.G., Prytula, M.T., 2000. Kinetics of the Sequential Microbial Reductive Dechlorination of Hexachlorobenzene. *Environmental Science & Technology* 34, 4001-4009.
- Perelo, L.W., 2010. Review: In situ and bioremediation of organic pollutants in aquatic sediments. *Journal of Hazardous Materials* 177, 81-89.
- Ramanand, K., Balba, M.T., Duffy, J., 1993. Reductive dehalogenation of chlorinated benzenes and toluenes under methanogenic conditions. *Applied and Environmental Microbiology* 59, 3266-3272.
- Reysenbach, A.-L., Longnecker, K., Kirshtein, J., 2000. Novel Bacterial and Archaeal Lineages from an In Situ Growth Chamber Deployed at a Mid-Atlantic Ridge Hydrothermal Vent. *Applied and Environmental Microbiology* 66, 3798-3806.
- Schmidt, M., Lege, S., Nijenhuis, I., 2014. Comparison of 1,2-dichloroethane, dichloroethene and vinyl chloride carbon stable isotope fractionation during dechlorination by two *Dehalococcoides* strains. *Water Research* 52, 146-154.
- Sinkkonen, S., Paasivirta, J., 2000. Degradation half-life times of PCDDs, PCDFs and PCBs for environmental fate modeling. *Chemosphere* 40, 943-949.
- Song, M., Wang, Y., Jiang, L., Peng, K., Wei, Z., Zhang, D., Li, Y., Zhang, G., Luo, C., 2019. The complex interactions between novel DEHP-metabolising bacteria and the microbes in agricultural soils. *Science of The Total Environment* 660, 733-740.
- Sowers, K.R., May, H.D., 2013. In situ treatment of PCBs by anaerobic microbial dechlorination in aquatic sediment: are we there yet? *Current Opinion in Biotechnology* 24, 482-488.
- Sparrevik, M., Saloranta, T., Cornelissen, G., Eek, E., Fet, A.M., Breedveld, G.D., Linkov, I., 2011. Use of Life Cycle Assessments To Evaluate the Environmental Footprint of Contaminated Sediment Remediation. *Environmental Science & Technology* 45, 4235-4241.
- Sun, Y., Wang, T., Peng, X., Wang, P., Lu, Y., 2016. Bacterial community compositions in sediment polluted by



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

- perfluoroalkyl acids (PFAAs) using Illumina high-throughput sequencing. *Environmental Science and Pollution Research* 23, 10556-10565.
- Tadros, T., Izquierdo, P., Esquena, J., Solans, C., 2004. Formation and stability of nano-emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science* 108, 303-318.
- Tang, J., Weber, W.J., 2006. Development of Engineered Natural Organic Sorbents for Environmental Applications. 2. Sorption Characteristics and Capacities with Respect to Phenanthrene. *Environmental Science & Technology* 40, 1657-1663.
- Taş, N., Van Eckert, M.H.A., De Vos, W.M., Smidt, H., 2010. The little bacteria that can – diversity, genomics and ecophysiology of ‘Dehalococcoides’ spp. in contaminated environments. *Microbial Biotechnology* 3, 389-402.
- Temudo, M., Muyzer, G., Kleerebezem, R., Loosdrecht, M.M., 2008. Diversity of microbial communities in open mixed culture fermentations: impact of the pH and carbon source. *Appl Microbiol Biotechnol* 80, 1121-1130.
- Timmis, K.N., 2002. *Pseudomonas putida*: a cosmopolitan opportunist par excellence. *Environmental Microbiology* 4, 779-781.
- Tsagkari, E., Sloan, W.T., 2019. Impact of *Methylobacterium* in the drinking water microbiome on removal of trihalomethanes. *International Biodeterioration & Biodegradation* 141, 10-16.
- Tsuchiya, T., Yamaha, T., 1984. Reductive Dechlorination of 1,2,4-Trichlorobenzene by *Staphylococcus epidermidis* Isolated from Intestinal Contents of Rats. *Agricultural and Biological Chemistry* 48, 1545-1550.
- Unknown, 2015a. Sediments. USEPA, Washington D.C.
- Unknown, 2015b. Toxicological Profiles. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA, USA.
- van der Zaan, B., de Weert, J., Rijnaarts, H., de Vos, W.M., Smidt, H., Gerritse, J., 2009. Degradation of 1,2-dichloroethane by microbial communities from river sediment at various redox conditions. *Water Research* 43, 3207-3216.
- Vandermeeren, P., Herrmann, S., Cichocka, D., Busschaert, P., Lievens, B., Richnow, H.-H., Springael, D., 2014. Diversity of dechlorination pathways and organohalide respiring bacteria in chlorobenzene dechlorinating enrichment cultures originating from river sludge. *Biodegradation* 25, 757-776.
- Vrije, G.J.d., Claassen, P.A.M., 2003. Dark hydrogen fermentations, In: Reith, J.H., Wijffels, R.H. (Eds.), *Bio-methane & bio-hydrogen : status and perspectives of biological methane and hydrogen production*. Dutch Biological Hydrogen Foundation, Petten, pp. 103-123.
- Wang, H.-Y., Huang, W.-L., 2010. A study on the properties of fresh self-consolidating glass concrete (SCGC). *Construction and Building Materials* 24, 619-624.
- Wang, L., Chen, L., Tsang, D.C.W., Li, J.-S., Yeung, T.L.Y., Ding, S., Poon, C.S., 2018a. Green remediation of contaminated sediment by stabilization/solidification with industrial by-products and CO<sub>2</sub> utilization. *Science of The Total Environment* 631-632, 1321-1327.
- Wang, L., Tsang, D.C.W., Poon, C.-S., 2015. Green remediation and recycling of contaminated sediment by waste-incorporated stabilization/solidification. *Chemosphere* 122, 257-264.



## 參考文獻

- Wang, L., Zou, F., Fang, X., Tsang, D.C.W., Poon, C.S., Leng, Z., Baek, K., 2018b. A novel type of controlled low strength material derived from alum sludge and green materials. *Construction and Building Materials* 165, 792-800.
- Wang, Y.-S., 2000. Polychlorinated biphenyls change in the river sediment of Taiwan, Final report to National Science Council. National Taiwan University, Taipei, Taiwan.
- Watts, J.E.M., Fagervold, S.K., May, H.D., Sowers, K.R., 2005. A PCR-based specific assay reveals a population of bacteria within the *Chloroflexi* associated with the reductive dehalogenation of polychlorinated biphenyls. *Microbiology* 151, 2039-2046.
- Wiedemeier, T.H., Rifai, H.S., Newell, C.J., Wilson, J.T., 1999. *Natural Attenuation of Fuels and Chlorinated Solvents in the Subsurface*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
- Wu, Q., Watts, J.E.M., Sowers, K.R., May, H.D., 2002. Identification of a Bacterium That Specifically Catalyzes the Reductive Dechlorination of Polychlorinated Biphenyls with Doubly Flanked Chlorines. *Applied and Environmental Microbiology* 68, 807-812.
- Yonezawa, Y., Fukui, M., Masunaga, S., Urushigawa, Y., 1994. Dechlorination of 1,2,4-trichlorobenzene in the sediment of Ise Bay. *Chemosphere* 28, 2179-2184.
- Yuan, S.Y., Su, C.J., Chang, B.V., 1999. Microbial dechlorination of hexachlorobenzene in anaerobic sewage sludge. *Chemosphere* 38, 1015-1023.
- Zhang, H., Hanada, S., Shigematsu, T., Shibuya, K., Kamagata, Y., Kanagawa, T., Kurane, R., 2000. *Burkholderia kururiensis* sp. nov., a trichloroethylene (TCE)-degrading bacterium isolated from an aquifer polluted with TCE. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 50, 743-749.
- Zhang, L., Pan, Y., Wang, K., Zhang, X., Zhang, S., Fu, X., Zhang, C., Jiang, J., 2015. *Pseudomonas songnenensis* sp. nov., isolated from saline and alkaline soils in Songnen Plain, China. *Antonie van Leeuwenhoek* 107, 711-721.
- Zheng, K., 2013. 11 - Recycled glass concrete, In: Pacheco-Torgal, F., Jalali, S., Labrincha, J., John, V.M. (Eds.), *Eco-Efficient Concrete*. Woodhead Publishing, pp. 241-270.
- 中央地質調查所, 2014. 地下水補注地質敏感區劃定計畫書. 經濟部.
- 田倩蓉, 2008. *The Establishment of Survey on the Environmental Distribution of Toxic Chemicals*. Environmental Protection Agency, Republic of China, Taipei.
- 田倩蓉, 李俊璋, 孫逸民, 2007. 毒性化學物質環境流布背景調查計畫期末報告. 財團法人成大研究發展基金會, p. 316.
- 行政院公共工程委員會, 2019. 施工綱要規範與工項編碼公告, 公共工程技術資料庫. 行政院, 台灣台北.
- 行政院環境保護署, 2012. 底泥品質指標之分類管理及用途限制辦法, In: 行政院環境保護署 (Ed.), 14-0250. 行政院環境保護署, 台灣台北市.
- 余光昌, 凌慧紋, 2004. 生物淋溶處理河川底泥時 PAH 之釋出, 專題研究計畫成果報告 NCEE93-02 子計畫. 嘉南藥理科技大學, 台南, 台灣.
- 李俊璋, 田倩蓉, 孫逸民, 2006. 毒性化學物質環境流布背景調查計畫期末報告. 國立成功大學, p. 250.
- 林志鴻, 2010. 淨水污泥再利用於水泥生料之研究, 碩士, 國立中央大學, 台灣桃園市.
- 張書奇, 李思寬, 葉家瑋, 陳姿文, 李承濤, 2019. 適用於整治污染底泥之相反轉型乳化液、及污染底泥之



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

整治方法, In: 中華民國智慧財產局 (Ed.), 發明說明書公告. 國立中興大學, 中華民國, p. 42.

陳, 金., 2001. 廢玻璃再利用於瀝青路面之研究, 國立雲林科技大學, 雲林縣.

陳意銘, 2005. 以模擬河川環境之實驗槽進行六氯苯污染底泥之整治復育研究. 嘉南藥理大學, 台灣台南市.

陳意銘, 2013. 利用底泥環境模擬槽進行河川中環境荷爾蒙污染之環境自淨勢能評估與提升之研究. 嘉南藥理大學, 台灣台南市.

黃煥彰, 2003. 失落的記憶～台鹼二部曲. 看守台灣季刊 5, 28-40.

農業藥物毒物試驗所, 2019. 歷年政府禁用農藥一覽表. 行政院農委會, 台灣台中.

潘復華, 2002. 二仁溪、高屏溪底泥樣品中戴奧辛及平面狀毒性多氯聯苯濃度現況背景調查, 環境檢驗所環境調查研究年報 9:89-110. 行政院環境保護署環境檢驗所, 中壢, 台灣.





附錄

## 附 錄



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(空白頁)

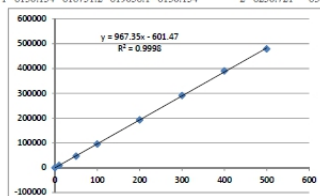
## 附錄一 檢測原始資料

## 1. 土壤玻璃化資料

As (均為 ND)

Sample ID	Analyte	N	Reported	CRSD (Conc	Conc (Cali	Corr Coef	Conc (Sar	Repl No1	Conc (Sar	Int (Cor)	Conc (Cali	Repl No2	Conc (Sar	Int (Cor)	Conc (Cali	Repl No3	Conc (Sar	Int (Cor)	Conc (Cali				
Cali Blank As	193.69f		0					1	494.8111	494.8111		2	544.8367	544.8367		3	489.0519	489.0519					
10ppb	As 193.69f		0					1	578.9173	69.35072		2	601.3365	91.7699		3	631.5508	121.9842					
50ppb	As 193.69f		0					1	1049.146	539.5792		2	1049.996	504.6357		3	1049.996	540.4293					
100ppb	As 193.69f		0					1	1613.265	1103.695		2	1630.357	1120.79		3	1607.523	1097.957					
200ppb	As 193.69f		0					1	2847.307	2337.74		2	2778.33	2268.763		3	2765.657	2256.09					
300ppb	As 193.69f		0					1	4090.738	3581.17		2	4128.094	3618.527		3	4056.053	3546.487					
400ppb	As 193.69f		0					1	5159.155	4649.580		2	5275.684	4766.117		3	5242.572	4733.006					
500ppb	As 193.69f		0					1	6401.382	5981.815		2	6395.977	5886.201		3	6434.428	5924.862					
MBK	As 193.69f		-2.784	58.81901	-2.78356	0.99986	-2.78356		1	-4.22332	16.7525	-92.8141	-4.22332	2	-1.00258	455.0659	-54.5007	-1.00258	3	-3.12478	429.8206	-79.746	-3.12478
QC250	As 193.69f		234.3	1.044007	234.2645	0.99986	234.2645		1	235.1444	3264.225	2754.658	235.1444	2	231.5005	3220.878	2711.311	231.5005	3	236.1485	3276.169	2766.602	236.1485

Cd

[illegible]

	Cd	
CS(牧)	ND	ND
0.04 S(豎)	ND	ND
D(嘉)	32.12474	64.24948
回收率(%)		92.45319

單位: mg/kg soil



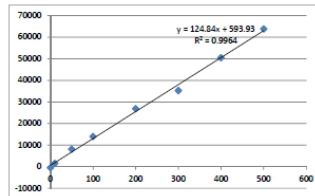




## 附錄

## Hg

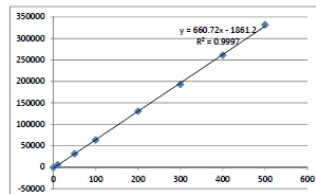
Sample ID	Reported (RSD)	(Conc Conc)	(Cali Corr Coef)	Conc (San/Repl No1)	Conc (San/Int (Net)1)	Int (Corr)1	Conc (Cali/Repl No2)	Conc (San/Int (Net)2)	Int (Corr)2	Conc (Cali/Repl No3)	Conc (San/Int (Net)3)	Int (Corr)3	Conc (Cali/Sample ID)	124.84	593.93	
Calib Blank	0			1	639.629	639.629	2	476.951	476.951	3	414.38	414.38	0	-510.32		
10ppb	0			1	1489.999	2000.319	2	1434.87	1945.191	3	1344.16	1854.48	10	1423.01		
50ppb	0			1	7981.992	8492.312	2	8169.31	8679.63	3	8125.073	8635.393	50	8092.125		
100ppb	0			1	13776.28	14286.6	2	13834.3	14344.62	3	14242.65	14752.97	100	13951.07		
200ppb	0			1	29179.28	29689.6	2	25927.19	26437.51	3	25572.6	26082.92	200	26893.02		
300ppb	0			1	34685.33	35195.65	2	36207.95	36718.27	3	34922.76	35433.08	300	35272.01		
400ppb	0			1	50755.12	51265.44	2	50700.9	51211.22	3	50088.63	50598.95	400	50514.88		
500ppb	0			1	63969.2	64479.52	2	63800.66	64310.98	3	63828.09	64338.41	500	63865.98		
MBK	-6.756	2.950768	-6.75602	0.998206	-6.75602	1	-6.67122	-238.905	271.4152	-6.67122	2	-6.98376	-277.922	232.3984	-6.98376	-6.75602
QC250	167.4	0.450251	167.3862	0.998206	167.3862	1	167.1496	21460.89	21971.21	167.1496	2	168.2298	21595.73	22106.05	168.2298	167.3862
SI-500x	-12.18	3.213515	-12.1798	0.998206	-12.1798	1	-12.6316	-982.993	472.673	-12.6316	2	-11.9426	-896.985	386.665	-11.9426	-12.1798
CS1-1000x	-11.23	8.837162	-11.2322	0.998206	-11.2322	1	-10.5554	-723.805	-213.485	-10.5554	2	-10.7696	-750.548	-240.228	-10.7696	-11.2322
CS2-1000x	-10.17	6.483806	-10.1721	0.998206	-10.1721	1	-9.70038	-617.066	-106.745	-9.70038	2	-9.89027	-640.771	-130.451	-9.89027	-10.1721
CS3-1000x	-11.15	3.272553	-11.1504	0.998206	-11.1504	1	-10.874	-763.58	-253.259	-10.874	2	-11.564	-849.721	-339.401	-11.564	-11.1504
CS1-1000x	-41.55	1.207613	-41.5478	0.998206	-41.5478	1	-41.4217	-4577.15	-4066.83	-41.4217	2	-42.1006	-4661.91	-4151.59	-42.1006	-41.5478
D1-500x	-16.07	3.169203	-16.0674	0.998206	-16.0674	1	-16.5049	-1466.54	-956.224	-16.5049	2	-15.5085	-1342.14	-831.824	-15.5085	-16.0674
D2-500x	-15.48	6.46661	-15.4833	0.998206	-15.4833	1	-15.5688	-1349.67	-839.354	-15.5688	2	-14.442	-1209.01	-698.692	-14.442	-15.4833
D3-500x	-15.34	6.454269	-15.3384	0.998206	-15.3384	1	-15.6737	-1362.77	-852.454	-15.6737	2	-16.1172	-1418.14	-907.818	-16.1172	-15.3384
D1-2000x	-11.07	10.29296	-11.0659	0.998206	-11.0659	1	-9.85313	-636.135	-125.814	-9.85313	2	-11.2317	-808.229	-297.909	-11.2317	-11.0659
D2-2000x	-10.96	7.709859	-10.9619	0.998206	-10.9619	1	-10.313	-693.546	-183.226	-10.313	2	-10.6551	-736.254	-225.933	-10.6551	-10.9619
D3-2000x	-10.18	2.281238	-10.1797	0.998206	-10.1797	1	-10.0019	-654.709	-144.388	-10.0019	2	-10.4425	-709.708	-199.388	-10.4425	-10.1797
CS1-100x	-24.87	4.727215	-24.8746	0.998206	-24.8746	1	-25.779	-2624.33	-2114.01	-25.779	2	-23.5454	-2345.47	-1835.15	-23.5454	-24.8746
SI-50x	-35.49	0.675701	-35.4917	0.942536	-35.4917	1	-35.5417	-1203.57	-988.735	-35.5417	2	-35.7023	-1225.49	-1010.66	-35.7023	-35.4917
S2-50x	-36.79	3.229861	-36.7881	0.942536	-36.7881	1	-35.9745	-1262.67	-1047.84	-35.9745	2	-36.2381	-1298.66	-1083.82	-36.2381	-36.7881
S3-50x	-38.13	1.642855	-38.1334	0.942536	-38.1334	1	-37.9032	-1526.03	-1311.2	-37.9032	2	-37.6547	-1492.1	-1277.26	-37.6547	-38.1334
D1-50x	-50.43	0.837262	-50.4349	0.942536	-50.4349	1	-50.6997	-3273.43	-3058.6	-50.6997	2	-50.6571	-3267.61	-3052.78	-50.6571	-50.4349
D2-50x	-51.08	1.79818	-51.0802	0.942536	-51.0802	1	-51.1398	-3333.53	-3118.7	-51.1398	2	-50.1333	-3196.09	-2981.25	-50.1333	-51.0802
D3-50x	-47.21	2.070726	-47.2107	0.942536	-47.2107	1	-48.1944	-2931.33	-2716.5	-48.1944	2	-47.1983	-2795.31	-2580.47	-47.1983	-47.2107
SI-2x	-317.7	1.846428	-317.705	0.942536	-317.705	1	-324.477	-4065.84	-4044.63	-324.477	2	-314.428	-3928.62	-3907.14	-314.428	-317.705
CS2-2x	-307.8	1.248129	-307.81	0.942536	-307.81	1	-306.701	-38231	-38016.1	-306.701	2	-304.645	-37950.2	-37735.4	-304.645	-307.81
CS3-2x	-324.7	1.719164	-324.747	0.942536	-324.747	1	-330.268	-41491.1	-41234.3	-330.268	2	-324.868	-40711.7	-40496.9	-324.868	-324.747
S2-2x	-323.5	1.849735	-323.512	0.942536	-323.512	1	-323.988	-40591.6	-40376.8	-323.988	2	-329.243	-41309.2	-41094.4	-329.243	-323.512
S3-2x	-407.8	0.726783	-407.846	0.942536	-407.846	1	-409.687	-52294	-52079.2	-409.687	2	-409.424	-52258.1	-52043.2	-409.424	-407.846
D1-2x	-402.9	2.049465	-402.942	0.942536	-402.942	1	-408.254	-52098.4	-51883.5	-408.254	2	-407.143	-51946.7	-51731.8	-407.143	-402.942
D2-2x	-477	0.640561	-476.971	0.942536	-476.971	1	-476.885	-61470.1	-61255.2	-476.885	2	-473.959	-61070.5	-60855.6	-473.959	-476.971
D3-2x	-469	2.178995	-469.012	0.942536	-469.012	1	-477.777	-61591.9	-61377.1	-477.777	2	-471.471	-60730.8	-60516	-471.471	-469.012



Hg  
CS(枚) ND  
S(錠) ND  
D(錠) ND  
回收率(%) 66.95  
單位: mg/kg soil

## Ni

Sample ID	Reported (RSD)	(Conc Conc)	(Cali Corr Coef)	Conc (San/Repl No1)	Conc (San/Int (Net)1)	Int (Corr)1	Conc (Cali/Repl No2)	Conc (San/Int (Net)2)	Int (Corr)2	Conc (Cali/Repl No3)	Conc (San/Int (Net)3)	Int (Corr)3	Conc (Cali/Sample ID)	660.72	-1861.2	
Calib Blank	0			1	579.885	579.885	2	499.244	499.244	3	480.041	480.041	0	-496.057		
10ppb	0			1	5819.45	6515.507	2	5702.341	6398.397	3	5723.231	6419.288	10	5748.341		
50ppb	0			1	31691.99	32388.04	2	30846.91	31542.97	3	31183.5	31879.55	50	31240.8		
100ppb	0			1	63165.02	63861.08	2	63834.67	64530.73	3	63443.67	64139.93	100	63481.19		
200ppb	0			1	132966.9	133662.9	2	129010	129706	3	129198.3	129894.4	200	130391.7		
300ppb	0			1	189685.6	190381.6	2	194324.9	195021	3	194721.5	195417.5	300	192910.6		
400ppb	0			1	264273.6	264969.6	2	255491.3	256187.4	3	262867.1	263563.2	400	260877.3		
500ppb	0			1	328372.7	329068.7	2	331245.7	331941.8	3	336030.9	336726.9	500	331883.1		
MBK	5.613	2.676591	5.613277	0.999868	5.613277	1	5.737718	1929.814	2625.87	5.737718	2	5.655741	1875.649	2571.706	5.655741	5.613277
QC250	239.4	1.073639	239.3513	0.999868	239.3513	1	237.1822	154850.4	155546.4	237.1822	2	238.6823	155941.5	156357.6	238.6823	239.3513
CS1-1000x	10.66	1.038251	10.66341	0.999868	10.66341	1	10.70159	5209.556	5905.612	10.70159	2	10.53866	5101.9	5797.957	10.53866	10.66341
D1-500x	14.67	1.436006	14.66587	0.999868	14.66587	1	14.86254	7958.784	8054.841	14.86254	2	14.44366	7682.023	8378.08	14.44366	14.66587
D2-500x	15.68	0.454652	15.68441	0.999868	15.68441	1	15.62866	8463.788	9159.845	15.62866	2	15.66219	8487.134	9183.19	15.66219	15.68441
D3-500x	14.69	1.069662	14.69114	0.999868	14.69114	1	14.85906	7956.491	8652.547	14.85906	2	14.66673	7829.408	8525.465	14.66673	14.69114
SI-50x	51.13	1.490874	51.12576	0.999113	51.12576	1	51.16072	3552.062	3220.215	51.16072	2	50.34667	3497.898	3166.051	50.34667	51.12576
S2-50x	53.98	1.235483	53.98155	0.999113	53.98155	1	53.77375	3725.062	3394.076	53.77375	2	53.44326	3703.933	3372.086	53.44326	53.98155
S3-50x	51.25	1.395468	51.2525	0.999113	51.2525	1	51.9816	3606.68	3274.833	51.9816	2	50.55203	3511.563	3179.715	50.55203	51.2525
SI-2x	1150	0.655611	1149.827	0.999113	1149.827	1	1157.962	77194.22	76862.38	1157.962	2	1143.077	76203.85	75872.01	1143.077	1149.827
CS2-2x	1958	0.28424	1958.247	0.999113	1958.247	1	1957.05	130362.4	130030.5	1957.05	2	1940.695	129274.1	128942.3	1940.695	1958.247
CS3-2x	1949	0.23871	1946.813	0.999113	1946.813	1	1970.314	131413.3	131081.4	1970.314	2	1961.162	126117.2	126391.4	1961.162	1946.813
S2-2x	1220	1.152924	1219.769	0.999113	1219.769	1	1235.836	82375.63	82043.78	1235.836	2	1209.695	80636.33	80304.49	1209.695	1219.769
S3-2x	1238	1.007765	1238.459	0.999113	1238.459	1	1252.06	83455.15	83123.3	1252.06	2	1227.533	81823.18	81491.33	1227.533	1238.459
D1-2x	21530	0.489147	21532.04	0.999113	21532.04	1	21585.65	1436372	1436040	21585.65	2	21410.7	1424731	1424399	21410.7	21532.04
D2-2x	22410	1.169415	22409.88	0.999113	22409.88	1	22287.25	1483053	1482721	22287.25	2	22231.62	1479352	1479020	22231.62	22409.88
D3-2x	21730	0.703802	21734.45	0.999113	21734.45	1	21794.79	1450287	1449955	21794.79	2	21848.04	1453830	1453498	21848.04	21734.45



Ni  
CS(枚) 191.1467 15.29  
S(錠) 124.1541 9.93  
D(錠) 15.01381 300.28  
回收率(%) 95.74  
單位: mg/kg soil

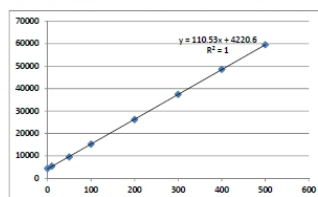




## 二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

### Pb

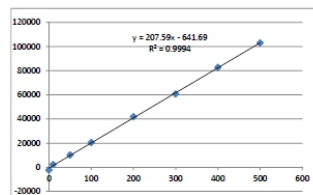
Sample ID	Reported (RSD)	(Conc)	(Cali)	Coef	Conc (San)	Repl	No1	Conc (San)	Int (Net)	Int (Corr)	Conc (Cali)	Repl	No2	Conc (San)	Int (Net)	Int (Corr)	Conc (Cali)	Repl	No3	Conc (San)	Int (Net)	Int (Corr)	Conc (Cali)	Sample ID	110.53	4220.6
Calib Bian	0						1		4544.72	4544.72			2		4383.717	4383.717			3		4317.9943	4317.994			0	4415.477
10ppb	0						1		5271.11	855.6331			2		5431.745	1016.268			3		5539.454	1123.974			10	5414.102
50ppb	0						1		9547.892	5132.415			2		9533.157	5117.68			3		9523.417	5107.94			50	9534.822
100ppb	0						1		15410.46	10994.99			2		15053.78	10638.3			3		15233.669	10818.19			100	15232.64
200ppb	0						1		26073.39	21657.92			2		26367.44	21951.96			3		26108.82	21693.34			200	26183.22
300ppb	0						1		37368.25	29652.77			2		37665.3	32329.82			3		37178.84	32763.36			300	37400.8
400ppb	0						1		48288.28	43872.46			2		48038.38	44622.9			3		48268.596	43853.12			400	48531.75
500ppb	0						1		59315.66	54901.48			2		59388.26	54972.78			3		59729.111	55163.63			500	59478.11
MBK	3.75	18.77739	3.749521	0.99998	3.749521			1	4.329917	4699.174	263.088	4.329917	2	3.952332	4657.439	241.9624	3.952332	3	3.966313	4548.455	232.9782	2.966313	3.966313	3.749521		
QC250	238.1	0.479807	238.0652	0.99998	238.0652			1	238.6218	36051.755	262.0108	238.6218	2	238.6218	36957.36	261.7938	238.6218	3	236.7514	30888.627	197.9753	236.7514	236.7514	238.0652		
CS1-1000x	11	5.568656	10.99944	0.99998	10.99944			1	10.36053	5365.735	509.2583	10.36053	2	11.05617	5442.624	1027.147	11.05617	3	11.58163	5605.248	1085.225	11.58163	CS1-1000x	10.99944		
D1-500x	65.7	1.920055	65.69689	0.99998	65.69689			1	66.07757	11521.93	7106.455	66.07757	2	66.73851	11927.917	7181.697	66.73851	3	64.29436	11327.02	6911.543	64.29436	D1-500x	65.69689		
D2-500x	63.84	1.434465	63.84065	0.99998	63.84065			1	64.83783	11387.09	6971.613	64.83783	2	64.83783	11387.09	6971.613	64.83783	3	63.9466	11255.445	6839.98	63.9466	D2-500x	63.84065		
D3-500x	62.74	1.480251	62.73792	0.99998	62.73792			1	63.62748	11157.84	6729.643	63.62748	2	63.62748	11157.84	6729.643	63.62748	3	63.62748	11256.161	6839.98	63.62748	D3-500x	62.73792		
S1-50x	39.02	13.21794	39.02223	0.999825	39.02223			1	33.48335	3592.499	376.3133	33.48335	2	33.48335	3592.499	376.3133	33.48335	3	33.48335	3640.9103	407.9512	33.48335	S1-50x	39.02223		
S2-50x	43.69	1.134181	43.68879	0.999825	43.68879			1	43.19464	4067.715	444.7559	43.19464	2	44.18565	4688.771	455.8119	44.18565	3	44.18565	4688.771	455.8119	44.18565	S2-50x	43.68879		
S3-50x	45.93	1.187234	45.93352	0.999825	45.93352			1	46.38287	4645.228	412.2677	46.38287	2	46.38287	4645.228	412.2677	46.38287	3	46.38287	4645.228	412.2677	46.38287	S3-50x	45.93352		
S1-2x	1038	1.828825	1037.88	0.999825	1037.88			1	1037.97	15773.71	11542.81	1037.97	2	1037.97	15773.71	11542.81	1037.97	3	1037.97	15773.71	11542.81	1037.97	S1-2x	1037.88		
CS1-2x	2219	0.359828	2219.173	0.999825	2219.173			1	2225.423	28904.04	24790.44	2225.423	2	2225.423	28904.04	24790.44	2225.423	3	2225.423	28904.04	24790.44	2225.423	CS1-2x	2219.173		
CS2-2x	2205	0.888428	2205.046	0.999825	2205.046			1	2211.699	28820.29	24637.31	2211.699	2	2211.699	28820.29	24637.31	2211.699	3	2211.699	28820.29	24637.31	2211.699	CS2-2x	2205.046		
CS3-2x	1998	0.811169	1998.357	0.999825	1998.357			1	1992.584	26475.27	21293.81	1992.584	2	1992.584	26475.27	21293.81	1992.584	3	1992.584	26475.27	21293.81	1992.584	CS3-2x	1998.357		
S2-2x	1006	0.433957	1006.156	0.999825	1006.156			1	1007.215	15422.66	11190.1	1007.215	2	1007.215	15422.66	11190.1	1007.215	3	1007.215	15422.66	11190.1	1007.215	S2-2x	1006.156		
S2-2x	982.9	0.809958	982.536	0.999825	982.536			1	982.610	15158.16	10925.2	982.610	2	982.610	15158.16	10925.2	982.610	3	982.610	15158.16	10925.2	982.610	S2-2x	982.536		
D1-2x	109600	1.002057	109628.2	0.999825	109628.2			1	109628.2	12178.81	1281.21	109628.2	2	109628.2	12178.81	1281.21	109628.2	3	109628.2	12178.81	1281.21	109628.2	D1-2x	109628.2		
D2-2x	107700	1.928315	107690.4	0.999825	107690.4			1	109481.7	122561.1	12137.8	109481.7	2	109481.7	122561.1	12137.8	109481.7	3	109481.7	122561.1	12137.8	109481.7	D2-2x	107690.4		
D3-2x	108100	1.449411	108062.2	0.999825	108062.2			1	109828.7	122948.2	12254.9	109828.7	2	109828.7	122948.2	12254.9	109828.7	3	109828.7	122948.2	12254.9	109828.7	D3-2x	108062.2		



Pb  
CS(物) 215.8633 17.27  
S(重) 101.6048 8.13  
D(重) 64.09182 1281.84  
回收率(%) 95.23  
單位: mg/Kg soil

### Zn

Sample ID	Reported (RSD)	(Conc)	(Cali)	Coef	Conc	(San)	Repl	No1	Conc	(San)	Int	(Net)	Int	(Corr)	Conc	(Cali)	Repl	No2	Conc	(San)	Int	(Net)	Int	(Corr)	Conc	(Cali)	Repl	No3	Conc	(San)	Int	(Net)	Int	(Corr)	Conc	(Cali)	Sample ID	207.59	-641.69	
Calib Bian	0							1										2										3												
10ppb	0							1										2										3												
50ppb	0							1										2										3												
100ppb	0							1										2										3												
200ppb	0							1										2										3												
300ppb	0							1										2										3												
400ppb	0							1										2										3												
500ppb	0							1										2										3												
MBK	25.22	2.280869	25.22465	0.999921	25.22465			1	25.71396	29043.3	5318.814	25.71396						2	25.36916	2833.53	5247.894	25.36916					3	24.59083	2674.317	5087.797	24.59083	MBK						25.22		
QC250	239	1.133243	238.9639	0.999921	238.9639			1	236.9487	46554.3	48767.81	236.9487						2	234.0422	4740.11	49815.5	234.0422					3	237.9009	46549.28	48963.66	237.9009	QC250							239	
CS1-1000x	77.09	1.655067	77.09334	0.999921	77.09334			1	77.59111	13575.07	15989.46	77.59111						2	76.84337	13668.51	16082.58	76.84337					3	75.64353	13174.48	15588.86	75.64353	CS1-1000x							77.09	
CS2-1000x	21.37	1.309104	21.37325	0.999921	21.37325			1	21.11092	3575.62	4372.013	21.11092						2	21.60754	3702.164	4686.545	21.60754					3	21.3411	3004.977	4149.358	21.3411	CS2-1000x							21.37	
CS3-1000x	45.31	0.783809	45.3127	0.999921	45.3127			1	45.20019	7948.78	9964.57	45.20019						2	45.37279	9062.45	45.37279	45.37279					3	44.93132	7082.96	9129.56	44.93132	CS3-1000x							45.31	
D1-2000x	289.9	0.297052	289.8737	0.999921	289.8737			1	290.674	5414.21	5981.59	290.674						2	288.9626	5705.18	5946.57	288.9626					3	289.9844	5726.38	5967.76	289.9844	D1-2000x							289.9	
D2-2000x	277	1.117219	277.0413	0.999921	277.0413			1	274.8857	5756.72	5657.11	274.8857						2	280.5879	5532.6	5744.98	280.5879					3	275.6502	5431.97	5678.35	275.6502	D2-2000x							277	
D3-2000x	262.7	2.062196	262.6865	0.999921	262.6865			1	268.9146	52934.06	55348.45	268.9146						2	259.547	5100.06	53414.98	259.547					3	259.7561	51007.68	53422.06	259.7561	D3-2000x							262.7	
S1-50x	129.2	2.78034	129.2401	0.99263	129.2401			1	133.2536	983.384	3118.096	133.2536						2	128.144	850.218	2984.925	128.144					3	126.3212	802.7157	2917.427	126.3212	S1-50x							129.2	
S2-50x	109.6	0.562485	109.5577	0.99263	109.5577			1	109.3459	3602.346	2494.946	109.3459						2	108.0533	383.849	2518.61	110.2159					3	109.0753	351.183	2487.849	109.0753	S2-50x							109.6	
S3-50x	112.1	0.664873	112.0866	0.99263	112.0866			1	111.3432	522.262	111.3432							2	111.452	522.262	111.452						3	112.0262	522.262	112.0262	112.0262	S3-50x							112.1	
S1-2x	6882	7.55091	6881.941	0.99263	6881.941			1	7436.35	1913.67	1947.41	7436.35						2	6802.593	17484.17	2678.614	6803.503					3	6405.97	16448.01	16614.68	6405.97	S1-2x							6882	
S2-2x	3320	2.450723	3320.168	0.99263	3320.168			1	3406.34	8429.51	8843.02	3406.34						2	3309.511	8377.17	85906.41	3309.511					3	3244.654	8208.21	84215.92	3244.654	S2-2x							3320	
S3-2x	3354	0.884402	3354.283	0.99263	3354.283			1	3322.033	8609.07	86232.78	3322.033						2	3309.516	8506.916	87754.28	3309.406					3	3360.41	8598.29	87233.1	3360.41	S3-2x							3354	



Zn  
CS(物) 47.92 19169.33  
0.04 S(重) 16.07 32.13193  
D(重) 276.53 22122.67  
回收率(%) 95.6  
單位: mg/Kg soil



## 附錄

## 2. DDT 與 Lindane 原始資料

## DDT

0326-10CB							0326D2-2						
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry
1	1.035	27.1	35.2	0.0106	0.093	1.358	1	1.099	1958.2	1531	0.0189	0.358	0.882
2	1.103	338.5	83.9	0.0519	1.155	0.661	2	1.121	2957.2	1162.6	0.0345	0.541	0.221
3	22.52	28928.1	4014.2	0.1105	98.752	0.742	3	2.446	332.6	90	0.0543	0.061	0.736
0330-10CB							4	2.535	138.3	41.2	0.0488	0.025	0.658
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	5	2.731	1082.3	239.1	0.0648	0.198	0.481
1	1.103	421.9	110.8	0.0484	1.259	0.579	6	2.895	664.1	165.2	0.0573	0.122	0.73
2	22.516	23078.5	4513.5	0.1135	98.741	0.673	7	5.296	1075.9	221	0.0736	0.197	0.573
0326D1-1							8	11.736	4286.9	582.2	0.0987	0.785	0.736
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	9	14.444	200197.2	21097.3	0.1299	36.642	0.471
1	1.1	2907	2542	0.0173	0.225	1.264	10	20.299	862.5	120.9	0.0905	0.158	0.805
2	1.119	10734.7	2350.4	0.0761	0.83	0.132	11	22.502	12163.1	1844.5	0.0921	2.226	0.789
3	1.418	613.8	244.7	0.0349	0.047	0.323	0326D3-1						
4	1.543	128.3	53.1	0.0338	0.01	0.364	#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry
5	2.445	163.2	50.6	0.048	0.013	0.519	1	1.099	24553.4	6111.9	0.0509	3.005	0.174
6	2.73	1094.2	237.7	0.0673	0.085	0.448	2	1.262	9725.8	2195.7	0.0738	1.19	0.621
7	2.892	406.1	102.3	0.0559	0.031	0.639	3	1.338	3448.1	1506	0.0382	0.422	0.73
8	5.296	631.4	127.1	0.0732	0.049	0.613	4	1.391	10100.9	1490.2	0.0845	1.236	0.313
9	11.73	8294.9	1099.6	0.0984	0.641	0.662	5	1.536	2871.8	552.5	0.0866	0.351	0.189
10	14.441	313706.8	33770.9	0.1324	24.246	0.485	6	1.693	1225.9	329	0.0621	0.15	1.125
11	22.506	16043.5	2317.7	0.1056	1.24	0.724	7	1.75	912.5	258.6	0.0588	0.112	0.476
0326D1-2							8	1.973	317.9	165.6	0.0288	0.039	0.781
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	9	2.013	592.2	125.3	0.0607	0.072	0.212
1	1.104	7296.1	2076.9	0.0458	1.539	0.266	10	2.435	461.8	194	0.0366	0.057	0.652
2	1.254	947.2	210.1	0.0574	0.2	0.202	11	2.729	1107.6	233.7	0.0705	0.136	0.591
3	1.424	258.2	114.5	0.0311	0.054	1.222	12	2.894	1062.7	209.8	0.0687	0.13	0.314
4	1.467	369.4	127.1	0.0387	0.078	0.349	13	3.705	503.6	83.2	0.0826	0.062	0.495
5	2.446	253	62.5	0.056	0.053	0.797	14	5.294	594.9	118	0.0724	0.073	0.593
6	2.537	118.2	38.4	0.0431	0.025	0.769	15	9.18	6713.9	1004.3	0.094	0.822	0.547
7	2.733	1401.1	309	0.0649	0.296	0.442	16	11.737	4570	589.4	0.0985	0.559	0.887
8	2.896	256.2	68.6	0.054	0.054	0.555	17	14.446	21982.8	22944.5	0.1294	26.901	0.507
9	5.299	2257.9	486.2	0.0694	0.476	0.698	18	22.509	16382.7	2394.2	0.0998	2.005	0.805
10	11.734	4005.2	551.7	0.1031	0.845	0.76	0330D1-1						
11	14.443	238531.8	33857.2	0.1054	50.32	0.622	#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry
12	22.511	17248.4	1041.3	0.1044	1.529	0.845	1	1.102	2561.3	2208.7	0.0175	0.792	1.281
0326D2-1							2	1.118	5009.5	1990.7	0.0419	1.549	0.2
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	3	1.337	607.5	106.3	0.0803	0.188	0.629
1	1.1	3474.7	1173.4	0.0385	0.229	0.2	4	1.418	190.3	104.1	0.0261	0.059	0.594
2	1.416	48	45.4	0.0171	0.003	0.313	5	1.459	47.7	58.9	0.0143	0.015	2.11
3	2.445	83.8	32.7	0.0387	0.006	0.887	6	2.535	148.5	32.4	0.0632	0.046	1.493
4	2.729	1000.5	218.2	0.0663	0.066	0.462	7	2.728	1281.9	315.2	0.0586	0.396	0.509
5	2.894	594.9	120.5	0.0672	0.039	0.501	8	11.74	3761	487.6	0.1108	1.163	0.866
6	5.293	179.5	42.2	0.0632	0.012	0.729	9	14.46	251073	24311.4	0.1469	77.653	0.453
7	11.741	9880	1327	0.1029	0.65	0.881	10	22.513	9903.1	1423.9	0.1035	3.063	0.821
8	14.441	336758.8	37645.3	0.126	22.16	0.448	0330D1-2						
9	22.506	22521.6	3280.8	0.1017	1.482	0.734	#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry
							1	1.104	12566.6	2446.2	0.0647	1.851	0.161
							2	1.39	57.7	56.3	0.016	0.008	1.024
							3	1.423	1159.9	468.8	0.0337	0.171	0.308
							4	1.545	502	156.2	0.0431	0.074	0.32
							5	1.885	99.6	40.9	0.034	0.015	0.525
							6	2.329	153.2	37.6	0.0547	0.023	0.307
							7	2.442	728.8	224.3	0.0475	0.107	0.562
							8	2.538	424.9	90.7	0.0643	0.063	0.422
							9	2.731	2070.1	439.1	0.0678	0.305	0.494
							10	2.896	719.3	183.8	0.0553	0.106	0.629
							11	5.298	1782.4	389.8	0.0685	0.263	0.656
							12	11.722	4673.9	686.8	0.0906	0.688	0.69
							13	14.441	234297.3	25053.7	0.1339	34.51	0.432
							14	22.507	16298.5	2385.8	0.0949	2.401	0.746

二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

0330D2-1						
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry
1	1.099	6970.8	3739.4	0.0265	0.929	0.391
2	1.158	3271.8	1165.1	0.0468	0.436	0.376
3	1.262	5429	1534.3	0.059	0.723	0.659
4	1.339	1022.1	607.6	0.028	0.136	0.788
5	1.392	3625.7	1082.4	0.0558	0.483	0.61
6	1.485	472.4	281.2	0.028	0.063	0.838
7	1.56	168.7	86.3	0.0292	0.022	0.452
8	1.624	43.3	37.8	0.0182	0.006	0.705
9	1.695	1033.3	411.4	0.0357	0.138	0.843
10	1.754	760.2	257.4	0.0417	0.101	0.441
11	1.872	127.1	52.8	0.0345	0.017	0.774
12	1.973	433.4	235.2	0.0279	0.058	0.861
13	2.045	390.3	87.1	0.0635	0.052	1.08
14	2.196	330.8	91.3	0.0487	0.044	0.808
15	2.363	154.1	46.8	0.0488	0.021	1.059
16	2.435	733.1	310.6	0.0355	0.098	0.734
17	2.56	109.4	36.1	0.0441	0.015	1.079
18	2.729	1636.1	357.9	0.0645	0.218	0.724
19	2.897	755.8	132.6	0.0745	0.101	0.403
20	3.06	156.1	50.4	0.045	0.021	0.903
21	3.284	403.3	59.2	0.0883	0.054	1.888
22	3.696	779.7	148.3	0.0773	0.104	0.489
23	4.302	838.3	126.5	0.0933	0.112	0.532
24	4.541	312.5	68.3	0.063	0.042	0.925
25	9.184	3349.9	547.8	0.0881	0.446	0.594
26	11.716	4798.5	715.7	0.1054	0.639	0.743
27	14.435	229281.3	24209.2	0.1401	30.542	0.456
28	22.507	13807.5	2012.9	0.1064	1.839	0.805
0330D2-2						
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry
1	1.1	3051.2	2597.8	0.0177	0.293	1.199
2	1.121	8113.1	2376.8	0.0569	0.779	0.207
3	1.329	2892.2	382.7	0.126	0.278	1.015
4	1.412	882	253.2	0.0581	0.085	0.205
5	2.728	1107.9	215.6	0.0735	0.106	0.687
6	5.295	238.4	53.8	0.0653	0.023	0.738
7	9.202	1880.2	246.9	0.1096	0.18	0.585
8	11.736	8974	1206.5	0.1044	0.861	0.697
9	14.447	328479.4	33500.9	0.1352	31.52	0.427
10	22.507	12598	1820	0.0976	1.209	0.759
0330D3-1						
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry
1	1.104	16425.9	4240.9	0.05	1.826	0.203
2	1.39	14	17.5	0.0133	0.002	0.98
3	1.424	144.3	105.6	0.0207	0.016	0.568
4	1.466	177.5	104.7	0.0246	0.02	0.521
5	1.546	38.2	27.1	0.0212	0.004	0.885
6	1.889	198.8	71.7	0.0395	0.022	0.488
7	2.446	176.1	60.3	0.0429	0.02	0.559
8	2.539	149.2	46.9	0.0459	0.017	0.646
9	2.731	1755.8	373.8	0.0676	0.195	0.473
10	2.895	238	59.8	0.0544	0.026	0.611
11	4.684	301.5	59	0.074	0.034	0.532
12	5.298	258.1	56.3	0.0687	0.029	0.642
13	11.722	5693.5	874.2	0.088	0.633	0.764
14	13.149	269223.8	31367.9	0.1225	29.924	0.497
15	14.434	590872.6	85418.6	0.0991	65.675	0.636
16	22.508	14023.6	2020.6	0.1042	1.559	0.795

#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry
1	1.036	15.8	21.9	0.0108	0.002	1.213
2	1.104	17839.8	4999.1	0.0456	2.109	0.243
3	1.252	2012.8	399.4	0.084	0.238	1.00E-01
4	1.424	48	38.8	0.0192	0.006	0.712
5	1.467	165.1	97.1	0.0246	0.02	0.482
6	2.446	228.2	62.2	0.0524	0.027	0.93
7	2.536	131.4	39.2	0.048	0.016	0.774
8	2.733	1479.5	331.3	0.0641	0.175	0.455
9	2.895	252.7	60.8	0.0573	0.03	0.712
10	4.685	279.4	53.7	0.0743	0.033	0.58
11	5.298	560.7	116.5	0.0705	0.066	0.641
12	11.725	6056.7	911.1	0.0944	0.716	0.835
13	13.149	264464.4	29498	0.1206	31.264	0.45
14	14.438	537480.8	76901.9	0.1071	63.539	0.654
15	22.51	14886.2	2178.2	0.1021	1.76	0.823

Linadane

## 附錄

[illegible]

0330L-1						
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry
1	1.102	2405.7	6170.4	0.0502	4.873	0.186
2	1.432	860.5	627.0	0.0209	0.018	0.563
3	1.463	135	72.8	0.0256	0.027	0.435
4	1.545	22.7	17	0.0222	0.005	0.738
5	1.987	48.8	88.9	0.0807	0.099	1.17
6	2.482	2199.6	503	0.0662	0.447	0.615
7	2.729	1164	264.8	0.0649	0.236	0.466
8	2.895	129.1	38.3	0.0481	0.026	0.655
9	4.542	562.3	138.8	0.0609	0.114	0.721
10	5.294	15194.25	83560.2	0.0767	91.749	0.491
11	22.508	11851.4	1673.9	0.1042	2.406	0.76
0330L4-1						
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry
1	1.102	18231.8	5018.1	0.0464	2.072	0.21
2	1.261	3200.3	603.7	0.0883	0.364	0.342
3	1.386	1239.4	253.9	0.0813	0.141	0.237
4	1.467	123.7	73.4	0.0269	0.014	0.569
5	1.628	35.5	28.3	0.0194	0.004	0.795
6	1.684	197.2	58.2	0.0459	0.022	0.779
7	1.755	204.3	79	0.0366	0.023	0.643
8	1.884	120.7	44.5	0.0381	0.014	0.571
9	1.977	426.6	115.5	0.0607	0.048	0.479
10	2.171	135.9	40	0.0517	0.015	0.794
11	2.476	3794.4	911	0.063	0.431	0.648
12	2.729	864.9	238.6	0.0551	0.098	0.567
13	2.9	196.8	64.1	0.0462	0.022	0.591
14	4.542	605.3	151.6	0.061	0.069	0.711
15	5.296	33064.63	158399.2	0.0756	94.408	0.538
16	9.189	6695.3	1036	0.0938	0.761	0.625
17	22.509	13129.6	1921.2	0.0981	1.492	0.821



## 二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

### 3. Aroclor 1254 原始資料





## 附錄

										烘前重	烘後重	鉛盤重	水重	1-含水率	乾前重	鉛盤重		底泥重	
WBK1	198.1	1273.7	0.039063	167.7	1310.2	0.042548				WBK1	10.4286	7.6801	1.4251	2.7485	0.560592	8.1281	1.4249	4.556544	
	268.8			268.1						WBK2	10.3754	7.6529	1.4131	2.7225	0.563688	8.1354	1.4148	4.585827	
	267.6			254.2						WNR1	10.6416	7.6665	1.444	2.9751	0.52188	8.1276	1.4206	4.241634	
	335.4			294.2						WNR2	10.8504	7.5131	1.4435	2.3373	0.614917	8.0585	1.4304	4.955308	
	381.9			326						WBS1	10.163	7.6302	1.4418	2.5328	0.590718	8.7352	1.4188	4.628395	
WBK2	6483.4			6857.8						WBS2	10.608	8.0684	1.4257	2.5396	0.617686	8.166	1.4199	5.04402	
	251.7	1412.9	0.052353	267.2	2216.8	0.129105	130.4	758.6		WBA1	10.9106	8.268	1.4123	2.6426	0.61454	8.6255	1.4202	5.300712	
	291.4			422.8						WBA2	9.7832	7.4559	1.448	3.2373	0.612627	8.2681	1.425	5.065259	
	310.2			491.8						WBK1-7	9.95	7.5297	1.41	2.4203	0.604507	7.9804	1.4227	4.824206	
	430			460						WBK2-7	10.892	8.2012	1.4303	2.6908	0.602593	7.8628	1.4108	4.738072	
WNR1	381.3			575						WNR1-7	11.2605	8.7013	1.4203	2.5592	0.64851	7.8068	1.4146	5.062786	
	6200.3			8235.4						WNR2-7	10.2797	7.9094	1.4388	2.3703	0.633682	7.7318	1.4195	4.899499	
	202.6	1408.6	0.051943	873.8	5025.6	0.397274	1373.4	7643.6	0.63882643	WBS1-7	11.2636	8.4995	1.4222	2.7641	0.609441	7.7285	1.446	4.710068	
	321.1			928.4						WBS2-7	9.95	7.6023	1.4186	2.3477	0.620341	8.3283	1.4171	5.166382	
	266.5			1132.4						WBA1-7	11.0984	8.4497	1.4177	2.6487	0.623336	7.9184	1.4242	4.935825	
WNR2	291.5			737.5						WBA2-7	9.5753	7.3759	1.4369	2.1994	0.629668	8.6003	1.4217	5.415336	
	326.9			1353.5											0'	#DIV/0!			
	7165.3			7444.1						WBK1-14	11.9005	8.8708	1.4193	3.0297	0.593411	8.2299	1.4249	4.883711	
	239.9	1571.8	0.067524	210.1	1572.4	0.067582	651.1	4822.8	0.36831209	WBK2-14	13.1179	9.9234	1.4165	3.1945	0.624481	8.7944	1.4148	4.971984	
	295.9			313.9						WNR1-14	11.8528	9.1179	1.4214	2.7349	0.644657	8.1853	1.4206	5.276708	
WBS1	325.4			322.2						WNR2-14	13.3252	10.3039	1.4262	3.0213	0.659675	7.7666	1.4304	5.123435	
	341.7			355.3						WBS1-14	12.3273	9.4186	1.4498	2.9087	0.634989	8.5349	1.4188	5.419567	
	368.9			370.9						WBS2-14	11.0845	8.5559	1.4273	2.5286	0.645288	8.4098	1.4199	5.426743	
	7832.2			8262						WBA1-14	10.5194	8.1917	1.4243	3.2377	0.656042	7.7351	1.4202	5.087673	
	229.8	1912.4	0.100043	132.9	1120.6	0.024446	186.6	1270.7	0.03779194	WBA2-14	10.4635	10.7568	1.4266	3.067	0.645592	8.3008	1.425	5.378296	
WBS2	396.4			213.8						FBK1	9.9133	7.3209	1.4303	2.5924	0.559909	7.8904	1.4288	4.6161	3.617908
	341.6			243.1						FBK2	11.3821	8.255	1.4199	3.1271	0.542494	7.7782	1.4417	4.3365	3.437513
	429.6			233.3						FNRI	10.8209	7.6184	1.4243	3.2025	0.482976	7.9899	1.4369	6.353	3.068345
	515			297.5						FNRI2	9.4544	7.4661	1.4062	1.9883	0.671892	8.5771	1.4534	7.1237	4.786359
	7363.1			6772.6						FBK1-7	10.5651	8.1407	1.4183	2.4244	0.639355	7.4492	1.4136	6.0356	3.858891
WBA1	253.1	1955.1	0.10412	286.3	2106.1	0.118536	211.7	1462.4	0.05562948	FBK2-7	8.4772	7.8203	1.4235	0.6569	0.897308	7.9007	1.4239	6.4768	5.811685
	389.5			487.9						FBA1	9.8018	7.4691	1.4138	2.3327	0.614767	8.0081	1.4172	6.6309	4.07646
	429.6			303						FBA2	11.2732	8.7304	1.4343	2.5428	0.651485	7.9616	1.414	6.5476	4.265663
	385.7			475.3															
	497.2			553.6						FBK1-7	11.6355	9.138	1.4192	2.4975	0.676439	8.3675	1.4121	6.9554	4.704906
WBA2	7067.2			7648						FBK2-7	11.6625	9.1152	1.4228	2.5473	0.668855	7.8648	1.4121	6.4527	4.315642
	301.7	1817.2	0.090954	343.4	2388.6	0.145508	352.8	1643	0.07243417	FNRI-7	10.5432	8.2978	1.4269	2.2454	0.673201	7.8388	1.4121	6.4267	4.329244
	375.2			474.5						FNRI2-7	11.7148	9.3658	1.427	2.349	0.704111	7.753	1.4121	6.3409	4.4647
	331			573.4						FBK1-7	10.909	8.5369	1.4161	2.3721	0.666877	7.8892	1.4121	6.4771	4.319431
	376.5			496.1						FBK2-7	13.3786	10.4733	1.4114	2.9053	0.679394	8.1356	1.4121	6.7235	4.567905
WBA2	432.8			501.2						FBA1-7	11.8963	9.401	1.4232	2.4953	0.68722	7.94618	1.4121	6.3535	4.366249
	6035.7			7673						FBA2-7	12.7994	10.1052	1.415	2.6942	0.689973	7.6775	1.4121	6.2654	4.322954
	340.8	1866.7	0.09568	522.8	3252.1	0.22795	682.9	3895.9	0.28206476										
	426.3			672.2						FBK1-14	12.9622	9.8742	1.3207	1.7673	0.206617	0.793383	8.6499	1.3261	5.810577
	366.1			738.2						FBK2-14	10.3922	7.9383	1.3325	1.1214	0.169976	0.83024	7.7388	1.3264	5.323832
9026.3 8096.5	358.9			661.7						FNRI-14	11.5775	8.9475	1.32	1.31	0.171747	0.828253	7.947	1.3252	5.484526
	374.6			657.2						FNRI2-14	11.0905	8.7091	1.32	1.0614	0.143644	0.856356	7.9106	1.3319	5.633709
	7094.8			8204.4						FBK1-14	11.8021	9.1515	1.322	1.3286	0.169692	0.830308	7.9078	1.3392	5.453964
										FBK2-14	13.6939	10.5033	1.3355	1.8551	0.20325	0.79765	8.483	1.3365	5.700409
										FBA1-14	12.9231	10.2182	1.3281	1.3768	0.154869	0.845131	7.0745	1.3185	4.864575
									FBA2-14	13.198	10.0716	1.331	1.7951	0.205382	0.794618	8.1201	1.3343	5.392119	



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(空白頁)



## 附錄

### 4. Dioxin 原始資料



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(空白頁)



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呔喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第1頁/共12 頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：7  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/7/ ~2018/7/18  
儀分時間：2018/7/24~2018/7/25

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>2.0729</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量 G ( ng-TEQ/kg):E*F   |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量 G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	6.140	29.62	0.1	2.96E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	14.430	69.61	0.05	3.48E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	16.670	80.4	0.5	4.02E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	25.260	121.9	0.1	1.22E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	29.930	144.4	0.1	1.44E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	46.490	224.3	0.1	2.24E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	9.300	44.86	0.1	4.49E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	134.760	650.1	0.01	6.50E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	27.910	134.64	0.01	1.35E+00
OCDF	137.660	664.1	0.001	6.64E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.700	8.20	1	8.20E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	7.400	35.70	0.5	1.78E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	4.220	20.36	0.1	2.04E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	4.470	21.56	0.1	2.16E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	6.350	30.63	0.1	3.06E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	57.250	276.18	0.01	2.76E+00
OCDD	189.510	914.2	0.001	9.14E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**145.7**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人





## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第2 頁/共12 頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：8  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/7/ ~2018/7/18  
儀分時間：2018/7/24~2018/7/25

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.6790</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	5.040	30.0	0.1	3.00E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	11.810	70.3	0.05	3.52E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	13.740	81.8	0.5	4.09E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	20.440	121.7	0.1	1.22E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	25.120	149.6	0.1	1.50E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	37.490	223.3	0.1	2.23E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	7.800	46.5	0.1	4.65E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	109.240	650.6	0.01	6.51E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	20.260	120.7	0.01	1.21E+00
OCDF	103.980	619.3	0.001	6.19E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.360	8.10	1	8.10E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	5.830	34.72	0.5	1.74E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	3.340	19.89	0.1	1.99E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	6.440	38.36	0.1	3.84E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	5.310	31.63	0.1	3.16E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	47.530	283.1	0.01	2.83E+00
OCDD	145.110	864.3	0.001	8.64E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**148.022**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呔喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 3 頁 / 共 12 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：9

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/7/ ~2018/7/18

儀分時間：2018/7/24~2018/7/25

採樣地點：

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

## A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                                  |                      |             |
|--------------------------------------------------|----------------------|-------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):                              | ( 參考數據報表 quan form ) |             |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):                               | <b>0.010</b>         | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 3. 樣品分樣C                                         | <b>1.00</b>          | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 4. 樣品乾重D(g):                                     | <b>1.8210</b>        | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A \cdot B / C / D \cdot 1000$ |                      |             |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)                           |                      |             |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg ): $E \cdot F$            |                      |             |

## B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	5.130	28.2	0.1	2.82E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	12.900	70.8	0.05	3.54E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	13.620	74.8	0.5	3.74E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	20.500	112.6	0.1	1.13E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	24.690	135.6	0.1	1.36E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	37.070	203.6	0.1	2.04E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	7.440	40.9	0.1	4.09E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	110.660	607.7	0.01	6.08E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	21.350	117.2	0.01	1.17E+00
OCDF	111.950	614.8	0.001	6.15E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.390	7.63	1	7.63E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	5.950	32.67	0.5	1.63E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	3.570	19.60	0.1	1.96E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	6.270	34.43	0.1	3.44E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	5.350	29.38	0.1	2.94E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	49.930	274.2	0.01	2.74E+00
OCDD	159.080	873.6	0.001	8.74E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)****136.806**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 4 頁/共 12 頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：10  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/7/ ~2018/7/18  
儀分時間：2018/7/24~2018/7/25

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):              | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):               | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3. 樣品分樣C                         | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4. 樣品乾重D(g):                     | <b>1.3102</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A*B/C/D*1000$ |                         |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)           |                         |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg): $E*F$   |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.180	16.6	0.1	1.66E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	5.680	43.4	0.05	2.17E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	6.340	48.4	0.5	2.42E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	9.490	72.4	0.1	7.24E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	11.450	87.4	0.1	8.74E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	17.100	130.5	0.1	1.31E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	3.540	27.0	0.1	2.70E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	53.000	404.5	0.01	4.05E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	10.100	77.1	0.01	7.71E-01
OCDF	53.810	410.7	0.001	4.11E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.710	5.42	1	5.42E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	2.520	19.23	0.5	9.62E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1.820	13.89	0.1	1.39E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.330	25.42	0.1	2.54E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.180	16.64	0.1	1.66E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	23.150	176.7	0.01	1.77E+00
OCDD	75.460	575.9	0.001	5.76E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**87.962**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 5 頁/共12 頁

報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：11

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/7/ ~2018/7/18

儀分時間：2018/7/24~2018/7/25

採樣地點：

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

## A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                      |               |           |
|-------------------------------|----------------------|---------------|-----------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form ) |               |           |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             |                      | <b>0.010</b>  | (參考實驗記錄簿) |
| 3.樣品分樣C                       |                      | <b>1.00</b>   | (參考實驗記錄簿) |
| 4.樣品乾重D(g):                   |                      | <b>2.0697</b> | (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                      |               |           |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                      |               |           |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                      |               |           |

## B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	5.910	28.6	0.1	2.86E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	13.570	65.6	0.05	3.28E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	15.750	76.1	0.5	3.80E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	23.510	113.6	0.1	1.14E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	28.620	138.3	0.1	1.38E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	44.180	213.5	0.1	2.13E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	8.910	43.0	0.1	4.30E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	128.780	622.2	0.01	6.22E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	24.430	118.0	0.01	1.18E+00
OCDF	126.220	609.8	0.001	6.10E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.580	7.63	1	7.63E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	6.880	33.24	0.5	1.66E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	4.210	20.34	0.1	2.03E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	7.190	34.74	0.1	3.47E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	5.950	28.75	0.1	2.87E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	53.870	260.3	0.01	2.60E+00
OCDD	172.420	833.1	0.001	8.33E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)****139.107**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 6 頁 / 共 12 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：12

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/7/ ~2018/7/18

儀分時間：2018/7/24~2018/7/25

採樣地點：

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

## A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                                      |                      |             |
|------------------------------------------------------|----------------------|-------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):                                  | ( 參考數據報表 quan form ) |             |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):                                   | <b>0.010</b>         | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 3. 樣品分樣 C                                            | <b>1.00</b>          | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 4. 樣品乾重 D(g):                                        | <b>1.6060</b>        | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A \cdot B / C \cdot D \cdot 1000$ |                      |             |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)                               |                      |             |
| 7. 樣品毒性當量 G ( ng-TEQ/kg ): $E \cdot F$               |                      |             |

## B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量 G ( ng-TEQ/kg )
2,3,7,8-TeCDF	5.910	36.8	0.1	3.68E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	13.570	84.5	0.05	4.22E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	15.750	98.1	0.5	4.90E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	23.510	146.4	0.1	1.46E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	28.620	178.2	0.1	1.78E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	44.180	275.1	0.1	2.75E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	8.910	55.5	0.1	5.55E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	128.780	801.9	0.01	8.02E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	24.430	152.1	0.01	1.52E+00
OCDF	126.220	785.9	0.001	7.86E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.580	9.84	1	9.84E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	6.880	42.84	0.5	2.14E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	4.210	26.21	0.1	2.62E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	7.190	44.77	0.1	4.48E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	5.950	37.05	0.1	3.70E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	53.870	335.4	0.01	3.35E+00
OCDD	172.420	1073.6	0.001	1.07E+00

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)****179.271**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人





## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呔喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第7頁/共 12頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：13  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/7/ ~2018/7/18  
儀分時間：2018/7/24~2018/7/25

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.6614</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.740	16.5	0.1	1.65E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.650	40.0	0.05	2.00E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.450	44.8	0.5	2.24E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.260	73.8	0.1	7.38E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	13.850	83.4	0.1	8.34E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	22.500	135.4	0.1	1.35E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.180	25.2	0.1	2.52E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	63.360	381.4	0.01	3.81E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	12.400	74.6	0.01	7.46E-01
OCDF	61.400	369.6	0.001	3.70E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.700	4.21	1	4.21E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.170	19.08	0.5	9.54E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.130	12.82	0.1	1.28E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.780	22.75	0.1	2.28E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.000	18.06	0.1	1.81E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	28.880	173.8	0.01	1.74E+00
OCDD	88.400	532.1	0.001	5.32E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**84.162**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第8頁/共12 頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：14  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/7/ ~2018/7/18  
儀分時間：2018/7/24~2018/7/25

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.6182</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.800	17.3	0.1	1.73E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.590	40.7	0.05	2.04E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.570	46.8	0.5	2.34E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.200	75.4	0.1	7.54E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	13.490	83.4	0.1	8.34E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	22.100	136.6	0.1	1.37E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.190	25.9	0.1	2.59E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	60.720	375.2	0.01	3.75E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	11.090	68.5	0.01	6.85E-01
OCDF	58.590	362.1	0.001	3.62E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.770	4.76	1	4.76E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.330	20.58	0.5	1.03E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1.810	11.19	0.1	1.12E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1.840	11.37	0.1	1.14E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.590	16.01	0.1	1.60E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	27.650	170.9	0.01	1.71E+00
OCDD	85.810	530.3	0.001	5.30E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**85.221**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 9 頁/共 12 頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：15  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/7/ ~2018/7/18  
儀分時間：2018/7/24~2018/7/25

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.6016</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	4.500	28.1	0.1	2.81E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	9.740	60.8	0.05	3.04E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	11.660	72.8	0.5	3.64E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	18.460	115.3	0.1	1.15E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	20.990	131.1	0.1	1.31E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	32.790	204.7	0.1	2.05E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	6.280	39.2	0.1	3.92E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	90.700	566.3	0.01	5.66E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	16.820	105.0	0.01	1.05E+00
OCDF	88.920	555.2	0.001	5.55E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.140	7.12	1	7.12E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	4.590	28.66	0.5	1.43E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.970	18.54	0.1	1.85E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	5.190	32.41	0.1	3.24E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	4.350	27.16	0.1	2.72E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	40.040	250.0	0.01	2.50E+00
OCDD	120.140	750.1	0.001	7.50E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**131.054**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 10 頁/共12 頁

報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：16

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/7/ ~2018/7/18

儀分時間：2018/7/24~2018/7/25

採樣地點：

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

## A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                      |           |
|-------------------------------|----------------------|-----------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form ) |           |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b>         | (參考實驗記錄簿) |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b>          | (參考實驗記錄簿) |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.5819</b>        | (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                      |           |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                      |           |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                      |           |

## B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	4.390	27.8	0.1	2.78E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	9.960	63.0	0.05	3.15E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	11.240	71.1	0.5	3.55E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	16.910	106.9	0.1	1.07E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	20.730	131.0	0.1	1.31E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	30.680	193.9	0.1	1.94E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	6.460	40.8	0.1	4.08E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	91.920	581.1	0.01	5.81E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	16.980	107.3	0.01	1.07E+00
OCDF	88.180	557.4	0.001	5.57E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.260	7.97	1	7.97E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	5.090	32.18	0.5	1.61E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	3.070	19.41	0.1	1.94E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	5.620	35.53	0.1	3.55E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	4.430	28.00	0.1	2.80E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	38.150	241.2	0.01	2.41E+00
OCDD	126.020	796.6	0.001	7.97E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)****131.719**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第11頁/共12 頁

核准頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：空白基質添加樣品

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/7/ ~2018/7/18

儀分時間：2018/7/24~2018/7/25

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

## A. 樣品總毒性當量計算：

- |                    |              |                |
|--------------------|--------------|----------------|
| 1. 分析濃度 A(ng/mL)   |              | (請參考quan form) |
| 2. 最終定量體積 B(mL)    | <b>0.010</b> | (請參考工作記錄簿)     |
| 3. 萃取液分析量/總量 C     | <b>1</b>     | (請參考工作記錄簿)     |
| 4. 添加體積 D(mL)      | <b>0.010</b> | (請參考工作記錄簿)     |
| 5. 添加濃度 S(ng/mL)   |              | (請參考工作記錄簿)     |
| 6. 品管樣品濃度 E(ng/mL) |              |                |
- 計算公式:  $E = (A * B) / (C * D)$

## B. 17 個 2,3,7,8-PCDD/PCDFs 之添加濃度及回收率：

化合物名稱	添加濃度S (ng/mL)	分析濃度A (ng/mL)	樣品濃度E (ng/mL)	回收率 (%)
2,3,7,8-TeCDF	8.0	7.440	7.44	93
1,2,3,7,8-PeCDF	40.0	40.420	40.4	101
2,3,4,7,8-PeCDF	40.0	39.180	39.2	98
1,2,3,4,7,8-HxCDF	40.0	37.780	37.8	94
1,2,3,6,7,8-HxCDF	40.0	38.430	38.4	96
2,3,4,6,7,8-HxCDF	40.0	42.620	42.6	107
1,2,3,7,8,9-HxCDF	40.0	41.860	41.9	105
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	40.0	39.010	39.0	98
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	40.0	41.060	41.1	103
OCDF	80.0	77.870	77.9	97
2,3,7,8-TeCDD	8.0	8.400	8.40	105
1,2,3,7,8-PeCDD	40.0	40.810	40.8	102
1,2,3,4,7,8-HxCDD	40.0	39.130	39.1	98
1,2,3,6,7,8-HxCDD	40.0	40.800	40.8	102
1,2,3,7,8,9-HxCDD	40.0	39.780	39.8	99
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	40.0	40.290	40.3	101
OCDD	80.0	80.140	80.1	100
<b>Total TEQ</b>				<b>100</b>

檢驗員

驗算員

報告簽署人



# 環境生態毒性研究室

## 底泥戴奧辛及呋喃同位素標準品回收率表

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/7/ ~2018/7/18

儀分時間：2018/7/24~2018/7/25

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第12頁/共12頁

報告頁數：第 頁/共 頁

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

化合物名稱	BLK	MS	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	品管規範
13C-2,3,7,8-TeCDF		87	78	78	73	66	88	88	85	82	92	98	30--130
13C-1,2,3,7,8-PeCDF		85	81	82	75	64	91	91	84	86	101	100	30--130
13C-2,3,4,7,8-PeCDF		87	79	82	74	65	89	89	83	83	94	98	30--130
13C-1,2,3,4,7,8-HxCDF		91	85	81	77	73	92	92	84	81	90	99	40--130
13C-1,2,3,6,7,8-HxCDF		85	81	77	73	71	88	88	81	80	87	92	40--130
13C-2,3,4,6,7,8-HxCDF		87	84	82	75	72	91	91	81	81	93	99	40--130
13C-1,2,3,7,8,9-HxCDF		91	88	86	77	73	93	93	83	83	98	95	40--130
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDF		89	88	86	76	71	92	92	83	85	96	99	40--130
13C-1,2,3,4,7,8,9-HpCDF		92	81	90	77	69	95	95	85	89	101	96	40--130
13C-2,3,7,8-TeCDD		87	80	82	74	63	90	90	81	84	92	93	30--130
13C-1,2,3,7,8-PeCDD		83	78	80	75	64	88	88	76	81	95	91	30--130
13C-1,2,3,4,7,8-HxCDD		90	86	87	75	69	89	89	81	82	93	93	40--130
13C-1,2,3,6,7,8-HxCDD		88	85	78	77	68	89	89	78	85	90	90	40--130
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDD		91	87	91	79	71	93	93	84	87	97	102	40--130
13C-OCDD		88	86	97	77	70	94	94	86	88	102	98	40--130
37Cl-2,3,7,8-TCDD		88	83	83	83	65	93	93	82	88	91	96	30--130

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呔喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 1 頁 / 共 11 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：CL1 (t=28)

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/8/ ~2018/8/

儀分時間：2018/8/3~2018/8/4

採樣地點：

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                                      |                      |             |
|------------------------------------------------------|----------------------|-------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):                                  | ( 參考數據報表 quan form ) |             |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):                                   | <b>0.010</b>         | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 3. 樣品分樣 C                                            | <b>1.00</b>          | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 4. 樣品乾重 D(g):                                        | <b>2.1051</b>        | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A \cdot B / C \cdot D \cdot 1000$ |                      |             |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)                               |                      |             |
| 7. 樣品毒性當量 G ( ng-TEQ/kg ): $E \cdot F$               |                      |             |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量 G ( ng-TEQ/kg )
2,3,7,8-TeCDF	3.230	15.34	0.1	1.53E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.970	33.11	0.05	1.66E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.790	37.0	0.5	1.85E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	13.100	62.2	0.1	6.22E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	14.820	70.4	0.1	7.04E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	21.580	102.5	0.1	1.03E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.570	21.71	0.1	2.17E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	66.770	317.2	0.01	3.17E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	12.650	60.09	0.01	6.01E-01
OCDF	73.040	347.0	0.001	3.47E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.790	3.75	1	3.75E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.600	17.10	0.5	8.55E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.400	11.40	0.1	1.14E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.920	18.62	0.1	1.86E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.570	16.96	0.1	1.70E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	28.760	136.62	0.01	1.37E+00
OCDD	111.120	527.9	0.001	5.28E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>70.4</b>
-----------------------------	-------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 2 頁 / 共 11 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：CL2 (t=28)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/8/ ~2018/8/  
 儀分時間：2018/8/3~2018/8/4

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                  |                      |           |
|----------------------------------|----------------------|-----------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):              | ( 參考數據報表 quan form ) |           |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):               | <b>0.010</b>         | (參考實驗記錄簿) |
| 3. 樣品分樣C                         | <b>1.00</b>          | (參考實驗記錄簿) |
| 4. 樣品乾重D(g):                     | <b>2.2375</b>        | (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A*B/C/D*1000$ |                      |           |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)           |                      |           |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg): $E*F$   |                      |           |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	3.430	15.3	0.1	1.53E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	7.720	34.5	0.05	1.73E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	8.620	38.5	0.5	1.93E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	13.770	61.5	0.1	6.15E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	14.960	66.9	0.1	6.69E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	24.190	108.1	0.1	1.08E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	5.110	22.8	0.1	2.28E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	75.450	337.2	0.01	3.37E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	13.830	61.8	0.01	6.18E-01
OCDF	77.610	346.9	0.001	3.47E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.880	3.93	1	3.93E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.740	16.72	0.5	8.36E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.570	11.49	0.1	1.15E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.820	17.07	0.1	1.71E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.610	16.13	0.1	1.61E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	32.510	145.3	0.01	1.45E+00
OCDD	114.250	510.6	0.001	5.11E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>71.516</b>
-----------------------------	---------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 3 頁 / 共 11 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：CH1 (t=28)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/8/ ~2018/8/  
 儀分時間：2018/8/3~2018/8/4

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):              | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):               | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3. 樣品分樣C                         | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4. 樣品乾重D(g):                     | <b>1.6333</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A*B/C/D*1000$ |                         |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)           |                         |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg): $E*F$   |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	4.620	28.3	0.1	2.83E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	9.740	59.6	0.05	2.98E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	11.100	68.0	0.5	3.40E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	17.860	109.3	0.1	1.09E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	19.570	119.8	0.1	1.20E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	30.350	185.8	0.1	1.86E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	6.610	40.5	0.1	4.05E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	99.600	609.8	0.01	6.10E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	17.290	105.9	0.01	1.06E+00
OCDF	99.810	611.1	0.001	6.11E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.290	7.90	1	7.90E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	5.100	31.23	0.5	1.56E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	3.060	18.74	0.1	1.87E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	5.420	33.18	0.1	3.32E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	4.690	28.71	0.1	2.87E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	39.340	240.9	0.01	2.41E+00
OCDD	135.620	830.3	0.001	8.30E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>127.917</b>
-----------------------------	----------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 4 頁 / 共 11 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：CH2 (t=28)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/8/ ~2018/8/  
 儀分時間：2018/8/3~2018/8/4

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3. 樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4. 樣品乾重D(g):                   | <b>1.6346</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	5.010	30.6	0.1	3.06E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	10.460	64.0	0.05	3.20E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	12.630	77.3	0.5	3.86E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	19.880	121.6	0.1	1.22E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	21.520	131.7	0.1	1.32E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	31.930	195.3	0.1	1.95E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	6.120	37.4	0.1	3.74E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	94.070	575.5	0.01	5.75E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	19.210	117.5	0.01	1.18E+00
OCDF	100.030	612.0	0.001	6.12E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.260	7.71	1	7.71E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	5.490	33.59	0.5	1.68E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	3.310	20.25	0.1	2.02E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	5.190	31.75	0.1	3.18E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	4.720	28.88	0.1	2.89E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	47.330	289.6	0.01	2.90E+00
OCDD	147.560	902.7	0.001	9.03E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>137.432</b>
-----------------------------	----------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人





## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 5 頁 / 共 11 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：L1 (t=28)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/8/ ~2018/8/  
 儀分時間：2018/8/3~2018/8/4

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3. 樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4. 樣品乾重D(g):                   | <b>1.8928</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	3.090	16.3	0.1	1.63E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.940	36.7	0.05	1.83E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.670	40.5	0.5	2.03E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.720	67.2	0.1	6.72E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	14.250	75.3	0.1	7.53E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	21.430	113.2	0.1	1.13E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.290	22.7	0.1	2.27E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	66.260	350.1	0.01	3.50E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	13.600	71.9	0.01	7.19E-01
OCDF	73.110	386.3	0.001	3.86E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.720	3.80	1	3.80E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.410	18.02	0.5	9.01E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.340	12.36	0.1	1.24E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.860	20.39	0.1	2.04E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.570	18.86	0.1	1.89E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	28.980	153.1	0.01	1.53E+00
OCDD	110.260	582.5	0.001	5.83E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>76.256</b>
-----------------------------	---------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 6 頁 / 共 11 頁  
報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：L2 (t=28)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/8/ ~2018/8/  
儀分時間：2018/8/3~2018/8/4

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

1. 分析濃度 A( ng/mL ) : ( 參考數據報表 quan form )
2. 最終定量體積 B( mL ) : **0.010** (參考實驗記錄簿)
3. 樣品分樣C **1.00** (參考實驗記錄簿)
4. 樣品乾重D(g): **1.7026** (參考實驗記錄簿)
5. 樣品濃度 E(ng/kg):  $A*B/C/D*1000$
6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)
7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):  $E*F$

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	3.020	17.7	0.1	1.77E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.590	38.7	0.05	1.94E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.900	46.4	0.5	2.32E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.790	75.1	0.1	7.51E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	14.580	85.6	0.1	8.56E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	20.470	120.2	0.1	1.20E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.020	23.6	0.1	2.36E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	63.390	372.3	0.01	3.72E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	12.130	71.2	0.01	7.12E-01
OCDF	64.540	379.1	0.001	3.79E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.780	4.58	1	4.58E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.170	18.62	0.5	9.31E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.220	13.04	0.1	1.30E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.650	21.44	0.1	2.14E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.990	17.56	0.1	1.76E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	30.060	176.6	0.01	1.77E+00
OCDD	101.250	594.7	0.001	5.95E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**83.637**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 7 頁 / 共 11 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：H1 (t=28)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/8/ ~2018/8/  
 儀分時間：2018/8/3~2018/8/4

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                                  |                      |           |
|--------------------------------------------------|----------------------|-----------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):                              | ( 參考數據報表 quan form ) |           |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):                               | <b>0.010</b>         | (參考實驗記錄簿) |
| 3. 樣品分樣C                                         | <b>1.00</b>          | (參考實驗記錄簿) |
| 4. 樣品乾重D(g):                                     | <b>1.5800</b>        | (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A \cdot B / C / D \cdot 1000$ |                      |           |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)                           |                      |           |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg): $E \cdot F$             |                      |           |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	4.240	26.8	0.1	2.68E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	9.170	58.0	0.05	2.90E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	9.730	61.6	0.5	3.08E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	14.500	91.8	0.1	9.18E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	15.180	96.1	0.1	9.61E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	25.470	161.2	0.1	1.61E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	5.120	32.4	0.1	3.24E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	79.470	503.0	0.01	5.03E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	16.550	104.7	0.01	1.05E+00
OCDF	84.400	534.2	0.001	5.34E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.990	6.27	1	6.27E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	4.580	28.99	0.5	1.45E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.470	15.63	0.1	1.56E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	4.480	28.35	0.1	2.84E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	4.070	25.76	0.1	2.58E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	34.110	215.9	0.01	2.16E+00
OCDD	124.290	786.6	0.001	7.87E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>111.813</b>
-----------------------------	----------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 8 頁 / 共 11 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：H2 (t=28)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/8/ ~2018/8/  
 儀分時間：2018/8/3~2018/8/4

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                |                      |             |
|--------------------------------|----------------------|-------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form ) |             |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b>         | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 3. 樣品分樣C                       | <b>1.00</b>          | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 4. 樣品乾重D(g):                   | <b>1.5481</b>        | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                      |             |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                      |             |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                      |             |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	4.180	27.0	0.1	2.70E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	9.360	60.5	0.05	3.02E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	10.870	70.2	0.5	3.51E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	16.480	106.5	0.1	1.06E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	18.930	122.3	0.1	1.22E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	27.360	176.7	0.1	1.77E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	5.480	35.4	0.1	3.54E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	82.660	533.9	0.01	5.34E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	14.880	96.1	0.01	9.61E-01
OCDF	82.870	535.3	0.001	5.35E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.060	6.85	1	6.85E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	4.500	29.07	0.5	1.45E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.700	17.44	0.1	1.74E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	4.480	28.94	0.1	2.89E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.890	25.13	0.1	2.51E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	36.650	236.7	0.01	2.37E+00
OCDD	120.920	781.1	0.001	7.81E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>123.433</b>
-----------------------------	----------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第9頁/共11頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：CL1 (t=0)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/8/ ~2018/8/  
儀分時間：2018/8/3~2018/8/4

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.4110</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	3.240	23.0	0.1	2.30E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	7.100	50.3	0.05	2.52E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.420	52.6	0.5	2.63E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.880	91.3	0.1	9.13E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	14.350	101.7	0.1	1.02E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	20.710	146.8	0.1	1.47E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.800	34.0	0.1	3.40E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	67.350	477.3	0.01	4.77E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	12.440	88.2	0.01	8.82E-01
OCDF	69.960	495.8	0.001	4.96E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.960	6.80	1	6.80E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.540	25.09	0.5	1.25E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.000	14.17	0.1	1.42E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.910	27.71	0.1	2.77E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.410	24.17	0.1	2.42E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	30.590	216.8	0.01	2.17E+00
OCDD	102.820	728.7	0.001	7.29E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**103.484**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人





## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

報告頁數：第 10 頁 / 共 11 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：CL2 (t=0)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/8/ ~2018/8/  
 儀分時間：2018/8/3~2018/8/4

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

1. 分析濃度 A( ng/mL ):
2. 最終定量體積 B( mL ):
3. 樣品分樣C
4. 樣品乾重D(g):
5. 樣品濃度 E(ng/kg):  $A*B/C/D*1000$
6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)
7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):  $E*F$

( 參考數據報表 quan form )

**0.010** (參考實驗記錄簿)**1.00** (參考實驗記錄簿)**1.9869** (參考實驗記錄簿)

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	3.400	17.1	0.1	1.71E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	7.060	35.5	0.05	1.78E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.950	40.0	0.5	2.00E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	13.020	65.5	0.1	6.55E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	14.260	71.8	0.1	7.18E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	19.710	99.2	0.1	9.92E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.110	20.7	0.1	2.07E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	63.080	317.5	0.01	3.17E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	11.760	59.2	0.01	5.92E-01
OCDF	64.620	325.2	0.001	3.25E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.740	3.72	1	3.72E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.500	17.62	0.5	8.81E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.190	11.02	0.1	1.10E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.590	18.07	0.1	1.81E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.160	15.90	0.1	1.59E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	30.940	155.7	0.01	1.56E+00
OCDD	99.020	498.4	0.001	4.98E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)****72.391**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人

# 環境生態毒性研究室

## 底泥戴奧辛及呋喃同位素標準品回收率表

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/8/ ~2018/8/

儀分時間：2018/8/3~2018/8/4

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第11頁/共11頁

報告頁數：第 頁/共 頁

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

化合物名稱	BLK	MS	CL1 (t=28)	CL2 (t=28)	CH1 (t=28)	CH2 (t=28)	L1 (t=28)	L2 (t=28)	H1 (t=28)	H2 (t=28)	CL1 (t=0)	CL2 (t=0)	品管規範
13C-2,3,7,8-TeCDF			70	68	60	68	79	77	88	70	57	65	30--130
13C-1,2,3,7,8-PeCDF			72	74	68	73	88	89	98	76	60	67	30--130
13C-2,3,4,7,8-PeCDF			73	73	66	64	87	84	88	73	58	67	30--130
13C-1,2,3,4,7,8-HxCDF			73	71	62	63	89	80	80	70	52	66	40--130
13C-1,2,3,6,7,8-HxCDF			68	69	59	58	79	68	75	65	57	68	40--130
13C-2,3,4,6,7,8-HxCDF			75	68	64	64	90	80	79	70	58	69	40--130
13C-1,2,3,7,8,9-HxCDF			81	75	67	69	99	90	91	78	60	71	40--130
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDF			80	74	69	69	98	87	90	77	59	70	40--130
13C-1,2,3,4,7,8,9-HpCDF			76	75	72	58	90	85	76	78	59	70	40--130
13C-2,3,7,8-TeCDD			75	70	62	65	86	84	93	76	58	68	30--130
13C-1,2,3,7,8-PeCDD			74	71	64	66	88	84	90	75	57	69	30--130
13C-1,2,3,4,7,8-HxCDD			70	67	61	65	85	82	81	70	50	66	40--130
13C-1,2,3,6,7,8-HxCDD			70	70	62	66	85	78	77	74	59	71	40--130
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDD			81	79	74	67	97	86	87	75	59	67	40--130
13C-OCDD			79	77	74	70	91	85	80	72	54	68	40--130
37Cl-2,3,7,8-TCDD			72	106	61	68	85	80	91	75	81	68	30--130

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 1 頁 / 共 16 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：1

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/9/ ~2018/9/

儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                                  |                      |           |
|--------------------------------------------------|----------------------|-----------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):                              | ( 參考數據報表 quan form ) |           |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):                               | <b>0.010</b>         | (參考實驗記錄簿) |
| 3. 樣品分樣C                                         | <b>1.00</b>          | (參考實驗記錄簿) |
| 4. 樣品乾重D(g):                                     | <b>0.00037</b>       | (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A \cdot B / C / D \cdot 1000$ |                      |           |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)                           |                      |           |
| 7. 樣品毒性當量 G ( ng-TEQ/kg): $E \cdot F$            |                      |           |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量 G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	0.060	1621.62	0.1	1.62E+02
1,2,3,7,8-PeCDF	0.120	3243.24	0.05	1.62E+02
2,3,4,7,8-PeCDF	0.100	2702.7	0.5	1.35E+03
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.260	7027.0	0.1	7.03E+02
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.290	7837.8	0.1	7.84E+02
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.280	7567.6	0.1	7.57E+02
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.420	11351.35	0.1	1.14E+03
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.570	15405.4	0.01	1.54E+02
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.190	5135.14	0.01	5.14E+01
OCDF	0.570	15405.4	0.001	1.54E+01
2,3,7,8-TeCDD	0.010	270.27	1	2.70E+02
1,2,3,7,8-PeCDD	0.180	4864.86	0.5	2.43E+03
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.070	1891.89	0.1	1.89E+02
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.220	5945.95	0.1	5.95E+02
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.390	10540.54	0.1	1.05E+03
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.420	11351.35	0.01	1.14E+02
OCDD	1.240	33513.5	0.001	3.35E+01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>9962.4</b>
-----------------------------	---------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 2 頁 / 共 16 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：2

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/9/ ~2018/9/

儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                  |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):              | ( 參考數據報表 quan form )     |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):               | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 3. 樣品分樣C                         | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)    |
| 4. 樣品乾重D(g):                     | <b>0.00001</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A*B/C/D*1000$ |                          |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)           |                          |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg): $E*F$   |                          |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	ND(<0.004)	ND(<4100.000)	0.1	2.05E+02
1,2,3,7,8-PeCDF	0.020	20000.0	0.05	1.00E+03
2,3,4,7,8-PeCDF	0.010	10000.0	0.5	5.00E+03
1,2,3,4,7,8-HxCDF	ND(<0.005)	ND(<4500.000)	0.1	2.25E+02
1,2,3,6,7,8-HxCDF	ND(<0.004)	ND(<4100.000)	0.1	2.05E+02
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.010	10000.0	0.1	1.00E+03
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.020	20000.0	0.1	2.00E+03
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.070	70000.0	0.01	7.00E+02
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ND(<0.009)	ND(<9100.000)	0.01	4.55E+01
OCDF	ND(<0.018)	ND(<18400.000)	0.001	9.20E+00
2,3,7,8-TeCDD	0.010	10000.00	1	1.00E+04
1,2,3,7,8-PeCDD	0.030	30000.00	0.5	1.50E+04
1,2,3,4,7,8-HxCDD	ND(<0.008)	ND(<8400.000)	0.1	4.20E+02
1,2,3,6,7,8-HxCDD	ND(<0.008)	ND(<8100.000)	0.1	4.05E+02
1,2,3,7,8,9-HxCDD	ND(<0.008)	ND(<8200.000)	0.1	4.10E+02
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	ND(<0.012)	ND(<12000.000)	0.01	6.00E+01
OCDD	0.160	160000.0	0.001	1.60E+02

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**
**36844.700**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 3 頁 / 共 16 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：BK  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
 儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                  |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):              | ( 參考數據報表 quan form )     |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):               | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 3. 樣品分樣C                         | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)    |
| 4. 樣品乾重D(g):                     | <b>0.00001</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A*B/C/D*1000$ |                          |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)           |                          |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg): $E*F$   |                          |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	ND(<0.004)	ND(<4000.000)	0.1	2.00E+02
1,2,3,7,8-PeCDF	ND(<0.004)	ND(<4000.000)	0.05	1.00E+02
2,3,4,7,8-PeCDF	ND(<0.004)	ND(<3900.000)	0.5	9.75E+02
1,2,3,4,7,8-HxCDF	ND(<0.004)	ND(<4400.000)	0.1	2.20E+02
1,2,3,6,7,8-HxCDF	ND(<0.004)	ND(<4300.000)	0.1	2.15E+02
2,3,4,6,7,8-HxCDF	ND(<0.005)	ND(<4700.000)	0.1	2.35E+02
1,2,3,7,8,9-HxCDF	ND(<0.005)	ND(<4900.000)	0.1	2.45E+02
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	ND(<0.006)	ND(<6100.000)	0.01	3.05E+01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ND(<0.008)	ND(<7600.000)	0.01	3.80E+01
OCDF	ND(<0.019)	ND(<19000.000)	0.001	9.50E+00
2,3,7,8-TeCDD	ND(<0.009)	ND(<9300.000)	1	4.65E+03
1,2,3,7,8-PeCDD	ND(<0.006)	ND(<5900.000)	0.5	1.48E+03
1,2,3,4,7,8-HxCDD	ND(<0.010)	ND(<9700.000)	0.1	4.85E+02
1,2,3,6,7,8-HxCDD	ND(<0.010)	ND(<10400.000)	0.1	5.20E+02
1,2,3,7,8,9-HxCDD	ND(<0.010)	ND(<9900.000)	0.1	4.95E+02
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	ND(<0.021)	ND(<20900.000)	0.01	1.05E+02
OCDD	ND(<0.026)	ND(<26300.000)	0.001	1.32E+01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**
**10010.650**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人





## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第4頁/共 16頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：L1 (t=0)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.7428</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.600	14.9	0.1	1.49E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	5.760	33.1	0.05	1.65E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	6.830	39.2	0.5	1.96E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	10.830	62.1	0.1	6.21E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	12.160	69.8	0.1	6.98E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	18.480	106.0	0.1	1.06E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	3.830	22.0	0.1	2.20E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	60.400	346.6	0.01	3.47E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	10.010	57.4	0.01	5.74E-01
OCDF	69.660	399.7	0.001	4.00E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.700	4.02	1	4.02E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.200	18.36	0.5	9.18E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1.590	9.12	0.1	9.12E-01
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.000	17.21	0.1	1.72E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.780	15.95	0.1	1.60E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	26.030	149.4	0.01	1.49E+00
OCDD	88.560	508.1	0.001	5.08E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**72.599**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 5 頁 / 共 16 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：L2 (t=0)

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/9/ ~2018/9/

儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                                  |                      |             |
|--------------------------------------------------|----------------------|-------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):                              | ( 參考數據報表 quan form ) |             |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):                               | <b>0.010</b>         | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 3. 樣品分樣C                                         | <b>1.00</b>          | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 4. 樣品乾重D(g):                                     | <b>1.3494</b>        | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A \cdot B / C / D \cdot 1000$ |                      |             |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)                           |                      |             |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg ): $E \cdot F$            |                      |             |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg )
2,3,7,8-TeCDF	2.890	21.4	0.1	2.14E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.760	50.1	0.05	2.50E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.920	58.7	0.5	2.93E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.270	90.9	0.1	9.09E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	14.890	110.3	0.1	1.10E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	22.070	163.6	0.1	1.64E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.310	31.9	0.1	3.19E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	65.100	482.4	0.01	4.82E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	11.140	82.6	0.01	8.26E-01
OCDF	74.750	553.9	0.001	5.54E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.880	6.52	1	6.52E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.690	27.35	0.5	1.37E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.340	17.34	0.1	1.73E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.920	29.05	0.1	2.90E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.260	24.16	0.1	2.42E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	31.140	230.8	0.01	2.31E+00
OCDD	101.040	748.8	0.001	7.49E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>110.179</b>
-----------------------------	----------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 6 頁/共 16 頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：H1(t=0)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.2339</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	3.620	29.3	0.1	2.93E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	8.520	69.0	0.05	3.45E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	9.830	79.7	0.5	3.98E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	16.520	133.9	0.1	1.34E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	18.870	152.9	0.1	1.53E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	27.630	223.9	0.1	2.24E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	5.240	42.5	0.1	4.25E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	87.410	708.4	0.01	7.08E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	14.720	119.3	0.01	1.19E+00
OCDF	102.080	827.3	0.001	8.27E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.400	3.24	1	3.24E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	4.320	35.01	0.5	1.75E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.820	22.85	0.1	2.29E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	4.290	34.77	0.1	3.48E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.620	29.34	0.1	2.93E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	39.560	320.6	0.01	3.21E+00
OCDD	135.690	1099.7	0.001	1.10E+00

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**144.393**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呔喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 7 頁 / 共 16 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：H2(t=0)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
 儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):              | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):               | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3. 樣品分樣C                         | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4. 樣品乾重D(g):                     | <b>1.6020</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A*B/C/D*1000$ |                         |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)           |                         |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg): $E*F$   |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	3.550	22.2	0.1	2.22E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	8.320	51.9	0.05	2.60E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	9.530	59.5	0.5	2.97E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	15.550	97.1	0.1	9.71E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	18.970	118.4	0.1	1.18E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	27.680	172.8	0.1	1.73E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.850	30.3	0.1	3.03E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	87.820	548.2	0.01	5.48E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	13.930	87.0	0.01	8.70E-01
OCDF	101.580	634.1	0.001	6.34E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.890	5.56	1	5.56E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	4.370	27.28	0.5	1.36E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.570	16.04	0.1	1.60E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	4.300	26.84	0.1	2.68E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.780	23.60	0.1	2.36E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	34.750	216.9	0.01	2.17E+00
OCDD	127.700	797.1	0.001	7.97E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>112.205</b>
-----------------------------	----------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第8頁/共16頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：CL1(t=14)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.1475</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.260	19.7	0.1	1.97E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	4.970	43.3	0.05	2.17E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	5.520	48.1	0.5	2.41E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	9.410	82.0	0.1	8.20E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	10.550	91.9	0.1	9.19E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	15.250	132.9	0.1	1.33E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	2.700	23.5	0.1	2.35E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	45.480	396.3	0.01	3.96E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	8.020	69.9	0.01	6.99E-01
OCDF	54.280	473.0	0.001	4.73E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.550	4.79	1	4.79E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	2.350	20.48	0.5	1.02E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1.340	11.68	0.1	1.17E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	2.190	19.08	0.1	1.91E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.200	19.17	0.1	1.92E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	19.940	173.8	0.01	1.74E+00
OCDD	69.450	605.2	0.001	6.05E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**88.729**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 9 頁/共16 頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：CL2(t=14)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.1504</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	1.950	17.0	0.1	1.70E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	4.510	39.2	0.05	1.96E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	4.780	41.6	0.5	2.08E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	8.160	70.9	0.1	7.09E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	9.400	81.7	0.1	8.17E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	13.920	121.0	0.1	1.21E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	2.530	22.0	0.1	2.20E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	41.470	360.5	0.01	3.60E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	7.320	63.6	0.01	6.36E-01
OCDF	50.390	438.0	0.001	4.38E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.450	3.91	1	3.91E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	2.210	19.21	0.5	9.61E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1.260	10.95	0.1	1.10E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	2.540	22.08	0.1	2.21E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1.950	16.95	0.1	1.70E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	19.210	167.0	0.01	1.67E+00
OCDD	66.470	577.8	0.001	5.78E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**79.436**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人





## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 報告頁數：第10頁/共16頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：L1(t=14)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.5865</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.940	18.5	0.1	1.85E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.800	42.9	0.05	2.14E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.410	46.7	0.5	2.34E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.170	76.7	0.1	7.67E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	15.500	97.7	0.1	9.77E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	20.460	129.0	0.1	1.29E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.020	25.3	0.1	2.53E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	65.630	413.7	0.01	4.14E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	11.590	73.1	0.01	7.31E-01
OCDF	79.000	498.0	0.001	4.98E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.610	3.84	1	3.84E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.520	22.19	0.5	1.11E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.070	13.05	0.1	1.30E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.660	23.07	0.1	2.31E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.910	18.34	0.1	1.83E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	29.410	185.4	0.01	1.85E+00
OCDD	99.510	627.2	0.001	6.27E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**88.451**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

報告頁數：第 11 頁 / 共 16 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：L2(t=14)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
 儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                                      |                         |
|------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):                                  | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):                                   | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3. 樣品分樣C                                             | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4. 樣品乾重D(g):                                         | <b>1.1480</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A \cdot B / C \cdot D \cdot 1000$ |                         |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)                               |                         |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg): $E \cdot F$                 |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.940	25.6	0.1	2.56E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.800	59.2	0.05	2.96E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.410	64.5	0.5	3.23E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.170	106.0	0.1	1.06E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	15.500	135.0	0.1	1.35E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	20.460	178.2	0.1	1.78E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.020	35.0	0.1	3.50E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	65.630	571.7	0.01	5.72E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	11.590	101.0	0.01	1.01E+00
OCDF	79.000	688.2	0.001	6.88E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.610	5.31	1	5.31E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.520	30.66	0.5	1.53E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.070	18.03	0.1	1.80E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.660	31.88	0.1	3.19E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.910	25.35	0.1	2.53E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	29.410	256.2	0.01	2.56E+00
OCDD	99.510	866.8	0.001	8.67E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>122.237</b>
-----------------------------	----------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

報告頁數：第 12 頁 / 共 16 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：CH1(t=14)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
 儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                                      |                         |
|------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):                                  | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):                                   | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3. 樣品分樣C                                             | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4. 樣品乾重D(g):                                         | <b>1.3731</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A \cdot B / C \cdot D \cdot 1000$ |                         |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)                               |                         |
| 7. 樣品毒性當量 G ( ng-TEQ/kg ): $E \cdot F$               |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量 G ( ng-TEQ/kg )
2,3,7,8-TeCDF	2.940	21.4	0.1	2.14E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.800	49.5	0.05	2.48E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.410	54.0	0.5	2.70E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.170	88.6	0.1	8.86E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	15.500	112.9	0.1	1.13E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	20.460	149.0	0.1	1.49E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.020	29.3	0.1	2.93E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	65.630	478.0	0.01	4.78E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	11.590	84.4	0.01	8.44E-01
OCDF	79.000	575.3	0.001	5.75E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.610	4.44	1	4.44E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.520	25.64	0.5	1.28E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.070	15.08	0.1	1.51E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.660	26.66	0.1	2.67E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.910	21.19	0.1	2.12E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	29.410	214.2	0.01	2.14E+00
OCDD	99.510	724.7	0.001	7.25E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>102.198</b>
-----------------------------	----------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

報告頁數：第13頁/共16頁

報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：CH2(t=14)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
 儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.5518</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.940	18.9	0.1	1.89E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.800	43.8	0.05	2.19E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.410	47.8	0.5	2.39E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.170	78.4	0.1	7.84E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	15.500	99.9	0.1	9.99E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	20.460	131.8	0.1	1.32E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.020	25.9	0.1	2.59E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	65.630	422.9	0.01	4.23E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	11.590	74.7	0.01	7.47E-01
OCDF	79.000	509.1	0.001	5.09E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.610	3.93	1	3.93E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.520	22.68	0.5	1.13E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.070	13.34	0.1	1.33E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.660	23.59	0.1	2.36E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.910	18.75	0.1	1.88E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	29.410	189.5	0.01	1.90E+00
OCDD	99.510	641.3	0.001	6.41E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>90.429</b>
-----------------------------	---------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 報告頁數：第14頁/共16頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：H1(t=14)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.5109</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.940	19.5	0.1	1.95E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.800	45.0	0.05	2.25E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.410	49.0	0.5	2.45E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.170	80.5	0.1	8.05E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	15.500	102.6	0.1	1.03E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	20.460	135.4	0.1	1.35E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.020	26.6	0.1	2.66E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	65.630	434.4	0.01	4.34E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	11.590	76.7	0.01	7.67E-01
OCDF	79.000	522.9	0.001	5.23E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.610	4.04	1	4.04E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.520	23.30	0.5	1.16E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.070	13.70	0.1	1.37E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.660	24.22	0.1	2.42E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.910	19.26	0.1	1.93E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	29.410	194.7	0.01	1.95E+00
OCDD	99.510	658.6	0.001	6.59E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**92.877**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 報告頁數：第15頁/共16頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：H2(t=14)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

1. 分析濃度 A( ng/mL ):
2. 最終定量體積 B( mL ):
3. 樣品分樣C
4. 樣品乾重D(g):
5. 樣品濃度 E(ng/kg):  $A*B/C/D*1000$
6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)
7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):  $E*F$

( 參考數據報表 quan form )

**0.010** (參考實驗記錄簿)

**1.00** (參考實驗記錄簿)

**1.6528** (參考實驗記錄簿)

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.940	17.8	0.1	1.78E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.800	41.1	0.05	2.06E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.410	44.8	0.5	2.24E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.170	73.6	0.1	7.36E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	15.500	93.8	0.1	9.38E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	20.460	123.8	0.1	1.24E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.020	24.3	0.1	2.43E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	65.630	397.1	0.01	3.97E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	11.590	70.1	0.01	7.01E-01
OCDF	79.000	478.0	0.001	4.78E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.610	3.69	1	3.69E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.520	21.30	0.5	1.06E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.070	12.52	0.1	1.25E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.660	22.14	0.1	2.21E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.910	17.61	0.1	1.76E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	29.410	177.9	0.01	1.78E+00
OCDD	99.510	602.1	0.001	6.02E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**84.903**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



# 環境生態毒性研究室

## 底泥戴奧辛及呋喃同位素標準品回收率表

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/9/ ~2018/9/

儀分時間：2018/9/19~2018/9/19

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第16頁/共16頁

報告頁數：第 頁/共 頁

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

化合物名稱	BLK	MS	1	2	BK	L1 (t=0)	L2 (t=0)	H1(t=0)	H2(t=0)	CL1(t=14)	CL2(t=14)	L1(t=14)	L2(t=14)
13C-2,3,7,8-TeCDF	0	0	54	55	79	96	103	83	67	88	88	61	65
13C-1,2,3,7,8-PeCDF	0	0	53	54	79	88	104	78	63	84	83	52	61
13C-2,3,4,7,8-PeCDF	0	0	53	55	81	89	107	79	66	87	84	54	64
13C-1,2,3,4,7,8-HxCDF	0	0	50	53	73	94	105	78	64	84	87	64	66
13C-1,2,3,6,7,8-HxCDF	0	0	49	55	75	98	105	79	67	85	89	61	64
13C-2,3,4,6,7,8-HxCDF	0	0	49	53	73	94	99	79	66	84	85	64	62
13C-1,2,3,7,8,9-HxCDF	0	0	56	58	80	89	102	82	70	89	88	64	65
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0	0	46	51	74	87	104	77	63	87	80	55	62
13C-1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0	0	53	55	85	90	112	85	66	94	84	57	65
13C-2,3,7,8-TeCDD	0	0	55	53	77	89	99	81	66	86	87	58	64
13C-1,2,3,7,8-PeCDD	0	0	52	52	78	82	101	78	63	85	78	50	61
13C-1,2,3,4,7,8-HxCDD	0	0	45	49	71	88	98	77	65	83	83	59	62
13C-1,2,3,6,7,8-HxCDD	0	0	47	51	72	86	98	81	62	88	80	61	61
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0	0	48	54	80	83	106	74	62	90	78	49	57
13C-OCDD	0	0	49	51	86	79	109	74	59	88	70	45	55
37Cl-2,3,7,8-TCDD	0	0	51	54	66	97	93	80	67	80	84	55	60

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呔喃檢測數據表

文件編號:

版次:

核准日期:

核准頁數:第 1 頁/共9頁

報告頁數:第 頁/共 頁

樣品編號 : CL1(t=28)  
 分析方法 : NIEA M805  
 前處理時間 : 2018/9/ ~2018/9/  
 儀分時間 : 2018/9/26~2018/9/26

採樣地點:  
 前處理人員 : 中興大學  
 儀分人員 : 謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算:

- |                               |              |                      |           |
|-------------------------------|--------------|----------------------|-----------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            |              | ( 參考數據報表 quan form ) |           |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> |                      | (參考實驗記錄簿) |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b>  |                      | (參考實驗記錄簿) |
| 4.樣品乾重D(g):                   |              | <b>1.3849</b>        | (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |              |                      |           |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |              |                      |           |
| 7.樣品毒性當量 G ( ng-TEQ/kg):E*F   |              |                      |           |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.050	14.80	0.1	1.48E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	10.240	73.94	0.05	3.70E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	10.390	75.0	0.5	3.75E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	10.330	74.6	0.1	7.46E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	10.060	72.6	0.1	7.26E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	10.450	75.5	0.1	7.55E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	9.510	68.67	0.1	6.87E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	10.090	72.9	0.01	7.29E-01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	10.330	74.59	0.01	7.46E-01
OCDF	25.250	182.3	0.001	1.82E-01
2,3,7,8-TeCDD	2.120	15.31	1	1.53E+01
1,2,3,7,8-PeCDD	10.450	75.46	0.5	3.77E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	10.710	77.33	0.1	7.73E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	10.420	75.24	0.1	7.52E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	10.850	78.35	0.1	7.83E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	9.740	70.33	0.01	7.03E-01
OCDD	21.210	153.2	0.001	1.53E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>150.5</b>
-----------------------------	--------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第2頁/共9頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：CL2(t=28)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/26~2018/9/26

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.5836</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量 G ( ng-TEQ/kg):E*F   |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量 G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	ND(<0.288)	ND(<1.815)	0.1	9.08E-02
1,2,3,7,8-PeCDF	ND(<0.656)	ND(<4.145)	0.05	1.04E-01
2,3,4,7,8-PeCDF	2.690	17.0	0.5	8.49E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	ND(<0.854)	ND(<5.392)	0.1	2.70E-01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	ND(<0.753)	ND(<4.752)	0.1	2.38E-01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	15.750	99.5	0.1	9.95E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	ND(<0.723)	ND(<4.566)	0.1	2.28E-01
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	70.120	442.8	0.01	4.43E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	4.660	29.4	0.01	2.94E-01
OCDF	ND(<2.323)	ND(<14.668)	0.001	7.33E-03
2,3,7,8-TeCDD	ND(<0.170)	ND(<1.076)	1	5.38E-01
1,2,3,7,8-PeCDD	1.060	6.69	0.5	3.35E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	ND(<0.818)	ND(<5.162)	0.1	2.58E-01
1,2,3,6,7,8-HxCDD	ND(<0.789)	ND(<4.984)	0.1	2.49E-01
1,2,3,7,8,9-HxCDD	ND(<0.793)	ND(<5.008)	0.1	2.50E-01
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	30.590	193.2	0.01	1.93E+00
OCDD	ND(<3.881)	ND(<24.509)	0.001	1.23E-02

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**30.685**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 3 頁 / 共 9 頁  
報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：L1(t=28)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/26~2018/9/26

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

1. 分析濃度 A( ng/mL ) : ( 參考數據報表 quan form )
2. 最終定量體積 B( mL ) : **0.010** (參考實驗記錄簿)
3. 樣品分樣C **1.00** (參考實驗記錄簿)
4. 樣品乾重D(g): **1.4201** (參考實驗記錄簿)
5. 樣品濃度 E(ng/kg):  $A*B/C/D*1000$
6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)
7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):  $E*F$

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	3.070	21.6	0.1	2.16E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.280	44.2	0.05	2.21E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.180	50.6	0.5	2.53E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	12.230	86.1	0.1	8.61E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	15.420	108.6	0.1	1.09E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	21.920	154.4	0.1	1.54E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	3.690	26.0	0.1	2.60E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	67.830	477.6	0.01	4.78E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	12.140	85.5	0.01	8.55E-01
OCDF	87.190	614.0	0.001	6.14E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.770	5.42	1	5.42E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	2.980	20.98	0.5	1.05E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1.760	12.39	0.1	1.24E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.020	21.27	0.1	2.13E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.660	18.73	0.1	1.87E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	31.250	220.1	0.01	2.20E+00
OCDD	102.810	724.0	0.001	7.24E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**97.480**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 4頁/共 9頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：L2(t=28)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/26~2018/9/26

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.5356</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.970	19.3	0.1	1.93E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.290	41.0	0.05	2.05E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.580	49.4	0.5	2.47E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	11.510	75.0	0.1	7.50E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	13.990	91.1	0.1	9.11E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	20.590	134.1	0.1	1.34E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	3.350	21.8	0.1	2.18E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	65.630	427.4	0.01	4.27E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	11.530	75.1	0.01	7.51E-01
OCDF	ND(<0.386)	ND(<2.510)	0.001	1.26E-03
2,3,7,8-TeCDD	0.650	4.23	1	4.23E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.280	21.36	0.5	1.07E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1.770	11.53	0.1	1.15E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	ND(<0.115)	ND(<0.751)	0.1	3.76E-02
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.500	22.79	0.1	2.28E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	ND(<0.176)	ND(<1.144)	0.01	5.72E-03
OCDD	ND(<0.492)	ND(<3.203)	0.001	1.60E-03

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**84.274**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 5 頁/共 9 頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：CH1(t=28)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/26~2018/9/26

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.5428</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	4.190	27.2	0.1	2.72E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	9.070	58.8	0.05	2.94E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	10.750	69.7	0.5	3.48E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	15.690	101.7	0.1	1.02E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	19.810	128.4	0.1	1.28E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	28.790	186.6	0.1	1.87E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	5.080	32.9	0.1	3.29E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	86.620	561.4	0.01	5.61E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	14.790	95.9	0.01	9.59E-01
OCDF	99.820	647.0	0.001	6.47E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.950	6.16	1	6.16E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	4.840	31.37	0.5	1.57E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.250	14.58	0.1	1.46E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.760	24.37	0.1	2.44E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	4.010	25.99	0.1	2.60E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	35.330	229.0	0.01	2.29E+00
OCDD	120.500	781.0	0.001	7.81E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**124.088**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人





## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 6 頁 / 共 9 頁  
報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：CH2(t=28)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/26~2018/9/26

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

1. 分析濃度 A( ng/mL ):
2. 最終定量體積 B( mL ):
3. 樣品分樣C
4. 樣品乾重D(g):
5. 樣品濃度 E(ng/kg):  $A*B/C/D*1000$
6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)
7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):  $E*F$

( 參考數據報表 quan form )

**0.010** (參考實驗記錄簿)

**1.00** (參考實驗記錄簿)

**1.6281** (參考實驗記錄簿)

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	4.740	29.1	0.1	2.91E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	9.190	56.4	0.05	2.82E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	11.170	68.6	0.5	3.43E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	18.230	112.0	0.1	1.12E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	21.290	130.8	0.1	1.31E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	27.160	166.8	0.1	1.67E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	5.590	34.3	0.1	3.43E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	87.840	539.5	0.01	5.40E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	13.540	83.2	0.01	8.32E-01
OCDF	112.810	692.9	0.001	6.93E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.000	6.14	1	6.14E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	4.570	28.07	0.5	1.40E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.160	13.27	0.1	1.33E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.540	21.74	0.1	2.17E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.560	21.87	0.1	2.19E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	35.480	217.9	0.01	2.18E+00
OCDD	121.620	747.0	0.001	7.47E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**120.137**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 7 頁 / 共 9 頁  
報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：H1(t=28)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/26~2018/9/26

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3. 樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4. 樣品乾重D(g):                   | <b>1.4335</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	4.180	29.2	0.1	2.92E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	10.030	70.0	0.05	3.50E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	11.490	80.2	0.5	4.01E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	18.360	128.1	0.1	1.28E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	21.160	147.6	0.1	1.48E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	30.950	215.9	0.1	2.16E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	5.220	36.4	0.1	3.64E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	94.510	659.3	0.01	6.59E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	16.330	113.9	0.01	1.14E+00
OCDF	121.560	848.0	0.001	8.48E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.260	8.79	1	8.79E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	4.820	33.62	0.5	1.68E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.610	18.21	0.1	1.82E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	5.120	35.72	0.1	3.57E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	4.070	28.39	0.1	2.84E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	40.290	281.1	0.01	2.81E+00
OCDD	136.180	950.0	0.001	9.50E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**145.466**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第8頁/共9頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：H2(t=28)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/9/ ~2018/9/  
儀分時間：2018/9/26~2018/9/26

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.5902</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	4.370	27.5	0.1	2.75E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	11.150	70.1	0.05	3.51E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	13.080	82.3	0.5	4.11E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	20.850	131.1	0.1	1.31E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	24.260	152.6	0.1	1.53E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	34.430	216.5	0.1	2.17E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	6.210	39.1	0.1	3.91E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	103.950	653.7	0.01	6.54E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	18.280	115.0	0.01	1.15E+00
OCDF	ND(<0.495)	ND(<3.113)	0.001	1.56E-03
2,3,7,8-TeCDD	1.310	8.24	1	8.24E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	5.830	36.66	0.5	1.83E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	3.240	20.37	0.1	2.04E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	5.510	34.65	0.1	3.46E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	5.130	32.26	0.1	3.23E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	45.250	284.6	0.01	2.85E+00
OCDD	ND(<0.724)	ND(<4.552)	0.001	2.28E-03

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**147.138**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人

# 環境生態毒性研究室

## 底泥戴奧辛及呋喃同位素標準品回收率表

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/9/ ~2018/9/

儀分時間：2018/9/26~2018/9/26

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第9頁/共9頁

報告頁數：第 頁/共 頁

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

化合物名稱	BLK	MS	CL1(t=28)	CL2(t=28)	L1(t=28)	L2(t=28)	CH1(t=28)	CH2(t=28)	H1(t=28)	H2(t=28)	品管規範
13C-2,3,7,8-TeCDF	0	0	108	77	59	45	57	55	81	58	30--130
13C-1,2,3,7,8-PeCDF	0	0	107	50	51	42	58	59	75	53	30--130
13C-2,3,4,7,8-PeCDF	0	0	114	60	52	43	60	63	73	54	30--130
13C-1,2,3,4,7,8-HxCDF	0	0	103	55	64	44	60	55	80	53	40--130
13C-1,2,3,6,7,8-HxCDF	0	0	106	55	59	42	56	57	81	53	40--130
13C-2,3,4,6,7,8-HxCDF	0	0	106	92	59	44	56	57	81	53	40--130
13C-1,2,3,7,8,9-HxCDF	0	0	110	69	60	44	61	57	86	54	40--130
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0	0	102	45	54	41	56	56	75	51	40--130
13C-1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0	0	108	43	55	41	58	59	80	53	40--130
13C-2,3,7,8-TeCDD	0	0	101	56	53	43	57	53	78	56	30--130
13C-1,2,3,7,8-PeCDD	0	0	104	44	48	39	55	60	67	51	30--130
13C-1,2,3,4,7,8-HxCDD	0	0	97	54	56	41	54	54	77	52	40--130
13C-1,2,3,6,7,8-HxCDD	0	0	101	49	58	n.d. < 39	57	56	78	52	40--130
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0	0	101	50	52	n.d. < 37	53	52	72	45	40--130
13C-OCDD	0	0	99	n.d. < 28	44	n.d. < 35	52	49	64	n.d. < 39	40--130
37Cl-2,3,7,8-TCDD	0	0	98	59	54	44	58	59	80	51	30--130

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呔喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第1頁/共 12頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：CL1 (t=100)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.3626</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.250	16.51	0.1	1.65E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	5.460	40.07	0.05	2.00E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	6.500	47.7	0.5	2.39E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	8.920	65.5	0.1	6.55E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	12.100	88.8	0.1	8.88E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	16.310	119.7	0.1	1.20E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	3.510	25.76	0.1	2.58E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	53.470	392.4	0.01	3.92E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	9.170	67.30	0.01	6.73E-01
OCDF	58.940	432.6	0.001	4.33E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.250	1.83	1	1.83E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	2.500	18.35	0.5	9.17E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.060	15.12	0.1	1.51E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.020	22.16	0.1	2.22E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.390	17.54	0.1	1.75E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	22.790	167.25	0.01	1.67E+00
OCDD	87.880	644.9	0.001	6.45E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**81.3**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 2 頁 / 共 12 頁  
報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：L1(t=100)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):              | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):               | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3. 樣品分樣C                         | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4. 樣品乾重D(g):                     | <b>1.8162</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A*B/C/D*1000$ |                         |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)           |                         |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg): $E*F$   |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	3.030	16.7	0.1	1.67E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.360	35.0	0.05	1.75E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.680	42.3	0.5	2.11E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	10.800	59.5	0.1	5.95E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	15.270	84.1	0.1	8.41E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	20.360	112.1	0.1	1.12E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	4.120	22.7	0.1	2.27E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	62.040	341.6	0.01	3.42E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	10.620	58.5	0.01	5.85E-01
OCDF	69.560	383.0	0.001	3.83E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.750	4.13	1	4.13E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.300	18.17	0.5	9.08E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.150	11.84	0.1	1.18E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	2.990	16.46	0.1	1.65E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.040	16.74	0.1	1.67E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	26.620	146.6	0.01	1.47E+00
OCDD	91.580	504.2	0.001	5.04E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**76.467**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人





## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 3 頁 / 共 12 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：L2(t=100)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
 儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                                  |                      |             |
|--------------------------------------------------|----------------------|-------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):                              | ( 參考數據報表 quan form ) |             |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):                               | <b>0.010</b>         | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 3. 樣品分樣C                                         | <b>1.00</b>          | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 4. 樣品乾重D(g):                                     | <b>1.7213</b>        | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A \cdot B / C / D \cdot 1000$ |                      |             |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)                           |                      |             |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg ): $E \cdot F$            |                      |             |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg )
2,3,7,8-TeCDF	2.780	16.2	0.1	1.62E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	6.660	38.7	0.05	1.93E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	7.930	46.1	0.5	2.30E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	11.240	65.3	0.1	6.53E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	15.450	89.8	0.1	8.98E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	21.610	125.5	0.1	1.26E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	3.920	22.8	0.1	2.28E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	63.690	370.0	0.01	3.70E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	11.470	66.6	0.01	6.66E-01
OCDF	67.300	391.0	0.001	3.91E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.750	4.36	1	4.36E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	3.190	18.53	0.5	9.27E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1.950	11.33	0.1	1.13E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3.430	19.93	0.1	1.99E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.890	16.79	0.1	1.68E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	28.220	163.9	0.01	1.64E+00
OCDD	104.780	608.7	0.001	6.09E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>82.356</b>
-----------------------------	---------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第4頁/共 12頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：CH1(t=100)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

1. 分析濃度 A( ng/mL ):
2. 最終定量體積 B( mL ):
3. 樣品分樣C
4. 樣品乾重D(g):
5. 樣品濃度 E(ng/kg):  $A*B/C/D*1000$
6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)
7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):  $E*F$

( 參考數據報表 quan form )

**0.010** (參考實驗記錄簿)

**1.00** (參考實驗記錄簿)

**1.4237** (參考實驗記錄簿)

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	4.180	29.4	0.1	2.94E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	8.820	62.0	0.05	3.10E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	11.150	78.3	0.5	3.92E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	14.690	103.2	0.1	1.03E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	19.910	139.8	0.1	1.40E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	26.990	189.6	0.1	1.90E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	5.590	39.3	0.1	3.93E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	88.530	621.8	0.01	6.22E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	14.730	103.5	0.01	1.03E+00
OCDF	90.140	633.1	0.001	6.33E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.120	7.87	1	7.87E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	4.510	31.68	0.5	1.58E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	3.070	21.56	0.1	2.16E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	4.100	28.80	0.1	2.88E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.490	24.51	0.1	2.45E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	34.190	240.1	0.01	2.40E+00
OCDD	122.340	859.3	0.001	8.59E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**134.719**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第5頁/共 12頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：CH2(t=100)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>1.4821</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	4.760	32.1	0.1	3.21E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	9.190	62.0	0.05	3.10E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	11.220	75.7	0.5	3.79E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	16.400	110.7	0.1	1.11E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	20.670	139.5	0.1	1.39E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	28.540	192.6	0.1	1.93E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	6.240	42.1	0.1	4.21E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	83.700	564.7	0.01	5.65E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	15.100	101.9	0.01	1.02E+00
OCDF	89.060	600.9	0.001	6.01E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.030	6.95	1	6.95E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	4.970	33.53	0.5	1.68E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.870	19.36	0.1	1.94E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	4.370	29.49	0.1	2.95E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.950	26.65	0.1	2.67E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	35.300	238.2	0.01	2.38E+00
OCDD	120.540	813.3	0.001	8.13E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**134.371**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 6 頁 / 共 12 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：H1(t=100)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
 儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                |                      |             |
|--------------------------------|----------------------|-------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form ) |             |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b>         | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 3. 樣品分樣C                       | <b>1.00</b>          | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 4. 樣品乾重D(g):                   | <b>1.7215</b>        | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                      |             |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                      |             |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                      |             |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	4.880	28.3	0.1	2.83E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	10.710	62.2	0.05	3.11E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	12.200	70.9	0.5	3.54E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	17.370	100.9	0.1	1.01E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	23.130	134.4	0.1	1.34E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	31.220	181.4	0.1	1.81E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	6.280	36.5	0.1	3.65E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	89.880	522.1	0.01	5.22E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	18.770	109.0	0.01	1.09E+00
OCDF	97.020	563.6	0.001	5.64E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.160	6.74	1	6.74E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	5.400	31.37	0.5	1.57E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.940	17.08	0.1	1.71E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	5.140	29.86	0.1	2.99E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	4.590	26.66	0.1	2.67E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	42.830	248.8	0.01	2.49E+00
OCDD	124.800	724.9	0.001	7.25E-01

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>126.559</b>
-----------------------------	----------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呔喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 7 頁/共 12 頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：H2 (t=100)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>2.0096</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	6.140	30.6	0.1	3.06E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	12.980	64.6	0.05	3.23E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	15.160	75.4	0.5	3.77E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	20.840	103.7	0.1	1.04E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	30.020	149.4	0.1	1.49E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	37.790	188.0	0.1	1.88E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	7.490	37.3	0.1	3.73E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	110.330	549.0	0.01	5.49E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	21.190	105.4	0.01	1.05E+00
OCDF	124.250	618.3	0.001	6.18E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.450	7.22	1	7.22E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	6.500	32.34	0.5	1.62E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	3.190	15.87	0.1	1.59E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	6.000	29.86	0.1	2.99E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	5.230	26.03	0.1	2.60E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	48.360	240.6	0.01	2.41E+00
OCDD	164.250	817.3	0.001	8.17E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**132.794**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 8頁/共 12頁

報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：C1(t=0)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
 儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>2.5908</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	8.630	33.3	0.1	3.33E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	18.480	71.3	0.05	3.57E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	20.040	77.4	0.5	3.87E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	30.400	117.3	0.1	1.17E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	38.100	147.1	0.1	1.47E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	51.290	198.0	0.1	1.98E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	10.140	39.1	0.1	3.91E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	155.960	602.0	0.01	6.02E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	26.980	104.1	0.01	1.04E+00
OCDF	168.860	651.8	0.001	6.52E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.640	6.33	1	6.33E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	9.170	35.39	0.5	1.77E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	5.660	21.85	0.1	2.18E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	8.650	33.39	0.1	3.34E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	8.180	31.57	0.1	3.16E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	78.500	303.0	0.01	3.03E+00
OCDD	286.380	1105.4	0.001	1.11E+00

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>140.280</b>
-----------------------------	----------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人





## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第9頁/共 12頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：C2(t=0)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>5.1511</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	18.770	36.4	0.1	3.64E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	36.190	70.3	0.05	3.51E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	39.400	76.5	0.5	3.82E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	54.950	106.7	0.1	1.07E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	74.320	144.3	0.1	1.44E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	97.670	189.6	0.1	1.90E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	21.260	41.3	0.1	4.13E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	268.660	521.6	0.01	5.22E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	50.540	98.1	0.01	9.81E-01
OCDF	286.420	556.0	0.001	5.56E-01
2,3,7,8-TeCDD	4.230	8.21	1	8.21E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	18.290	35.51	0.5	1.78E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	10.010	19.43	0.1	1.94E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	17.060	33.12	0.1	3.31E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	14.480	28.11	0.1	2.81E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	127.330	247.2	0.01	2.47E+00
OCDD	465.450	903.6	0.001	9.04E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**137.745**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第10頁/共 12頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：C3(t=0)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>4.2477</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	16.620	39.1	0.1	3.91E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	33.720	79.4	0.05	3.97E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	40.780	96.0	0.5	4.80E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	55.250	130.1	0.1	1.30E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	70.110	165.1	0.1	1.65E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	92.860	218.6	0.1	2.19E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	19.600	46.1	0.1	4.61E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	270.450	636.7	0.01	6.37E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	51.330	120.8	0.01	1.21E+00
OCDF	279.390	657.7	0.001	6.58E-01
2,3,7,8-TeCDD	4.180	9.84	1	9.84E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	17.430	41.03	0.5	2.05E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	9.440	22.22	0.1	2.22E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	16.370	38.54	0.1	3.85E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	14.660	34.51	0.1	3.45E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	130.630	307.5	0.01	3.08E+00
OCDD	452.630	1065.6	0.001	1.07E+00

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**164.131**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 11 頁 / 共 12 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：C4(t=0)  
 分析方法：NIEA M805  
 前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
 儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

採樣地點：  
 前處理人員：中興大學  
 儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                  |                      |             |
|----------------------------------|----------------------|-------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):              | ( 參考數據報表 quan form ) |             |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):               | <b>0.010</b>         | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 3. 樣品分樣C                         | <b>1.00</b>          | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 4. 樣品乾重D(g):                     | <b>2.6148</b>        | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A*B/C/D*1000$ |                      |             |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)           |                      |             |
| 7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg): $E*F$   |                      |             |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	14.690	56.2	0.1	5.62E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	29.120	111.4	0.05	5.57E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	33.420	127.8	0.5	6.39E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	48.840	186.8	0.1	1.87E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	70.460	269.5	0.1	2.69E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	80.100	306.3	0.1	3.06E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	17.420	66.6	0.1	6.66E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	238.140	910.7	0.01	9.11E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	44.160	168.9	0.01	1.69E+00
OCDF	271.330	1037.7	0.001	1.04E+00
2,3,7,8-TeCDD	3.130	11.97	1	1.20E+01
1,2,3,7,8-PeCDD	15.110	57.79	0.5	2.89E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	9.180	35.11	0.1	3.51E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	12.930	49.45	0.1	4.94E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	11.890	45.47	0.1	4.55E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	109.100	417.2	0.01	4.17E+00
OCDD	426.700	1631.9	0.001	1.63E+00

<b>Total TEQ(ng-TEQ/kg)</b>	<b>229.517</b>
-----------------------------	----------------

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人

# 環境生態毒性研究室

## 底泥戴奧辛及呋喃同位素標準品回收率表

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/10/ ~2018/10/

儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 12 頁 / 共 12 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

化合物名稱	BLK	MS	CL1 (t=100)	L1(t=100)	L2(t=100)	CH1(t=100)	CH2(t=100)	H1(t=100)	H2 (t=100)	C1(t=0)	C2(t=0)	C3(t=0)	C4(t=0)	品管規範
13C-2,3,7,8-TeCDF			75	71	74	76	61	75	69	77	63	78	70	30--130
13C-1,2,3,7,8-PeCDF			84	83	83	90	75	85	69	85	69	86	76	30--130
13C-2,3,4,7,8-PeCDF			78	77	79	79	75	84	69	87	69	81	75	30--130
13C-1,2,3,4,7,8-HxCDF			79	76	79	82	65	70	70	75	66	72	70	40--130
13C-1,2,3,6,7,8-HxCDF			83	80	88	85	68	74	73	78	66	78	68	40--130
13C-2,3,4,6,7,8-HxCDF			78	73	76	82	67	71	71	77	65	76	71	40--130
13C-1,2,3,7,8,9-HxCDF			82	79	79	83	68	77	75	81	68	81	73	40--130
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDF			75	75	77	75	70	74	72	76	65	76	69	40--130
13C-1,2,3,4,7,8,9-HpCDF			83	83	83	81	73	73	71	88	66	78	72	40--130
13C-2,3,7,8-TeCDD			74	71	75	76	63	75	70	81	67	80	73	30--130
13C-1,2,3,7,8-PeCDD			79	81	80	81	73	86	69	87	69	87	75	30--130
13C-1,2,3,4,7,8-HxCDD			74	74	75	78	66	72	73	82	65	76	66	40--130
13C-1,2,3,6,7,8-HxCDD			74	78	75	85	65	70	71	76	65	78	75	40--130
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDD			78	80	79	81	73	71	72	82	69	80	73	40--130
13C-OCDD			74	76	76	76	71	72	64	75	60	73	62	40--130
37Cl-2,3,7,8-TCDD			87	78	82	83	71	80	77	89	72	96	80	30--130

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呔喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 1 頁 / 共 7 頁  
報告頁數：第 頁 / 共 頁

樣品編號：C1(t=13)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/23~2018/10/23

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

1. 分析濃度 A( ng/mL ) : ( 參考數據報表 quan form )
2. 最終定量體積 B( mL ) : **0.010** (參考實驗記錄簿)
3. 樣品分樣C **1.00** (參考實驗記錄簿)
4. 樣品乾重D(g): **1.3706** (參考實驗記錄簿)
5. 樣品濃度 E(ng/kg):  $A*B/C/D*1000$
6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)
7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):  $E*F$

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.170	15.83	0.1	1.58E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	4.040	29.48	0.05	1.47E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	4.810	35.1	0.5	1.75E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	6.460	47.1	0.1	4.71E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	7.410	54.1	0.1	5.41E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	10.210	74.5	0.1	7.45E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	2.180	15.91	0.1	1.59E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	28.070	204.8	0.01	2.05E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	5.460	39.84	0.01	3.98E-01
OCDF	26.980	196.8	0.001	1.97E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.550	4.01	1	4.01E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	2.170	15.83	0.5	7.92E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1.120	8.17	0.1	8.17E-01
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.830	6.06	0.1	6.06E-01
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1.080	7.88	0.1	7.88E-01
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	14.190	103.53	0.01	1.04E+00
OCDD	51.490	375.7	0.001	3.76E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**58.0**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 2 頁/共 7 頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：C2(t=13)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/23~2018/10/23

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

1. 分析濃度 A( ng/mL ):
2. 最終定量體積 B( mL ):
3. 樣品分樣C
4. 樣品乾重D(g):
5. 樣品濃度 E(ng/kg):  $A*B/C/D*1000$
6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)
7. 樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):  $E*F$

( 參考數據報表 quan form )

**0.010** (參考實驗記錄簿)

**1.00** (參考實驗記錄簿)

**1.7980** (參考實驗記錄簿)

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	5.570	31.0	0.1	3.10E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	10.910	60.7	0.05	3.03E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	12.300	68.4	0.5	3.42E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	17.930	99.7	0.1	9.97E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	21.460	119.4	0.1	1.19E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	29.990	166.8	0.1	1.67E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	6.330	35.2	0.1	3.52E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	82.960	461.4	0.01	4.61E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	15.100	84.0	0.01	8.40E-01
OCDF	85.580	476.0	0.001	4.76E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.320	7.34	1	7.34E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	5.460	30.37	0.5	1.52E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.740	15.24	0.1	1.52E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	2.180	12.12	0.1	1.21E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.700	15.02	0.1	1.50E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	40.810	227.0	0.01	2.27E+00
OCDD	167.320	930.6	0.001	9.31E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**118.338**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人





## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 3頁/共 7頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：C3(t=13)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/23~2018/10/23

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>2.0099</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	6.190	30.8	0.1	3.08E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	12.480	62.1	0.05	3.10E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	13.480	67.1	0.5	3.35E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	21.670	107.8	0.1	1.08E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	24.590	122.3	0.1	1.22E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	35.620	177.2	0.1	1.77E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	7.240	36.0	0.1	3.60E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	100.960	502.3	0.01	5.02E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	17.900	89.1	0.01	8.91E-01
OCDF	104.330	519.1	0.001	5.19E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.420	7.07	1	7.07E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	6.490	32.29	0.5	1.61E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	3.330	16.57	0.1	1.66E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	2.810	13.98	0.1	1.40E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.470	17.26	0.1	1.73E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	49.740	247.5	0.01	2.47E+00
OCDD	184.070	915.8	0.001	9.16E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**121.874**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 4 頁/共 7 頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：C4(t=13)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/23~2018/10/23

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| 1. 分析濃度 A(ng/mL)：              | (參考數據報表 quan form)      |
| 2. 最終定量體積 B( mL )：             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3. 樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4. 樣品乾重D(g):                   | <b>1.7086</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7. 樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg):E*F     |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg)	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	6.040	35.4	0.1	3.54E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	12.950	75.8	0.05	3.79E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	14.400	84.3	0.5	4.21E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	22.060	129.1	0.1	1.29E+01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	25.860	151.4	0.1	1.51E+01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	38.860	227.4	0.1	2.27E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	7.530	44.1	0.1	4.41E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	110.180	644.9	0.01	6.45E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	18.940	110.9	0.01	1.11E+00
OCDF	112.820	660.3	0.001	6.60E-01
2,3,7,8-TeCDD	1.440	8.43	1	8.43E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	6.240	36.52	0.5	1.83E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	3.280	19.20	0.1	1.92E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	2.650	15.51	0.1	1.55E+00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	3.450	20.19	0.1	2.02E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	52.020	304.5	0.01	3.04E+00
OCDD	184.740	1081.2	0.001	1.08E+00

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**149.183**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第5頁/共 7頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：C4(before)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/23~2018/10/23

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1.分析濃度 A( ng/mL ):            | ( 參考數據報表 quan form )    |
| 2.最終定量體積 B( mL ):             | <b>0.010</b> (參考實驗記錄簿)  |
| 3.樣品分樣C                       | <b>1.00</b> (參考實驗記錄簿)   |
| 4.樣品乾重D(g):                   | <b>2.0500</b> (參考實驗記錄簿) |
| 5.樣品濃度 E(ng/kg): A*B/C/D*1000 |                         |
| 6.國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)         |                         |
| 7.樣品毒性當量G ( ng-TEQ/kg):E*F    |                         |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	ND(<2.639)	ND(<12.872)	0.1	6.44E-01
1,2,3,7,8-PeCDF	ND(<1.917)	ND(<9.350)	0.05	2.34E-01
2,3,4,7,8-PeCDF	ND(<1.896)	ND(<9.249)	0.5	2.31E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	ND(<1.293)	ND(<6.307)	0.1	3.15E-01
1,2,3,6,7,8-HxCDF	ND(<3.005)	ND(<14.656)	0.1	7.33E-01
2,3,4,6,7,8-HxCDF	ND(<0.751)	ND(<3.665)	0.1	1.83E-01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	ND(<2.054)	ND(<10.019)	0.1	5.01E-01
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	ND(<2.820)	ND(<13.755)	0.01	6.88E-02
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ND(<3.835)	ND(<18.708)	0.01	9.35E-02
OCDF	ND(<3.366)	ND(<16.417)	0.001	8.21E-03
2,3,7,8-TeCDD	ND(<1.501)	ND(<7.321)	1	3.66E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	ND(<1.430)	ND(<6.976)	0.5	1.74E+00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	ND(<2.353)	ND(<11.477)	0.1	5.74E-01
1,2,3,6,7,8-HxCDD	ND(<0.003)	ND(<0.012)	0.1	6.10E-04
1,2,3,7,8,9-HxCDD	ND(<0.002)	ND(<0.012)	0.1	5.85E-04
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	ND(<0.643)	ND(<3.135)	0.01	1.57E-02
OCDD	ND(<4.777)	ND(<23.303)	0.001	1.17E-02

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**11.100**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人



## 環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

文件編號： 版次：  
核准日期： 核准頁數：第 6 頁/共 7 頁  
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：CL2(t=100)  
分析方法：NIEA M805  
前處理時間：2018/10/ ~2018/10/  
儀分時間：2018/10/23~2018/10/23

採樣地點：  
前處理人員：中興大學  
儀分人員：謝季吟、吳孟純

### A. 樣品總毒性當量計算：

- |                                  |                      |             |
|----------------------------------|----------------------|-------------|
| 1. 分析濃度 A( ng/mL ):              | ( 參考數據報表 quan form ) |             |
| 2. 最終定量體積 B( mL ):               | <b>0.010</b>         | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 3. 樣品分樣 C                        | <b>1.00</b>          | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 4. 樣品乾重 D(g):                    | <b>1.3187</b>        | ( 參考實驗記錄簿 ) |
| 5. 樣品濃度 E(ng/kg): $A*B/C/D*1000$ |                      |             |
| 6. 國際毒性當量換算因子 F(I-TEF)           |                      |             |
| 7. 樣品毒性當量 G ( ng-TEQ/kg): $E*F$  |                      |             |

### B. 2,3,7,8-PCDDs/PCDFs 個別濃度及毒性當量:

化合物名稱	分析濃度 A ( ng/mL )	樣品濃度 E ( ng/kg )	毒性當量因子 F ( I-TEF )	樣品毒性當量 G (ng-TEQ/kg)
2,3,7,8-TeCDF	2.600	19.7	0.1	1.97E+00
1,2,3,7,8-PeCDF	5.890	44.7	0.05	2.23E+00
2,3,4,7,8-PeCDF	6.040	45.8	0.5	2.29E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	10.630	80.6	0.1	8.06E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	12.020	91.2	0.1	9.12E+00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	19.000	144.1	0.1	1.44E+01
1,2,3,7,8,9-HxCDF	3.920	29.7	0.1	2.97E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	59.360	450.1	0.01	4.50E+00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	10.040	76.1	0.01	7.61E-01
OCDF	59.430	450.7	0.001	4.51E-01
2,3,7,8-TeCDD	0.500	3.79	1	3.79E+00
1,2,3,7,8-PeCDD	2.930	22.22	0.5	1.11E+01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1.750	13.27	0.1	1.33E+00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1.180	8.95	0.1	8.95E-01
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1.590	12.06	0.1	1.21E+00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	26.190	198.6	0.01	1.99E+00
OCDD	87.760	665.5	0.001	6.66E-01

**Total TEQ(ng-TEQ/kg)**

**88.357**

濃度為ND時, 毒性當量以0.5DL計算

檢驗員

驗算員

報告簽署人

# 環境生態毒性研究室

## 底泥戴奧辛及呋喃同位素標準品回收率表

分析方法：NIEA M805

前處理時間：2018/10/ ~2018/10/

儀分時間：2018/10/23~2018/10/23

文件編號：

版次：

核准日期：

核准頁數：第 7 頁 / 共 7 頁

報告頁數：第 頁 / 共 頁

前處理人員：中興大學

儀分人員：謝季吟、吳孟純

化合物名稱	BLK	MS	C1(t=13)	C2(t=13)	C3(t=13)	C4(t=13)	C4(before)	CL2(t=100)	品管規範
13C-2,3,7,8-TeCDF			49	54	57	46	n.d. < 0	46	30--130
13C-1,2,3,7,8-PeCDF			52	57	64	50	n.d. < 0	48	30--130
13C-2,3,4,7,8-PeCDF			52	55	65	50	n.d. < 0	49	30--130
13C-1,2,3,4,7,8-HxCDF			51	53	56	49	n.d. < 0	46	40--130
13C-1,2,3,6,7,8-HxCDF			48	50	55	48	n.d. < 0	45	40--130
13C-2,3,4,6,7,8-HxCDF			53	53	58	48	n.d. < 0	46	40--130
13C-1,2,3,7,8,9-HxCDF			51	55	60	50	n.d. < 0	48	40--130
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDF			55	56	62	51	n.d. < 0	47	40--130
13C-1,2,3,4,7,8,9-HpCDF			55	59	64	54	n.d. < 0	49	40--130
13C-2,3,7,8-TeCDD			50	57	61	48	n.d. < 0	47	30--130
13C-1,2,3,7,8-PeCDD			51	56	65	50	n.d. < 0	49	30--130
13C-1,2,3,4,7,8-HxCDD			49	53	59	50	n.d. < 0	45	40--130
13C-1,2,3,6,7,8-HxCDD			100	100	100	100	100	100	40--130
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDD			55	59	63	50	n.d. < 0	46	40--130
13C-OCDD			57	58	63	51	n.d. < 0	49	40--130
37Cl-2,3,7,8-TCDD			52	63	64	50	n.d. < 0	51	30--130

檢驗員

驗算員

報告簽署人



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染  
整治技術研發及驗證

(空白頁)



## 5. 模場試驗現地測量資料

第0天	pH	溫度	ORP	DO		第7天	pH	溫度	ORP	DO		第14天	pH	溫度	ORP	DO		第28天	pH	溫度	ORP	DO		第42天	pH	溫度	ORP	DO		第70天	pH	溫度	ORP	DO
WBK1(底泥)	7.72	23.9	-57	1.9		WBK1(底泥)	6.79	31.2	-283	0.6		WBK1(底泥)	6.82	29.6	-340	DO meter 損壞		WBK1(底泥)	6.44	29	-90	DO meter 損壞		WBK1(底泥)	6.39	28.8	-162	2		WBK1(底泥)	6.55	29	-181	1.5
WBK1(水)	7.69	23.8	-14	0.6		WBK1(水)	6.71	31.1	-281	0.8		WBK1(水)	6.73	30.2	-326	DO meter 損壞		WBK1(水)	未量測			DO meter 損壞		WBK1(水)	6.49	29.3	-152	1.8		WBK1(水)	6.53	29	-164	1.7
WBK2(底泥)	7.58	23.8	-50	2.2		WBK2(底泥)	6.86	31.2	-316	1.6		WBK2(底泥)	6.93	29.7	-353	DO meter 損壞		WBK2(底泥)	6.69	28.8	-186	DO meter 損壞		WBK2(底泥)	6.7	28.4	-168	1.8		WBK2(底泥)	6.73	30	-181	1.4
WBK2(水)	7.09	23.2	29	2.3		WBK2(水)	6.9	30.9	-296	1.6		WBK2(水)	6.86	30.2	-345	DO meter 損壞		WBK2(水)	未量測			DO meter 損壞		WBK2(水)	6.99	28.8	-156	2		WBK2(水)	6.61	29.4	-162	1.7
WNR1(底泥)	7.41	22.4	-53	0.9		WNR1(底泥)	6.64	31.1	-337	0.6		WNR1(底泥)	6.66	29.7	-332	DO meter 損壞		WNR1(底泥)	6.76	28.9	-159	DO meter 損壞		WNR1(底泥)	6.43	28.8	-173	2		WNR1(底泥)	6.64	29.3	-202	1.4
WNR1(水)	7.57	22.1	-11	1.3		WNR1(水)	6.66	30.5	-323	0.8		WNR1(水)	6.77	29.7	-328	DO meter 損壞		WNR1(水)	未量測			DO meter 損壞		WNR1(水)	6.43	28.5	-170	2.1		WNR1(水)	6.69	29.3	-191	1.9
WNR2(底泥)	6.66	22.6	-82	1.1		WNR2(底泥)	6.22	31.2	-335	0.6		WNR2(底泥)	6.48	29.9	-316	DO meter 損壞		WNR2(底泥)	6.8	28.9	-180	DO meter 損壞		WNR2(底泥)	6.78	28.6	-174	1.8		WNR2(底泥)	6.87	29.3	-183	1.5
WNR2(水)	6.72	21.6	16	0.8		WNR2(水)	6.5	30.9	-328	0.8		WNR2(水)	6.51	30.2	-331	DO meter 損壞		WNR2(水)	未量測			DO meter 損壞		WNR2(水)	6.72	28.9	-166	1.8		WNR2(水)	6.94	29.6	-179	1.7
WBS1(底泥)	6.78	22.8	-51	0.9		WBS1(底泥)	6.49	31.2	-325	0.6		WBS1(底泥)	6.58	29.7	-356	DO meter 損壞		WBS1(底泥)	6.76	29.2	-128	DO meter 損壞		WBS1(底泥)	6.94	28.8	-162	1.7		WBS1(底泥)	7.1	29.3	-219	1.2
WBS1(水)	6.81	22.9	-22	0.6		WBS1(水)	6.48	30.8	-339	0.7		WBS1(水)	6.76	30.5	-349	DO meter 損壞		WBS1(水)	未量測			DO meter 損壞		WBS1(水)	6.96	29.3	-152	1.8		WBS1(水)	7.13	29.7	-223	1.2
WBS2(底泥)	7.23	22.6	-60	1.3		WBS2(底泥)	6.3	31.2	-325	0.6		WBS2(底泥)	6.62	30.3	-358	DO meter 損壞		WBS2(底泥)	6.98	28.6	-124	DO meter 損壞		WBS2(底泥)	6.57	28.8	-180	2.1		WBS2(底泥)	6.89	29.3	-215	0.9
WBS2(水)	7.33	22.2	-17	1.6		WBS2(水)	6.61	30.7	-335	0.9		WBS2(水)	6.61	29.9	-348	DO meter 損壞		WBS2(水)	未量測			DO meter 損壞		WBS2(水)	6.62	29.3	-173	2.5		WBS2(水)	6.93	29.5	-206	1
WBA1(底泥)	6.75	23	-77	1.6		WBA1(底泥)	6.68	31.1	-369	0.6		WBA1(底泥)	6.76	30	-377	DO meter 損壞		WBA1(底泥)	6.83	28.7	-117	DO meter 損壞		WBA1(底泥)	6.8	28.9	-177	2.1		WBA1(底泥)	6.93	29.4	-268	1
WBA1(水)	6.75	23.1	-24	1		WBA1(水)	6.64	30.5	-339	0.7		WBA1(水)	7	30.1	-356	DO meter 損壞		WBA1(水)	未量測			DO meter 損壞		WBA1(水)	6.83	28.9	-168	1.8		WBA1(水)	6.95	29.5	-212	1
WBA2(底泥)	6.77	23	-68	0.7		WBA2(底泥)	6.6	31	-355	0.6		WBA2(底泥)	6.69	29.7	-360	DO meter 損壞		WBA2(底泥)	6.61	28.9	-123	DO meter 損壞		WBA2(底泥)	6.49	28.8	-276	1.9		WBA2(底泥)	6.94	29.3	-251	0.8
WBA2(水)	6.7	23.1	-36	2.2		WBA2(水)	6.67	30.5	-334	0.7		WBA2(水)	6.91	30	-354	DO meter 損壞		WBA2(水)	未量測			DO meter 損壞		WBA2(水)	6.51	29	-198	2.4		WBA2(水)	6.96	29.4	-238	0.9
FBK1(底泥)	7.06	28.1	-59	0		FBK1(底泥)	6.97	31.1	-339	0.5		FBK1(底泥)	6.96	29.6	-370	DO meter 損壞		FBK1(底泥)	6.82	29.2	-149	DO meter 損壞		FBK1(底泥)	6.64	29.2	-203	2		FBK1(底泥)	6.98	30.3	-216	0.8
FBK1(水)	7.08	27.5	-7	0.3		FBK1(水)	7.04	30.5	-256	1		FBK1(水)	6.96	30.3	-357	DO meter 損壞		FBK1(水)	未量測			DO meter 損壞		FBK1(水)	6.66	29.2	-186	2.4		FBK1(水)	6.96	29.5	-228	1
FBK2(底泥)	7.19	28.6	-54	0		FBK2(底泥)	6.97	31.1	-368	0.5		FBK2(底泥)	6.92	29.9	-378	DO meter 損壞		FBK2(底泥)	6.59	29	-134	DO meter 損壞		FBK2(底泥)	6.57	28.9	-209	1.9		FBK2(底泥)	6.83	30.9	-196	0.8
FBK2(水)	7.24	27.4	-5	2.6		FBK2(水)	6.99	30.8	-346	0.7		FBK2(水)	6.96	30.2	-373	DO meter 損壞		FBK2(水)	未量測			DO meter 損壞		FBK2(水)	6.64	29	-204	2.4		FBK2(水)	6.86	30.2	-149	0.9
FNR1(底泥)	7.34	30.8	-63	0		FNR1(底泥)	6.9	30.8	-374	0.4		FNR1(底泥)	6.91	31	-365	DO meter 損壞		FNR1(底泥)	6.77	28.8	-155	DO meter 損壞		FNR1(底泥)	6.74	29.7	-195	1.4		FNR1(底泥)	7.04	30	-209	0.8
FNR1(水)	7.24	30.3	-20	0.3		FNR1(水)	7.01	30.5	-348	0.7		FNR1(水)	7	31	-351	DO meter 損壞		FNR1(水)	未量測			DO meter 損壞		FNR1(水)	6.6	29.4	-187	1.8		FNR1(水)	7.46	30.3	-198	0.9
FNR2(底泥)	7.32	29.8	-54	0		FNR2(底泥)	6.98	31.1	-387	0.4		FNR2(底泥)	6.93	29.8	-374	DO meter 損壞		FNR2(底泥)	6.72	28.4	-150	DO meter 損壞		FNR2(底泥)	6.98	28.9	-189	1.4		FNR2(底泥)	6.84	30.4	-269	0.8
FNR2(水)	7.38	28.4	-23	0.6		FNR2(水)	6.99	30.7	-375	0.7		FNR2(水)	6.93	30.6	-368	DO meter 損壞		FNR2(水)	未量測			DO meter 損壞		FNR2(水)	7.03	29.3	-174	1.9		FNR2(水)	6.98	30.4	-250	0.8
FBS1(底泥)	6.95	30.3	-62	0		FBS1(底泥)	6.97	31.2	-374	0.5		FBS1(底泥)	6.94	30	-383	DO meter 損壞		FBS1(底泥)	6.76	28.4	-200	DO meter 損壞		FBS1(底泥)	6.84	28.7	-205	1.6		FBS1(底泥)	7.6	29.8	-256	0.8
FBS1(水)	6.73	28.3	-5	0.2		FBS1(水)	7.02	30.9	-348	0.8		FBS1(水)	7.06	31.7	-374	DO meter 損壞		FBS1(水)	未量測			DO meter 損壞		FBS1(水)	6.92	28.8	-200	2.3		FBS1(水)	7.6	30.2	-243	0.8
FBS2(底泥)	6.6	30.8	-87	0.1		FBS2(底泥)	6.93	31.1	-379	0.3		FBS2(底泥)	6.93	30.1	-380	DO meter 損壞		FBS2(底泥)	6.63	28.4	-171	DO meter 損壞		FBS2(底泥)	6.72	29.8	-213	1.3		FBS2(底泥)	7.24	29.6	-234	0.7
FBS2(水)	6.61	28.6	-10	0.3		FBS2(水)	7.01	31.1	-349	0.5		FBS2(水)	6.92	30.6	-359	DO meter 損壞		FBS2(水)	未量測			DO meter 損壞		FBS2(水)	6.74	29.3	-209	1.8		FBS2(水)	7.14	30.7	-215	0.6
FBA1(底泥)	6.79	30.2	-70	0		FBA1(底泥)	6.97	31.1	-373	0.4		FBA1(底泥)	6.86	32.9	-333	DO meter 損壞		FBA1(底泥)	6.76	28.1	-140	DO meter 損壞		FBA1(底泥)	6.61	28.6	-182	1.2		FBA1(底泥)	6.86	29.8	-238	0.7
FBA1(水)	6.65	28.1	-11	0.9		FBA1(水)	6.99	30.9	-334	0.7		FBA1(水)	7	33.6	-318	DO meter 損壞		FBA1(水)	未量測			DO meter 損壞		FBA1(水)	6.74	28.5	-175	1.3		FBA1(水)	6.92	30.2	-224	0.7
FBA2(底泥)	6.75	29.9	-65	0		FBA2(底泥)	7.02	31.1	-538	0.4		FBA2(底泥)	7.02	33.1	-357	DO meter 損壞		FBA2(底泥)	6.77	28.8	-162	DO meter 損壞		FBA2(底泥)	6.9	28.8	-200	1.4		FBA2(底泥)	7.23	30.4	-192	0.6
FBA2(水)	6.6	28.6	-13	0.3		FBA2(水)	7.01	31	-323	0.7		FBA2(水)	7.07	33.6	-347	DO meter 損壞		FBA2(水)	未量測			DO meter 損壞		FBA2(水)	6.98	28.8	-192	1.6		FBA2(水)	7.28	30.5	-178	0.7



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(空白頁)



## 附錄二 本計畫獲得用地許可公文



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(空白頁)



附錄

正本

 檔 號：1904  
 保存年限：10年

工 學 院

經濟部水利署 函

 機關地址：高雄市岡山區柳橋西路15號  
 聯絡人：洪榮中  
 聯絡電話：07-6279015  
 電子信箱：wra06066@wra06.gov.tw  
 傳 真：07-6250982

40227

臺中市南區興大路145號

受文者：國立中興大學 **環境工程學系**

發文日期：中華民國105年1月30日

發文字號：水授六字第10586000800號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如主旨

 一、奉函敬悉。  
 二、已附件抽存備辦。  
 三、文陣閱後存查。

主旨：檢送貴校申請「二仁溪汙染底泥整治模場試驗計畫」河川區域使用許可書乙紙暨會勘紀錄一份，請依許可書及本函各點辦理，並不得違反水利法及河川管理辦法等相關規定，並請善盡申請使用範圍之管理責任，請查照。

說明：

- 一、復貴校104年11月23興工字第1041900611號函暨105年01月11日會勘紀錄辦理。
- 二、經現勘結果，在以不影響原有堤防堤身穩定、結構安全與灘地使用，原則同意辦理。
- 三、本案若需破堤施工應避開汛期施工，如汛期來臨時尚無完成復建，應有加強防護之措施。
- 四、本工程施工期間不得於河川區域內有盜採砂石及設置工寮等違反水利法及海堤管理辦法之行為，並做必要之施工安全告示，嗣後該構造物之安全、維護、巡防、保固、管理工作由貴公司負責；且工程完成後，請報請本署第六河川局派員查驗備查。
- 五、依河川管理辦法第55條規定，於使用期間對施設之建造物或其使用範圍應負責維護管理；如因設置或管理之欠缺，造成他人損害，應負賠償責任。如另有損及第三者權益、或因情事變更致響河防安全或河川環境，經本署第六河川局通知改善或拆除者，

 符合本校『文書處理要點』第18條、  
 33條規定，以紙本文公辦理。

國立中興大學



1050050425

 總收文  
 105.2.01



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

興建機關應遵照指示立即辦理，且不得要求任何補償。另本案施設地點，若涉及第三者權益，請妥與協調，俾避免糾紛。

六、餘請依105年1月11日會勘紀錄辦理。

正本：國立中興大學  
副本：本署第六河川局

吳王瑞德



105年1月11日

3





## 經濟部水利署(第六河川局) 河川區域 公(私)地 使用許可書

中華民國105年01月18日 水授六字第1058600080號

姓 名	國立中興大學	住 址	(402)臺中市南區興大路145號
使用位置	二仁溪臺南市南區同安段917-0地號		
施工面積	公0.0035公頃 私0公頃	使用種類	其他
使用面積	公0.0035公頃 私0公頃		

據申請人 國立中興大學 申請使用上開 河川區域 公(私)地經核符合規定准予使用，茲發給許可書為憑，並將應遵守條款列於後：

- 第一條： 使用期限：自中華民國105年01月18日起至110年01月17日為止，施工期限自105年01月18日至105年03月17日。許可期間不得超過5年及土石可採區公告之執行期限。期滿仍欲繼續時，應於期限屆滿前3個月起之30日內（應自109年10月17日至109年11月16日止），檢齊相關書件向本署（經濟部水利署第六河川局）重新申請使用。逾期未申請者，其許可於期限屆滿時失其效力，使用地應整復後交還本署。（視申請施設類別而定，依河川管理辦法第33條第4、5項規定辦理。）
- 第二條： 本許可書所指之 河川區域 公(私)地使用標的為 二仁溪汙染底泥整治棋場試驗計畫使用，其他非經核准不得變更使用目的。
- 第三條： 許可使用人應切實依照核定圖說及位置施工，開（竣）工時應將開（竣）工日期報核。如有改建拆除均應事先報由 經濟部水利署第六河川局 核准。
- 第四條： 使用期間，許可使用人對施設之建造物或其使用範圍應負責維護管理；如造成他人之損害，應負責賠償。
- 第五條： 許可使用人施設之堤防路、運輸路及便橋係屬公共設施，凡經申請核准有案之其他使用行為，若願意共同維護均得通行，許可使用人不得阻撓或設卡收費，若無法取得協議時，由 經濟部水利署第六河川局 依河川管理辦法第52條規定進行協調。
- 第六條： 政府機關或其他有關單位如為水利設施整治、管理、公共使用或其他防救緊急危險之要時，需使用本許可書所列 河川區域 公地時，本署得隨時收回，對許可使用人所設施之建造物及其他損失一概不予補償，許可使用人應於接獲通知後立即無條件交還土地，不得藉任何理由拒絕或拖延。
- 第七條： 若涉及開挖河防建物應在汛期外辦理為原則，應依「申請開挖中央管河川河防建築物審核要點」規定申請，於取得許可始得為之。
- 第八條： 施工時不得於 河川區域 內有盜採砂石及設置工寮等違反水利法及 河川 管理辦法之行為，並做好必要之施工安全告示，如因本案工程設施造成之災害，一切損失由申請人負責。
- 第九條： 如上游水庫管理機關（構）依規定洩洪，致淹水、流失、或毀損，不得向水庫管理機關（構）及相關單位請求賠償。
- 第十條： 除應依上項規定履行外，其他未規定事項，悉依水利法、河川管理辦法、排水管理辦法及海堤管理辦法暨有關法令之規定辦理。

已繳保證金50,000元(聯單編號:160600090)

上給申請人：國立中興大學



署長王瑞德

本案核轉經濟部水利署第六河川局執行

中華民國105年01月26日



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第2年)

經濟部水利署第六河川局 申請使用河川區域 公(私)地 一般使用案件 會勘紀錄 (新申請案)

申請人姓名	國立中興大學		地址	(402)臺中市南區興大路145號		
土地標示	河川別	縣市別	鄉鎮別	段別	地(先)號	面積
	二仁溪	臺南市	南區	同安	917-0	使:0.00350 施:0.00350

會勘日期：105/01/11  
會勘地點：臺南市南區同安段917-0號(假編號/地先)  
會勘單位：經濟部水利署第六河川局  
相關單位：

現場勘查審核項目	審查結果			
	是√	否X	免審\	備註
引用水利署水準系統基點檢測現況地形、標高與實測圖內標示相符。	√			
申請範圍四週已樹立臨時界樁。	√			
檢測土石數量與申請數量相符。	√			
申請區域內無堆置砂石及其他違規使用情形。	√			
依照計畫書圖尚不影響河防安全及河相穩定。	√			
申請新設建築物無擅自設置使用。	√			
不妨礙引水、取水及排水設施。	√			
無水利法第78條禁止之使用行為。	√			
	X			

綜合結論：  
1. 本案申設位置位於二仁溪與三爺溪匯流口高灘土地。  
2. 經現場會勘結果，申設位置目前對堤防河防安全尚無影響，不妨礙引水、取水及排水設施。  
3. 請申設單位需自行考量構造物處附近堤防結構之安全及其穩定性，採取適當保護措施；若因申設構造物施設造成鄰近堤防及其附屬設施損壞，需負責修復。  
4. 本案施工期間材料機具放置不得妨礙堤防安全，本工程如打除之混凝土不得放置於河川區域內。  
5. 本案不得有違反水利法、河川管理辦法及妨礙堤防安全之行為，並請作必要工程安全警告標示及救生設施，如申設範圍造成第三人損傷或涉及他人權益，概由申設單位負責。  
6. 嗣後申請範圍內該構造物(含堤防及其附屬構造物)之安全、維護管理、巡防及保固工作由申設單位負責辦理，如造成他人損傷或傷害，亦概由申設單位負責。  
7. 檢附現場照片1份。

申請人：張嘉奇 (簽章認證)



### 附錄三 本研究團隊歷年研發之技術差異說明



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(空白頁)

附表 4 本計畫團隊以往所研發之底泥整治技術差異分析

研發技術/描述	適用情形	優點	缺點
奈米乳化液促進微生物降解泥中萘、苯(a)駢芘與PCBs(已獲專利)	1. 適用於有高度PAHs 與PCBs 污染之底泥 2. 底泥之通透性不可太差，黏粒為主底泥恐不適用	1. 施工容易即使底泥中有障礙物也可進行。 2. 不僅有效加強PCBs 降解，同時提高PAHs 之可及性，也可提高其降解程度	1. 因在底泥中增加有機 BOD 負荷，可能在短時間內造成河道厭氧情況加重。 2. 污染物降解產物之水溶性提高若未能及時完成清除，恐提高生態風險。
以奈米氧化鐵進行重金屬回收	1. 僅適用於水相中重金屬去除 2. 對砷、鉛、銅與鉻效果較佳	1. 方法簡易。 2. 器具製作簡易。	1. 僅適用於水相。 2. 重金屬去除率過低 (<30%) 尚未具實場應用價值
整合奈米氧化鐵與奈米乳化液進行萘、苯(a)駢芘與PCBs 整治	1. 適用於有高度PAHs 與PCBs 污染之底泥 2. 底泥之通透性不可太差，黏粒為主底泥恐不適用	1. 兩種同時添加有助於PCBs 降解，可能是亞鐵離子與H <sub>2</sub> S 形成FeS <sub>2</sub> 而降低硫化物對細菌之毒害 2. 施工容易即使底泥中有障礙物也可進行。 3. 不僅有效加強PCBs 降解，同時提高PAHs 之可及性，也可提高其降解程度	1. 因在底泥中增加有機 BOD 負荷，可能在短時間內造成河道厭氧情況加重。 2. 降解物之水溶性提高，若未能及時完成清除恐有生態風險。

附表 4 本計畫團隊所研發之底泥整治技術差異說明(續)

研發技術/描述	適用情形	優點	缺點
整合奈米氧化鐵與奈米 乳化液進行重金屬回收	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 較適用於水相。</li> <li>2. 適用於在酸性條件下容易解離之重金屬。</li> <li>3. 乳化液分解酸化有助於重金屬之釋出，但在感潮河段受海水影響 具有高離子強度(共同離子效應) 與酸鹼中和能力，較不適用。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 僅添加乳化液者有助於重金離子之釋出。</li> <li>2. 添加最高量乳化液與加入較高量奈米氧化鐵者為重金屬回收效率最佳者。</li> <li>3. 可能因微生物分解乳化液造成微酸性環境有助於重金屬自底泥中釋出。</li> <li>4. 操作應屬簡易器具製作也 簡易。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 僅適用於水相。</li> <li>2. 重金屬去除率過低尚未具實場應用價值。</li> <li>3. 感潮河段恐較不適用。</li> </ol>
以高油量乳化直接回收 PBDEs 並以殘餘乳化液 促進 微生物 降解 PBDEs(已獲專利)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 適用於Log <i>K<sub>ow</sub></i> 在3.0 以上之污染物較佳。</li> <li>2. 因必須進行攪拌、靜置、分離等步驟，工程程序較複雜，若底泥中混有磚塊、石頭、鋼筋等雜物將難以進行</li> <li>3. 黏粒為主之底泥恐不適用。</li> <li>4. 50%鹽度仍可適用。</li> <li>5. 中度有機質仍可適用。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 分離迅速，針對高Log <i>K<sub>ow</sub></i> 值之污染物，特別適用，且這些污染物多為持久性有機污染物。</li> <li>2. 可有效提高生物分解效率。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 因在底泥中增加有機 BOD 負荷，可能在短時間內造成河道厭氧情況加重。</li> <li>2. 污染物降解產物之水溶性提高若未能及時完成清除 恐提高生態風險。</li> </ol>



附表 4 本計畫團隊所研發之底泥整治技術差異說明(續)

研發技術/描述	適用情形	優點	缺點
以高油量乳化直接回收 phthalates，並以殘餘乳化液促進微生物降解 phthalates(已獲專利)	<ol style="list-style-type: none"> <li>適用於 DEHP 與 DBP 污染濃度高於 BBP 與 DEP 之底泥。因 Phthalates 非屬氯化有機物，乳化液僅有助於提高其生物可及性，一般而言應以好氧反應較佳，但其中 BBP 與 DEP 則以厭氧或序列表式厭氧好氧較佳。因必須進行攪拌、靜置、分離等步驟，工程程序較複雜，若底泥中混有磚塊、石頭、鋼筋等雜物將難以進行。</li> <li>50%鹽度仍可適用。</li> <li>中度有機質仍可適用。</li> <li>黏粒為主之底泥恐不適用。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>分離迅速針對高 Log Kow 值之污染物，特別適用，且這些污染物多為持久性有機污染物。</li> <li>可有效提高生物分解效率。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>因在底泥中增加有機 BOD 負荷，可能在短時間內造成河道厭氧情況加重。</li> <li>污染物降解產物之水溶性提高，若未能及時完成清除，恐提高生態風險。</li> </ol>
底泥玻璃化(已獲專利)	<ol style="list-style-type: none"> <li>一般砂質之表層底泥。</li> <li>50%鹽度仍可適用。</li> <li>底泥中應避免混有磚塊、石頭、鋼筋等雜物，否則將難以進行。</li> <li>現址進行尚須模場試驗確認。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>一般表層底泥砂質顆粒較多，適用性高。</li> <li>確認可應用於海水鹽度 50% 之底泥中。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>矽酸鹽成分過低(非砂質)，如黏土土質之底泥恐不適合。</li> <li>基本設施較為複雜，如必須有工業及電磁感應裝置與至少備有或是租用 50KW 之發電機。</li> </ol>





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

(空白頁)

## 附錄四 本計畫之復舊作業程序



## 附錄



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

## 二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫 復舊計畫

中華民國九十九年十一月二十六日制定

中華民國一〇四年八月二十七日修訂

中華民國一〇四年十一月十三日修訂

版別C003-03

- 一、二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫（以下簡稱本計畫）之復舊計畫依據經濟部水利署（99.07.22）第六河川局水六管字第09902009610 號函制定。
- 二、本復舊計畫所涉及之範圍為本計畫位於台南縣二仁溪支流三爺宮溪中之現地模場設施之所在場址。
- 三、本計畫於現地施工之前應進行所在場址之攝影及測量，以完成場址施工前現況地表、地貌及邊坡之實景圖，匯集成冊後留存乙份備查；待計畫完成後應就現地地表、地貌及邊坡進行攝影留存以供主管機關查驗。
- 四、計畫完成時之最後一次底泥檢測應確認試驗作為並未造成二次污染，若有二次污染之虞者，應立即清除。
- 五、本計畫於現地試驗期間若有因汛期、颱風、豪雨、洪水、地震等天然不可抗力因素或是其他人為工程或不明之人為破壞導致現場之地表地貌及邊坡等顯著改變時，應立即攝影（並要時應進行測量工作）匯集成冊後，由計畫主持人張書奇簽章後留存，作為未來復舊工作之基礎依據。
- 六、本計畫於試驗工作完成後，應以最後攝影及圖面為準，進行復舊工作。
- 七、復舊工作以恢復上述依據之地表地貌及邊坡為原則，除必須移除現地所有之試驗設施外，若造成邊坡植被不全，應恢復綠化情況，若有刮除邊坡之情況應以與現地土壤性質近似之乾淨砂土或砂壤土先行填回復原後，再進行綠化。
- 八、本復舊計畫經計畫參與人員共同商議制定，經計畫主持人張書奇函請經濟部水利署第六河川局核備後實施，修訂時亦同。



## 附錄





二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證(第 2 年)

## 附錄五 本計畫之品保品管作業程序

本研究依據環境檢驗品質管制指引通則（NIEA-PA101）進行底泥採樣作業品保品管及污染物內部分析品保品管，且確保樣品取樣、分析流程之精密度及準確度。

### 一、採樣作業品保品管

本試驗之採集樣品保存作業，以環境樣品採集及保存作業指引（NIEA-PA102）為基礎進行建立，於採集底泥樣品同時，進行製作現場空白樣品、運送空白樣品、設備空白樣品之採集動作，詳細說明如下：

- (1) 現場空白樣品（Field blank sample）以酸洗過後之石英砂作為無待測物之空白底泥樣品，裝於採樣用之棕色玻璃瓶中並蓋緊密封，攜至採樣現場，在現場開封並模擬採樣過程，但未實際進行採樣，並加以密封；與待測樣品一同攜回實驗室進行分析。
- (2) 運送空白樣品（Trip blank sample）以酸洗過後之石英砂作為空白之底泥樣品，裝於採樣用之棕色玻璃瓶中並蓋緊密封，攜至採樣現場，但在現場並不開封，直接與待測樣品一同攜回實驗室進行分析。
- (3) 設備空白樣品（Equipment blank sample）將現場使用過後之採樣設備及器皿，先行去除殘留於設備上之底泥，並以不含待測物之溶劑（丙酮與甲醇）個別進行淋洗取樣設備，清洗後以去離子水淋洗設備三次，並收集最終淋洗之去離子水溶液做為設備空白樣品。

而底泥取樣方式乃參照底泥採樣方法（NIEA S104.31B）其採樣器具於使用前以丙酮及甲醇進行潤洗，最後以去離子水洗淨並自然風乾；依據建議最少樣品量進行採集，以玻璃材質器皿盛裝底泥，於  $4 \pm 2$  °C 暗處下，進行保存、運送樣品；並於污染物指定保存期限內（採樣後14 天內進行萃取、40 天內完成萃取至分析部分）完成污染物分析。

二、內部分析品保品管 攜回實驗室之樣品，本試驗以丙酮與正己烷進行高壓溶劑萃取-快速萃取儀



二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫□結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機

(Speed Extractor E-916, BUCHI) 萃取，經由濃縮後依據多NIEA 方法進行干擾物之淨化流程（濃硫酸、銅粉及酸性矽膠管柱）進行淨化。此外，依據環境檢驗檢量線製備及查核指引（NIEA-PA103）進行污染物之檢量線建立；並以標準樣品做為標準品，依環境檢驗品管分析執行指引（NIEA-PA104）進行分析方法之方法空白樣品分析、重複樣品分析、查核樣品分析及添加樣品分析，詳如下述說明：

- (1) 檢量線建立：本研究針對污染物進行檢測，其檢量線以直線模式通過原點校正，線性關係之檢量線。
- (2) 方法空白樣品分析 (Method blank sample)：現地底泥樣品，執行一個空白分析；用以監測分析流程有無遭受污染，與分析樣品一同進行萃取、分析；於本實驗中僅添加回收標準品，測試樣品是否有遭受污染。
- (3) 重複樣品分析 (Duplicate analysis)：現地底泥樣品每20 個樣品，進行一次重複分析；選取一個樣品進行重複樣品萃取、分析，測定相對差異百分比。
- (4) 查核樣品分析 (Quality check sample)：現地底泥樣品每10 個樣品，執行一個查核分析，僅添加已知濃度之污染物及回收標準品，測定於萃取及分析中查核濃度是否與待測物濃度相當。
- (5) 添加樣品分析 (Spike sample)：現地底泥樣品每10 個樣品，執行一個添加樣品分析，為添加原樣品中待測濃度之1-5 倍，由於為未知樣品，因此以背景值之1-5 倍作為添加濃度，一同進行萃取。