



行政院環境保護署

107 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)

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： 107 年 01 月 10 日起至
107 年 11 月 30 日止

中 華 民 國 107 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		台中市南區國光路 250 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)					
	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)					
	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 7 年 0 1 月 1 0 日 起 至 民 國 1 0 7 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	599,760		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	1,601,850			
		4.	其它研究相關費用	18,550			
		5.	雜項費用	25,295		為 1~6 項相加 3.0%(≤5%)	
		6.	行政管理費	224,545		為 1~5 項相加之 10%(≤10%)	
		專案計畫申請總金額		2,470,000			

註：本專案為模場計畫，本應填寫兩年度金額，但因第 2 年經費額度尚未核定，故未填寫。

專案主持人：_____（簽名及蓋章） 日期：107 年 12 月 07 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	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		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	



能力。	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	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。	1. 感謝委員肯定。
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。	2. 感謝委員肯定。
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。	3. 感謝委員肯定。
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？)。	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	3. 感謝委員指教。已加強說明，請參閱第



<p>顯差異，簡報結果與討論說明經熱篩後有效果，請再說明。</p> <p>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。</p> <p>5. 建議增列第二年計畫之甘特圖。</p>	<p>96 至 97 頁。</p> <p>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。</p> <p>5. 感謝委員指教。已經增列第二年甘特圖，請參閱第 67 頁。</p>
<p>委員四</p> <p>1. 本案所提的相反轉溫度請定義明確。請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>委員四</p> <p>1. 感謝委員指教。相反轉溫度之定義與測定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想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> <ol style="list-style-type: none"> 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：第 75 頁圖 5-5、第 85 頁圖 5-16。 <ol style="list-style-type: none"> a. 應補充分析 QA/QC 及手法穩定性，以確認數據品質。 b. 需要的穩定期間？ 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？ 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。 4. 現地各場址特性不同，熱篩條件如何決定？ 	<p>委員五</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 87 頁。 <ol style="list-style-type: none"> a. QA/QC 及手法穩定性已經補充分析，請參閱第 87 頁 b. 需要的穩定期間一般約為 14-28 天不等。 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。 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。 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，在未進行之前可依據經驗式進行推估。
本署審查意見	計畫單位回覆
<p>本署委員</p> <ol style="list-style-type: none"> 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。 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。 	<p>本署委員</p> <ol style="list-style-type: none"> 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。 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。
<p>專案主持人：_____ (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 ☐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. 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	



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。	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。
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。	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。
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。	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>委員三</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 期中報告內容冗長，建議圖表宜分章編號，以利閱讀。 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。 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。 	<p>委員三</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員意見，將於期末報告中修正。 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。 3. 感謝委員意見，期末報告中將一併確實改善。
<p>委員四</p> <ol style="list-style-type: none"> 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？ 	<p>委員四</p> <ol style="list-style-type: none"> 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，不會以回



<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>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：_____ (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	
委員一 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。 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。		委員一 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。 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 γ -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。	
委員二 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 2. 主持人(執行團隊)近五年研究與技術發展績效佳 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		委員二 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員肯定。 3. 感謝委員指教，將於成果報告中加強說明。	



<p>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)</p>	
<p>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)</p>	<p>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。</p>
<p>5. 本研究計畫書撰寫具體</p>	<p>5. 感謝委員肯定。</p>
<p>6. 本研究計畫書所擬定的研究方法可行</p>	<p>6. 感謝委員肯定。</p>
<p>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)</p>	<p>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。</p>
<p>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</p>	<p>8. 感謝委員肯定。</p>
<p>9. 本研究專案執行期限合理</p>	<p>9. 感謝委員肯定。</p>
<p>10. 本研究計畫書中對研究的預期成果已說明</p>	<p>10. 感謝委員肯定。</p>
<p>11. 本計畫為延續性計畫</p>	<p>11. 感謝委員肯定。</p>
<p>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</p>	<p>12. 感謝委員肯定。</p>
<p>13. 本研究計畫已依原計畫構想書時的審查意見修正</p>	<p>13. 感謝委員肯定。</p>
<p>委員三</p>	<p>委員三</p>
<p>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。</p>	<p>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</p>



<p>委員四</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.計畫書撰寫內容相當詳盡，對於研究計畫與模場試驗均有清楚的說明，有助於計畫之執行。 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？ 3.現地玻璃化之模場試驗規劃，其中對於現地之特性、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。 	<p>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"> 1. 感謝委員肯定。 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。 3. 感謝委員指教。玻璃化模場部分現地土壤尚未進行採樣，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： 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。 2. 產氫之控制是否能有效控制為微生物適合生長量？		委員一 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. 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 1. 土壤(底泥)性質的改變？ <i>In situ</i> 的可能性？ 2. 菌相的改變？		委員二 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. 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	



<p>3. 工程化的可能？</p>	<p>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>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>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. 歷年的研究累積成果聯貫性如何？</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想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>	<p>委員四：</p>
<p>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</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>聯性為何？</p> <p>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？</p> <p>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。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p>
本署審查意見	計畫單位回覆
<p>本署委員：</p> <p>1. 請說明 105 及 106 年度具體之成果。</p> <p>2. 請說明 107 年度研究之價值及突破。</p> <p>3. 請說明本專案題目與研究內容不符之原因。</p> <p>4. 本研究是否適用於土壤污染?如農藥。</p>	<p>本署委員：</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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) 也是早期廣泛施用之農藥之一。此二者也屬於持久性有機污染物。</p>



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

107 年度專案成果績效自評表

一、專案基本資料

填表日期：107 年 11 月 25 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)		
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	工作進 度達成 數	期中 達成數	期末 達成數	結案 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	0	NA	
		(2)研討會論文	4	0	2	5	125%	於 6/22 奈米研討會發表 2 篇；11/17 環工年會 3 篇。
	2.國外投稿 (篇數)	(1)期刊論文	1	0	0	1	100%	撰寫中。
		(2)研討會論文	0	0	0	0	NA	
	3.報告 (篇數)	(1)技術報告	2	0	0	3	150%	預計產出 3 份碩士論文，目前撰寫中。
		(2)研究報告	0	0	0	0	NA	
	4.專著 (本數)		0	0	0	0	NA	
	5.辦理學術 會議(場數)	(1)研討/說明會	0	0	0	0	NA	
		(2)成果發表會	0	0	0	0	NA	
		(3)論壇	0	0	0	0	NA	
B 人 才 培 育	6.研發改良 技術(項數)	(1)已開發技術	0	0	0	0	NA	
		(2)技術平台	0	0	0	0	NA	
	7.研發人員 (人數)	(1)碩士	2	0	4	4	200%	因計畫工作項目多，實際參與研究碩士生增為 4 人
		(2)博士	0	0	0	0	NA	
	8.研究團隊	(1)跨領域團隊	1	1	1	1	100%	已與電機系蘇武昌教授組成



項目 \ 目標達成程度			申請 預估 數	工作進 度達成 數	期中 達成數	期末 達成數	結案 達成率	備註 （說明未達成 原因或學術產 出發表名稱）
	(個數)							跨領域團隊
		(2)跨機構團隊	1	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	0	NA	
		(4)形成實驗室	0	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	工作 進度 達成 數	期中 達成數	期末 達成數	結案 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	0	NA	
			新型/設計	0	0	0	0	NA	
			合計	0	0	0	0	NA	
		申 請 中	發明	1	0	0	1	100%	撰寫中，已循校內行 程 序 送 出， 預 計 11/30 前送達智慧財 產局。
			新型/設計	0	0	0	0	NA	
			合計	1	0	0	1	100%	
B 研 發 技 術 移 轉	2.先期技術 成果移轉	件數	0	0	0	0	NA	已累積 7 項專利，2 項 審查中。	
		授權金(仟元)	0	0	0	0	NA		
		衍生利益金(仟元)	0	0	0	0	NA		
	3.技術移轉 (專利)	件數	0	0	0	0	NA	已累積 7 項專利，2 項 審查中。	
		授權金(仟元)	0	0	0	0	NA		
		衍生利益金(仟元)	0	0	0	0	NA		
	4.技術移轉 (應用技 術)	件數	0	0	0	0	NA	已累積 7 項專利，2 項 審查中。	
		授權金(仟元)	0	0	0	0	NA		
		衍生利益金(仟元)	0	0	0	0	NA		
	5.可移轉 產業技術	(1)技術(件數)	1	0	0	1	100%	已累積 7 項專利，2 項 審查中。	
		(2)品種/系(件數)	0	0	0	0	0		



項目 \ 目標達成程度			申請 預估 數	工作 進度 達成 數	期中 達成數	期末 達成數	結案 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)
C 產 學 研 合 作	6.促成合作 研究	件數	1	0	1	2	200%	已促成 2 件產學合作 計畫，。
		金額(仟元)	50	0	50	260	520%	總金額為 26 萬元。
	7.促成投資	件數	0	0	0	0	NA	
		投資金額(仟元)	0	0	0	0	NA	
	8.促成取得 業界科專	件數	0	0	0	0	NA	
		業界投資金額 (仟元)	0	0	0	0	NA	
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)						

(三) 政策面

目標達成程度 項目			申請預 估數	工作進 度達成 數	期中 達成數	期末 達成數	結案 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	0	2	5	100%	第 1 年計畫已完成 5 次相關技術服務
		收入(仟元)	200	0	50	272	136%	第 1 年計畫期間已完 成 27.2 萬元檢測服 務。
	2.諮詢服務	次數	10	0	3	10	100%	第 1 年計畫完成 10 次 相關諮詢服務。
		收入(仟元)	0	0	0	0	NA	
B 支 援 合 作	3.協助政府制 定 (件數)	(1)政策	0	0	0	0	NA	
		(2)法規	0	0	0	0	NA	
		(3)規範	0	0	0	0	NA	
		(4)標準	0	0	0	0	NA	
D 社 會 效 益	4.獲得認證(件數)		0	0	0	0	NA	
	5.獲得獎項(件數)		0	0	0	0	NA	
	6.提升能源效率(%)		0	0	0	0	NA	
	7.節能減碳效率(%)		0	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菌進行多氯聯苯、六氯苯、六氯環己烷、滴滴涕與戴奧辛之現地整合式整治模場試驗，且文獻中除本團隊外，尚無以現地相反轉法成功去除底泥及土壤中疏水性有機污染物之先例，故應具有學術報導價值；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，是目前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，故有其經濟效益存在，此計畫衍生研究發現新菌種，將更可提高本土菌種應用之經濟效益；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完成，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，不論是在淡水河川中之底泥或是河口附近海水中底泥均已遭受污染，部分底泥中疏水性有機物及重金屬污染嚴重，導致污染物檢測濃度在全世界相關文獻報導中均名列前茅。如中國石油化學工業開發(股)公司台南安順場址海水池底泥中戴奧辛與汞之污染，又如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，類似二仁溪之河川與河口地區底泥污染也可藉由食物鏈破壞生態系及影響人體健康，亟需經濟有效之整治技術。此外，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 98% 之去除率（對六氯苯效果類似），本研究將繼續朝著擴展技術應用廣度與精進技術進行研究，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；在精進原本技術部分，將著重於改進乳化液配方以降低相反轉溫度及嘗試溫度自動化控制，可在短時間內完成現地多次相反轉程序並提高有機污染物之回收率。目前計畫均依進度執行，底泥及土壤採樣檢測均已經完成，其中農地污染與戴奧辛樣品中集塵灰的重金屬嚴重超標；農地重金屬污染之快速玻璃化結果顯示此技術應屬可行，加熱溫度高及定溫時間較久之情況下，即使含水率中等及添加物濃度不高，均可以進行有效之玻璃化；DDT 生物降解在 49 天內去除率可達 84.6%；Lindane 則可達 99.5% 且半生期約為 3.2 天；污染底泥之多次相反轉及生物分解實驗之批生物降解顯示 49 天內 Aroclor 1254 最佳去除率可達 59.2% 而 HCB 為 98.3%；溫度自動控制設備已完成。戴奧辛批次實驗效果不佳；管柱實驗加入二仁溪底泥後有明顯改善；生物擴增（bioaugmentation）技術施行於土壤對現地土壤風險似乎不大，反而是實驗室人員暴露風險可能較大，應注意個人工作時之安全防護。

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

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 at the southeastern Asia are also 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 subsequent biodegradation (ISPIESB) to achieve 97% removal of Aroclor 1254 within 70 days. Thus, this project will focus on two major objectives. One is to improve the heating conditions and formulation of emulsions and the other is to further applied ISPIESB to remediate soils contaminated by persistent organic pollutants and sediment contaminated by Dioxins. The second part of this project is to apply another very successful sediment remediation technology developed by our team, rapid vitrification, to the area of soil contamination remediation. Up to now, this project was conducted according to the designated schedule. The rapid vitrification seemed to work well on heavy-metal contaminated soil. For the batch biodegradation test on contaminated soil, the removal was as high as 84.6% and 99.5% in 49 days for DDT and Lindane. Respectively. For the batch biodegradation test on Aroclor 1254-contaminated sediment, the removal was 59.2% in 49 days and that of HCB was 98.3%. For the study on dioxin biodegradation, the characterization results on the synthetic sediment sample indicated that the pH and ionic strength of the samples could be high. An automatic temperature control device was successfully developed. The biodegradation batch-study of dioxin did not show any significant removal and column study did show a declining trend. Risk analysis on bioaugmentation indicated that the highest risk could be the generation of *Anthrax* spore during heat selection and follow-up growing stages. The lab workers should mind this safety measure when handling the heat-selected cultures.

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	13
3.1 文獻回顧與探討	13
3.2 模場試驗背景說明	32
3.3 目標及內容	38
第 4 章. 研究方法與過程	41
4.1. 第 1 年計畫	41
4.2. 第 2 年計畫	51
4.3 工作進度與甘特圖	64
第 5 章. 結果與討論	67
5.1. 底泥及土壤採樣	67
5.2. 污染土壤快速玻璃化	67
5.3. 土壤中有機物污染之現地相反轉及生物分解	73
5.4. 污染底泥之多次相反轉及生物分解	80
5.5. 底泥中戴奧辛相反轉及生物分解	88
5.6 土壤整治技術之風險評估	97
5.7 本技術與以往技術之差異	101
5.8 本技術在實場應用之可能限制與實務作為	102
5.9 本技術與現行底泥整治技術之成本比較	104
5.10 本專案衍生技術專利延續辦理情形	105
5.11 結論	107
5.12 主要建議意見及未來或後續執行建議	108



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

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.....	12
圖 3-1 HCB (a), Aroclor 1254(b), HCH (c), DDT (d), and 2378-TCDD (e)之分子....	15
圖 3-2 厭氧情況下之 PCBs 可能生物分解路徑.....	17
圖 3-3 好氧情況下之 PCBs 可能生物分解路徑.....	17
圖 3-4 序列情況下之 PCBs 可能生物分解路徑.....	18
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.....	18
圖 3-6 HCB 可能之生物脫氯反應路徑.....	21
圖 3-7 氯苯類降解過程中之菌相結構.....	23
圖 3-8 γ HCH 之好氧(a)及厭氧(b)生物降解路徑.....	26
圖 3-9 棕腐真菌(brown rot fungi)降解 DDT 之路徑.....	26
圖 3-10 白腐真菌(white rot fungi)(a)與細菌 <i>Alcaligenes eutrophus</i> (b) 降解路徑..	27
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.....	28
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 ND30	
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.....	30
圖 3-14 加熱時間與溫度關係.....	31
圖 3-15 二仁溪與三爺宮溪主要流域圖（Google Map）.....	34
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	34
圖 3-17 二仁溪水質檢測結果之 pH 值(a)、導電度(b)、DO(c)、BOD(d).....	35
圖 3-18 二仁溪底泥粒徑分布情形.....	35
圖 3-19 預定進行模場試驗之台中市大里區夏田里.....	36
圖 3-20 台中市大里區地質剖面圖.....	37
圖 4-1 河道中測量之斷面位置.....	51
圖 4-2 計算近似斷面之斷面圖.....	51
圖 4-3 模場試驗流程圖.....	53
圖 4-4 現地試驗設施操作示意圖.....	58
圖 4-5 現地試驗設施之添加污染物試驗組別設施示意圖.....	59
圖 4-6 現地模場試驗之設施(以單一組為例).....	59
圖 5-1 模擬土壤玻璃化之因子反應圖.....	69
圖 5-2 真實污染土壤玻璃化後銅之因子反應圖(a)及信噪比(b).....	70
圖 5-3 真實污染土壤玻璃化後鋅之因子反應圖(a)及信噪比(b).....	71



目次、圖次與表次

圖 5-4 未污染農地之土壤粒徑分布圖.....	73
圖 5-5 DDT 批次降解實驗結果	75
圖 5-6 Lindane 批次降解實驗結果.....	76
圖 5-7 Lindane 批次降解實驗因子反應圖	77
圖 5-8 DDT 之 PCR-DGGE 結果圖	78
圖 5-9 Lindane 之 PCR-DGGE 結果圖.....	78
圖 5-10 Lindane 之 PCR-DGGE 經 SPSS 群集分析結果圖	80
圖 5-11 田口批次實驗(a) Aroclor1254 與 (b)HCB 降解情形.....	81
圖 5-12 田口批次實驗 Aroclor1254(a)與 HCB(b)之因子反應圖.....	82
圖 5-13 田口批次實驗中 Aroclor1254(a)與 HCB(b)之總菌數計數結果	82
圖 5-14 Aroclor1254 之 PCR-DGGE 結果圖	83
圖 5-15 HCB 之 PCR-DGGE 結果圖	83
圖 5-16 Aroclor1254 之相反轉測試.....	86
圖 5-17 風化(a)與添加(b)之 Aroclor1254 管柱實驗之相反轉後生物降解測試 ..	87
圖 5-18 風化(a)與添加(b)之 HCB 管柱實驗之相反轉後生物降解測試	87
圖 5-19 用於溫度自動控制之電路板.....	88
圖 5-20 整體設備組合完成之相片	88
圖 5-21 集塵灰在 FESEM 下以 5000X(a)及 10000X(b)放大倍率下觀察影像	91
圖 5-22 第 1 次摻配之 2 個模擬底泥樣品檢測之同源物濃度分布	92
圖 5-23 第 2 次摻配之 2 個模擬底泥樣品檢測之同源物濃度分布	92
圖 5-24 集塵灰原灰之 X 光繞射儀檢測結果.....	93
圖 5-25 第 1 次戴奧辛批次實驗之總毒性當量濃度與 C/C_{00} 比值結果	94
圖 5-26 第 2 次戴奧辛批次實驗之總毒性當量濃度與 C/C_{00} 比值結果	95
圖 5-27 戴奧辛管柱實驗結果	96
圖 5-28 熱乳化液管柱戴奧辛(a)及呋喃(b)同源物之降解情形.....	97
圖 5-29 120°C 熱篩管柱戴奧辛(a)及呋喃(b)同源物之降解情形	97
圖 5-30 工作流程分析.....	99
圖 5-31 不同粒徑玻璃砂之出流質量圖.....	106



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

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)	15
表 3-2 Aroclor 1254 所含氯聯苯同源物成分	16
表 3-3 確認具有降解 PCB 能力之菌株(Sowers and May, 2013)	18
表 3-4 生物產氫技術之比較 (楊榮芳, 2014)	24
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	24
表 3-6 張書奇實驗室所調製之食品級奈米乳化液特性	28
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)	31
表 4-1 暗發酵產氫菌馴養所使用之基質	43
表 4-2 田口方法中 4 因子 3 水準之直交表實驗設計	46
表 4-3 PCBs 與 HCB 萃取條件	49
表 4-4 變性梯度膠體之配置	50
表 4-5 本試驗使用之引子對序列	50
表 4-6 二仁溪斷面量測水深當時斷面面積	52
表 4-7 模場試驗之不同組別	54
表 4-8 暗發酵菌種所使用之基質	56
表 4-9 本計畫之甘特圖(第 1 年).....	65
表 4-10 本計畫之甘特圖(續).....	66
表 5-1 污染農地土壤先期檢測結果	67
表 5-2 田口方法之控制因子條件	68
表 5-3 模擬土壤玻璃化後的重金屬濃度檢測(單位 mg/kg)	68
表 5-4 真實污染農地土壤玻璃化檢測結果	70
表 5-5 真實污染農地土壤玻璃化檢測與法規比較	71
表 5-6 空氣採樣類 Dioxin 物質之分析結果	72
表 5-7 空氣採樣類 Dioxin 物質結果與法規比較	72
表 5-8 未污染農地土壤粒徑分析結果	73
表 5-9 未污染農地土壤重金屬檢測結果	75
表 5-10 土壤中 DDT 與 γ -HCH 生物降解批次實驗條件	75
表 5-11 DDT 生物降解批次實驗之降解速率常數與半生期	76
表 5-12 Lindane 生物降解批次實驗之降解速率常數與半生期	77
表 5-13 Lindane 生物降解之比較	77
表 5-14 DDT 與 Lindane 之 PCR-DGGE 定序結果	80
表 5-15 底泥中 Aroclor 1254 與 HCB 生物降解批次實驗條件	81
表 5-16 Aroclor 1254 與 HCB 之 PCR-DGGE 定序結果	84



目次、圖次與表次

表 5-17 集塵灰中重金屬檢測結果（單位：mg/kg）	90
表 5-18 第 1 次摻配之 2 個模擬底泥樣品檢測結果	91
表 5-19 第 2 次摻配之 2 個模擬樣品檢測結果	93
表 5-20 工作流程危害列表.....	99
表 5-21 風險評價基準表.....	100
表 5-22 風險評價結果	100
表 5-23 一般底泥處理方法之成本 (Keillor, 2007)	104
表 5-24 本研究團隊執行本專案衍生之專利辦理情形.....	106
表 5-25 立即可行建議意見及未來或後續執行建議	108
表 5-26 中長程建議意見及未來或後續執行建議	109



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

附錄次

附錄一 檢測原始資料

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



報告大綱

本報告為執行行政院環境保護署「107 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)」之期末報告，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

(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，且證實對現地風化之污染物去除效果極佳（如圖 1-1），且結果顯示對於底泥中疏水性污染物可能均有效，故也擬將底泥中戴奧辛污染以現地相反轉結合生物分解法去除之研究也納入本計畫中。本計畫在構想書階段與目前提出計畫之內容略有增加，如表 1-1，說明如下。本計畫所研發技術包括玻璃化、現地相反轉回收及生物降解；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、斯德哥爾摩公約列管持久性有機污染物（persistent organic pollutants, POPs）中之六氯環己烷（hexachlorocyclohexane, Lindane）、滴滴涕（Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane, DDT）、多氯聯苯（polychlorinated biphenyls, PCBs）及六氯苯（hexachlorobenzene, HCB）。也因應增加之戴奧辛實驗，在申請經費增加檢測費用。

表 1-1 本計畫書與原核定之研究構想書差異說明

文件名稱	技術	目標污染物	試驗
研究構想書	污染土壤玻璃化	重金屬	現地土壤模場試驗
	現地相反轉結合生物分解	POPs 中之 Lindane 與 DDT	土壤砂相
	現地相反轉結合生物分解	POPs 中之 HCB 與 PCBs	現地底泥模場試驗
申請計畫書	污染土壤玻璃化	重金屬	現地土壤模場試驗
	現地相反轉結合生物分解	POPs 中之 Lindane 與 DDT	土壤砂相
	現地相反轉結合生物分解	POPs 中之 HCB 與 PCBs	現地底泥模場試驗
	現地相反轉結合生物分解	Dioxins	實驗室批次實驗 實驗室管柱實驗
差異說明	研發應用技術均相同	目標污染物增加底泥中 Dioxins 一項	增加實驗室批次及管柱實驗各乙項。



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

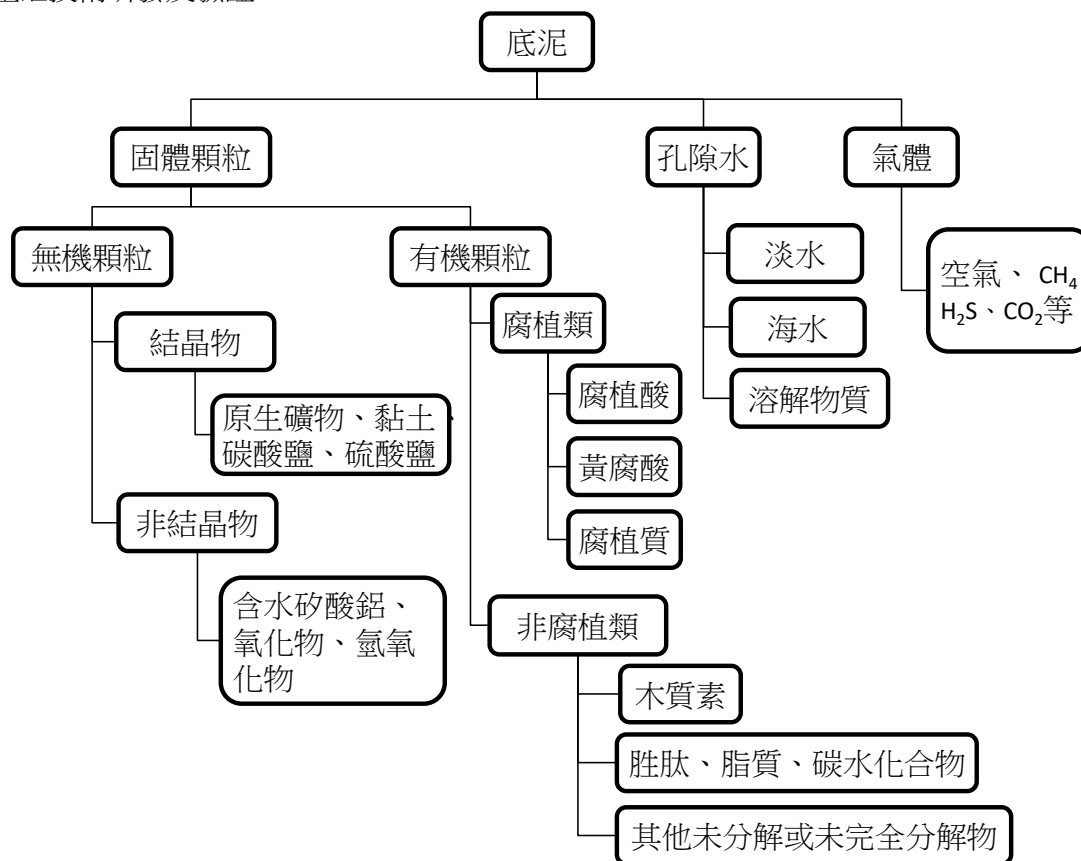


圖 1-1 河川底泥之組成(Mulligan et al., 2010)

河川底泥在河川生態系中扮極為重要功能，如河川自淨功能、浮游生物棲地、河川底棲（benthic）或是淺水棲（epibenthic）生物之棲地與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



前言

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， γ -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，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 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 mg/kg，為現行指標之下限値之 74.2 倍，為上限値之 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 mg/kg，為現行指標之下限値之 30.2 倍且已超出上限値 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値 2.71 倍，但該採樣處之 PCBs 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

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 $10 \mu\text{g/kg}$ 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 $0.151\text{--}8.109 \mu\text{g/kg}$ 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 $0.8\text{--}1.3 \mu\text{g/kg}$ 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 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 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 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 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 $979,000 \text{ pg WHO-TEQ/g}$ （黃煥彰，2003）；近日之測值有張木彬團隊之 $8,723 \text{ ng-TEQ/kg}$ （即 $8,723 \text{ pg-TEQ/g}$ ），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 $1,000 \text{ mg/kg}$ 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



前言

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)

	土壤中之 SRC			底泥中之 SRC		
	SRC _{eco}	SRC _{human}	整合 SRC _{soil}	SRC _{eco}	SRC _{human}	整合 SRC _{sed}
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

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)

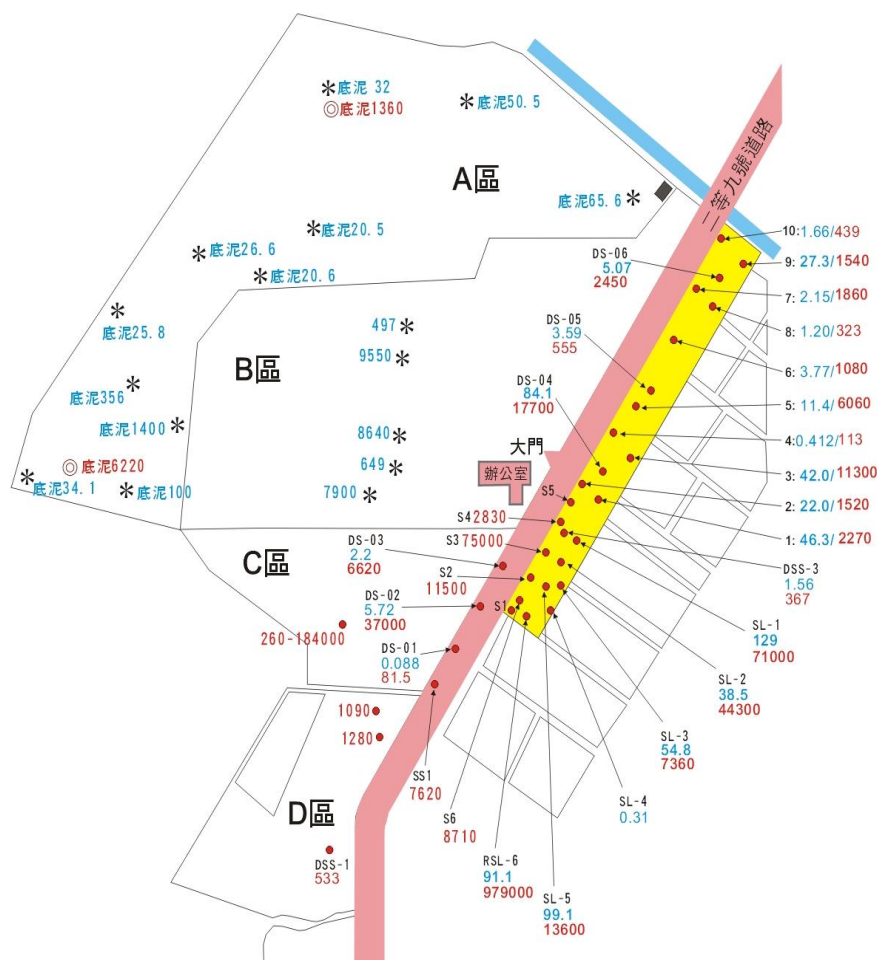


圖 1-2 中石化安順廠戴奧辛與汞之環境樣品濃度



前言

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，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 1 年計畫，執行期間自民國 107 年 01 月 10 日至 107 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 247 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

(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三：一是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 subsequent biodegradation, ISPIESB)應用於土壤中 POPs (含 Lidane 與 DDT) 污染整治；一為將 ISPIESB 進一步精進，朝低溫多次相反轉及溫度自動控制發展 (含 HCB、PCBs 與戴奧辛)；一為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)。研究目的一著眼於將底泥整治中高度成功之 ISPIESB 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 Lidane 與 DDT；研究目的二則是繼續將 ISPIESB 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回收；研究目的三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。ISPIESB 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，故於回收操作完畢後，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較為緻密之情況，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。

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。就創新性而言，ISPIESB 屬於研究團隊全新發想之技



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

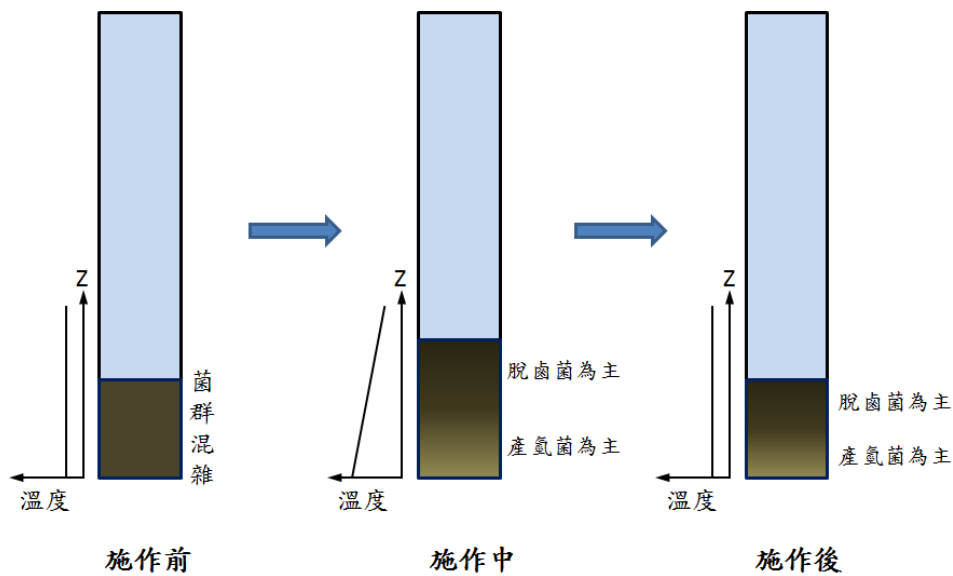


圖 2-1 現址相反轉法施作前中後之預期優勢菌群分布示意圖

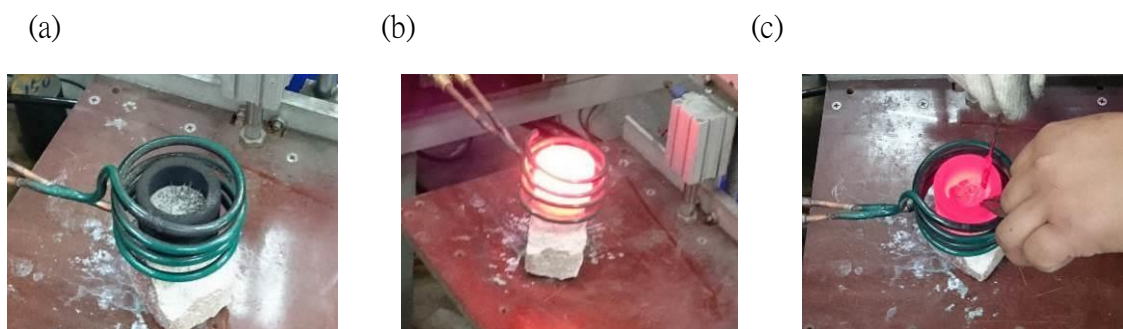


圖 2-2 電磁感應加熱玻璃化之前段(a)、中段(b)與後段(c)情況

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。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 2 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。



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)或是活性碳(Jonker et al., 2009)吸附



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

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)，故將這些衍生污染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脂；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 α -、 β -、 γ -、 δ -、 ϵ -等異構體，其中 γ -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 dibenzo-pdioxins (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、誘發氯痤瘡等。

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 值顯示者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	γ -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 ³ , 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 ³ /mol)	5.80E-04	2.00E-03	3.50E-06	8.30E-06	1.62E-05

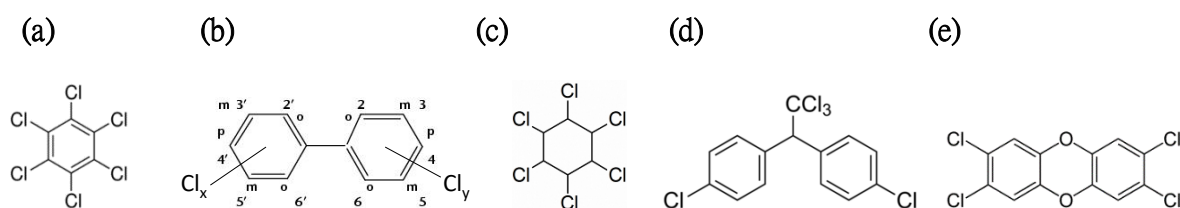


圖 3-1 HCB (a), Aroclor 1254(b), HCH (c), DDT (d), and 2378-TCDD (e)之分子



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

表 3-2 Aroclor 1254 所含氯聯苯同源物成分

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

對較高有較高趨勢進入空氣中； γ -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。

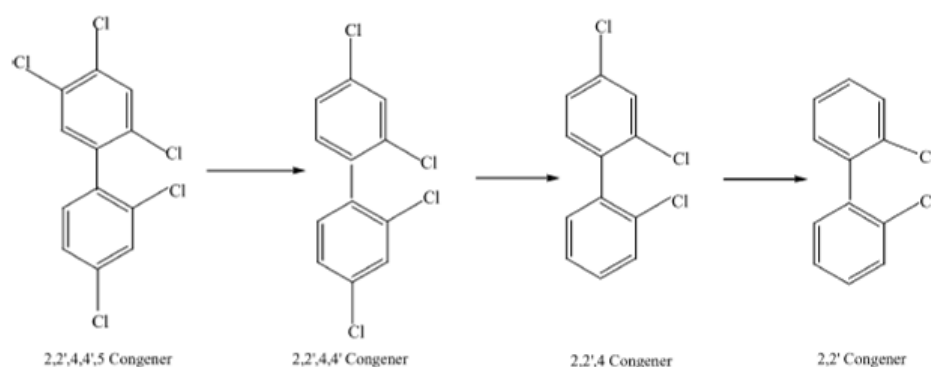


圖 3-2 厭氧情況下之 PCBs 可能生物分解路徑

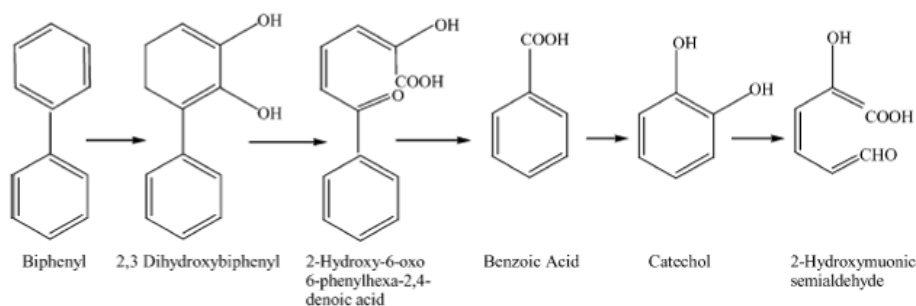


圖 3-3 好氧情況下之 PCBs 可能生物分解路徑



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

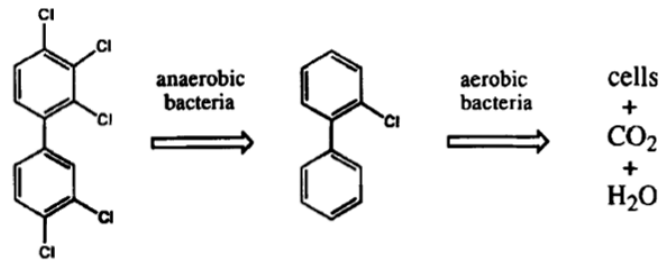


圖 3-4 序列情況下之 PCBs 可能生物分解路徑

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 ^a	Sediment microcosm	Fagervold et al. (2007); Fagervold et al. (2005); Watts et al. (2005)
Phylotype SF-1	不明確 ^a	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：^a於 acetate, propionate, butyrate 混合液中生長。

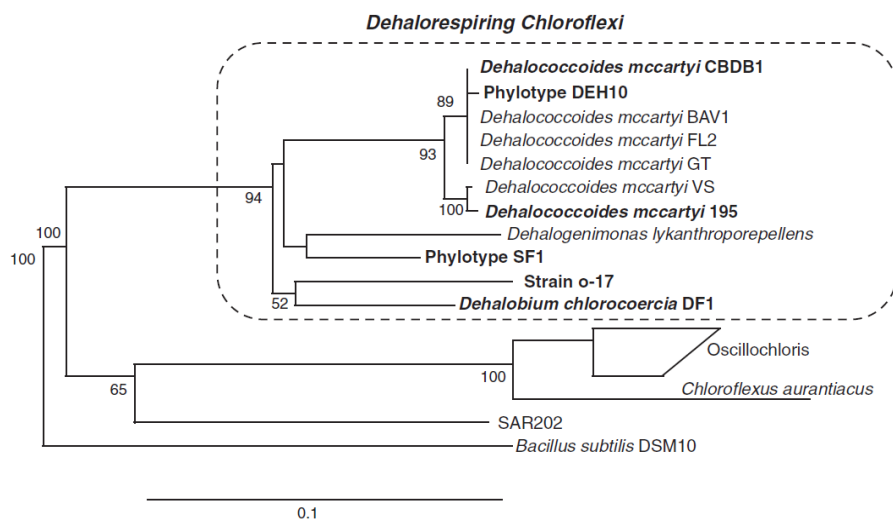


圖 3-5 確認具有降解 PCB 能力之菌株與脫鹵球菌有相當高親緣關係

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), 業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(Hollinger et al., 1992)。德國 Dörfler 學者則是刺激土壤



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

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

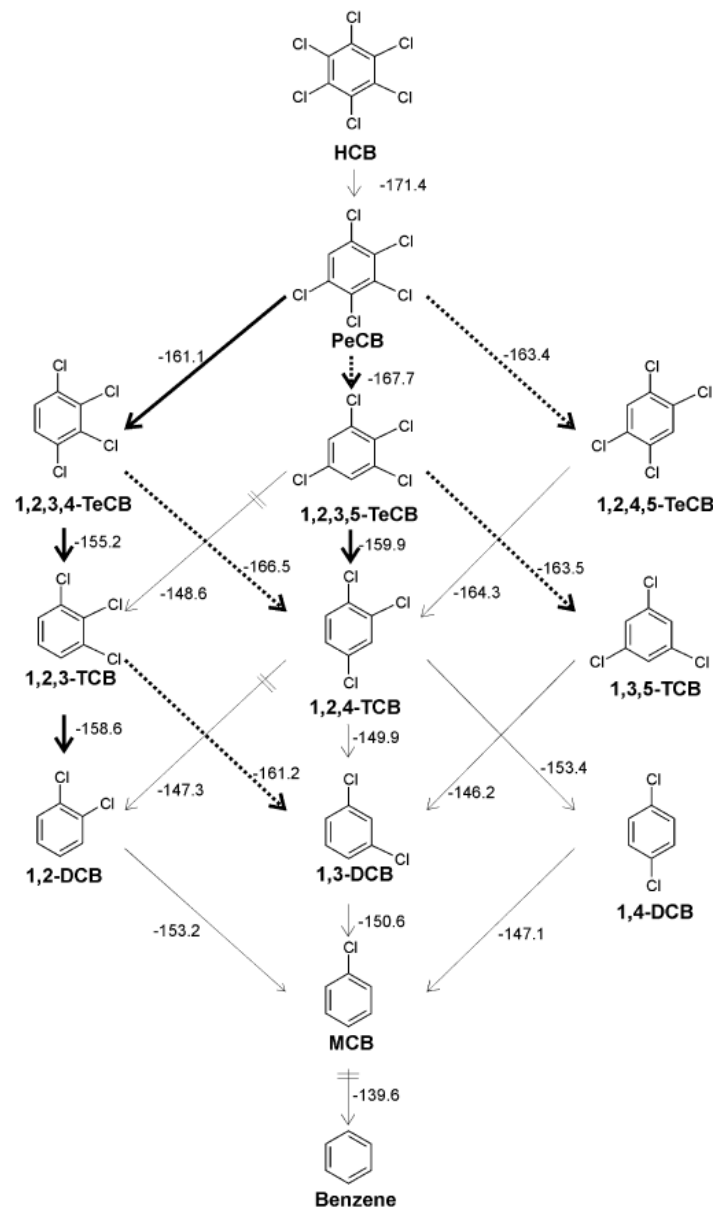


圖 3-6 HCB 可能之生物脫氯反應路徑

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



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

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 $\mu\text{g/kg}$ (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



文獻探討

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)，

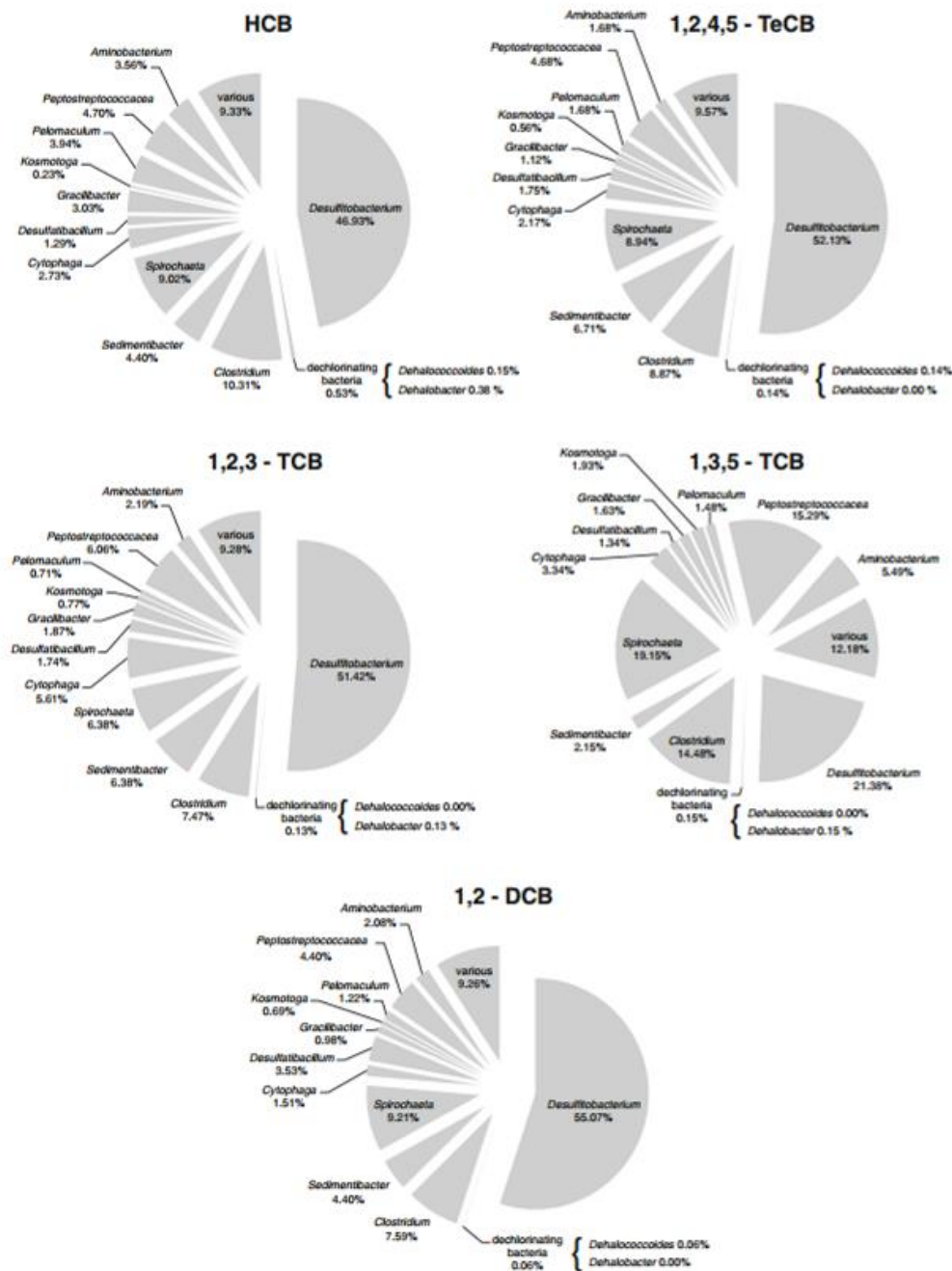


圖 3-7 氯苯類降解過程中之菌相結構



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

也有學者指出在 pH<6 時，較容易形成乙酸與丁酸，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 pH 均介於 6.8-7.5 之間，屆時可能需要稍微調整現地之 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℃ 下 20 分鐘）與無熱

表 3-4 生物產氫技術之比較（楊榮芳，2014）

技術程序	產氣效率 (ml H ₂ /l/h)	轉換率	優點	缺點
生物光解	2.5-13	≤0.18	<ul style="list-style-type: none"> • 基質為水，不虞匱乏。 • 與碳無關。 • 產物單純，只有氫與氧。 	<ul style="list-style-type: none"> • 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	≤1%， 80%	<ul style="list-style-type: none"> • 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。 	<ul style="list-style-type: none"> • 以 nitrogenase 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	10-15×10 ³	33%	<ul style="list-style-type: none"> • 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。 	<ul style="list-style-type: none"> • 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 H ₂ (mol H ₂ /mol substrate)
<i>Enterobacter aerogenes</i> HU-101 (mutantAY-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	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>Rhodopseudomonas 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 acetobutylicum</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	N ₂ sparging, continuous HRT: 8.5 h	1.43
Mixed microflora	Wheat starch co-product	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



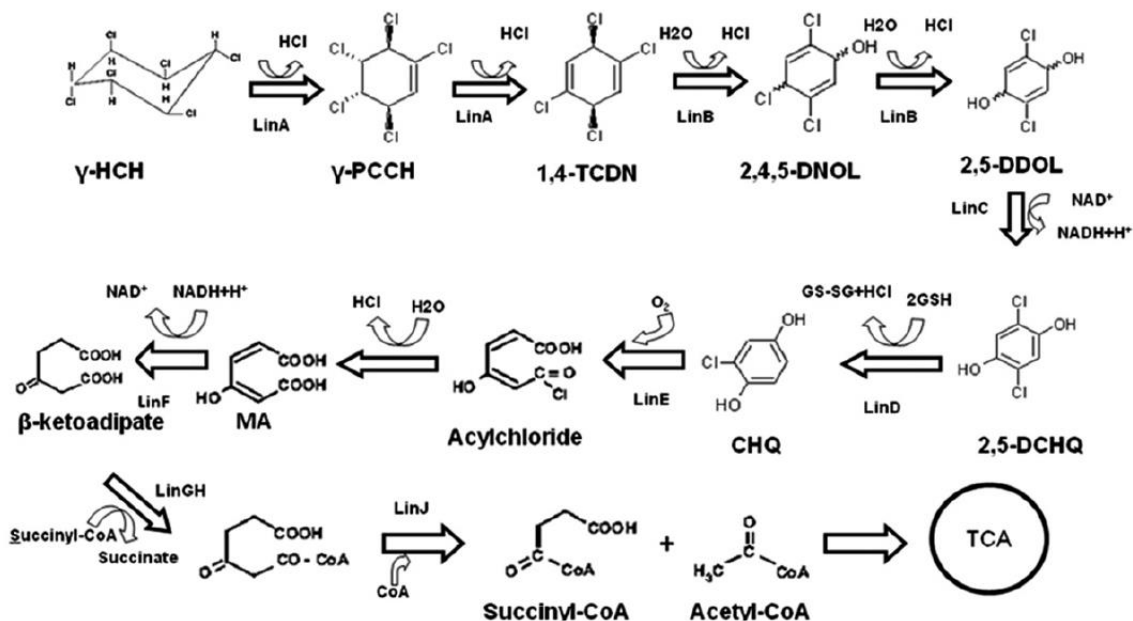
分析，發現兩組 *Clostridium* 菌種在產氫階段為最優勢菌，在產氫量減少時，有 2 組菌之呈現增加趨勢，第 1 組包括 *Bifidobacterium thermophilum*；第 2 組則包括 *Bacillus* spp.、*Melissococcus* spp.、*Spirochaeta* spp.與 *Spiroplasma* spp.(Duangmanee et al., 2007)。本計畫主持人與雲林科技大學楊榮芳教授合作研究地下水中三氯乙烯降解研究時曾針對污染地下水中進行熱篩，確定可以篩選出有效之利用食用油乳乳化液作為基質進行產氫之菌種；而本計畫將利用現址相反轉法進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 γ -HCH 與 DDT 之降解，詳見以下之文獻回顧。

γ 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 γ 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 γ 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 γ HCH 為 γ 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

(a)



(b)

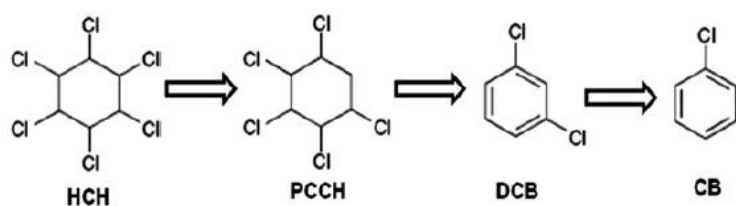


圖 3-8 γ HCH 之好氧(a)及厭氧(b)生物降解路徑

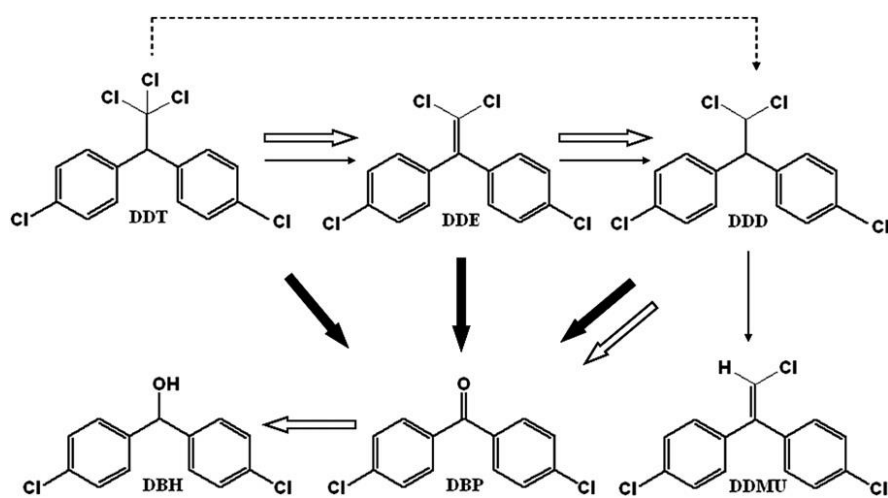
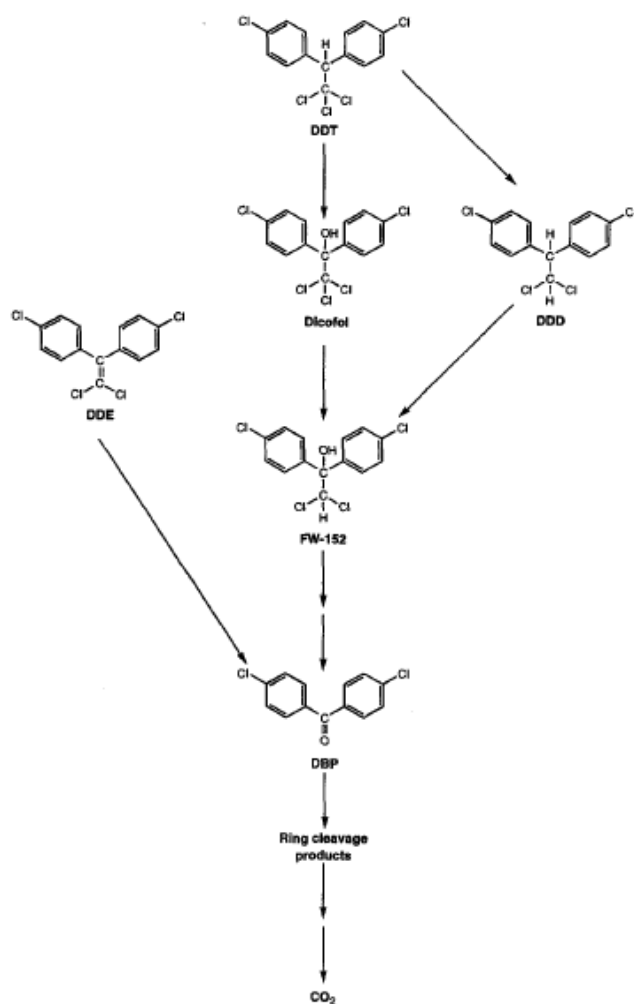


圖 3-9 棕腐真菌(brown rot fungi)降解 DDT 之路徑



(a)



(b)

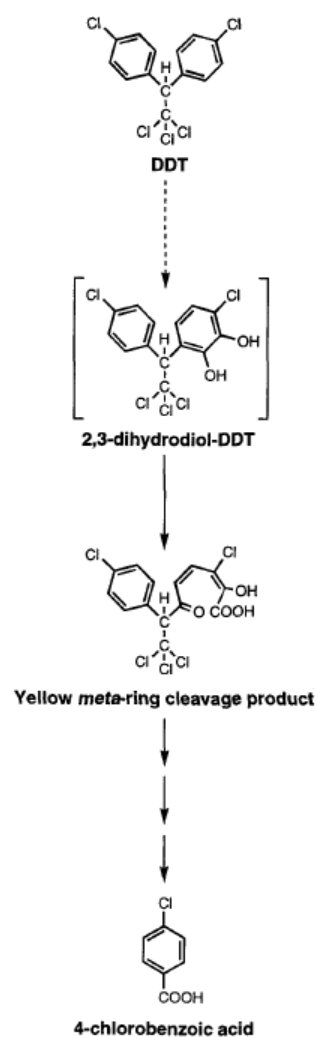


圖 3-10 白腐真菌(white rot fungi)(a)與細菌 *Alcaligenes eutrophus*(b) 降解路徑

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

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* ¹	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 _{追蹤劑}	約等於 V _{追蹤劑}

註: *¹以目前市場上之 EOS[®]為比較對象

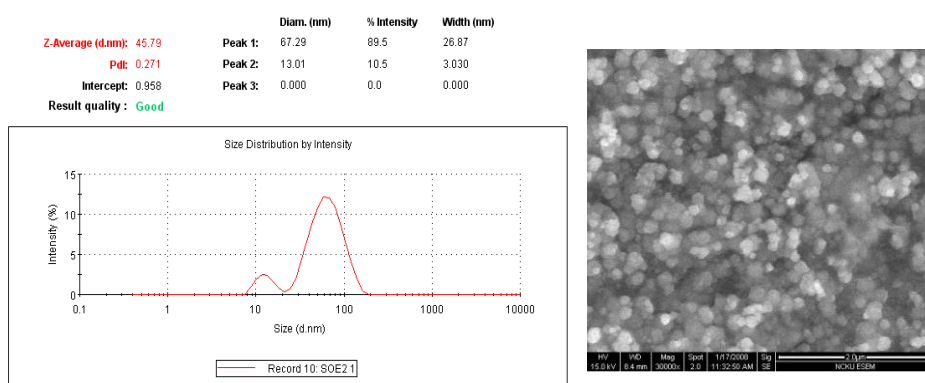


圖 3-11 食品級奈米乳化液動態光散射儀量測結果與電子顯微鏡影像

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°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、 γ 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°C 之情況，黑色柱塊為 40°C 情況，白色柱塊為 30°C 下未添加 TCE 之樣品。由結果可知在第 6 天以 35°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°C 下之減少情況較為輕微，*tceA* 與 *bvcA* 基因在 35°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°C 與 40°C 為佳。中國大陸與香港學者也提出 35°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°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驗養脫氯菌之活性之生物指標(biomarker)，其結果顯示在 14°C、22°C 與 30°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°C 下之 copy 數與 22°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°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°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°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°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 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



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

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。

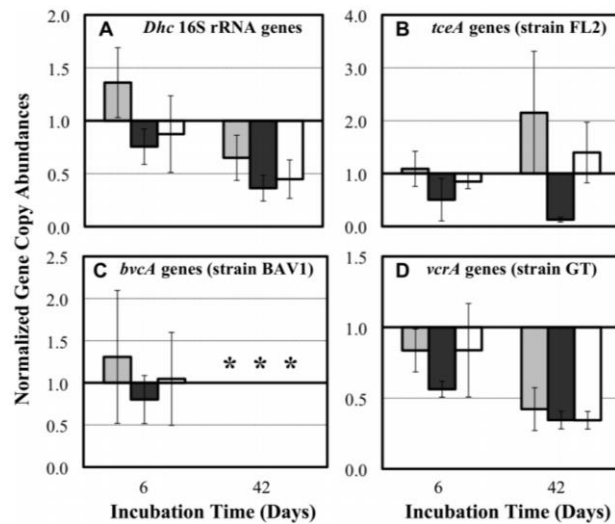


圖 3-12 *Dehalococcoides* 在不同溫度下脫氯作用主要基因表現情況，* 為 ND

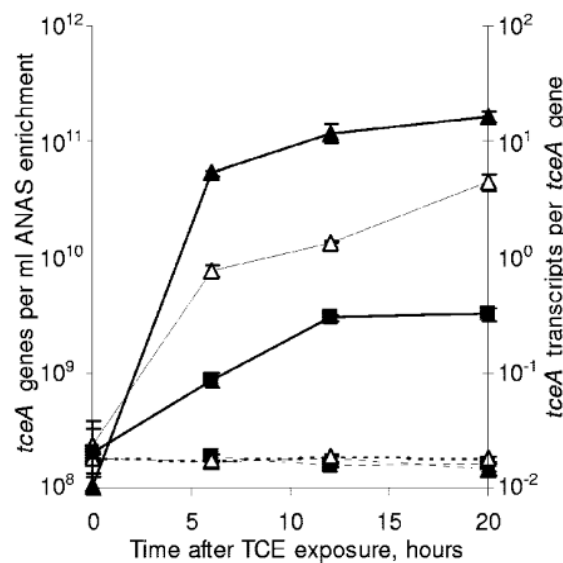


圖 3-13 培育溫度對 *tceA* 基因表現之影響，30°C 以▲表示，22°C 以△表示，14°C 以■表示

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°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°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，但由圖 3-14 可見，在 700°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°C 與 700°C 之時間分別需 3.40 與 4.72 秒，而加熱到 1400°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，為討論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°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，逼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。

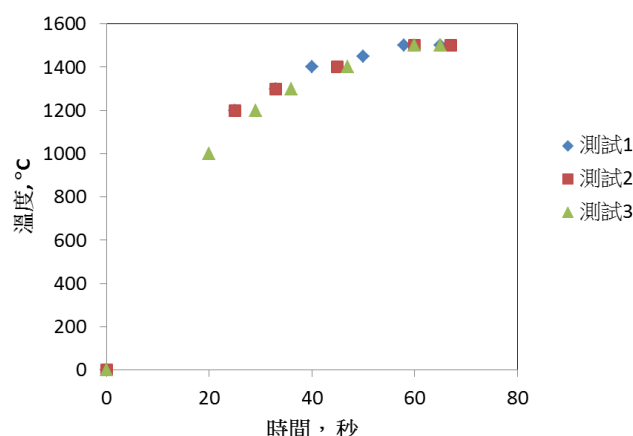


圖 3-14 加熱時間與溫度關係

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)



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

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	3.4 (Y)	ND (Y)	25.5 (Y)	61.5 (Y)	ND (Y)	34.7 (Y)	ND (Y)	12.8 (Y)
8	1.5 (Y)	ND (Y)	29.5 (Y)	198.0 (N)	ND (Y)	76.7 (Y)	0.3 (Y)	ND (Y)
9	2.7 (Y)	ND (Y)	35.0 (Y)	145.3 (Y)	ND (Y)	59.6 (Y)	0.9 (Y)	73.2 (Y)

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 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 $0.369\sim66.9 \text{ pg-TEQ g}^{-1}$ ，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與南楚橋為高，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。



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

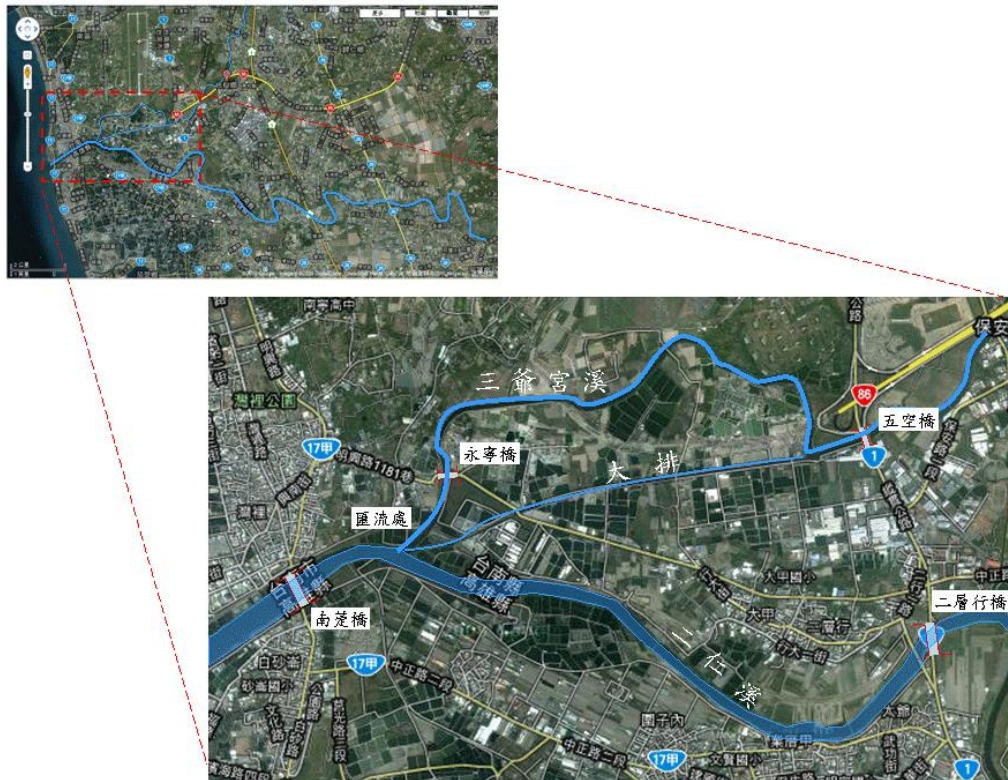


圖 3-15 二仁溪與三爺宮溪主要流域圖（Google Map）



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



文獻探討

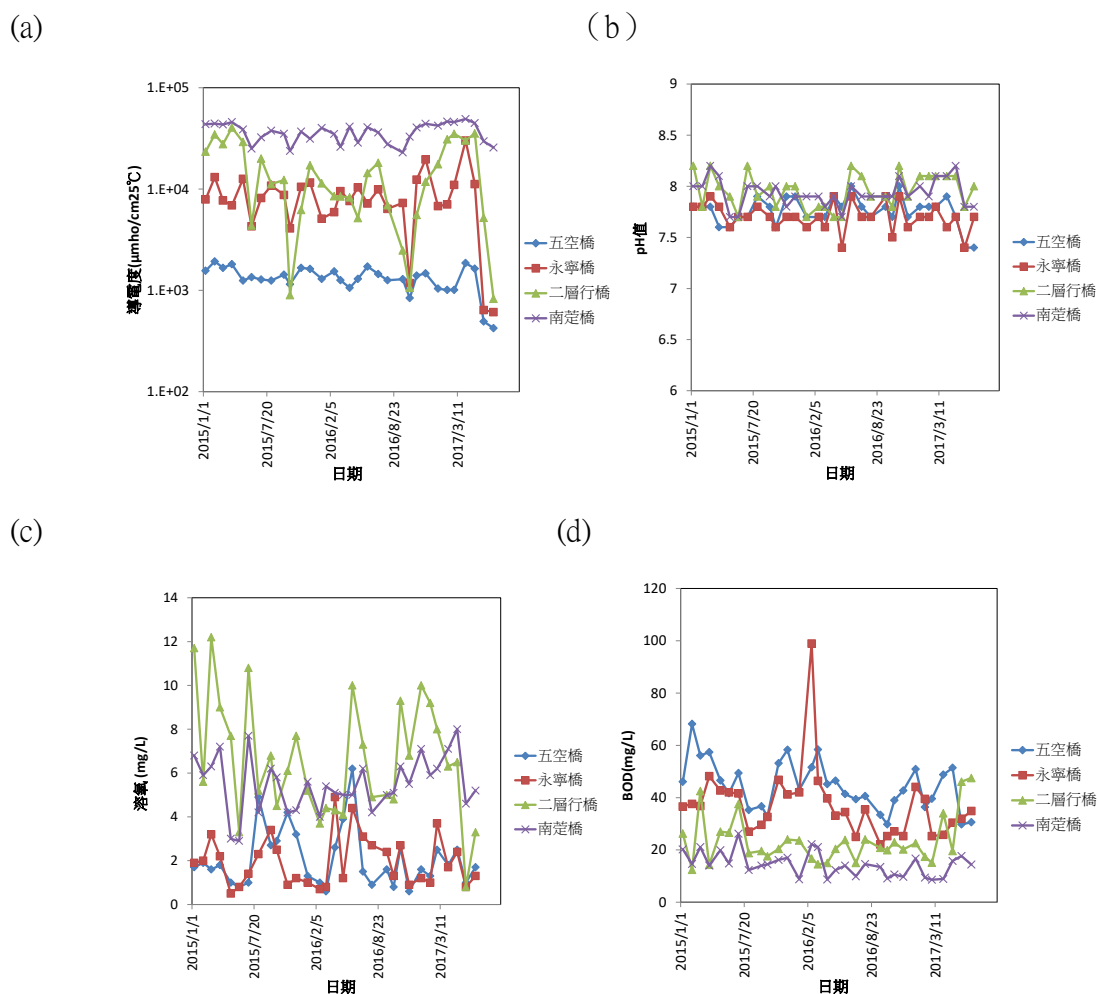


圖 3-17 二仁溪水質檢測結果之 pH 值(a)、導電度(b)、DO(c)、BOD(d)

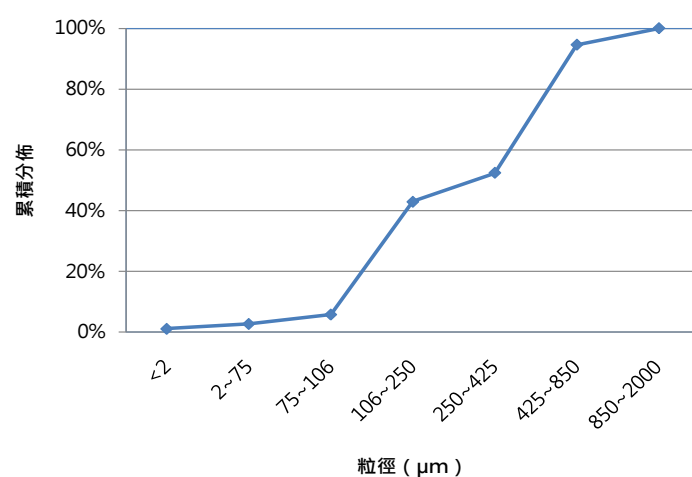


圖 3-18 二仁溪底泥粒徑分布情形

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



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

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荳橋一帶，其次為三爺宮溪與二仁溪匯流處（如圖 3-18 所示）。南荳橋 2 之樣品非常特殊，位於南荳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。

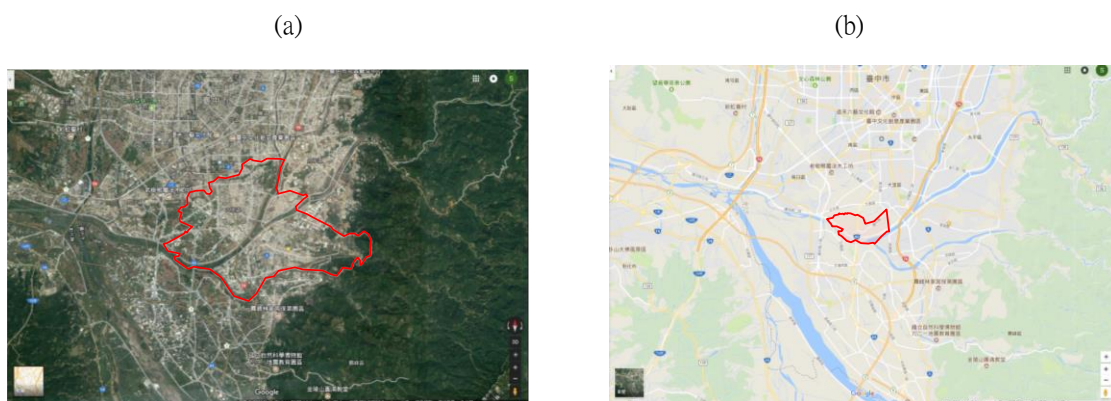


圖 3-19 預定進行模場試驗之台中市大里區夏田里

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。

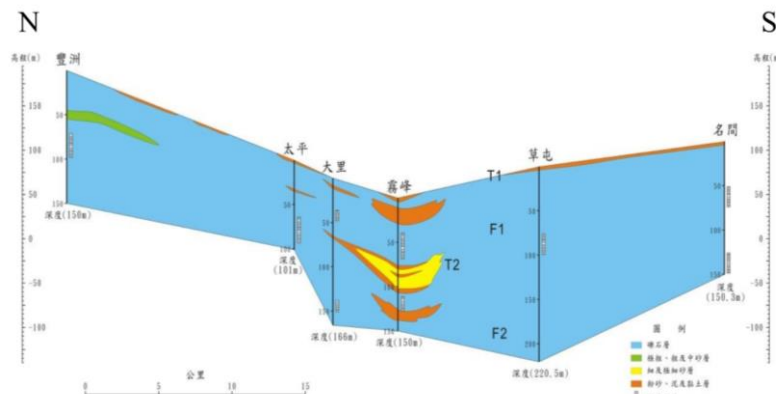


圖 3-20 台中市大里區地質剖面圖



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

3.3 目標及內容

本計畫為 2 年期計畫，目標及內容分年簡述如下。

1. 第一年計畫目標及內容

- A. 完成二仁溪底泥及模場土壤中菌群之馴養及鑑定：暗發酵產氫菌群、HCB 厭氧脫氯菌群、PCBs 厭氧脫氯菌、 γ HCH 厭氧脫氯菌、DDT 降解菌，並以 PCR-DGGE 進行菌相觀察與菌種定序鑑定，菌種來源將以受污染之現地菌種為主，若無，則以二仁溪底作為菌種來源。
- B. 完成批次降解實驗：預計進行 HCB、PCBs、 γ HCH、DDT 分解菌可能需要 1-3 個月馴養期，將以田口實驗設計法定義較佳之乳化液濃度，土壤有機質濃度、pH 值範圍及溫度等環境條件。
- C. 完成管柱內現地相反轉之回收測試：模擬現地底泥及土壤進行實驗室內之預先相反轉回收測試，同時測定熱篩效果。此部分將加入 Dioxins 在模擬底泥中進行相反轉回收測試。
- D. 完成自動控制模組測試，並進行多次對較低溫之相反轉回收測試。
- E. 完成管柱內回收後生物分解監測：完成將已經清潔底泥作為上層加蓋物之後繼續監測，以確認是否可達到加蓋效果。
- F. 完成進行模場試驗之設備設計與施工：先行設計模場所需要之一切設備，自行開發特定設備並且完工。
- G. 完成進行模場試驗之必要申請程序：土壤玻璃化模場試驗將於第 2 年進行，目前已經取得當地主管機關與土地所有人同意文件（計畫徵求書要求文件詳見附件二）。
- H. 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、簡報與論文各 1 份，專利申請 1 份，研討會論文 2 份。

2. 第二年計畫目標及內容：

- 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 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繼續監測，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. 土壤模場試驗
 - i. 完成初次採樣：針對試驗場址必須進行現地採樣，完成八種重金屬之檢測
 - ii. 完成實驗室中土壤玻璃化測試。
 - iii. 完成現地模場之土壤玻璃化測試並進行後續應用測試。
 - iv. 完成模場試驗後之復原工作：依據校土地所有人切結試驗完後應完全復原之規定完成復原工作
- C. 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 HCB 與 Aroclor 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：依據校土地所有人切結試驗完後應完全復原之規定完成復原工作
- 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、簡報與論文各 1 份，SCI 期刊論文 1 份，研討會論文 2 份。



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)



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，以下先敘述第 1 年計畫，然後敘述第 2 年計畫，預計可能遭遇之困難及解決途徑、貴重儀器使用情形將於本章節最後綜合敘述。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 γ -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。除每季至少開會一次進行研究協調及進度查核外，也將建立專屬 Line 群組以便隨時聯繫協調。本計畫尚有謝季吟老師協助 Dioxins 樣品分析，此部分也由計畫主持人為窗口進行樣品前處理、送樣及資料分析。

4.1. 第 1 年計畫

4.1.1. 菌群之馴養及鑑定：暗發酵產氫菌群、HCB 厭氧脫氯菌群、PCBs 厭氧脫氯菌、 γ -HCH 厭氧脫氯菌、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。

4.1.1.1. 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



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

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。

- 4.1.1.2. 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 KH_2PO_4 0.35 g、 K_2HPO_4 0.27 g、 NH_4Cl 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，為能夠保留特定脫氯菌群，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 KH_2PO_4 per liter, 34.8 g of K_2HPO_4 per liter), 10 ml 鹽水溶液 (每公升中含 53.5 g 之 NH_4Cl , 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 H_3BO_3 , 0.1 g 之 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 Na_2SeO_3 , 0.1 g 之 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$, 1 ml 之 H_2SO_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 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 4-1 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，再以氮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、 γ 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、 γ 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 4-1 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 ₂ ·6H ₂ O	16.7
	MgCl ₂ ·6H ₂ O	120
	KCl	86.7
	MnCl ₂ ·4H ₂ O	1.33
S2	CoCl ₂ ·6H ₂ O	2.0
	HBO ₃	0.38
	CuCl ₂ ·2H ₂ O	0.18
	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.17
	ZnCl ₂	0.14
S3	FeCl ₂ ·4H ₂ O	18.5
S4	Biotin	0.002
	Folic acid	0.002
	Pyridoxine HCl	0.01
	Riboflavin	0.005
	Thiamin	0.005
	Pantothenic acid	0.005
	Nicotinic acid	0.005
	Vitamin B12	0.0001
	p-Aminobenzoic acid	0.005
	Thiotic acid	0.005



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

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^{-1} （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 ，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。

4.1.2. 批次降解實驗：預計可能需要 1-3 個月馴養期，PCBs 依先前經驗馴養應在 1 個月之內，將定義較佳之乳化液濃度，pH 值範圍及溫度等環境條件須先進行批次降解實驗，測試之條件為乳化液範圍、pH 值、溫度與有機質濃度；範圍為 0、1 與 10 重量比，pH 值為 5.5、7.0 與 8.5、溫度為 10°C 、 20°C 與 30°C ，有機質濃度為 0、0.1 與 1.0%。預計以田口方法進行 4 因子 3 水準之直交表進行實驗，如表 4-2 所示(李輝煌, 2011)。可以用 9 個實驗代替 81 個 ($3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$) 即可確認最佳之條件亦即在何種濃度（因子 A）、pH（因子 B）、溫度（因子 C）與有機質（因子 D）濃度條件下可達到最高之移除率。兩種污染物將同時進行，預期進行至少 10 週（即 70 天），加上之前的馴養期，預計將需要約 100 天（含採樣）方能完成試驗，為避免無法及時繳交期中報告完成 SCI 期刊論文投稿，將提前進行採樣及馴養，亦即應於 106 年 12 月完成第 1 次採樣，於 107 年 2 月底前完成馴養。進行批次降解實驗時，預計將每 1-4 週進行採樣檢測 1 次，初期為每週 1 次，後期為每 4 週 1 次。由於是隨著時間採樣，將可針對其還原脫氯反應動力學進行探討。Dioxins 批次實驗 則以集塵灰起始濃度為最高濃度，依次稀釋 10 倍，僅進行 2 組不同濃度條件之測試，條件選取將以前述 HOCs 降解較佳條件進行，否則無法負擔檢測費用。此部分因有時間遞延關係，預期 Dioxins 管柱實驗可能會到第 1 年底才能完全完成。

4.1.3. 管柱內現地相反轉之回收測試：相反轉溫度之定義為在升溫至該溫度時，一油在水中乳化液可因輕微擾動而轉換為水在油中之乳化液的現象，降溫至該溫度時也可自水在油中乳化液轉換為油在水中乳化液。相反轉溫度法廣泛應用製造化妝品、醫藥產品、食物以及清潔劑等，本實驗室則是將其應用於地下水及底泥中疏水性有機污染物之降解助劑。相反轉溫度通常是



由乳化液中界面活性劑之比例有關，由於本實驗室所使用之界面活性劑為食品級非離子型界面活性劑，實際配方為實驗室 know-hows，且已經由中興大學授權民間公司使用，不便於此透露，但可由一般文獻揣摩而得。目前，本實驗室已經擁有 30 種以上配方，其相反轉溫度界於 40°C 至接近 100°C，可製備模擬現地底泥進行實驗室內之預先相反轉回收測試，同時測定熱篩效果。將於實驗室內利用透明 2 英吋透明 PVC 管進行實驗，裝填約 25 公分左右之底泥（法規規範之表層底泥深度為 0-15 公分），將先製作下端可以釋出乳化液之裝置，亦即可將溫度約在 90°C 以上之水在油中乳化液直接自管柱下方注入之裝置，注入前方將有一整流裝置並且注入方式將採脈衝式注入以避免形成優勢流徑導致乳化液僅能夠與固定區域之底泥顆粒接觸，而降低回收效率。為達到較大壓力之脈衝式注入，將設法再注入器前段設置一類似卸壓閥裝置，須達一定壓力下才會開啟，於壓力洩放後重新關閉。需監測調整之參數有下方底泥溫度（深度 20-25 公分處應達 80°C 以上）、底泥上方溫度、停留時間、污染物濃度等，將定義 100 mg/kg 濃度之 PCB 與 HCB 之回收率。預計底層之底泥加溫時間應在 30 分鐘以上，以達到熱篩之效果，完成熱篩之底泥將進行降溫並添加最容易發酵產氫之葡萄糖為基質進行產氫測試與 PCR-DGGE 菌相調查與菌種鑑定，此菌相結果將與原馴養前之菌相進行比較，所鑑定之菌種將確認是否屬於已熟知之文獻以雞報導之產氫菌或是本土新菌。為與未進行回收之情況比較，也將進行控制組之平行測試，亦即在未加入任何乳化液情況下之污染物存留情況。Dioxins 管柱實驗將另外進行兩管，並採取 5 個時間點之採樣，採樣時間將較其他污染物之測試拉長一倍。

- 4.1.4. 完成管柱內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。上述完成污染物回收之較為蓬鬆底泥將被直接壓實到原本之深度（25 公分），進行簡易加蓋處理比較之試驗，在測定控制組之濃度後將於已處理之底泥管柱底部（24-25 公分處）中重新注入可達濃度 100 mg/kg 之 HCB 與 PCB（1 cm 厚度與 2.54 公分半徑之體積完計算基礎）；另一控制組管柱則取現地底泥裝填後，也在管柱底部（24-25 公分處）中重新注入可達濃度 100 mg/kg 之 HCB 與 PCB（1 cm 厚度與 2.54 公分半徑之體積完計算基礎），然後監測 10 週其不同深度底泥與上方水柱中之 HCB 與 PCB 濃度，已確認加蓋處理是否有效，並至少進行前中後之上下方底泥中微生物樣品取樣，進行總菌數測定與 PCR-DGGE 之菌相菌種鑑定工作。



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

表 4-2 田口方法中 4 因子 3 水準之直交表實驗設計

實驗	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

- 4.1.5. 完成進行模場試驗之設備設計與施工：先行設計模場所需要之一切設備，自行開發特定設備並且完工。為避免第 2 年現地模場試驗計畫受到不可抗力因素造成期程延宕，故必須於第 1 年計畫先完成所有現場設備之設計與完工，預定進行之場址為三爺溪與二仁溪匯流處，預期將於現地採取至少 32 根透明 PVC 管之管柱取樣，取樣深度為 25 公分，上方應預留至少 25 公分水柱體積與 25 公分頂空，故每根管柱至少長約 75 公分，且在由底部起算之 0-25 公分處應有管套相接以便進行取樣與注入樣品之便利性。下方封底則是避免注入之污染物影響污染現地環境。32 根管柱之試驗方式詳見第 2 年計畫之敘述。
- 4.1.6. 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。
- 4.1.6.1. 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，針對粉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。
- 4.1.6.2. 化學分析：化學分析部分則針對 HCB、多氯聯苯 (Aroclor 1254)、 γ HCH、DDT、Dioxins 與 8 種重金屬為標準之分析方法分別說明如下。
- 4.1.6.2.1. 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)，萃取自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 4-3 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 μ m)，流量為 4 psi。注射口溫度為 250 °C，不分流；偵測器 (ECD) 溫度則為 300°C。烘箱初溫為 150°C 維持 1.0 min，以 2.5°C/min 升溫至 280°C，並維持 2.0 min

- 4.1.6.2.2. 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)，萃取自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 4-3 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°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



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

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 μ m)，流量為 12.0 cm/sec。注射口溫度為 250°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。

4.1.6.2.3. γ -HCH 與 DDT 檢測分析：土壤中 γ -HCH 與 DDT 之檢測方法可依據環檢所 105 年 11 月 22 日發布之 NIEA M618.05C 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， γ -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。

4.1.6.2.4. Dioxins 之檢測分析：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 (NIEA M805.00B) 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與環檢所



陳元武科長首肯在檢測分析上加以協助。

表 4-3 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

4.1.6.2.5. 氣相層析/串聯式質譜儀之採購及裝置，也將於 106 年年底完成戴奧辛及呋喃檢測方法之測試，預計 107 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，因應計畫增加 Dioxins 生物分解批次實驗 預計將進行 60 組樣品之檢測，馴養階段 3 樣品，批次實驗 21 樣品，管柱實驗 2 重複各 5 個採樣時間（含空白實驗），含初始樣品及回收前後共 24 樣品，合計至少 48 個樣品需要進行檢測，先以 50 個樣品計算，故第 1 年年檢測耗材費用將較原構想書增加。

4.1.6.3. 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



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

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 4-4 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 μ 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 μ 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 μ 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 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 4-5 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。

表 4-4 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	3.75 mL	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 4-5 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	GGGTTGTAAACCTCTTTTCAC
	Rp DHC 806	GTTAGCTTCGGCACAGAGAG
<i>Dehalococcoides</i> -specific_C2	582f	CTGTTGGACTAGAGTACAGC
	728r	GTGACAACCTAGAAAACCGCCTT

4.1.7. 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. 第 2 年計畫

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、大排與二仁溪互留處西北側，由於該處已經為二仁溪之堤防線內，故屬於二仁溪水利地。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，最大遮斷面長度為之側面長度之半，即 1.20 公尺，且以當時水深最高為 1.90 公尺，故最大通流遮斷面積為 2.28 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。圖 4-2 之斷面積逐一計算結果如表 4-6 所示。以當時枯水期之三爺溪通洪斷面三爺溪通洪斷面為 150.0 平方公尺，試驗設施



圖 4-1 河道中測量之斷面位置

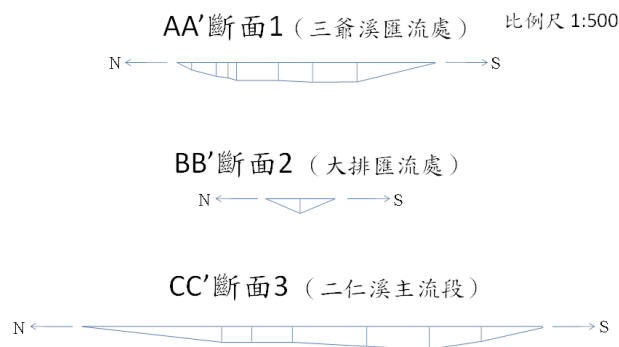


圖 4-2 計算近似斷面之斷面圖



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

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%。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 17 之 8 組使用，亦即每組 2 根管柱，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，此管柱於第 1 年已完成設計與製備，目前構想為在 30 公分中段處預設一類似涼風扇支架之中空支架可供均勻注入高溫乳化液，並且提供後續採樣深度之標定位置。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。

表 4-6 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 ²)
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 ²)				410.2

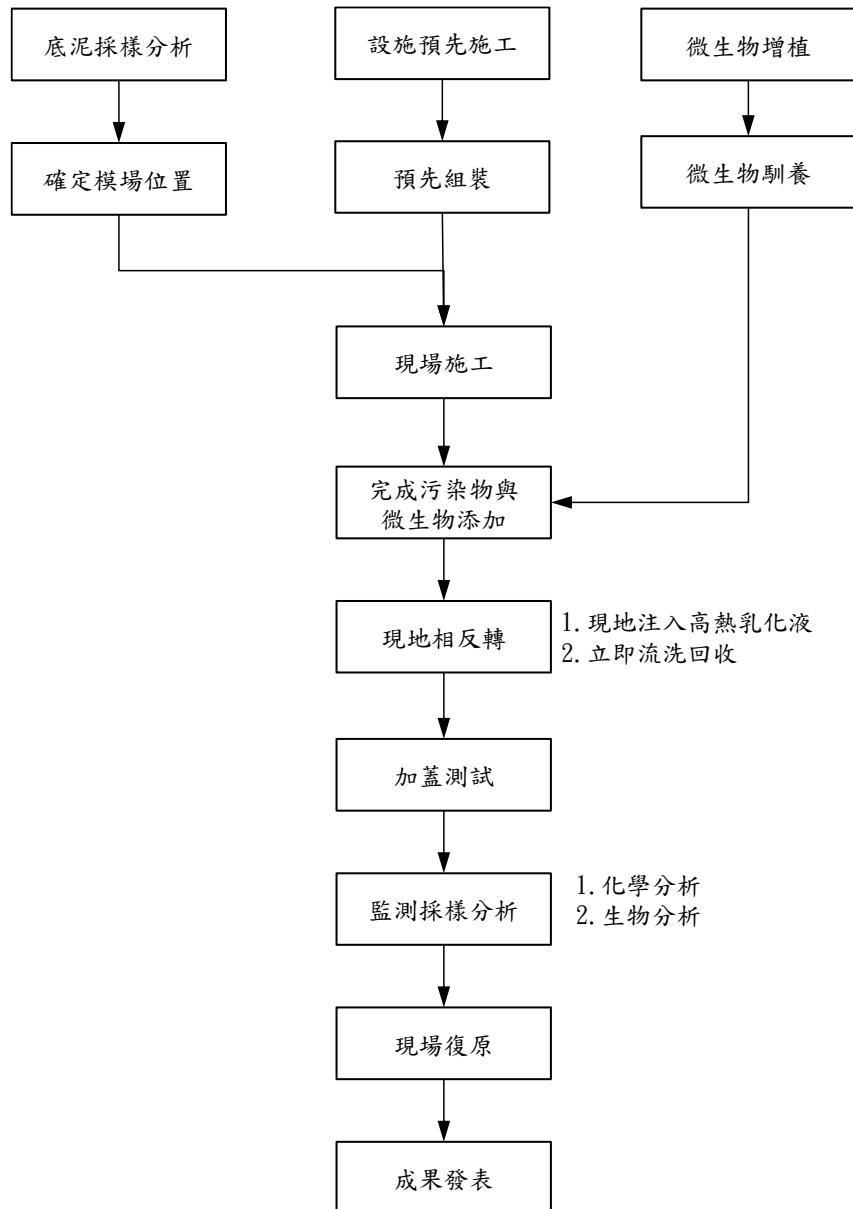


圖 4-3 模場試驗流程圖

4.2.1. 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、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



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

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 4-7 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。

表 4-7 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

4.2.2. 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。

4.2.3. 微生物預備：為確定實驗室結果確實能夠在現場實現，將先進行微生物菌種預備之工作，說明如下。

4.2.3.1. 微生物增殖：自第一年實驗室規模實驗所獲得之適合之微生物將培養至至少 10 公升且達至少 10^6 cells/cm³ 之細胞濃度，因為生物加強（bioaugmentation）方式進行者所需使用之 6 個管柱中至少含有 25 公升之孔隙水，為確保植種至少可達 10^5 cells/cm³ 之細胞濃度，故須先預備較多之菌種。簡述如下：微生物馴養部分分為兩部分，一是利用乳化液成分進行 4 種 HOCs 降解之菌群，一是以乳化液進行厭氧暗發酵之菌群，前者以厭氧培養基成分為 1 公升去離子水中加入 0.35 g 的 KH₂PO₄、0.27 g 的 K₂HPO₄、2.7 g 的 NH₄Cl、0.10 g 的 CaCl₂·2H₂O、MgCl₂·6H₂O 0.10 g、0.02 g 的 FeCl₂·4H₂O、Yeast 5 g 的 Extract 以及 0.005 g 的 Resazurin sodium（redox dye），並加上 3.0 ml of vitamin solution; and 10 ml of trace element 溶液(Brunner et al., 1980)；後者以下表之基質進行增殖培養，基質組成如表 4-8 所示(Bai, 1999; Owen et al., 1979; Wang et al., 2011)。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 4,000 mg/L 蛋白胰配製成 1.0 L 產氫用之基質。首先將收集前一年熱篩完成之菌群菌體，以冷凍控溫離心機於 4°C、6,000 rpm 下離心 15 分鐘收集菌體，倒去上層液後，隨後以 PBS buffer 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，再以氮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室溫下，並定期採樣分析瓶頂之氣體組成與發酵產物組成。瓶頂氣體與發酵產物組成分別以 GC(PerkinElmer Clarus 580)配備 thermal conductivity detector（TCD）分析，使用之分離管柱為不銹鋼管柱塗佈 carboxen-100（Supelco, USA），烘箱、注射埠及偵測器溫度設定分別為 80°C,



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

150°C 及 200°C，載行氣體為高純度氮氣，流量為 15.9 mL/min。光密度量測是以分光光度計進行，波長為 660 nm。poly (β -hydroxybutyrate) 通常視為生物產氫菌之貯能物質，

表 4-8 暗發酵菌種所使用之基質

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

其檢測方式也是以上述之 GC-FID 進行。載行氣體為氮氣，流速為 106 mL/min，注射埠與偵測器溫度為 250°C，GC 烘箱初始溫度為 80°C，維持 4 min，然後以每分鐘增溫 8°C 至 160°C 為止，最終溫度為 160°C，維持 6 分鐘，並利用檢量線定量濃度。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。增殖培養預計在 1.0-1.5 個月左右可完成。

4.2.3.2. 微生物馴養：微生物馴養部分分為兩部分，一是利用乳化液成分進行 HOCs 降解之菌群，一是以乳化液進行厭氧暗發酵之菌群。前者係利用上述之另外預備新鮮基質中加入 10.0 mg/kg 之 Aroclor 1254 與 10.0 mg/kg 之



HOC，再植入至少起始濃度在 10^5 cells/mL（另準備 3 組空白組），之後每 10 天採樣 1 次進行 HOCs 及總菌數測定，以確認污染物確實降解且微生物的確有生長情形。後者馴養則加入乳化液做為產氫基質，且因乳化液雖可供給碳源，但並無氮源，故將 yeast extract 與乳清蛋白加以馴養。並且馴養文獻中曾經提到在使用較複雜基質進行暗發酵時可利用一些陽離子或陰離子進行乙酸生成之抑制以增加氫氣產量，如 pH 小於 6 時以未解離之乙酸具有較強之抑制作用，pH 值較高時則以解離之乙酸根具有抑制效果(Wang and Wang, 1984)。所以在使用如表 4-8 之基質時將加入少許醋酸鈉（不可加入過多，以免造成微生物利用乙酸做為產氫基質），此部分也會至少 2 周分析一次產氫情況，以確認達到馴養之目的。預計兩部分之馴養可再 1.0 至 1.5 個月內完成。

4.2.4. 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。

4.2.4.1. 預先組裝測試：前 4 組因屬現底風化底泥（見表 4-7），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



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

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 所示。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。

4.2.4.2. 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左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 4-6b 所示。必須有上下層分層設計，上層供進行相反轉測試用，2 層之間置入固定式之向上之多重噴嘴裝置，並預留乳化劑進流之塑膠接頭，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。

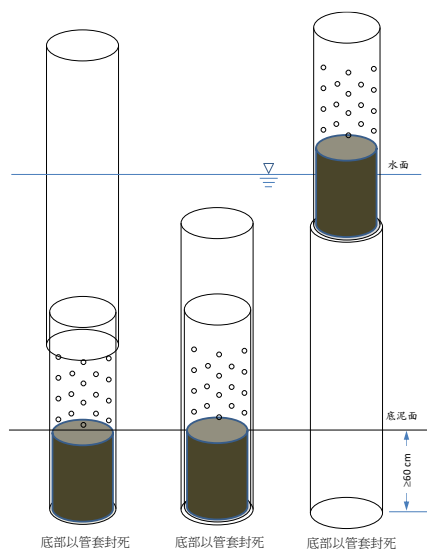


圖 4-4 現地試驗設施操作示意圖

4.2.4.3. 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，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。

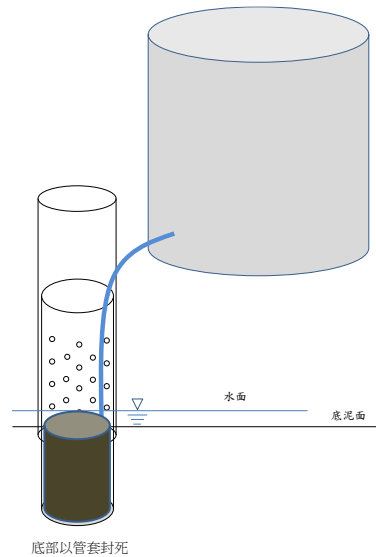


圖 4-5 現地試驗設施之添加污染物試驗組別設施示意圖

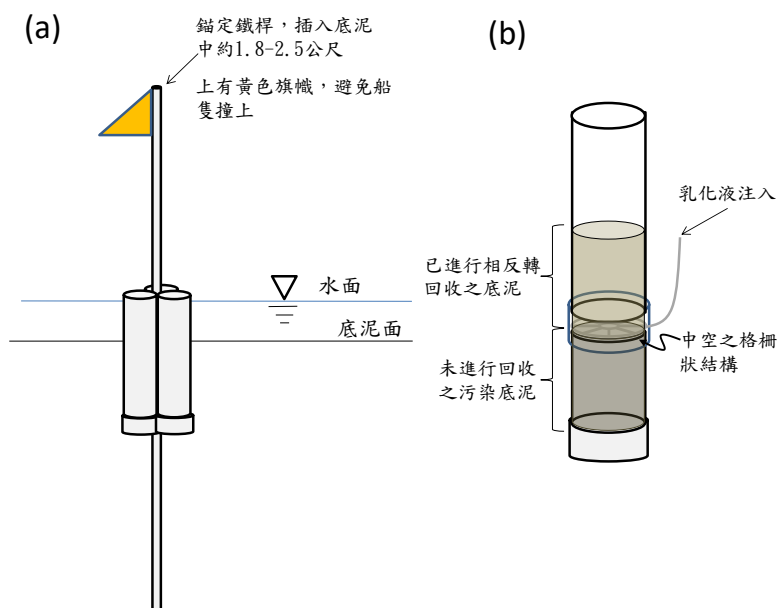


圖 4-6 現地模場試驗之設施(以單一組為例)

4.2.5. 現地相反轉與微生物添加

4.2.5.1. 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 95°C），將於現場進行高溫乳化



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

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。

4.2.5.2. 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，並將視地 1 年計畫最後之想反轉測試優化結果，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。

4.2.6. 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。

4.2.6.1. 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 4-4 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 μ 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 μ 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 μ 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，以獲取目標 DNA 片段。再經由 PCE 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 4-5 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。

4.2.7. 土壤玻璃化之模場試驗：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。

4.2.7.1. 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含水率樣品。



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

- 4.2.7.2. 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。
- 4.2.7.3. 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。
- 4.2.7.4. 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。
- 4.2.7.5. 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。



- 4.2.7.6. 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」(NIEA R201.14C)，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 ± 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 ± 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 μm 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。
- 4.2.8. 模場試驗：模場試驗部分即是將原本為實驗室中之設備移至現地進行，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現地進行污染土壤之玻璃化，所使用條件即前一節所產出之優化條件，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。並針對委員所提之後續利用做測試，如路基本材之可乘載壓力、過濾用濾材之過濾特性、透水鋪面之透水特性等。操作特性、處理範圍與成效評估指標說明如下。
- 4.2.8.1. 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）。



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

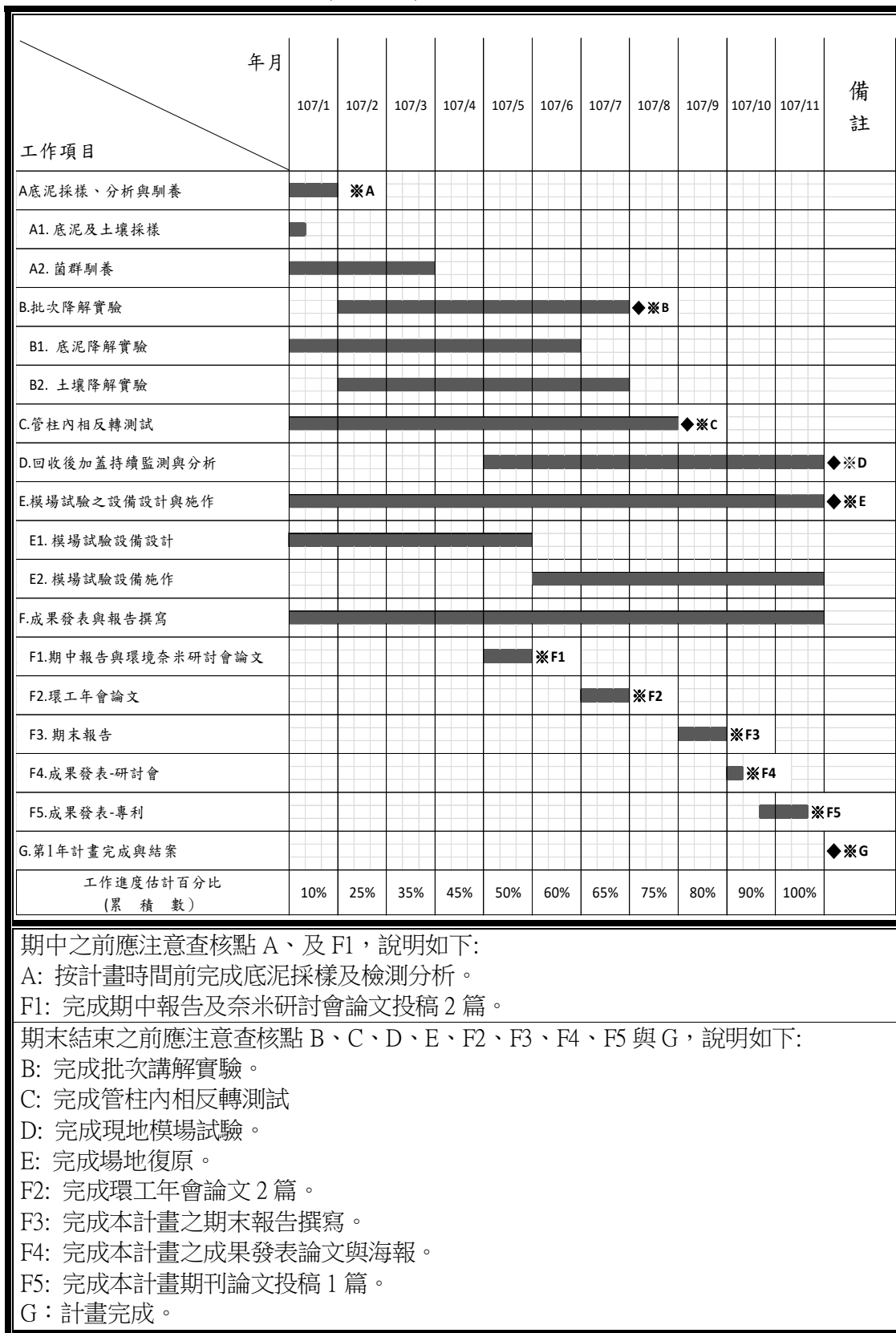
- 4.2.8.2. 處理範圍：預計現地模場測試之範圍將選定長寬深各為 $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 0.30\text{ m}$ 之坵塊兩塊，先進行表土之均勻混合以避免難以比較之情況，若經先期檢測兩坵塊之重金屬濃度差異過大，將不排除先將兩坵塊之表土進行充分混合後再進行。預計單次玻璃化可處理約 $2,400\text{ cm}^3$ ，預計各坵塊將劃分一半進行玻璃化，一半未進行玻璃化，將各取至少 15 土壤樣品進行消化處理及重金屬測定，玻璃化成品各 15 個，則以 3 個進行破碎處理後進行溶出及全萃取後再消化，之後上機分析；剩餘 12 個將作為 3 種不同回收利用方式之測試用樣品。
- 4.2.8.3. 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，前二者應可順利達成，第三項則具有當高挑戰難度。
- 4.2.9. 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。
- 4.2.10. 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

4.3 工作進度與甘特圖

本第 1 年計畫之工作進度與甘特圖如表 4-9 所示，目前已經完成第 1 年計畫第 10 個月之進度，除成果發表部分，環工年會 3 篇論文（原定 2 篇）將於 11 月 17 日口頭發表，專利申請已循校內程序送出，SCI 期刊論文目前撰寫中，預計 11/15 前送出，其餘查核點均已經達成，進度應屬符合。為第 2 年計畫之進行也將預做準備，目前已經完成重金屬污染玻璃化之設備製作，並已經完成第一次測試，並將於 11 月 1 日至二仁溪先進行預先採樣。



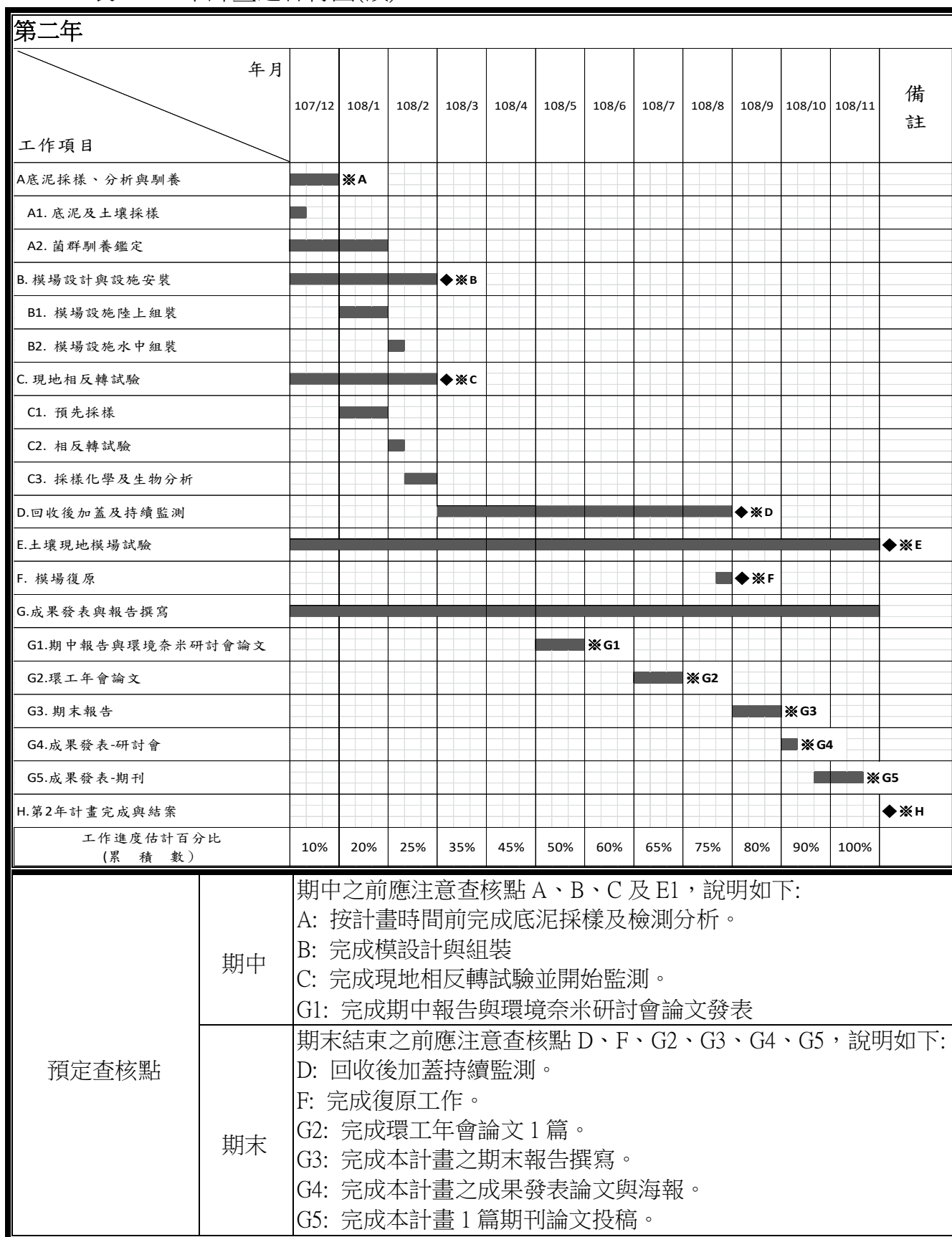
表 4-9 本計畫之甘特圖(第 1 年)





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

表 4-10 本計畫之甘特圖(續)





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目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. 底泥及土壤採樣

計畫團隊於接獲通知本計畫已核定後，立即於 107 年 1 月 18 日赴二仁溪進行底泥採樣，並於 107 年 1 月 31 日進行土壤污染場址之土壤採樣，底泥與土壤採樣均以抓取採樣方式進行。底泥微生物依據第四章之執行方法進行菌種馴養。底泥之 Aroclor 1254 濃度為 0.172 mg/kg，HCB 濃度為 ND，兩者均較以往為低，可能是在該處反覆多次取樣擾動之結果；未污染農地土壤中之 γ -HCH 及 DDT 均為 ND；污染土壤中重金屬濃度如表 5-1 所示；戴奧辛試驗則是以集塵灰與模擬底泥進行摻配而成，故僅針對完成之模擬底泥進行檢測，將於 5.5 節說明。

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)

5.2. 污染土壤快速玻璃化

5.2.1 玻璃化田口試驗

本計畫針對台中市大里地區之污染農地土壤先進行採樣檢測分析，依照環檢所方法進行樣品消化之後以 ICP-OES 進行檢測，其檢測結果與現行法規標準如表 5-1 所示。由此表可見，砷與鎘為 ND（低於偵測極限），其他重金屬除鎳之外，其



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

餘均有超標之情況。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。田口試驗條件如表 5-2，已經完成模擬土壤與真實土壤之玻璃化後全萃取消化之檢測分析，模擬土壤為經過酸洗乾淨之石英砂 10.0 g 作為土壤樣品，並於每一模擬土壤樣品中加入最終濃度 40.0 mg/kg 之八種重金屬 (Zn、Cu、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb、As)。樣品的條件以升溫溫度、含水率、藥劑添加量與定溫延時四個條件做為變動因子，以田口試驗方法將土壤分成 9 個組別，進行三重覆 (共 27 個樣品) 實驗。從模擬土壤玻璃化的結果來看 (如表 5-3)。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響不大。

表 5-2 田口方法之控制因子條件

組別	溫度(°C)	含水率(%)	添加量	時間(秒)
1	1200	0	(低)	60
2	1200	20	(中)	90
3	1200	40	(高)	120
4	1400	0	(中)	120
5	1400	20	(高)	60
6	1400	40	(低)	90
7	1600	0	(高)	90
8	1600	20	(低)	120
9	1600	40	(中)	60

表 5-3 模擬土壤玻璃化後的重金屬濃度檢測(單位 mg/kg)

組別	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
BK	38.85	41.18	40.91	35.47	7.16	40.29	38.41	50.05
1	3.60	5.36	9.89	19.14	ND	14.46	ND	ND
2	3.10	ND	12.72	14.69	ND	15.72	ND	ND
3	2.14	ND	3.92	4.55	ND	6.01	ND	ND
4	5.75	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5	1.85	ND	6.55	ND	ND	5.38	ND	ND
6	nd	ND	12.23	ND	ND	ND	ND	ND
7	5.41	ND	4.72	ND	ND	ND	ND	ND
8	nd	ND	3.59	ND	ND	ND	ND	ND
9	nd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND



註: ND 代表於 40 倍稀釋下檢測濃度低於最低可檢測濃度(10 ppb)

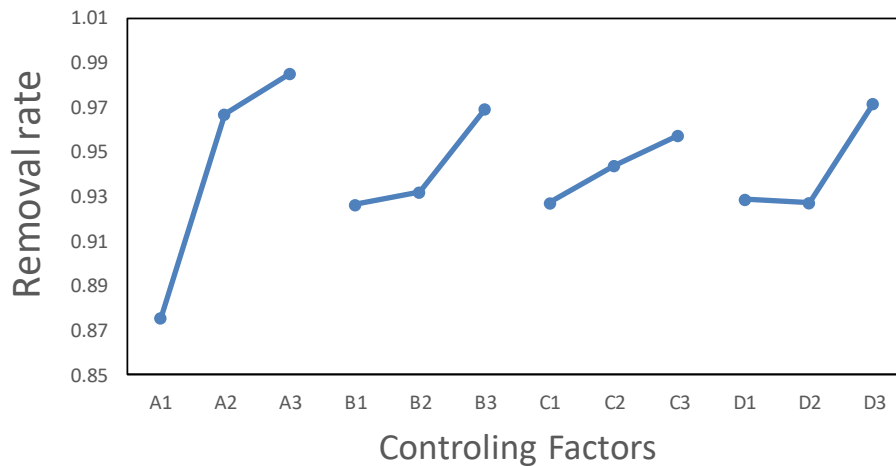


圖 5-1 模擬土壤玻璃化之因子反應圖

真實污染土壤進行玻璃化後成品經過全萃取消化之檢測分析結果如表 5-4 所示。與現行農地污染管制標準仍可進行比較 (見表 5-1)。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之繪製(見圖 5-2 及 5-3)，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。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。

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。但因一般土壤中，矽酸鹽比例相對較低，故添加物多寡較為敏感。

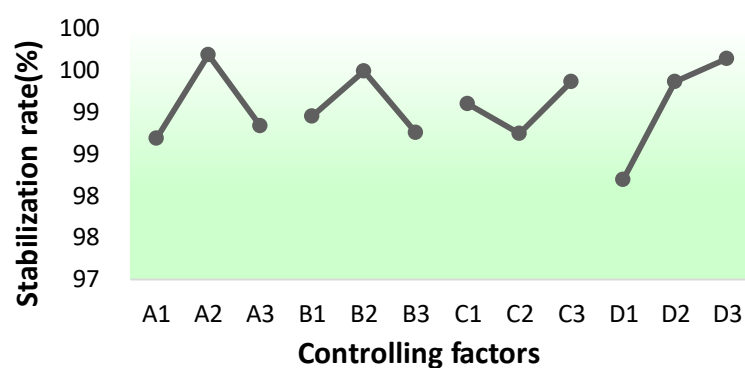


二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證

表 5-4 真實污染農地土壤玻璃化檢測結果

組別	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
BK	ND	ND	11.9	7457.7	ND	15.3	17.3	19169.33
1	0.6	ND	7.8	171.7	ND	9.5	214.4	5890.8
2	ND	ND	8.1	69.7	ND	9.2	ND	233.3
3	ND	ND	11.7	56.7	ND	10.5	ND	633.5
4	ND	ND	ND	14.2	ND	3.8	ND	80.6
5	6.3	ND	21.4	36.5	ND	13.2	ND	478.2
6	ND	ND	ND	24.4	ND	3.9	ND	12.9
7	7.4	ND	23.9	47.2	ND	48.8	ND	406.0
8	ND	ND	ND	10.8	ND	18.1	ND	43.1
9	ND	ND	5.3	234.6	ND	8.1	18.8	417.9

(a)



(b)

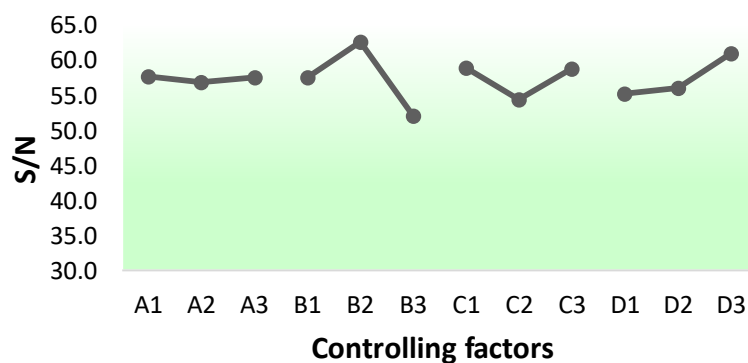
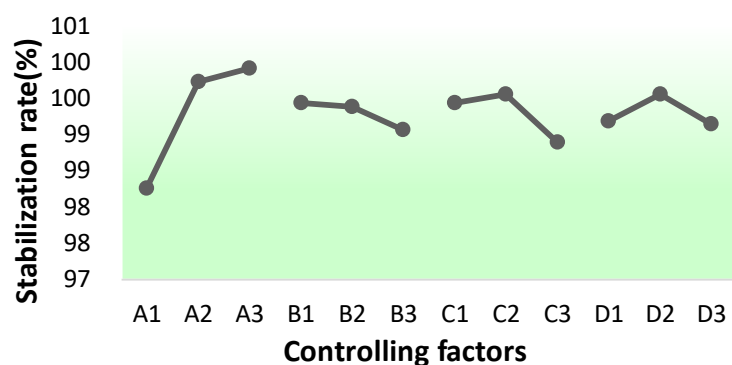


圖 5-2 真實污染土壤玻璃化後銅之因子反應圖(a)及信噪比(b)



(a)



(b)

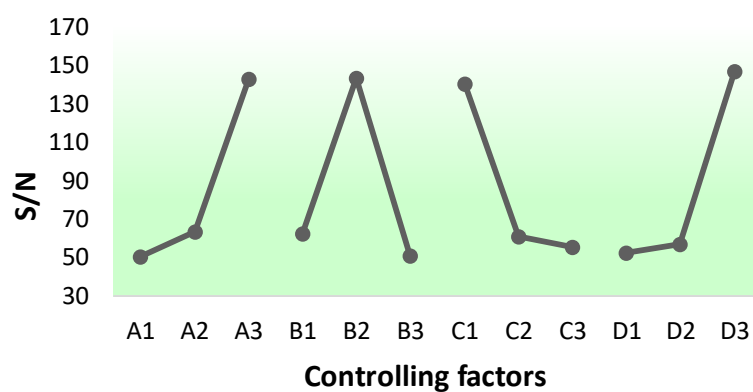


圖 5-3 真實污染土壤玻璃化後鋅之因子反應圖(a)及信噪比(b)

表 5-5 真實污染農地土壤玻璃化檢測與法規比較

組別	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
1	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	N
2	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
3	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N
4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N
6	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
7	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
8	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
9	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y

註：Y 代表符合法規，N 表示未通過。

將處理效果進行比較，以 $1-C/C_0$ 為安定率 (stabilization rate) 進行計算，可知第 8 組之處理效果最佳 (平均安定率為 99.9%)，第 4 組及第 6 組分居第 2 及第 3 (平均安定率為 95.9% 及 95.7%)，但後二者之處理效果明顯較低。第 8 組之處理



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

條件為 1600°C、含水率 20%、添加物濃度低及定溫時間為 120 sec，可見加熱溫度高及定溫時間較久之情況下，即使含水率中等及添加物濃度不高均可以進行有效之玻璃化，針對工程師坐而言，代表可無須調整含水率及可能無須添加玻璃化助劑，信噪比高代表其可信度高。

5.2.2 玻璃化空氣採樣分析：經分析後結果如表 5-6 所示。由於本計畫玻璃化之污染土壤中可能同時含有其他有機物，且以石墨作為加熱媒介，曾有期刊審查者質疑是否會產生微量之戴奧辛，故本研究也針對加熱過程中進行空氣中粒狀污染物之收集，但因檢測費用昂貴且為避免濃度過低未能檢出，故收集連續三個樣品於加熱過程中上方空氣中之粒狀物質，並與一空白樣品一同送樣，經檢測後發現總量為 3.69 I-TEQ-pg，而收集空氣體積為 13.5 liter，經過換算為 273 I-TEQ-pg/S m³ (20°C)，在經過空氣溫度校正計算，三樣品總和之濃度為 298 ITEQ-pg/N m³ (0°C 下)，個別樣品平均為 99 ITEQ-pg/N m³，與現行固定污染源戴奧辛排放標準（95 年 01 月 02 日）比較（表 5-7），不論是既設與新設污染源排放標準，本方法均可符合。

表 5-6 空氣採樣類 Dioxin 物質之分析結果

化合物名稱	ITEQ pg	化合物名稱	ITEQ pg
2,3,7,8-TeCDF	0.060	OCDF	0.006
1,2,3,7,8-PeCDF	0.060	2,3,7,8-TeCDD	0.100
2,3,4,7,8-PeCDF	0.500	1,2,3,7,8-PeCDD	0.900
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.260	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.070
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.290	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.220
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.280	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.390
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.420	1,2,3,4,6,7,8-HxCDD	0.042
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.057	OCDD	0.012
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.019		
總和			3.69

表 5-7 空氣採樣類 Dioxin 物質結果與法規比較

項目	濃度	單位
三樣品之總量	273	ITEQ-pg/S m ³
室溫校正計算	298	ITEQ-pg/N m ³
單樣品	91	ITEQ-pg/S m ³
室溫校正計算	99	ITEQ-pg/N m ³
既設污染源排放標準	1000	ITEQ-pg/N m ³
新設污染源排放標準	500	ITEQ-pg/N m ³



5.3. 土壤中有機物污染之現地相反轉及生物分解

本計畫第三項主要工作項目為針對土壤中 DDT 與 γ -HCH 進行現地相反轉及生物分解試驗，以下分為土壤粒徑分析、重金屬濃度檢測、批次降解實驗，依序說明。

5.3.1. 粒徑分選：因需配製模擬土壤做後續實驗，故至新竹地區進行未受污染農地之土壤取樣，樣品取自新竹之農地土壤，在進行實驗前，先將土壤進行重金屬檢測及粒徑分析，重金屬檢測是為避免因重金屬濃度過高導致微生物之降解能力受到抑制，粒徑分析則是進行模擬土壤配製，必須有一現地土壤之粒徑分布做為參考。故將土壤樣品先烘乾後再進行篩選，該土壤樣品之粒徑分布如表 5-8 所示，粒徑分布圖如圖 5-4 所示。由實際篩分結果可知，其中大部分仍為砂粒，約佔 60.5%。

表 5-8 未污染農地土壤粒徑分析結果

Mesh	第 1 次篩分	第 2 次篩分	第 3 次篩分	平均
40#以上	40.5	22.3	17.2	26.7
40-60#	11.6	12.7	13.2	12.5
60-140#	14.1	16.7	19.4	16.8
140-200#	6.5	4.7	2.6	4.6
200#以下	27.3	43.7	47.5	39.5
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

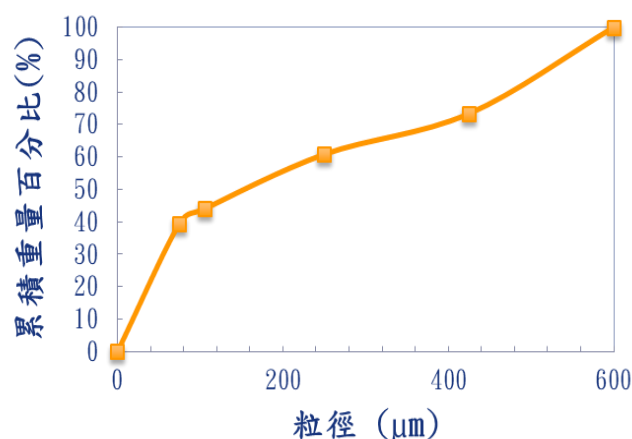


圖 5-4 未污染農地之土壤粒徑分布圖



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

- 5.3.2. 未污染農地土壤重金屬檢測：將採樣所得之未污染農地土壤進行重金屬檢測分析，其結果如表 5-9 所示，所有項目均遠低於管制值。在第二階段進行真實農地土壤將以此土壤作為摻配用土壤，可確保不會受到重金屬之干擾，目前已商請該地主預留一部份土壤供第 2 年計畫使用，本計畫研究團隊業於 9 月再次到新竹就次年計畫所需用之農地土壤再回，目前已經開始籌備次年計畫所需之藥品及小型砂箱等設備。
- 5.3.3. DDT 生物降解批次實驗：實驗組為 9 組 2 重複共 18 個樣品， γ -HCH 同樣為 18 個樣品，並添加模擬土壤以及有機質後，將先前馴養完成之 DDT 以及 γ -HCH 分解菌液加入，加入前確定其最終總菌數達 10^5 cells/mL 以上，將完成植種之培養基與乳化液進行混合，最終再依含水率比例加入廣口瓶中。使用 pH 計調整 pH 值分別為 5.5、7.0 及 8.5 後，確定 9 組實驗組之環境條件後，加入已經溶於甲醇的 DDT 與 γ -HCH，使其最終濃度分別為約 5.0 mg/kg 與 2.5 mg/kg，並於第 0、7、14、28 及 49 天採樣並分析污染物，並以 PCR-DGGE 檢測菌相，以了解及評估現地菌群降解潛力。9 組之實驗條件是依據田口方法進行實驗設計，各組之實驗條件如表 5-8 所示，共分含水率、有機質、乳化液及 pH 值 4 項控制因子。實驗前 DDT 及 γ -HCH 之總菌數計數結果分別為 7.7×10^6 及 9.3×10^6 cells/mL，經過控溫高速離心濃縮 10 倍並取 6.0 mL 加入 400.0 g 之土壤中，換算為 DDT 及 γ -HCH 之植種總菌數分別為 1.2×10^6 及 1.4×10^6 cells/g。批次生物降解實驗結果顯示 DDT 濃度變化情形，如圖 5-5 所示，DDT 生物降解批次實驗之降解速率常數與半生期如表 5-10。其中以第 8 組降解結果最佳，去除率可達 84.6%，由於部分組別並未降解，嘗試將移除為 0% 代入因子反應行統計分析可得含水率高之情況似乎較佳，乳化液、有機質與 pH 值以較低者較佳。DDT 之生物降解速率常數 k 及推算之半生期 ($t_{1/2}$) 如表 5-11 所示，由此表可見在前嘗試之高含水率、中等有機質、中等乳化液與較高 pH 值之情況下，生物降解速率常數 k 可達 0.038 d^{-1} ，半生期則為 18.3 d。目前較能夠找到之 DDT 生物降解速率相關文獻多與 fungi 有關，*Galactomyces geotrichum* 與 *Mucor circinelloides* 可在 10 天內於 30°C 下移除各約 85.1 至 95.3% 之 DDT，速率相當快(Purnomo et al., 2011)；而在細菌降解部分，文獻顯示為 6 天內約降解 57%，然後就持平不再下降(Kamanavalli and Ninnekar, 2004)。本研究之最佳組別第 8 組，可在 7 天內去除約 47%，14 天可去除約 60%，之後仍繼續降解至 88%(49 天)，可見本研究使用二仁溪底泥作為 DDT 降解之菌種來源是可行的。



表 5-9 未污染農地土壤重金屬檢測結果

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
土壤農地	ND	ND	21.2	7.8	ND	9.9	8.1	32.1
農地土壤管制標準 (mg/kg)	60	5	250	400	5	200	500	600
一般土地管制標準 (mg/kg)	60	20	250	400	20	200	2000	2000

表 5-10 土壤中 DDT 與 γ -HCH 生物降解批次實驗條件

組合	含水率(%)	有機質(%)	乳化液(%)	pH 值
1	5	0	0	5.5
2	5	0.1	1	7
3	5	1	10	8.5
4	15	0	1	8.5
5	15	0.1	10	5.5
6	15	1	0	7
7	25	0	10	7
8	25	0.1	1	8.5
9	25	1	0	5.5

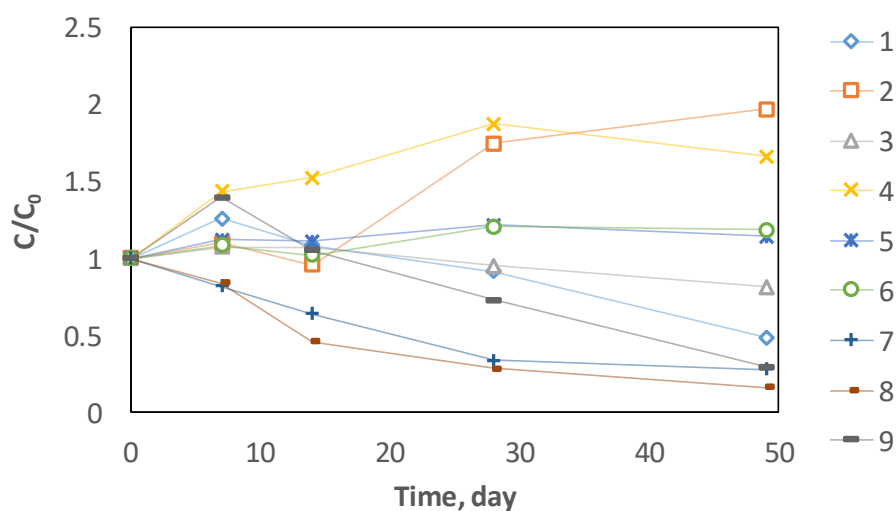


圖 5-5 DDT 批次降解實驗結果



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

表 5-11 DDT 生物降解批次實驗之降解速率常數與半生期

田口試驗組別	k (d ⁻¹)	t _{1/2} (d)
1	0.017	41.2
2	無法計算	無法計算
3	0.005	136.5
4	無法計算	無法計算
5	無法計算	無法計算
6	無法計算	無法計算
7	0.028	25.0
8	0.038	18.3
9	0.029	24.3

5.3.4 γ -HCH 批次生物降解實驗結果如圖 5-6 所示， γ -HCH 生物降解批次實驗之降解速率常數與半生期如表 5-12。其中仍以第 8 組降解結果最佳，49 天內去除率可達 99.5%，由於所有組別均有不同程度降解，就因子反應進行統計分析可得如圖 5-7 之因子反應圖，含水率愈高愈佳，其趨勢非常明顯，乳化液中等與有機質中等較佳，pH 值則是愈高愈佳，其趨勢也相當明確。與文獻中曾經嘗試於土壤中進行生物降解實驗之文獻比較如表 5-13 所示 (Camacho-Pérez et al., 2012)，由於文獻中之實驗均在較高濃度下進行，但一般環境中濃度多在 10 mg/kg 以下較常見，故本研究採用較接近實際環境之情況。一般生物降解實驗目標污染物濃度愈低，通常其降解愈慢；且本實驗為靜置並未進行旋轉混合攪拌，而文獻中之實驗均是在旋轉攪拌土壤泥漿下進行。但本研究之降解速率與文獻結果相較，並不遜色。

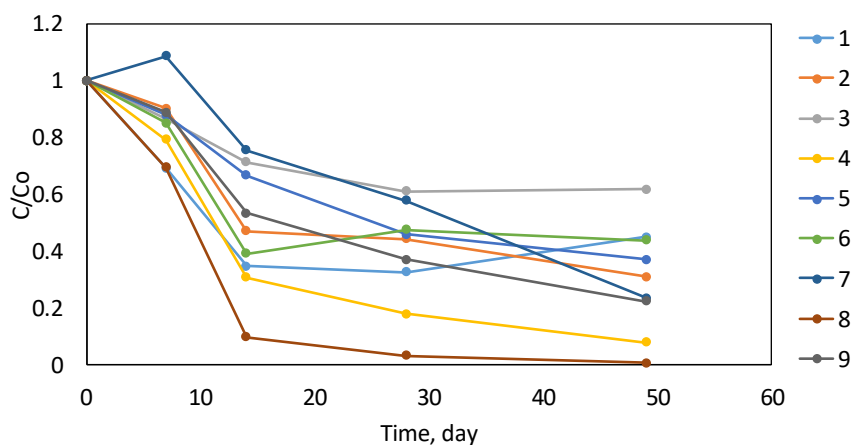


圖 5-6 Lindane 批次降解實驗結果

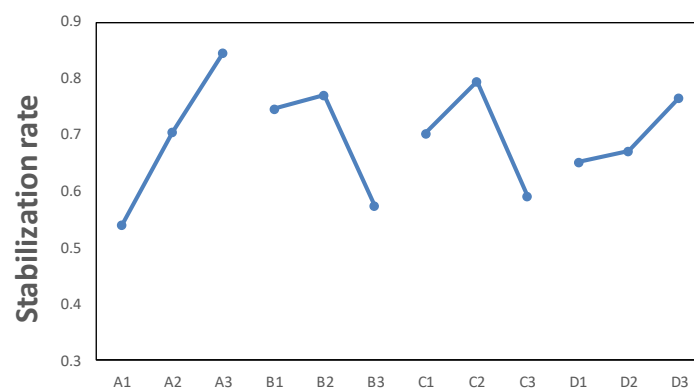


圖 5-7 Lindane 批次降解實驗因子反應圖

表 5-12 Lindane 生物降解批次實驗之降解速率常數與半生期

田口試驗組別	k (d ⁻¹)	t _{1/2} (d)
1	0.076	9.2
2	0.054	12.8
3	0.024	28.8
4	0.084	8.2
5	0.029	24.0
6	0.067	10.3
7	0.020	34.5
8	0.167	3.2
9	0.045	15.4

表 5-13 Lindane 生物降解之比較

菌種/菌株	好氧/厭氧	起始濃度	去除情況	半生期	參考文獻
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ITRC-5	好氧	2000 mg/kg	98% in 15 days	約 2.65 天	Manickam et al. (2008)
<i>Microbacterium</i> sp. ITCR 1	好氧	200 mg/kg	96% in 28 days	約 6.02 天	Manickam et al. (2006)
馴養菌群	好氧	100 mg/L	86% in 30 days	約 10.6 天	Robles-Gonzalez et al. (2008)
粒狀汙泥	厭氧	4.1 mg/kg	95% in 2 week	約 3.2 天	Baczynski et al. (2010)
馴養菌群	厭氧	100 mg/kg	88% in 30 days	約 9.8 天	Robles-Gonzalez et al. (2008)
馴養菌群	厭氧	100 mg/kg	47% in 30 days	約 32.8 天	Robles-Gonzalez et al. (2008)
馴養菌群	厭氧	2.5 mg/kg	95% in 14 days	3.2 天	本研究



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

5.3.5 PCR-DGGE 分析：在完成批次實驗後，隨即進行犧牲採樣，將 9 組之土壤進行 DNA 萃取及 PCR，在將 PCR 產品進行 DGGE 分離，得到如圖 5-8 與 5-9 之 DGGE 之圖譜，經過切膠回溶並在進行 PCR 及純化後確認為單一亮帶才送外界廠商進行定序，其結果如表 5-14 所示。

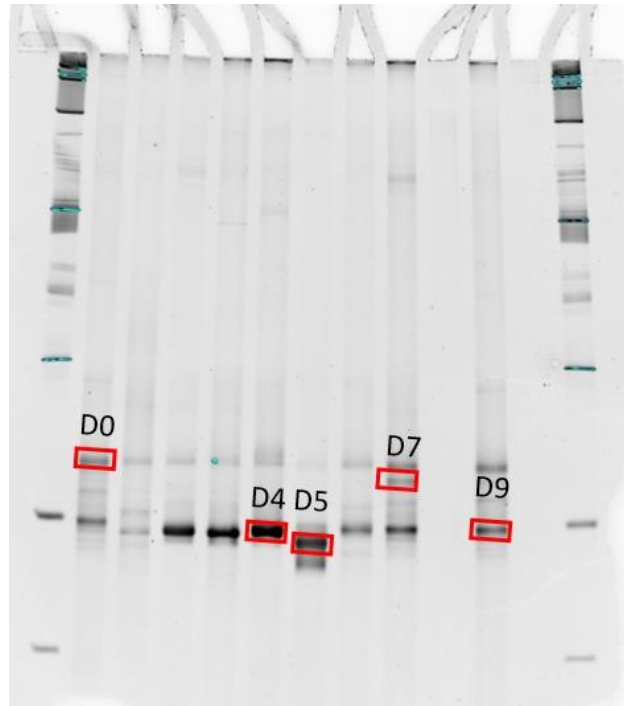


圖 5-8 DDT 之 PCR-DGGE 結果圖

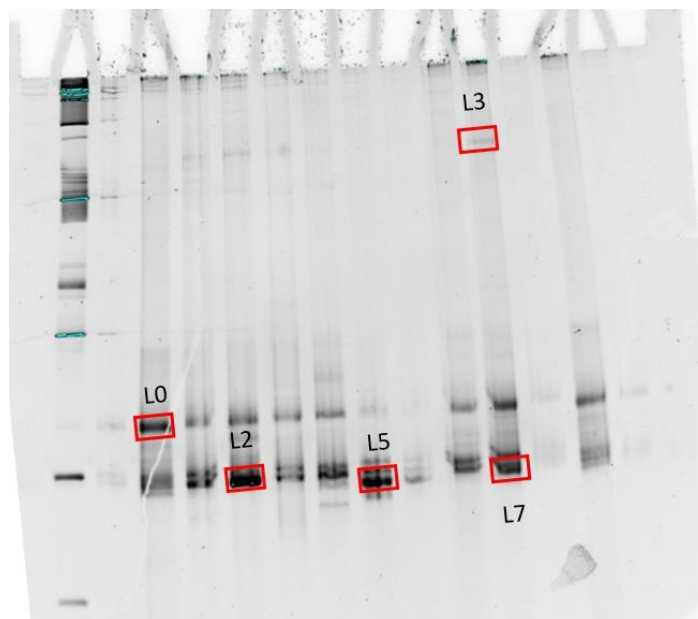


圖 5-9 Lindane 之 PCR-DGGE 結果圖



D 與 L 開頭之編號代表是 DDT 與 Lindane 之 PCR-DGGE 之 DNA 亮帶，綜觀所有亮帶中，僅有 D4、D9、及 L5 之 identity 達到 99%，可視為是同一種菌，達到 97% 的只有 L2，可視為是一屬之菌種，以下即針對此四種菌種進行討論，整體之 identity 如此低，也可證實所使用之二仁溪底泥中之菌種和目前國外研究之菌種可能差異相當大，值得進一步探討。*Pseudomonas stutzeri* 曾被報導可分泌出 Toluene/o-xylene monooxygenase 而能夠有效降解三氯乙烯、1,1-二氯乙烯、氯仿、多環芳香烴中三環之菲(Chauhan et al., 1998; Grimberg et al., 1996)，但並無此菌種可降解 DDT 之報導；但有文獻提到未能鑑別之 *Pseudomonas* sp. 可以將 DDT 降解(Kamanavalli and Ninnekar, 2004)。*Stenotrophomonas pavanii* 曾被學者由有機栽種之甘蔗中分離出來，是能夠行固氮作用之格蘭氏陰性桿菌(Ramos et al., 2011)，但其他記載相當稀少。曾有學者報導同一屬之 *Stenotrophomonas* sp. DDT-1 菌株可將 DDT 作為唯一碳源及能量來源，並可在 20 天內降解濃度約 1.0 mg/L 之 DDT 將近 80%(Pan et al., 2016)；也學者報導海洋底泥中微生物可在厭氧條件下代謝 DDT (Yu et al., 2011)，這些菌種之環境與二仁溪底泥高度相似。因為本研究之菌種來自於二仁溪之感潮河段，水中鹽度可達海水鹽度之 50%。*Burkholderia ambifaria* 係屬 *Burkholderia cepacia complex* 菌群之一，屬好氧菌，*Burkholderia cepacia* GG4 菌株曾被報導可降解戴奧辛，該菌種也曾被報導可降解 DDT(Javid et al., 2016)。有此看來，有效降解 DDT 與 Lindane 菌種可能好氧與厭氧均可能，且本研究之環境介質為土壤，本就應該有好氧及厭氧環境併存，並非如底泥中幾乎均為厭氧環境且多以厭氧還原脫氯為主，故應屬正常情況。

此部分因 DGGE 圖譜以目視之解析能力有限，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（見圖 5-7）。但為確認其差異，比較 lindane 與 DDT 之降解效果後針對結果較佳之 lindane 之資料進行統計分析，先將 DGGE 圖譜以 ImageJ 進行每一條條帶（lane）之色層分析，可將單一條帶分割為 256 channel 之後進行灰階分析（強度為 0 至數萬），進行影像色層分析後，將每一條條帶之 256 個不同位置之亮度轉換為數字後，再以統計軟體 SPSS 進行群集分析，可得圖 5-10 左側之樹狀圖結果，再將原始條帶以 ImageJ 進行截取與樹狀圖結合為圖 5-10。由此圖可見第 1、2、3 組相似度甚高，節點位置為實際計算所得相似度位置，即分支之長度愈短



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

代表相似度愈高。因此，可至第 1、2、3、4、5、9 組菌相與原始菌相較接近；而第 6、7、8 組與原始菌相之相似度較低；由於 1% 乳化液添加量組別為第 2、4、8 組，而相似度分析結果顯示，與原先實驗前菌相之相似度各有不同，第 2 及第 4 組與實驗前菌相之相似程度與第 1、3、5、9 組類似而第 8 組則與各組之相似度均相當低，所以 1% 乳化液加量應該不是導致菌相大幅變化之主因；反而由第 6、7、8 組之條件看來，含水率偏高以及 pH 值中性偏鹼較可能是造成菌相較大變化之原因。

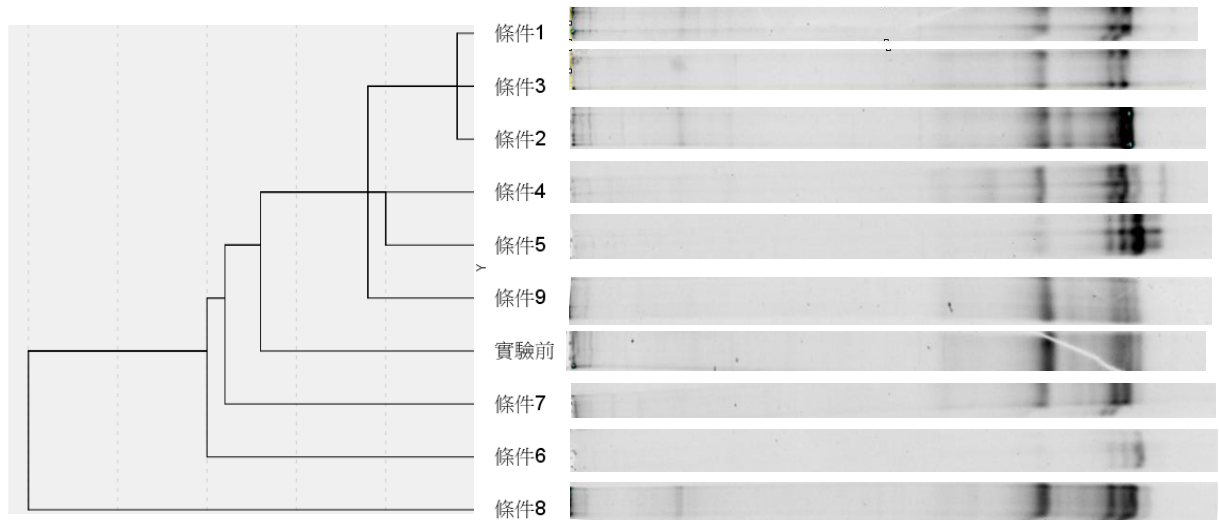


圖 5-10 Lindane 之 PCR-DGGE 經 SPSS 群集分析結果圖

表 5-14 DDT 與 Lindane 之 PCR-DGGE 定序結果

亮帶編號	描述	鑑定
D0	<i>Pseudomonas stutzeri</i> strain ATCC 17588	87%
D4	<i>Stenotrophomonas pavanii</i> strain LMG 25348	99%
D5	<i>Stenotrophomonas pavanii</i> strain LMG 25348	92%
D7	<i>Quatrionicoccus australiensis</i> strain Ben 117	79%
D9	<i>Pseudomonas stutzeri</i> strain ATCC 17588	99%
L0	<i>Pseudomonas stutzeri</i> strain ATCC 17588	90%
L2	<i>Stenotrophomonas pavanii</i> strain LMG 25348	98%
L2+	<i>Halanaerobium kushneri</i> strain ATCC 700103	76%
L5	<i>Burkholderia ambifaria</i> strain AMMD	99%
L7	<i>Vampirovibrio chlorellavorus</i> strain ICPB 3707	84%

5.4. 污染底泥之多次相反轉及生物分解

5.4.1 生物分解批次實驗：本計畫也針對污染底泥中 Aroclor 1254 與 HCB 進行



結合現地多次相反轉及生物分解之研究。首先進行批次生物降解實驗，此部分也是依照田口方法進行實驗設計，其實驗條件如表 5-15 所示。

表 5-15 底泥中 Aroclor 1254 與 HCB 生物降解批次實驗條件

組別	有機質%	乳化液%	pH	溫度
1	1	0	5.5	30
2	1	1	7	20
3	1	10	8.5	10
4	3	0	7	10
5	3	1	8.5	30
6	3	10	5.5	20
7	10	0	8.5	20
8	10	1	5.5	10
9	10	10	7	30

圖 5-11 中以污染物之殘留率(C/C_0)對時間作圖，發現在第 7 天的時間點兩種污染物的濃度在 PCB-6、PCB-7、PCB-9 與 HCB-5、HCB-6、HCB-7 有些微上升，推測是有機質含量較高而吸附土壤溶液中 Aroclor1254 與 HCB 導致採樣時容易誤差以及樣品前處理時過淨化管柱之效率稍差所致。而在第 42 天時間點 Aroclor1254 組別中的 PCB-2、PCB-8 與 HCB 組別中的 HCB-4、HCB-8，去除率分別為 56.1%、59.2%與 98.3%、94.2%，兩者對污染物的降解皆有良好的表現。但整體而言，HCB 組別的降解效果較 Aroclor1254 組別為高，可以應證歷年二仁溪採樣分析結果，Aroclor1254 在底泥環境中有較高的持久性，至今仍能測得相當高之濃度；而 HCB 之濃度通常會低一個數量級。

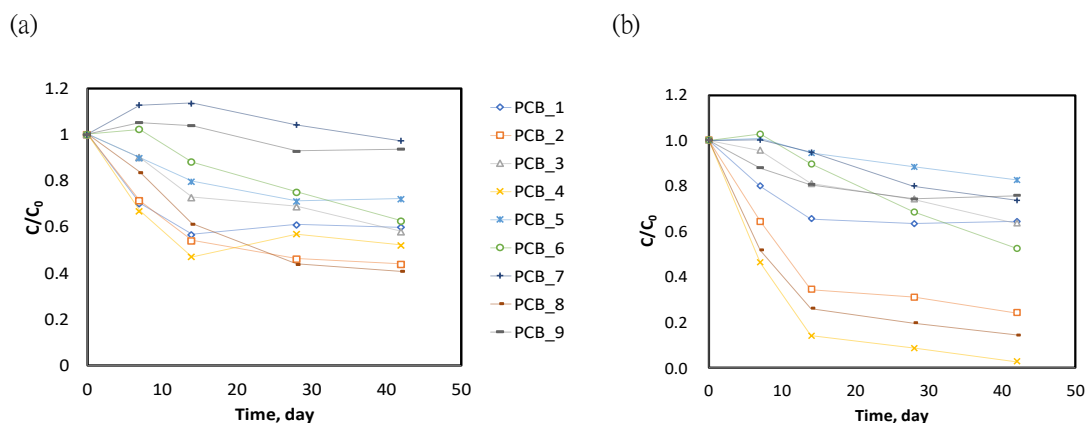


圖 5-11 田口批次實驗(a) Aroclor1254 與 (b)HCB 降解情形



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

圖 5-12 為控制因子對底泥中 Aroclor1254 與 HCB 降解趨勢的影響，在過去文獻中提到脫鹵菌群降解氯化有機污染物的最佳條件為 30°C 至 35°C 之間，與本實驗結果相當一致(Chang et al., 1997; Hu et al., 2013; Sung et al., 2006)，不過在 Aroclor1254 組別中溫度的影響並沒 HCB 組別來得顯著，將進一步探討菌群的組成；pH 的影響在 Aroclor1254 與 HCB 分別是在 pH 5.5 與 pH 7.0 的降解效果較佳；而在兩組實驗中發現當乳化液的添加量為 1.0%時對污染物的降解有較好的效果，過高或過低可能有負面影響。綜和兩者之因子反應，可能以中等有機質含量(3.0%)、中等乳化液濃度(1.0%)、pH 值 5.5-7 及 30°C 較適合同時受到 Aroclor 1254 與 HCB 污染之底泥，就如同目前二仁溪之情況。故實際進行模場試驗時，應監測這些環境因子，確保在相對較佳之情況下進行。實驗期間，也針對實驗開始、中期與結束進行總菌數計數，結果如圖 5-13 所示。將總菌數之結果與圖 5-11 之污染物移除效果互相比對，可發現菌數較多者通常降解效果較佳，較少者通常降解效果較差。

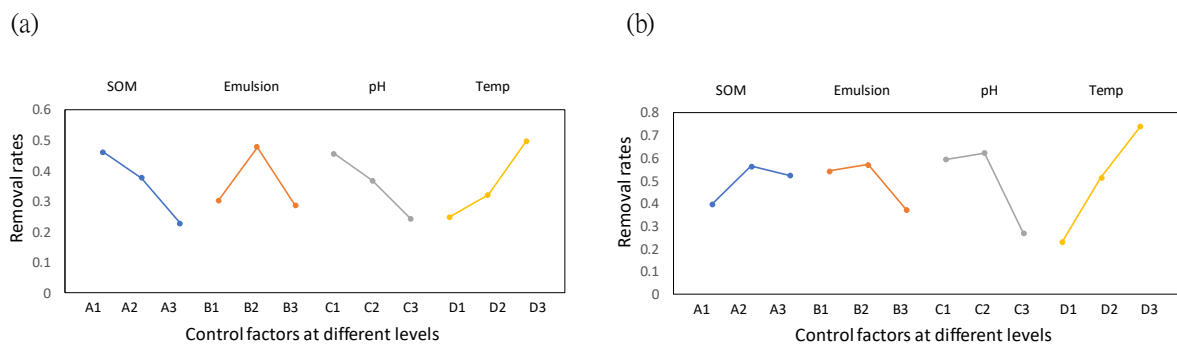


圖 5-12 田口批次實驗 Aroclor1254(a)與 HCB(b)之因子反應圖

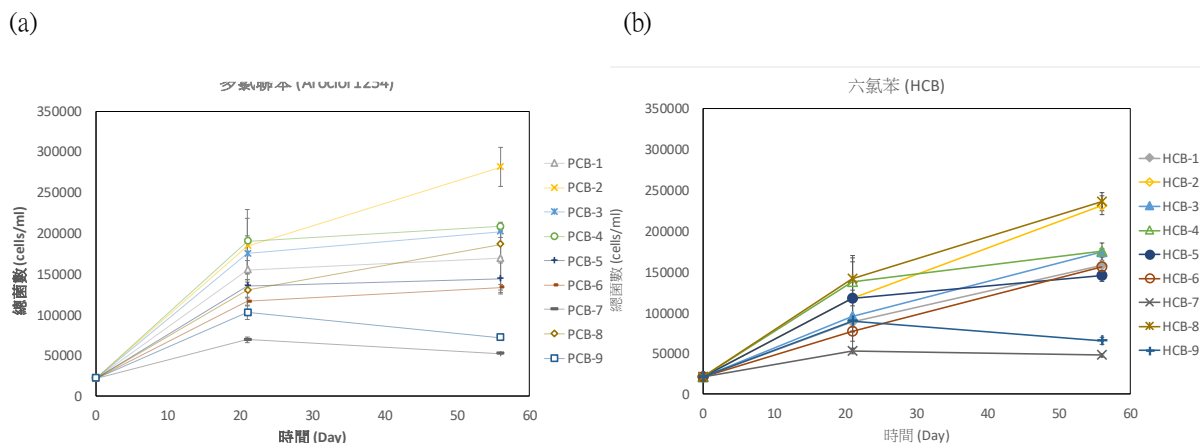


圖 5-13 田口批次實驗中 Aroclor1254(a)與 HCB(b)之總菌數計數結果



5.4.2 PCR-DGGE 分析：在完成批次實驗後，隨即進行犧牲採樣，將兩種污染物各 9 組之土壤進行 DNA 萃取及 PCR，再將 PCR 產品進行 DGGE 分離，得到如圖 5-14 與 5-15 之 DGGE 之圖譜，經過切膠回溶並在進行 PCR 及純化後確認為單一亮帶後，才送外界廠商進行定序，其結果如表 5-16 所示。

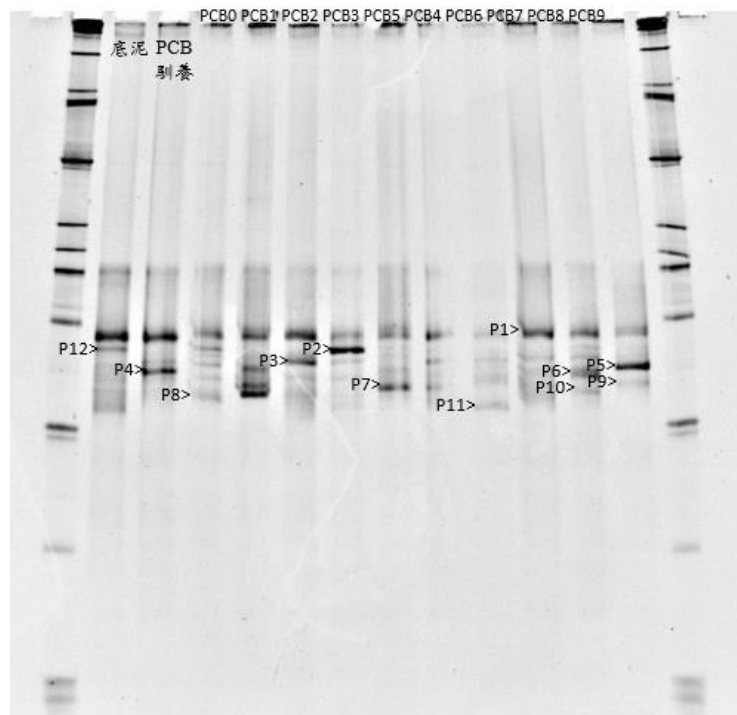


圖 5-14 Aroclor1254 之 PCR-DGGE 結果圖

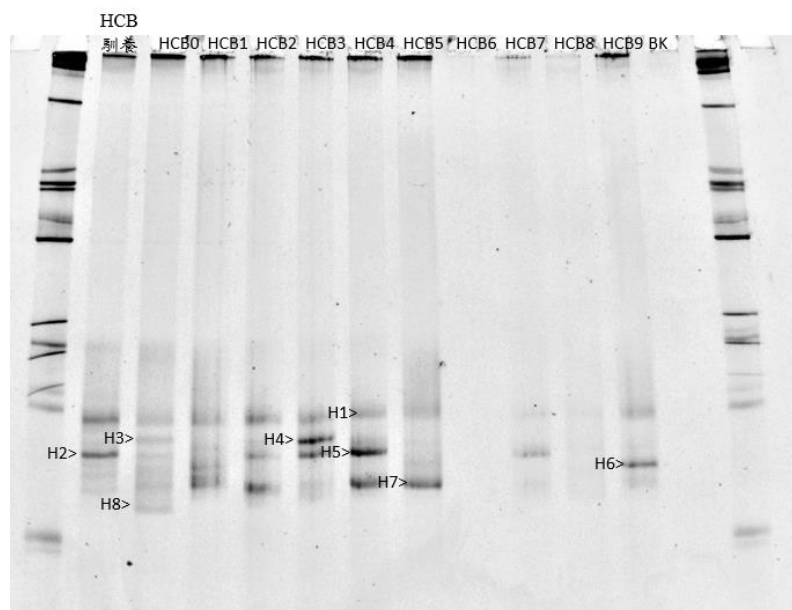


圖 5-15 HCB 之 PCR-DGGE 結果圖



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

表 5-16 Aroclor 1254 與 HCB 之 PCR-DGGE 定序結果

編號	描述	鑑定
P2	<i>Anaerotignum aminivorans</i> strain SH021	85%
P3	<i>Acetobacterium malicum</i> strain DSM 4132	97%
	<i>Acetobacterium fimetarium</i> strain DSM 8238	97%
P4	<i>Vibrio fluvialis</i> strain NCTC 11327	100%
P5	<i>Lysinibacillus cresolivorans</i> strain SC03	99%
P6	<i>Limisphaera ngatamarikiensis</i> strain NGM72.4	85%
P7	<i>Lysinibacillus chungkukjangi</i> strain C9	99%
P8	<i>Fermentimonas caenicola</i> strain ING2-E5B	93%
	<i>Lascolabacillus massiliensis</i> strain SIT8	93%
	<i>Lysinibacillus odysseyi</i> strain NBRC 100172	86%
P9	<i>Bacillus cecembensis</i> strain PN5	86%
	<i>Planococcus halocryophilus</i> strain Or1	86%
	<i>Lysinibacillus odysseyi</i> strain 34hs1	86%
P10	<i>Desulfotomaculum thermosapovorans</i> strain DSM 6562 1	86%
	<i>Moorella humiferrea</i> strain 64-FGQ	85%
P11	<i>Christensenella minuta</i> strain YIT 12065	90%
H1	<i>Paenibacillus campinasensis</i> strain JCM 11200	87%
	<i>Paenibacillus campinasensis</i> strain 324	87%
H2	<i>Clostridium dakareense</i> strain FF1	99%
	<i>Romboutsia lituseburensis</i> strain ATCC 25759	99%
H3	<i>Lutispora thermophila</i> strain EBR46	94%
H4	<i>Anaerotignum aminivorans</i> strain SH021	85%
H5	<i>Acetobacterium malicum</i> strain DSM 4132	97%
H6	<i>Lysinibacillus cresolivorans</i> strain SC03	99%
	<i>Lysinibacillus chungkukjangi</i> strain C9	84%
H7	<i>Bacillus cecembensis</i> strain PN5	84%
	<i>Bacillus ndiopicus</i> strain FF3	84%
H8	[<i>Clostridium</i>] <i>thermosuccinogenes</i> strain DSM 5807	90%
	<i>Pseudobacteroides cellulosolvens</i> strain ATCC 35603	90%

表 5-16 中編號以 P 該頭代表 PCB，以 H 開頭代表 HCB，由 PCR-DGGE 結果看來，大部分菌群經過資料庫比對，其相似度仍非常低，在 18 個定序之 DNA 片段中，僅有 3 個 DNA 片段可以確定是與資料庫所記載之菌種為同一種，另有 2 種可確定是與核對出菌種是同一屬。其中 *Vibrio fluvialis* 是唯一 100% 吻合者，此菌種最近被學者視為是新興之致病菌，可能與近來愈來愈頻繁之海邊戲水而罹患腹瀉等腸胃癌有關 (Ramamurthy et al., 2014)。雖然文獻中並無 *Vibrio fluvialis* 能夠降解 PCBs



之記載；但最近學者曾經報導一可存活於硫酸鹽還原（sulfate-reducing）環境下之 *Vibrio* sp. 可以有效地催化兩相鄰氯化（double flanked）之 PCBs (Wu et al., 2002)。由於本研究在二仁溪與三爺溪匯流處取得底泥樣品，該處為感潮河段，故極可能適合此種菌種生存且能夠降解兩相鄰氯化（double flanked）之 PCBs。*Lysinibacillus chungkukjangi* 是 2013 年發現之新菌種，屬格蘭氏陽性之好氧菌，可形成內孢子，目前相關研究非常少，本來是在韓國黃豆發酵食品中發現(Kim et al., 2013)，近來發現此菌可在米糠尚存活並分泌生物界面活性劑（biosurfactant）(Bhardwaj et al., 2016)，但直到目前，尚未有任何有關降解污染物之研究。*Clostridium dakareense* 是 2013 年確認分離之絕對厭氧菌，格蘭氏陽性桿菌，可生成內孢子(Lo et al., 2013)，目前尚無任何有關污染物降解之文獻。*Romboutsia lituseburensis* 與 *Clostridium dakareense* 之基因序列相似度非常高(Galperin et al., 2016)，目前尚無任何有關 HCB 降解之文獻。*Lysinibacillus cresolivorans* 則是 2015 年發現之菌種，是格蘭氏陽性之桿菌，厭氧兼性菌，可形成內孢子，是在中國一焦化場之好氧污泥中發現(Ren et al., 2015)。其次就是 97% identity 的 *Acetobacterium* spp.，目前文獻中曾經報導 *Acetobacterium woodii* 可行好氧之去鹵化，早期研究多著重於此菌種可以有效地將四氯化碳降解為二氯甲烷與二氧化碳(Egli et al., 1988; Poehlein et al., 2012)。近來似乎均尚未有關 *Acetobacterium* 在 PCB 與 HCB 污染整治領域之報導。不過，由這些能夠較為確定菌種之 DNA 片段看來，好氧、厭氧與厭氧兼性菌均有，而且大多為內孢子生成菌。

5.4.3 管柱實驗：經過批次降解實驗後，在管柱中進行真實底泥裝填，並進行實驗室內之高低溫相反轉回收測試與乳化液回收後之生物降解試驗，說明如下。

5.4.3.1 高低溫相反轉回收測試：由於前一年之相反轉測試是在 80°C 以上之高溫下進行，此種高溫相反轉作業在現場進行相當危險且耗能較多，故嘗試在較低溫度下進行，測試其可行性。H 代表高溫，L 代表低溫，阿拉伯數字代表所進行高低溫循環次數，由測試結果看來(圖 5-16)，低溫與高溫無顯著差別，一次相反轉與多次向反轉也無明顯差別，故現地將可直接利用低溫單次相反轉即可。由於底泥中風化之 HCB 濃度甚低，部分自開始時即無法測得濃度，故僅進行添加組之測試，其結果與 PCB 回收類似，低溫與高溫並無顯著差異，故現地也是直接利用低溫單次相反轉即可。



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

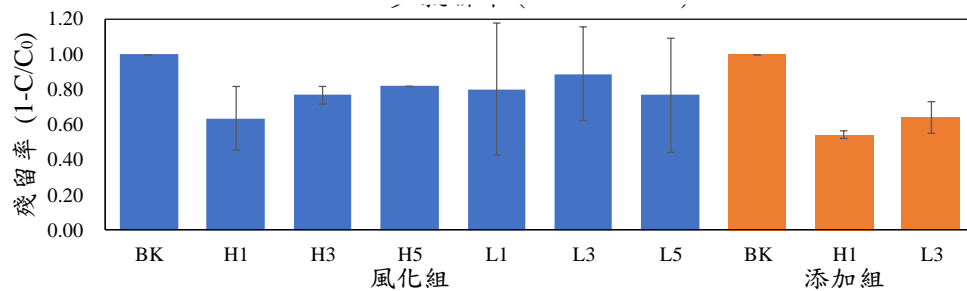


圖 5-16 Aroclor1254 之相反轉測試

5.4.3.2 回收後之生物降解試驗：回收後之生物降解試驗結果如圖 5-17 及 5-18 所示。目前已經進行到第 5 周，採樣分析完成第 7 周。目前不論 Aroclor 1254 或是 HCB 濃度在初期均有上揚之情況，此與過去之檢測分析情況類似。成濃度上揚之原因有三：一為單次回收率問題，造成數據有高低起伏之情況，此部分經過審視所有監測分析之擬似標準品回收率後可發現平均回收率為風化之 Aroclor 1254 之五次採樣分析之回收率分別為 $94.6 \pm 4.0\%$ 、 $92.8 \pm 5.0\%$ 、 $85.4 \pm 5.4\%$ 、 $91.0 \pm 7.7\%$ 、 $89.9 \pm 7.3\%$ ；添加組之 Aroclor 1254 之五次採樣分析之回收率分別為 $83.8 \pm 23.6\%$ 、 $94.2 \pm 3.6\%$ 、 $78.7 \pm 11.7\%$ 、 $88.8 \pm 5.5\%$ 、 $94.4 \pm 8.0\%$ ，雖然回收率有起伏，但應不致造成明顯上揚之情況；一為實驗初期乳化液濃度過高造成前處理困難，不易有效萃取清除底泥中其他氯化有機物，故風化組濃度相對較低，較容易受底泥中其他物質干擾，添加組則因另外添加較高濃度污染物，析對較容易檢測分析（見圖 5-17a 與 5-17b）；另一項原因則是通常前 4 周因原本高度氯化之同源物（congeners）分解成將低氯數同源物所致。因為依據標準方法，多氯聯苯濃度是以最高之 5 個波峰進行面積積分所得，在厭氧情況下，通常高氯數同源物降解速度較低氯數快，故當高氯數同源物降解為較低氯數同源物，而低氯數同源物未能迅速降解而累積時，就會造成波峰變大，導致計算濃度變高之情況。此種情況導致 Aroclor 1254 上揚之情況較 HCB 更嚴重，此可由圖 5-17 及 5-18 之差異看出。而實際生物分解情況仍待後續情況演變才能定論。

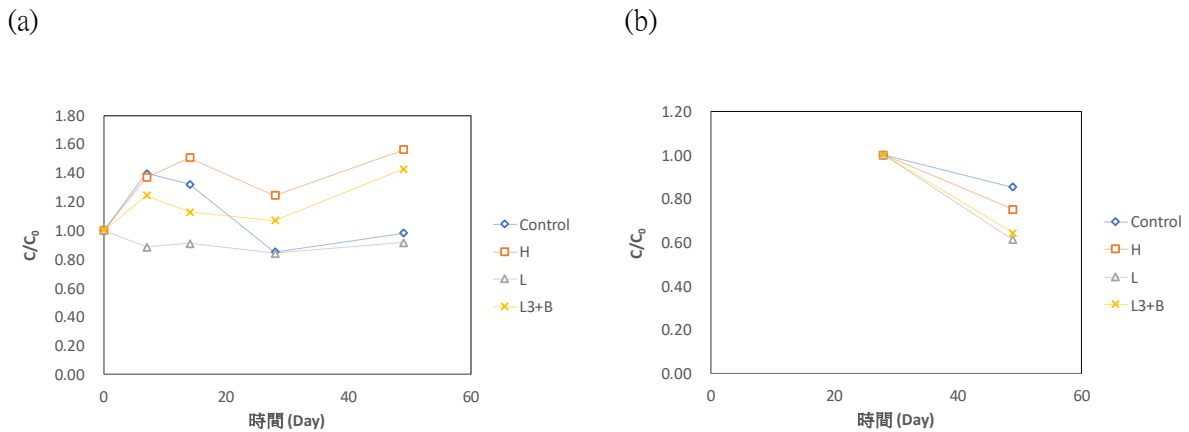


圖 5-17 風化(a)與添加(b)之 Aroclor1254 管柱實驗之相反轉後生物降解測試

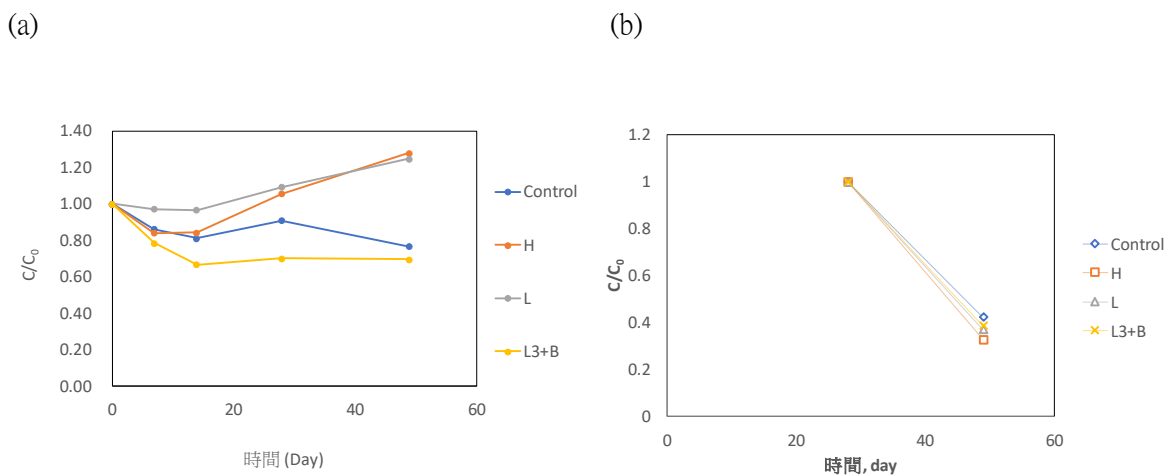


圖 5-18 風化(a)與添加(b)之 HCB 管柱實驗之相反轉後生物降解測試

5.4.3.3 自動加溫設備製作：本設備由協同計畫主持人蘇武昌老師團隊協助完成，由 Arduino 微電腦、電路板（如圖 5-19）、感應線圈、溫度感應器與一個 12V 電池等（組合完成如圖 5-20 所示）。電路板之訂製規格為 EmbPCB 訂製規格 PCB 板層為二層、PCB 板長為 10 mm、PCB 板寬為 10 mm、PCB 板厚為 1.6mm、表面處理為有鉛噴錫、防焊層顏色為綠色、文字印刷白色、銅厚為 1 oz(35 μ m)。電子零件為 MOSFET IRF540N POWER MOSFET 共 4 個、型號 WIMA MKS 400VAC 0.33 μ ff 非極性電容 2 個、10K 電阻共 2 個 (1/4 W)、220 歐姆電阻 2 個(1/4 W)、30 圈電感 1 個（外徑 30 mm，內徑 18 mm）、寬度 13 mm 鐵粉芯 2 個、UF4007 二極體共 2 個、IN821 二極體共 2 個(替代型號：6.2 V,1 W)、厚漆包線 1.2 mm 共 2 個、中空銅管 5 mm、PCB CONNECTORS(INPUT)1 個。目前，此設備已經可亦將線圈內之管柱進行有效控溫於 50-80°C 之間達 2.0 小時之久，針對低溫多次相反轉所需已經足夠。



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

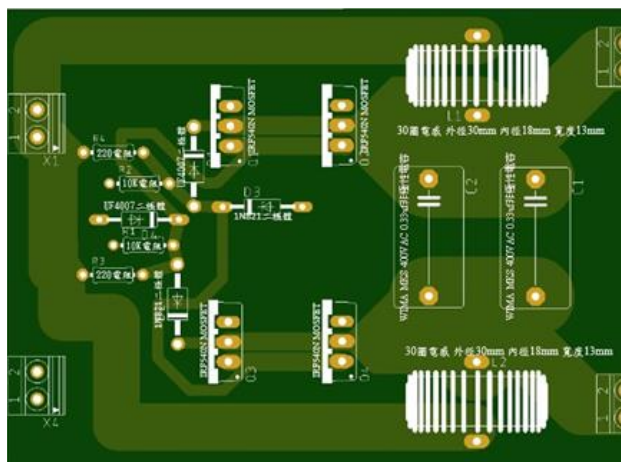


圖 5-19 用於溫度自動控制之電路板

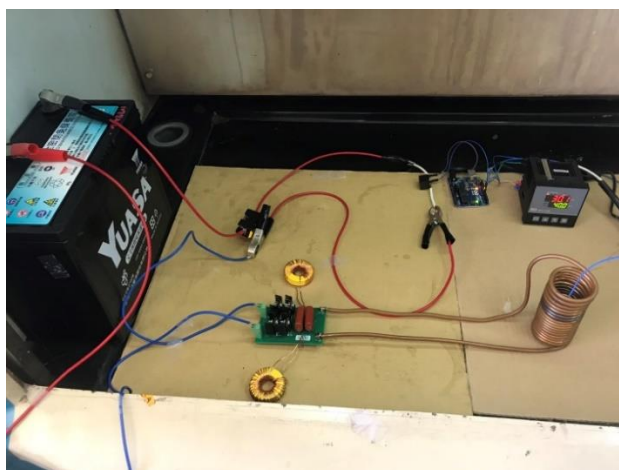


圖 5-20 整體設備組合完成之相片

5.5. 底泥中戴奧辛相反轉及生物分解

5.5.1 樣品製備：本計畫也進行模擬底泥中戴奧辛之生物降解批次實驗及管柱實驗，由於本實驗室目前無法進行戴奧辛之檢測分析，故底泥摻配之測試階段是由環檢所陳元武科長代為檢測，非常感謝陳科長在百忙之中撥冗協助。待底泥摻配確認可行之後，實際實驗部分之菌種馴養、生物降解實驗、採樣及前處理（萃取、濃縮、淨化、再濃縮等）於本實驗室進行，樣品檢測分析則是委託屏東科技大學（以下簡稱屏科大）謝季瑩老師協助。此部分由於謝老師之 GC-triple quadrupole MS 儀器安裝及測試時間較長，故於期中報告初稿繳交前尚無法開始進行批次降解實驗，目前隨然已經完成第 1 次



批次實驗並已經進行第 2 次批次實驗並管柱實驗，以下分別就樣品初期測試、第 1 次批次實驗、第 2 次批次實驗與管柱實驗，分別說明之。

5.5.2 樣品初期測試：此部分將針對模擬樣品摻配、集塵灰重金屬檢測分析結果、集塵灰之電子顯微鏡觀察結果、第 1 次及第 2 次樣品摻配檢測結果進行說明

5.5.2.1 模擬樣品摻配：進行 2 次摻配之原因是因為此集塵灰取自中部某垃圾焚化廠，第 1 次所取得的是已經經過處理之集塵灰，因摻配後戴奧辛濃度不足，故再次前往取得尚未處理之集塵灰原灰進行摻配。本計畫最困難之處應屬微量分析之前處理，因為前處理過程中若有人為疏失，其結果將無法解釋，且可能需要量測之範圍為數十 ppt 至 0.1 ppt 之間，若樣品前處理技術不佳，可導致離譜錯誤之結果。因此，本計畫在執行初期即兩度派員至環檢所陳元武科長實驗室學習前處理技術，第一次是在 106 年 11 月 27 日，第 2 次是 107 年 2 月 21 日，學習完成後於實驗室自行測試，並於 3-5 月送屏科大完成測試已確定手法嫻熟才開始實驗，其結果詳見以下說明。

5.5.2.2 集塵灰之重金屬檢測分析結果：由於集塵灰中可能含有過高之重金屬導致微生物生長之毒性，故於進行生物降解實驗前應先測定其重金屬濃度。集塵灰消化步驟以行政院環境保護署環境檢驗所公告之「廢棄物與底泥中金屬檢測方法—酸消化法（NIEA M353.02C）」為依據，並依檢測樣品特性作適度調整，其消化步驟如下所示：秤取 0.5 g 烘乾後之集塵灰，加入 2.0 ml 低汞硝酸（ $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1$ ）及 2.0 ml 低汞鹽酸（ $\text{HCl} : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1$ ）與之混合，並放置於石墨管柱加熱消化器，於溫度 95°C 下消化 30 mins（儀器溫度設定 98°C ），待其降溫 20 mins 後，添加 2.0 ml 雙氧水（ H_2O_2 ，30 %）使其反應 10 mins。反應完後，再放置於石墨管柱加熱消化器，於溫度 85°C 下，消化 30 mins（儀器溫度設定 88°C ），待其降溫 10 mins 後，再次添加 2.0 ml 雙氧水（ H_2O_2 ，30 %）反應 10 mins。反應後再次置於消化器中，以溫度 85°C 再進行消化 30 mins（儀器溫度設定 88°C ），最後添加去離子水定量至 20 ml。然後以 ICP-OES 進行檢測分析，所得數據如表 5-17 所示。其中除砷及汞外，均超過上限值 1.4 倍至 129 倍，若以 10 倍稀釋，即加入 9 質量分之乾淨模擬底泥於 1 質量分之集塵灰原灰，將可得到第 3 欄之數值，降為 0.14 至 12.9 倍，與一般嚴重污染底泥之數值較為接近。但是，此種方式所得之模擬底泥中銅之濃度相當高，一般而言，無機銅可作為殺菌劑或殺藻劑使用，在超過 2,000 mg/kg 濃度下，微生物恐不易生長。但本實驗室實在並非專業操作高濃度戴奧辛之合格實驗室（需要潔淨室等級之單



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

獨排風處理、不透水鋪面、出入口吹風設施等)，故只能以目前之濃度進行生物降解測試。

表 5-17 集塵灰中重金屬檢測結果（單位：mg/kg）

項目	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
集塵灰原灰	ND	64.3	322	20364	ND	300	1282	22122
模擬底泥	ND	6.4	32	2036	ND	30	128	2212
底泥標準上限	33.0	2.49	233	157	0.87	80.0	161	384
底泥標準下限	11.0	0.65	76.0	50.0	0.23	24.0	48.0	140

5.5.3 集塵灰之電子顯微鏡觀察結果：將烘乾且過篩(mesh#16)之集塵灰以場發射掃描式電子顯微鏡(FESEM)觀察其表面結構(如圖 5-21)，放大倍率為 5,000X 時，可觀察其表面具有特殊之經過煅燒後結塊之結構；在放大倍率為 10,000X 時，則可觀察到似乎有部分顆粒具有平整規則之礦物結晶表之情況，而大部分顆粒呈團聚無固定形狀之情況。以 EDS 作快速表面元素分析，可觀察區域內含有較多之氧（質量百分比 $42.5 \pm 1.3\%$ ）、鈣（質量百分比 $21.3 \pm 4.0\%$ ）、碳（質量百分比 $15.8 \pm 8.5\%$ ）及氯（質量百分比 $9.6 \pm 3.3\%$ ）元素。氧較高可能是焚化後產物多為氧化物之故，氯之部分可能並非均為戴奧辛之氯而已，尚有其他含氯物質及氯鹽之存在，因為戴奧辛之含量至多是數百 ppt，戴奧辛中氯之質量佔集塵灰之質量百分比應遠低於 1%。

5.5.4 第 1 次及第 2 次樣品摻配檢測結果：第 1 次完成摻配之樣品為已處理過之集塵灰，其中戴奧辛濃度相當低，因為不知道實際濃度，故準備空白樣品 2 組與 10x 稀釋之模擬底泥樣品 2 組供測試，以確定實驗室未受污染且摻配之樣品是否足夠均勻。此部分之前處理是由環檢所陳元武科長於 2 月 21 日教導本實驗室研究人員時同時進行前處理，其檢測結果如表 5-22 及圖 5-23 所示。由此表可見，空白樣品均小於 0.25 ppt，摻配樣品濃度相當接近，表示摻配之均勻度尚可。



表 5-18 第 1 次摻配之 2 個模擬底泥樣品檢測結果

分析樣品編號 化合物名稱	空白樣品			摻配樣品		
	0205-SD-1 (ng/kg)	0205-SD-2 (ng/kg)	平均值 (ng/kg)	0205-SD-3 (ng/kg)	0205-SD-4 (ng/kg)	平均值 (ng/kg)
2,3,7,8-TeCDF	0.089	0.116	0.103	1.21	1.50	1.36
1,2,3,7,8-PeCDF	0.073	0.068	0.071	2.35	3.12	2.74
2,3,4,7,8-PeCDF	0.045	0.042	0.043	3.16	4.56	3.86
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.039	0.032	0.035	4.46	5.13	4.80
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.039	0.032	0.035	4.83	6.63	5.73
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.039	0.100	0.070	6.42	9.18	7.80
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.070	0.100	0.085	1.55	2.22	1.89
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.376	1.14	0.757	19.9	25.4	22.6
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.052	0.221	0.137	4.36	6.09	5.22
OCDF	0.361	2.46	1.41	26.6	31.0	28.8
2,3,7,8-TeCDD	0.208	0.210	0.209	0.380	0.355	0.367
1,2,3,7,8-PeCDD	0.075	0.063	0.069	0.850	1.49	1.17
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.047	0.055	0.051	0.655	1.08	0.87
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.039	0.140	0.090	1.00	1.33	1.17
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.043	0.042	0.042	1.04	1.47	1.25
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	2.10	2.43	2.26	9.23	11.8	10.5
OCDD	6.06	6.84	6.45	27.3	37.0	32.2
Total TEQ (ng-TEQ/kg)	0.193	0.243	0.218	5.01	6.89	5.95

(a)

(b)

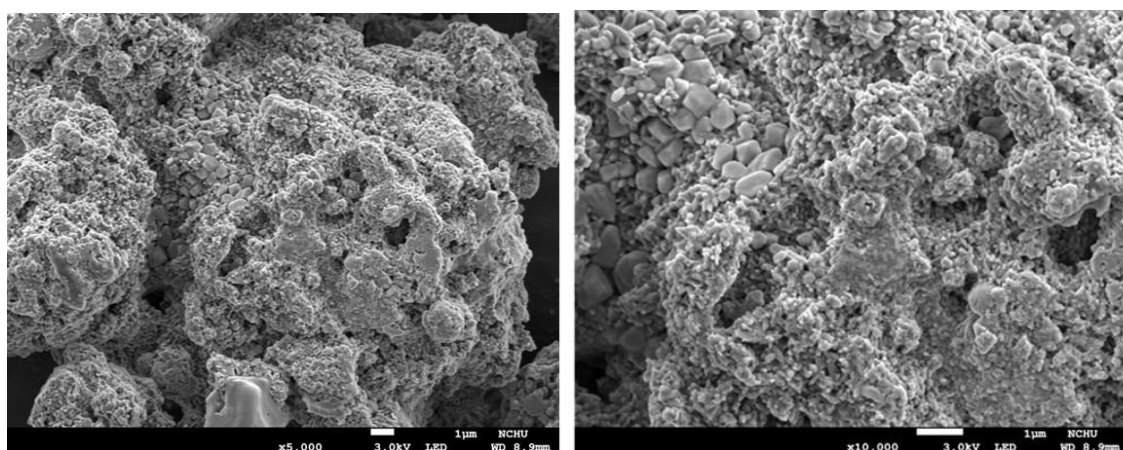


圖 5-21 集塵灰在 FESEM 下以 5000X(a)及 10000X(b)放大倍率下觀察影像



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

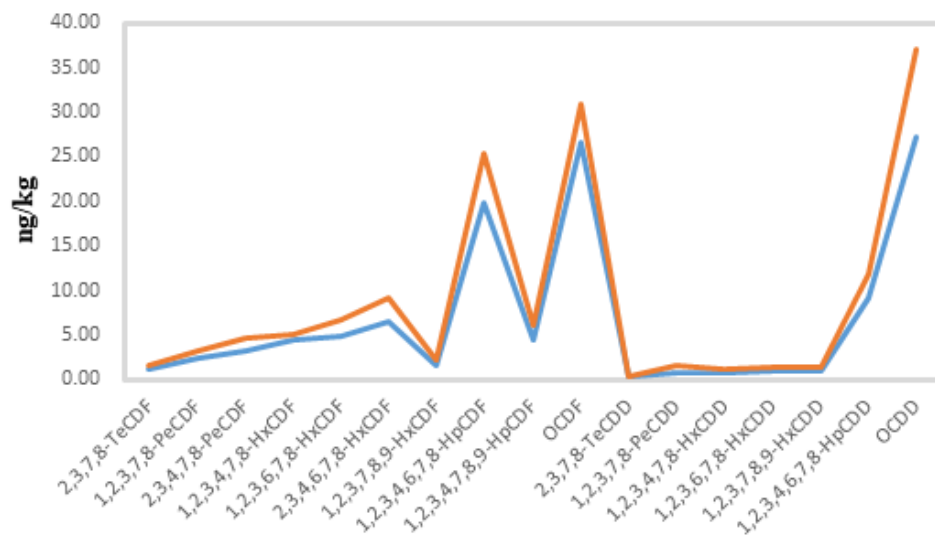


圖 5-22 第 1 次摻配之 2 個模擬底泥樣品檢測之同源物濃度分布

由於第 1 次所摻配之樣品濃度過低，有可能低於底泥品質指標之下限值，將失去其實驗之意義，且在去除率計算上，極可能出現明顯誤差，故進行第 2 次之樣品摻配。第 2 次摻配之樣品於 3 月 16 日再次送環檢所進行檢測，此次樣品之結果如表 5-19 與圖 5-23 所示。此次空白樣品中濃度更低，表示實驗室未遭受污染且樣品摻配過程手法已經相對穩定，而樣品濃度達 77.7 ng-TEQ/kg，已經超過品質指標上限值之 68.2 ng-TEQ/kg。故可確定以集塵灰之原灰進行摻配之樣品適合進行批次降解實驗。確定模擬底泥摻配方式之後，陸續於 3 月至 5 月自行完成前處理

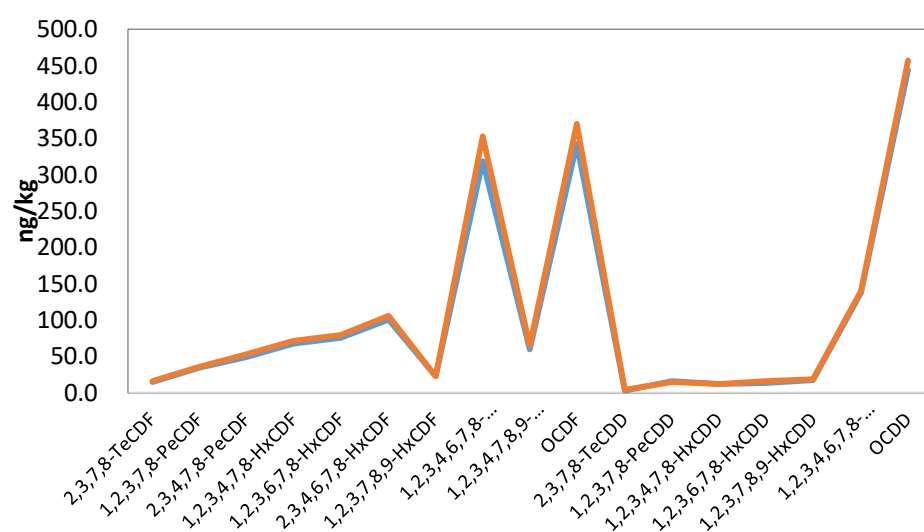


圖 5-23 第 2 次摻配之 2 個模擬底泥樣品檢測之同源物濃度分布

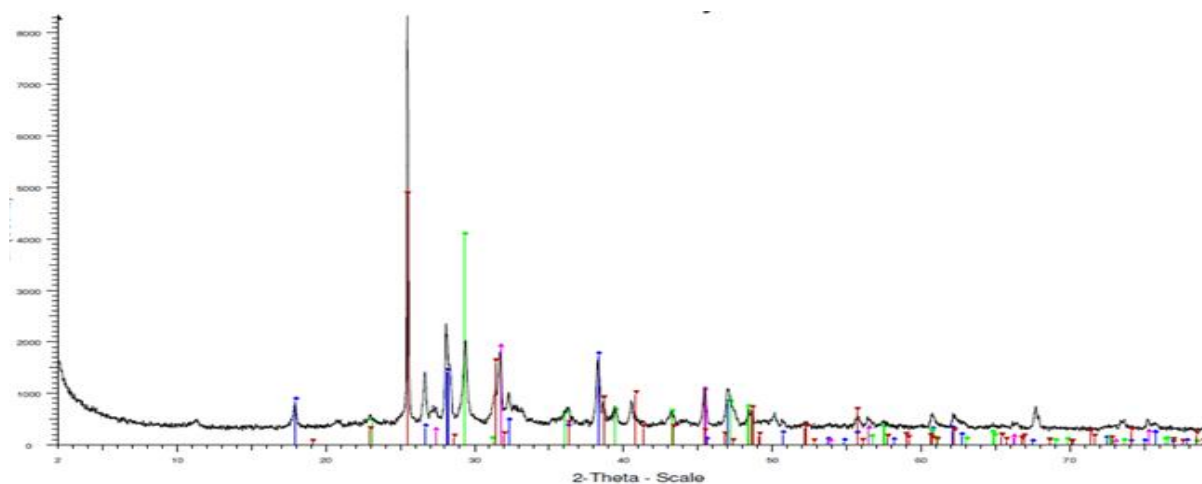


圖 5-24 集塵灰原灰之 X 光繞射儀檢測結果

表 5-19 第 2 次摻配之 2 個模擬樣品檢測結果

分析樣品編號	空白樣品			摻配樣品		
	0316-1-1	0316-1-2	平均值	0316-2-1	0316-2-2	平均值
化合物名稱	(ng/kg)	(ng/kg)	(ng/kg)	(ng/kg)	(ng/kg)	(ng/kg)
2,3,7,8-TeCDF	0.079	0.075	0.077	15.0	15.5	15.3
1,2,3,7,8-PeCDF	0.037	0.018	0.027	33.8	35.9	34.8
2,3,4,7,8-PeCDF	0.032	0.034	0.033	49.5	52.5	51.0
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.050	0.060	0.055	66.8	72.0	69.4
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.049	0.059	0.054	74.8	79.3	77.0
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.046	0.058	0.052	100	106	103
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.059	0.072	0.065	21.9	23.1	22.5
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.117	0.241	0.179	319	353	336
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.041	0.112	0.077	59.7	64.8	62.2
OCDF	0.241	0.328	0.285	342	370	356
2,3,7,8-TeCDD	0.076	0.057	0.066	3.17	4.23	3.70
1,2,3,7,8-PeCDD	0.051	0.050	0.051	15.6	14.4	15.0
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.089	0.042	0.066	11.7	12.1	11.9
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.076	0.036	0.056	13.8	15.6	14.7
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.083	0.040	0.061	17.1	18.0	17.5
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.022	0.310	0.166	137	140	139
OCDD	2.08	2.60	2.34	444	458	451
Total TEQ(ng-TEQ/kg)	0.176	0.154	0.165	75.5	80.0	77.7



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

之樣品 2 批並送屏科大進行檢測，但目前因儀器問題尚無法進行有效檢測，目前在等待屏科大儀器整備完成。由 2 次檢測均可發現 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF、OCDF、1,2,3,4,6,7,8-HpCDD 與 OCDD 之濃度特別高，在未來降解過程中，須注意 TCDD 在初期可能由於較高氯數之同源物降解之緣故造成濃度不減反升之情形。

本研究也完成集塵灰之 X 光繞射儀檢測(見圖 5-24)，由其晶型研判主要礦物結晶為 Calcium chloride hydroxide，此礦物常見於廢棄物焚化爐之飛灰中，在一般室溫下，其水溶性低，故研判對於生物降解影響不大； CaCO_3 之含量也相當高且溶解度高，溶於水中可行稍偏鹼之緩衝溶液；再其次為 NaCl 與 CaSO_4 ，兩者溶解度均可，可造成摻配後底泥樣品之水分中鹽分過高之情形；也可能針對所植種之已馴養微生物形成篩選之壓力，致在較高 pH 值且鹽分高（滲透壓高）之情況下可存活之微生物方能進行戴奧辛降解，就此技術將要應用於海水底泥而言，此環境參數應該無需做任何變動。

5.5.5 第 1 次批次實驗：第 1 次批次實驗結果如圖 5-25 所示，由於最初 4 週之降解相當有限，故在第 6 週收到第 4 週樣品分析結果時，即重新準備進行第 2 次之批次實驗。圖 5-25 中，圖例為 CL 代表低濃度之控制組，CH 代表高濃度之控制組，L 代表低濃度之實驗組，H 代表高濃度之實驗組。最佳者為高濃度組，去除氯最多可達約 20%，但因每組實驗樣品僅有 2 個，依據信心度 95% 統計分析，此結果愈實驗空白組無明顯差異，故無法下定論，也正因如此，不得不在進行第 2 次批次實驗，並且保持此批次實驗樣品，待第 100 天再次採樣分析，其結果顯示並無任何繼續降解之情況。其可能之原因有二，一是起始濃度過低，微生物無法有效利用並且降解之，一是重金屬濃度可能過高，導致微生物無法有效生長。

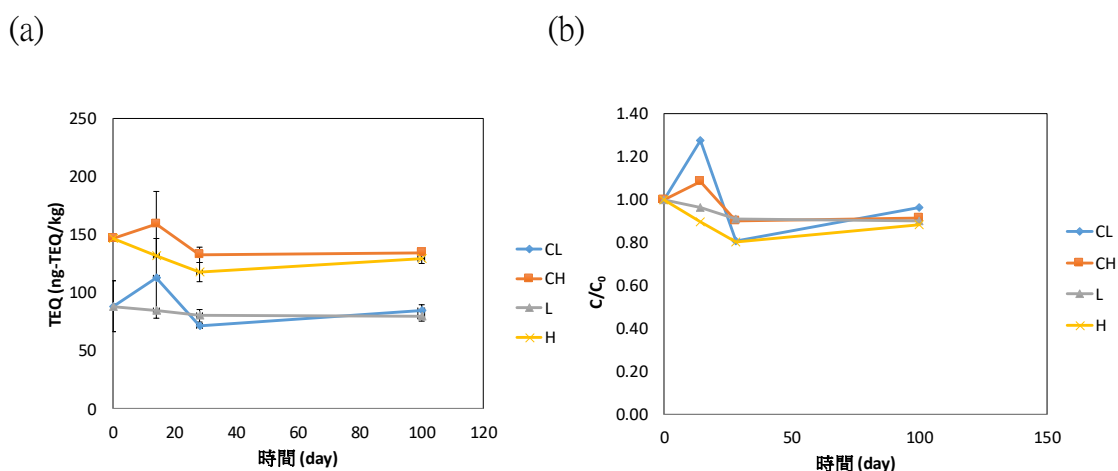


圖 5-25 第 1 次戴奧辛批次實驗之總毒性當量濃度與 C/C_0 比值結果



5.5.6 第 2 次批次實驗：第 2 次批次實驗結果如圖 5-26 所示，圖例與圖 5-25 相同。由於檢測所得資料之標準差過大，無法得出有效結論。由此兩次批次實驗結果，應可判定在目前以集塵灰樣品摻配方式進行生物降解實驗應屬不可行（重金屬濃度高及起始濃度低），即使是在微生物已經經過熱篩以及馴養後再加入之相對理想情況下。

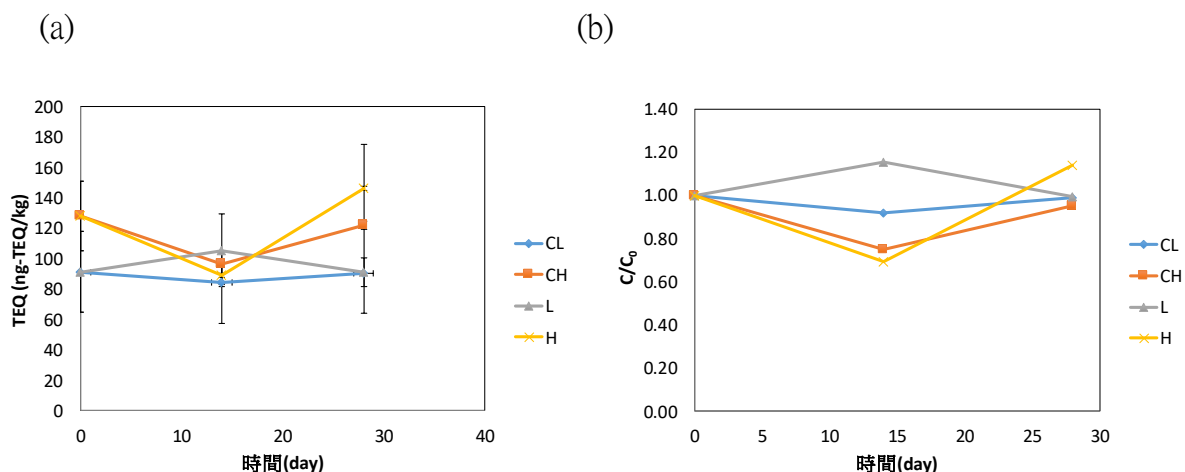


圖 5-26 第 2 次戴奧辛批次實驗之總毒性當量濃度與 C/C_0 比值結果

5.5.7 管柱實驗：進行管柱實驗前，因為已經有 2 次結果不佳之經驗，在進行管制實驗尚須以熱乳化液進行推送，可能對在相當理想環境下馴養之菌種更加不利，故製作樣品時改為集塵灰原灰：洗淨之模擬底泥（石英砂＋玻璃粉＋高嶺土）：二仁溪底泥＝1:1:2 之方式製作，故重新設計管柱實驗為管柱 1 為控制組（無乳化液、有二仁溪菌群且未加熱）；管柱 2 為乳化液控制組（有乳化液 30%、有二仁溪菌群但未加熱）；管柱 3 為實驗組（添加馴養菌並推入熱乳化液），管柱 4 為實驗組（120°C 加熱但未加入任何乳化液），結果如圖 5-27。目前實驗已經進行至第 35 天，將所有資料進行 moving average 並針對控制組進行標準化後之結果如圖 5-27 所示。有加入 30% 室溫之乳化液組可能因乳化液提高戴奧辛之生物可及性而有較佳之生物分解結果，但是實驗中加入之二仁溪底泥因屬感潮河段，其中硫酸鹽濃度相當高（以往監測記錄超過 100 mg/L），三價鐵及硝酸鹽與一般地下水中濃度相當，在此情況下，微生物仍能有效利用戴奧辛及呋喃作為電子接受者是相當不容易的，應該是因為二仁溪底泥中某些特定菌種能夠專一利用戴奧辛及氯化呋喃作為電子接受者，否則兩者濃度差距可達千萬倍差距以上，為何這些目標污染物仍能被有效分解？實有待進一步研究。

此外，加入熱乳化液組與加熱至 120°C 之實驗組之 I-TEQ 濃度變化趨



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

勢非常相似，幾乎重疊。但是如果觀察 17 種不同之戴奧辛與呋喃之測試條件及濃度演變，即可發現其實差異甚大。加入熱乳化液組（也加入熱篩菌）因為有大量之電子供給者，所以在降解目標污染物時，因具有過剩之電子且有提高生物可及性之因素下，其降解成效較佳是可以理解的。但是 120°C 熱篩組的實驗條件完全不同，是在未添加任何乳化液情況下進行的，所以即使缺乏電子供給者，也沒有乳化液協助提高生物可及性之情況下，為何依然能夠完成戴奧辛及呋喃之降解？其最合理之解釋，應該是大部分微生物在 120°C 高溫下已經死亡，僅有內孢子生成菌可以存活；死亡微生物之生物質（biomass）經高溫消化水解為較簡單之脂肪酸、胺基酸或是無機物均可作為後來由內孢子萌發之分解菌之營養物質，並且部分水解之脂肪酸也恰好扮演了界面活性劑之角色，可同樣提供了增進生物可及性之功能。若將 GC-qQq-MS 所測得之戴奧辛及呋喃之同源物分別作圖，可得如圖 5-28 及 5-29。在熱乳化液（80°C）管柱中，除了 1,2,3,6,7,8-HxCDD 及 1,2,3,7,8,9-HxCDD 均呈現先下降後上升之情況，其餘則呈現一路下降之情況，其原因應是高氯數之戴奧辛同源物經過還原脫氯之後生成較低氯數之產物但卻未能及時完成繼續降解而累積之結果；在呋喃之同源物生物降解部分也有同樣之情況，僅有 1,2,3,6,7,8-HxCDF 呈現先下降再上升之累積情形，其餘均持續降解，此情況在文獻中未見提及。而 120°C 熱篩菌群對於戴奧辛及呋喃之同源物降解情況與熱乳化液組有明顯不同，並無明顯累積之同源物，可見 120°C 熱篩菌群之降解效果相對較佳。即使整體計算之 I-TEQ 濃度結果類似，但各同源物無法以類似速率進行降解，將造成後續之累積與濃度無法持續下降之問題。

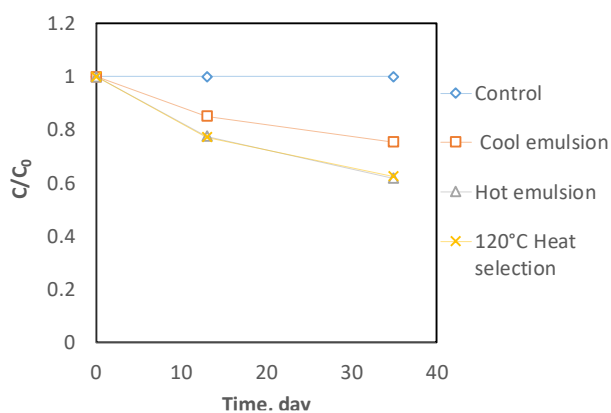


圖 5-27 戴奧辛管柱實驗結果

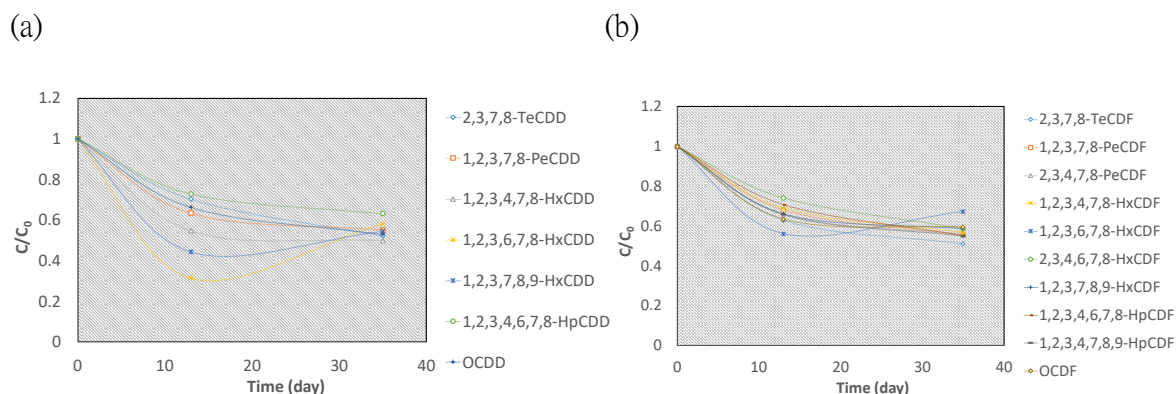


圖 5-28 熱乳化液管柱戴奧辛(a)及呋喃(b)同源物之降解情形

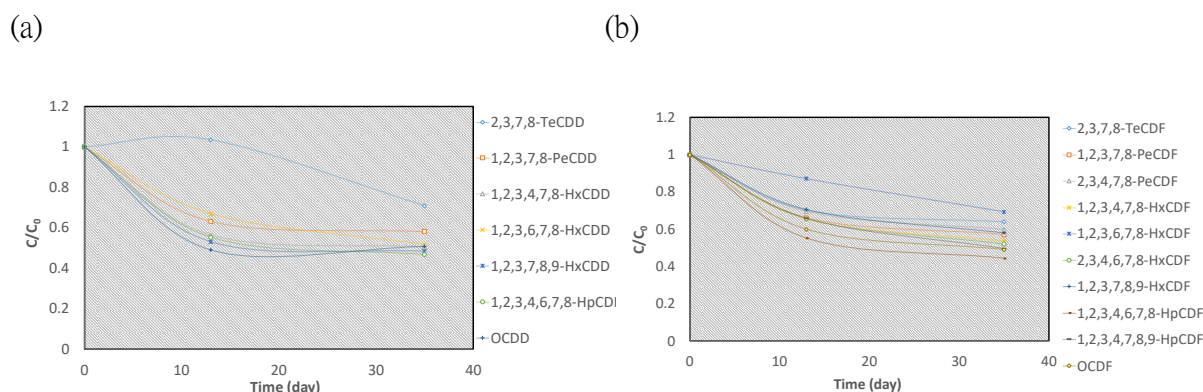


圖 5-29 120°C 熱篩管柱戴奧辛(a)及呋喃(b)同源物之降解情形

5.6 土壤整治技術之風險評估

本計畫應用上一年度（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。

5.6.1 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



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

析、風險考量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，造成結果不客觀極不可靠之情況。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。

- 5.6.2 流程分析與工作危害：針對屋污染農地土壤有三種生物整治方式可進行，如圖 5-30 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 5-20 所示。
- 5.6.3 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 5-21 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，愈頻繁分數愈高，分為 5 級；檢測難易度為愈難檢測其分數愈高，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。
- 5.6.4 風險分數計算與排序：風險分數計算依據 FMEA 方法將三向評定之得分相乘，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 5-22 之風險排序前 10 名。
- 5.6.5 風險說明：各項風險之簡要說明已經提供於表 5-22 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。



結果與討論

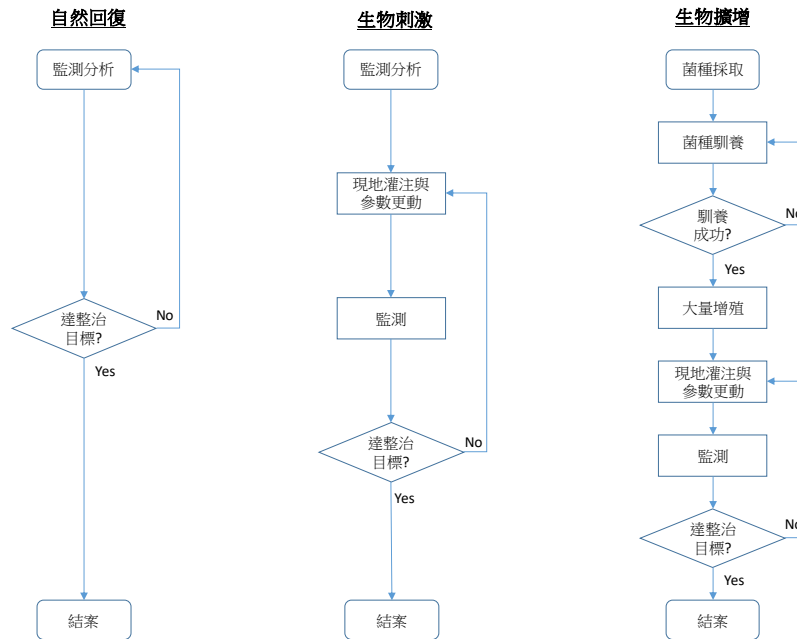


圖 5-30 工作流程分析

表 5-20 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



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

表 5-21 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 5-22 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	若在現地進行熱乳化液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。



5.7 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%，苯降解 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 降解最佳者為曾加入乳化液之組別，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



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

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 μm 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。

5.8 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。

5.8.1 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。

- 5.8.2 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，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，使用之非離子席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，在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)，即可留置原河道中進行生物整治，依照預訂時間進行採樣分析即可。



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

5.9 本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 5-23 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

表 5-23 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			



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。

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°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 380V，電流為 65A，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°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。綜合以上推估，以電磁感應加熱，可能是目前進行相反轉最經濟可行之方式。

5.10 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 7 件，已獲專利 6 件，審查中 1 件，申請中 1 件，如表 5-24 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 $800\text{-}1600^\circ\text{C}$ 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 $25 \mu\text{m}$ 、 $25\sim 45 \mu\text{m}$ 與大於 $45 \mu\text{m}$ 之玻璃砂，各進樣 0.5g 經過分離後之粒徑分布與時間關係如圖 5-31 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質量吸附（國內某場址之特殊情況），此方法將可望在單次操作達



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

表 5-24 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	審查中	2017/04/24 提出申請	
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	

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。目前本計畫所衍生之利用熱篩菌進行快速之多氯聯苯生物降解研究，目前正由大學部同學進行中，預計 11 月中前有結果，最晚將於 2019 年 1 月完成校內申請送件

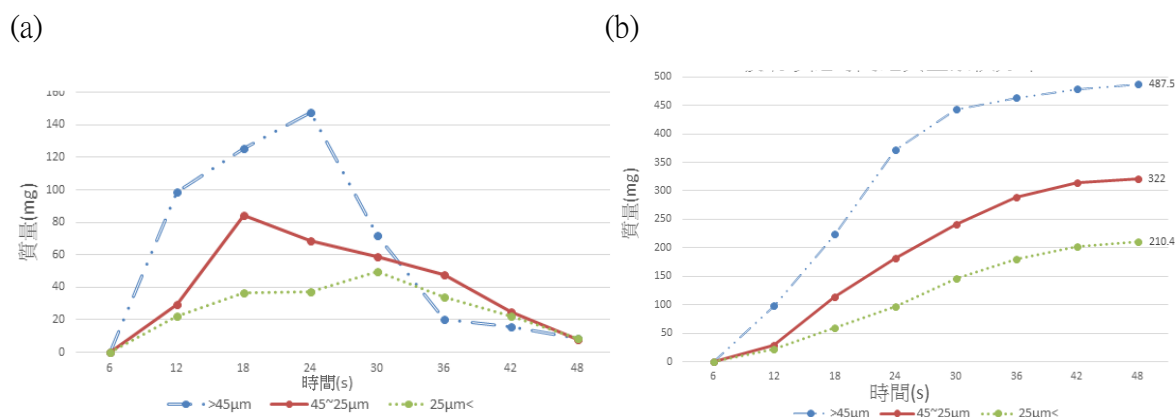


圖 5-31 不同粒徑玻璃砂之出流質量圖



5.11 結論

本計畫執行至今，初步結論條列如下：

1. 本計畫進行二仁溪與三爺溪匯流處底泥採樣，檢測分析結果顯示底泥之 Aroclor 1254 濃度為 0.172 mg/kg，HCB 濃度為 ND，兩者均較以往為低，可能是在該處反覆多次取樣擾動之結果；未污染農地土壤中之 γ -HCH 及 DDT 均為 ND，重金屬濃度均未超標；台中市大里區污染土壤中重金屬濃度超標嚴重，其中以銅和鋅最高；戴奧辛試驗以集塵灰與模擬底泥進行摻配作為樣品，其中重金屬濃度嚴重超標，甚至超過農地污染樣品，在稀釋 10 倍情況下，與一般污染底泥較為相似。
2. 重金屬污染土壤玻璃化之初步結果顯示，田口方法中之 9 種條件組合中，有 6 組可行；第 8 組之處理效果最佳（平均安定率為 99.9%），第 4 組及第 6 組分居第 2 及第 3（平均安定率為 95.%及 95.7%），但後二者之處理效果似乎明顯較低。第 8 組之處理條件為 1600°C、含水率 20%、添加物濃度低及定溫時間為 120 sec，可見加熱溫度高及定溫時間較久之情況下，即使含水率中等及添加物濃度不高（或是不加任何添加物）均可以進行有效之玻璃化。
3. 土壤中有機物污染之現地相反轉及生物分解部分，已經完成粒徑分析、重金屬檢測、批次實驗樣品之檢測分析及 PCR-DGGE 分析。DDT 之降解。DDT 批次實驗之第 8 組降解結果最佳，去除率可達 84.6%；Lindane 批次實驗室也是以第 8 組降解結果最佳，49 天內去除率可達 99.5%，就因子反應進行統計分析可得含水率愈高愈佳，其趨勢非常明顯，乳化液中等與有機質中等較佳，pH 值則是愈高愈佳，其趨勢也相當明確。Lindane 降解半生期為 3.2 d，與文獻值相當。PCR-DGGE 結果顯示有效降解 DDT 與 Lindane 菌種可能好氧與厭氧均可行，並非如底泥中幾乎均為厭氧環境且多以厭氧還原脫氯為主。
4. 污染底泥之多次相反轉及生物分解部分完成第 2 次之批次實驗，PCB 部分已第 2 組及第 8 組移除率 56.1%、59.2%為最佳與，而 HCB 組別中的第 4 組及第 8 組之 98.3%及 94.2%最佳。綜和兩者之因子反應，可能以中等有機質含量 (3.0%)、中等乳化液濃度(1.0%)、pH 值 5.5-7 及 30°C 較適合同時受到 Aroclor 1254 與 HCB 污染之底泥，就如同目前二仁溪之情況。PCR-DGGE 結果顯示近當多菌種尚未見在 PCB 與 HCB 污染整治領域之報導，值得進一步研究。不過，由這些能夠較為確定菌種之 DNA 片段看來，好氧、厭氧與厭氧兼性菌均有，而且大多為內孢子生成菌。自動加溫控溫設備已完成，可確實以感應加



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

熱方式有效調控溫度。管柱實驗部分目前尚未有定論，尚待後續採樣分析果才能確認。

5. 底泥中戴奧辛相反轉及生物分解部分已經針對集塵灰完成特徵性分析，其中礦物結晶部分以 CaClOH 、 CaCO_3 、 NaCl 與 CaSO_4 為主，可能在後續實驗中造成偏鹼且離子濃度高（滲透壓高）之情況；重金屬檢測結果除砷及汞外，均超過底泥品質指標上限值 1.4 倍至 129 倍；在 FESEM 下，可觀察到部分晶體結構及明顯團聚現象，且為多孔性材質，部分孔徑小於 100 nm；樣品已經摻配完成，其起始濃度為 77.7 ng-TEQ/kg，可高於目前現行之底泥品質指標上限值。批次實驗結果顯示並無明顯降解之情況。其可能之原因有二，一是起始濃度過低，微生物無法有效利用並且降解之，一是重金屬濃度可能過高，導致微生物無法有效生長。後續管柱實驗目前尚在進行中，尚無定論。
6. 風險評估部分在熱篩馴養與增殖階段宜注意可能導致有害之炭疽桿菌孢子產生，雖然機率不大，但是馴養增殖人員仍應注重個人安全衛生防護。

5.12 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 5-25 及 5-26 所示。

表 5-25 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 5-26 中長程建議意見及未來或後續執行建議

項次	建議意見
1.	針對底泥污染之 potential responsible parties 之責任分擔制度（responsibility allocation）與科學基礎研究宜盡早建立，包括數值分析能力（numerical modeling）、地質統計與污染物降解與分布模式（如 polytopic vector analysis）一併建立。建議環保署法務部門亦應介入共同建立法規制度。
2.	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。
3.	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有用資材之循環經濟建立。
4.	建議建立底泥與土壤污染整治技術共通平台。



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

(空白頁)



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.
- Bai, M.D., 1999. Mechanism study and operating strategy of hydrogen production in anaerobic biological process, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan.
- 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., Dolging, 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.
- Bhardwaj, G., Cameotra, S.S., Chopra, H.K., 2016. Biosurfactant from *Lysinibacillus chungkukjangi* from Rice Bran Oil Sludge and Potential Applications. *Journal of Surfactants and Detergents* 19, 957-965.
- 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 (γ -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.
- Brunner, W., Staub, D., Leisinger, T., 1980. Bacterial Degradation of Dichloromethane. *Appl. Environ. Microbiol.* 40, 950-958.
- 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.



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

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.

Camacho-Pérez, B., Ríos-Leal, E., Rinderknecht-Seijas, N., Poggi-Varaldo, H.M., 2012. Enzymes involved in the biodegradation of hexachlorocyclohexane: A mini review. *Journal of Environmental Management* 95, S306-S318.

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, & 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.

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., 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.

Chauhan, S., Barbieri, P., Wood, T.K., 1998. Oxidation of Trichloroethylene, 1,1-Dichloroethylene, and Chloroform by Toluene/o-Xylene Monooxygenase from *Pseudomonas stutzeri* OX1. *Applied and Environmental Microbiology* 64, 3023-3024.

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.

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., Verdonschot, P.M. (Eds.),



- Aquatic Oligochaete Biology VIII. Springer Netherlands, pp. 171-184.
- Egli, C., Tschan, T., Scholtz, R., Cook, A.M., Leisinger, T., 1988. Transformation of tetrachloromethane to dichloromethane and carbon dioxide by *Acetobacterium woodii*. *Applied and Environmental Microbiology* 54, 2819-2824.
- 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.
- 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.
- Galperin, M.Y., Brover, V., Tolstoy, I., Yutin, N., 2016. Phylogenomic analysis of the family *Peptostreptococcaceae* (*Clostridium* cluster XI) and proposal for reclassification of *Clostridium litorale* (Fendrich et al. 1991) and *Eubacterium acidaminophilum* (Zindel et al. 1989) as *Peptoclostridium litorale* gen. nov. comb. nov. and *Peptoclostridium acidaminophilum* comb. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 66, 5506-5513.
- 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 Heidelberg.
- 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.
- Grimberg, S.J., Stringfellow, W.T., Aitken, M.D., 1996. Quantifying the biodegradation of phenanthrene by *Pseudomonas stutzeri* P16 in the presence of a nonionic surfactant. *Applied and Environmental Microbiology* 62, 2387-2392.



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

- 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.
- 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.
- 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.
- Javaid, M.K., Ashiq, M., Tahir, M., 2016. Potential of Biological Agents in Decontamination of Agricultural Soil. *Scientifica* 2016, 1598325-1598325.
- 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.
- Kamanavalli, C.M., Ninnekar, H.Z., 2004. Biodegradation of DDT by a *Pseudomonas* Species. *Current Microbiology* 48, 10-13.
- 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.



參考文獻

- Keillor, P., 2007. Deciding about sediment remediation. United States Environmental Protection Agency, Wisconsin, USA, p. 77.
- Kim, S.-J., Jang, Y.-H., Hamada, M., Ahn, J.-H., Weon, H.-Y., Suzuki, K.-i., Whang, K.-S., Kwon, S.-W., 2013. *Lysinibacillus chungkukjangi* sp. nov., isolated from Chungkukjang, Korean fermented soybean food. *Journal of Microbiology* 51, 400-404.
- 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.
- Liang, X., Devine, C.E., Nelson, J., Sherwood Lollar, B., Zinder, S., Edwards, E.A., 2013. Anaerobic Conversion of Chlorobenzene and Benzene to CH₄ and CO₂ 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.
- Lo, C.I., Mishra, A.K., Padhmanabhan, R., Samb Ba, B., Sow, A.G., Robert, C., Couderc, C., Faye, N., Raoult, D., Fournier, P.-E., Fenollar, F., 2013. Non-contiguous finished genome sequence and description of *Clostridium dakarensis* sp. nov. *Standards in Genomic Sciences* 9, 14-27.



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

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.

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.

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.

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., Fokue, 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 (γ -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.

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.

Owen, W.F., Stuckey, D.C., Healy Jr, J.B., Young, L.Y., McCarty, P.L., 1979. Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. *Water Research* 13, 485-492.

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.

Pan, X., Lin, D., Zheng, Y., Zhang, Q., Yin, Y., Cai, L., Fang, H., Yu, Y., 2016. Biodegradation of DDT by *Stenotrophomonas* sp. DDT-1: Characterization and genome functional analysis. *Sci Rep* 6, 21332.

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.

Poehlein, A., Schmidt, S., Kaster, A.-K., Goenrich, M., Vollmers, J., Thürmer, A., Bertsch, J., Schuchmann, K., Voigt, B., Hecker, M., Daniel, R., Thauer, R.K., Gottschalk, G., Müller, V., 2012. An Ancient Pathway Combining Carbon Dioxide Fixation with the Generation and Utilization of a Sodium Ion Gradient for ATP Synthesis. *PLOS ONE* 7, e33439.

Purnomo, A.S., Mori, T., Kamei, I., Kondo, R., 2011. Basic studies and applications on bioremediation of DDT: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation* 65, 921-930.

Ramamurthy, T., Chowdhury, G., Pazhani, G.P., Shinoda, S., 2014. *Vibrio fluvialis*: an emerging human pathogen. *Frontiers in microbiology* 5, 91-91.

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.

Ramos, P.L., Van Trappen, S., Thompson, F.L., Rocha, R.C.S., Barbosa, H.R., De Vos, P., Moreira-Filho, C.A., 2011. Screening for endophytic nitrogen-fixing bacteria in Brazilian sugar cane varieties used in organic farming and description of *Stenotrophomonas pavanii* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 61, 926-931.

Ren, Y., Chen, S.-y., Yao, H.-y., Deng, L.-j., 2015. *Lysinibacillus cresolivorans* sp. nov., an m-cresol-degrading bacterium isolated from coking wastewater treatment aerobic sludge. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 65, 4250-4255.

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.

Sowers, K.R., May, H.D., 2013. In situ treatment of PCBs by anaerobic microbial dechlorination in aquatic sediment:



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

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.

Sung, Y., Fletcher, K.E., Ritalaliti, K.M., Apkarian, R.P., Ramos-Hernández, N., Sanford, R.A., Mesbah, N.M., Löffler, F.E., 2006. *Geobacter lovleyi* sp. nov. strain SZ, a novel metal-reducing and tetrachloroethene-dechlorinating bacterium. *Appl. Environ. Microbiol.* 72, 2775.

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 Eekert, 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. *Microb. Biotechnol.* 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.

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, B.-N., Yang, C.-F., Lee, C.-M., 2011. The factors influencing direct photohydrogen production and anaerobic fermentation hydrogen production combination bioreactors. *International Journal of Hydrogen Energy* 36, 14069-14077.



參考文獻

- Wang, G., Wang, D.I.C., 1984. Elucidation of Growth Inhibition and Acetic Acid Production by *Clostridium thermoaceticum*. *Applied and Environmental Microbiology* 47, 294-298.
- 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.
- Yu, H.-Y., Bao, L.-J., Liang, Y., Zeng, E.Y., 2011. Field Validation of Anaerobic Degradation Pathways for Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and 13 Metabolites in Marine Sediment Cores from China. *Environmental Science & Technology* 45, 5245-5252.
- 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.
- 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.



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

李輝煌, 2011. 田口方法：品質設計的原理與實務. 高立圖書有限公司, 台灣台北.

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.

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

(空白頁)

附錄一 檢測原始資料

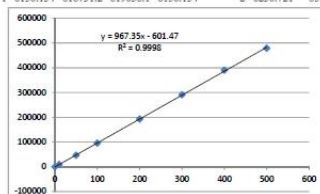
1. 土壤玻璃化資料

As (均為 ND)

Sample ID	Analyte	N Reported	RSD (Conc)	(Conc / Cali) Corr Coef	Conc (Sur+Repl)	No1	Conc (Sur Int)	(Net1) Int (Corr)	Conc (Cali Repl)	No2	Conc (Sur Int)	(Net2) Int (Corr)	Conc (Cali Repl)	No3	Conc (Sur Int)	(Net3) Int (Corr)	Conc (Cali Repl)	No4			
CaliB Blank As	193.699		0			1	494.8111	494.8111			544.8367	544.8367		3	489.0519	489.0519					
10ppb As	193.699					1	678.9173	69.35072		2	631.5508	91.7699		3	631.5508	121.9842					
50ppb As	193.699					1	1049.146	539.5792		2	1049.996	540.4293		3	1049.996	540.4293					
100ppb As	193.699					1	1613.265	1103.698		2	1630.357	1120.79		3	1607.523	1097.957					
200ppb As	193.699					1	2847.307	2337.741		2	2778.33	2268.763		3	2765.657	2256.09					
300ppb As	193.699					1	4090.738	3581.171		2	4128.094	3618.527		3	4026.053	3546.487					
400ppb As	193.699					1	5159.151	4649.589		2	4766.117			3	5242.572	4733.066					
500ppb As	193.699					1	6401.382	5891.815		2	6395.977	5886.231		3	6434.428	5924.862					
MBK As	193.699	-2.784	\$8.81901	-2.78356	0.99986	-2.78356	1	-4.22332	416.7525	-92.8141	-4.22332	1	-1.00258	455.0659	-54.5007	-1.00258	3	-3.12478	429.8206	-79.746	-3.12478
QC250 As	193.699	234.3	1.044007	234.2645	0.99986	234.2645	1	235.1444	3264.225	97.8485	235.1444	2	231.5005	3220.878	2711.311	231.5005	3	236.1485	3276.169	2766.602	236.1485

Cd

Sample ID	Reported RSD (Conc)	Cal Conc	Coef	Conc (Sam Rep)	Conc (Sar Int)	Int (Corr)	Conc (Cal Rep)	Conc (Sar Int)	Int (Corr)	Conc (Cal Rep)	Conc (Sar Int)	Int (Corr)	Conc (Cal Sample)	ID	
Cali Chan	0				-442.83	-442.83		-297.518	-297.518		-262.5	-262.5	0	-334.2	
10ppb					1	9159.13	9493.313			3	9193.45	9527.655	10	9126.262	
50ppb					1	46836.56	47170.76			3	46461.46	46795.66	50	46548.59	
100ppb					1	94977.42	95311.62			3	95331.53	95665.73	100	95191.65	
500ppb					1	191729.5	192063.7			3	194521.7	194855.9	500	193067	
1000ppb					1	286551.4	286865.6			3	294730.6	295064.8	1000	291029.9	
5000ppb					1	38336.2	38570.4			3	39224.8	39400.1	5000	39406.1	
5000ppb					1	479064.1	479398.3			3	492523.4	492875.6	5000	479154.7	
MBK	0.368	23.90074	0.367612	0.367612	1	0.398238	-216.23	117.9699	0.398238	2	0.268535	-341.698	-7.4975	0.268535	
QC250	231.1	0.663575	231.133	0.999921	231.133	2	0.230713	221957.7	222291.9	230.0713	2	0.2304362	222310.7	222649.9	230.4362
D1-50x	305.1	0.8764	305.1225	0.999911	305.1225	1	302.2612	30162.68	303025	302.2612	1	305.4748	30347.64	30652.5	305.4748
D2-50x	305.1	0.066989	310.214	0.999911	310.214	1	312.5231	31002.28	31357.15	312.5231	1	308.495	30364.66	30950.23	308.495
D3-50x	305.1	0.08975	305.0711	0.999911	305.0711	1	301.5852	29947.7	301.5852	301.5852	1	304.4021	30310.47	30547.7	304.4021
S1-2x	-88.89	221.3328	-88.8922	0.999911	-88.8922	1	-90.1234	-9623.39	-9318.33	-90.1234	1	-86.6231	-9269.59	-8964.72	-86.6231
CS1-2x	-86.77	2.347515	-86.7678	0.999911	-86.7678	1	-84.8428	-9053.19	-84.8428	-84.8428	1	-87.4294	-9315.05	-9046.18	-87.4294
CS2-2x	-71.09	1.595707	-71.0853	0.999911	-71.0853	1	-68.8475	-7574.9	-7270.69	-68.8475	1	-72.0748	-7799.91	-7495.04	-72.0748
CS3-2x	-83.94	2.231614	-83.9393	0.999911	-83.9393	1	-82.8575	-8889.19	-82834.2	-82.8575	1	-82.8582	-8889.26	-8584.39	-82.8582
S2-2x	-87.9	1.039288	-87.9031	0.999911	-87.9031	1	-86.587	-9294.53	-8989.66	-86.587	1	-88.6064	-9469.74	-9164.87	-88.6064
S3-2x	-89.14	0.161622	-89.1448	0.999911	-89.1448	1	-88.8593	-9465.09	-9160.22	-88.8593	1	-89.2286	-9452.78	-9227.94	-89.2286
S4-2x	62.06	2.458269	62.0614	0.999911	62.0614	1	67.6019	68140.8	67602.19	67.6019	1	6684.041	67020.19	6684.041	67.6019
D1-2x	6372	0.378481	6371.988	0.999911	6371.988	1	6376.019	64358.6	64390.51	6376.019	1	6393.835	64358.84	64599.31	6393.835
D2-2x	6200	1.270425	6220.269	0.999911	6220.269	1	6136.154	61875.12	61896.01	6136.154	2	6250.721	63091.3	63235.9	6250.721
D3-2x	6200	1.270425	6220.269	0.999911	6220.269	1	6136.154	61875.12	61896.01	6136.154	2	6250.721	63091.3	63235.9	6250.721
QC250	231.1	0.663575	231.133	0.999921	231.133	2	0.230713	221957.7	222291.9	230.0713	2	0.2304362	222310.7	222649.9	230.4362



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

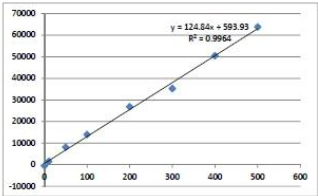
單位: mg/kg soil



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

Cr

Sample ID	Reported (RSD)	(Conc (Cali) Conc (San) Rep1 No1)	Conc (San) Int (Net)1	Int (Corr)1	Conc (Cali) Rep1 No2	Conc (San) Int (Net)2	Int (Corr)2	Conc (Cali) Rep1 No3	Conc (San) Int (Net)3	Int (Corr)3	Conc (Cali) Sample ID	124.84	593.93				
Calib Bian	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	8802.125				
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	29277.19	26437.51	3	25727.6	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	-253.299	-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	D1-500x	-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	D1-500x	-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	D1-2000x	-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	D2-2000x	-10.9619
D3-2000x	-10.88	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	D3-2000x	-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	CS1-100x	-24.8746
SI-500x	-35.49	0.675071	-35.4917	0.942536	-35.4917	1	-35.5417	-1203.57	-988.735	-35.5417	2	-35.7023	-1225.49	-1010.66	-35.7023	SI-500x	-35.4917
SI-200x	-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	SI-200x	-36.7881
SI-500x	-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	SI-500x	-38.1334
D1-500x	-50.43	0.837262	-50.4349	0.942536	-50.4349	1	-50.6997	-3273.43	-3058.16	-50.6997	2	-50.6571	-3267.61	-3052.78	-50.6571	D1-500x	-50.4349
D2-500x	-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	D2-500x	-51.0802
D3-500x	-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	D3-500x	-47.2107
SI-2x	-336.5	0.633745	-336.453	0.942536	-336.453	1	-338.853	-4262.15	-4240.66	-338.853	2	-335.727	-4219.46	-41979.8	-335.727	SI-2x	-336.453
CS1-2x	-317.7	1.846428	-317.705	0.942536	-317.705	1	-324.477	-4065.84	-4043.6	-324.477	2	-314.428	-3928.62	-39071.4	-314.428	CS1-2x	-317.705
CS2-2x	-307.8	1.248129	-307.81	0.942536	-307.81	1	-306.701	-3823.1	-3801.61	-306.701	2	-304.645	-3759.02	-37375.4	-304.645	CS2-2x	-307.81
CS3-2x	-324.7	1.719164	-324.747	0.942536	-324.747	1	-330.268	-4149.1	-41234.3	-330.268	2	-324.868	-4097.17	-40496.9	-324.868	CS3-2x	-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	S2-2x	-323.512
S3-2x	-407.8	0.726783	-407.846	0.942536	-407.846	1	-409.687	-52294.2	-52079.2	-409.687	2	-409.424	-52258.1	-52043.2	-409.424	S3-2x	-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	D1-2x	-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	D2-2x	-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	D3-2x	-469.012



Hg
CS(校) ND ND
SI(實) ND ND
D(監) ND ND
回收率(%) 66.95
單位: mg/Kg soil

Cu

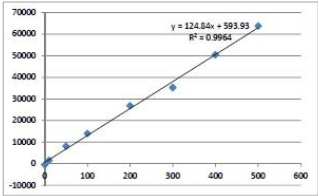
Sample ID	Reported (RSD)	(Conc (Cali) Conc (San) Rep1 No1)	Conc (San) Int (Net)1	Int (Corr)1	Conc (Cali) Rep1 No2	Conc (San) Int (Net)2	Int (Corr)2	Conc (Cali) Rep1 No3	Conc (San) Int (Net)3	Int (Corr)3	Conc (Cali) Sample ID	709.82	-1770.4			
Calib Bian	0		1	-669.285	-669.285	2	-227.962	-227.962	3	-469.618	-469.618	0	-455.621			
10ppb	0		1	6163.498	6619.12	2	6287.214	6742.835	3	6176.052	6631.674	10	6664.543			
50ppb	0		1	32869.77	33235.39	2	32384.9	32840.52	3	33119.12	33574.74	50	33246.88			
100ppb	0		1	67672.09	68127.72	2	66884.05	67339.67	3	67154.79	67610.41	100	67692.6			
200ppb	0		1	137748.6	138204.2	2	137737.3	138192.9	3	140930.1	141385.7	200	139261			
300ppb	0		1	21012.6	210588.3	2	20884.4	209301	3	21016.5	210622.1	300	210170.5			
400ppb	0		1	28163.03	282085.9	2	285817.8	286273.4	3	277347	277802.7	400	282054			
500ppb	0		1	354333.8	354789.5	2	353768.1	354223.7	3	354107.7	354563.3	500	354525.5			
MBK	5.85	3.80878	5.850321	0.999955	5.850321	1	5.726754	1963.574	2419.196	5.726754	2	6.107552	2233.737	2689.339	6.107552	5.85
QC250	242.2	0.649057	242.2464	0.999955	242.2464	1	241.1316	168975	169430.6	241.1316	2	244.0448	171041.8	171497.4	244.0448	242.25
CS1-1000x	167.9	0.790604	167.8624	0.999955	167.8624	1	166.356	115924.4	116380	166.356	2	168.8593	117700.3	118156	168.8593	167.8624
CS2-1000x	24.56	0.36634	24.56104	0.999955	24.56104	1	24.45911	15253.52	15709.14	24.45911	2	24.62944	15374.36	15829.99	24.62944	24.56
CS3-1000x	12.73	1.910111	12.72743	0.999955	12.72743	1	12.87672	7036.221	7491.842	12.87672	2	12.57387	6821.359	7276.98	12.57387	12.73
CS1-1000x	46.68	0.42015	46.68015	0.999955	46.68015	1	46.84849	31134.87	31590.49	46.84849	2	46.46287	30864.41	31320.09	46.46287	46.68
D1-500x	49.35	0.640867	49.34579	0.999955	49.34579	1	49.63682	33116.21	33571.84	49.63682	2	49.00927	32670.98	33126.61	49.00927	49.35
D2-500x	54.65	1.969942	54.6456	0.999955	54.6456	1	55.05713	36961.73	37417.35	55.05713	2	55.45562	37244.45	37700.07	55.45562	54.65
D3-500x	48.75	0.357579	48.74569	0.999955	48.74569	1	48.65227	32417.71	32873.33	48.65227	2	48.63802	32407.6	32863.22	48.63802	48.75
SI-500x	35.64	0.5261838	35.6396	0.999967	35.6396	1	37.5868	3268.449	2762.125	37.5868	2	35.4864	3106.816	2600.491	35.4864	35.64
S2-500x	35.38	1.794127	35.38463	0.999967	35.38463	1	35.47996	3106.32	2599.995	35.47996	2	34.70751	3046.878	2540.553	34.70751	35.38
S3-500x	34.29	4.161012	34.29129	0.999967	34.29129	1	35.69935	3123.203	2616.878	35.69935	2	34.32818	3017.687	2511.362	34.32818	34.29
SI-2x	887.4	0.83302	887.3773	0.999967	887.3773	1	888.9825	68786.28	68279.95	888.9825	2	893.8349	69159.69	68653.37	893.8349	887.4
CS1-2x	6825	1.678351	6824.812	0.999967	6824.812	1	6952.519	53539.63	534890	6952.519	2	6790.768	52249.47	52244.27	6790.768	6825
CS2-2x	6626	1.725927	6626.065	0.999967	6626.065	1	6628.26	51044.39	50997.6	6628.26	2	6739.31	51898.2	51848.2	6739.31	6626
CS3-2x	4716	1.859412	4715.579	0.999967	4715.579	1	4679.466	360477	359970.7	4679.466	2	4815.55	370949.2	370442.9	4815.55	4716
S2-2x	883.9	0.493719	883.8954	0.999967	883.8954	1	882.5702	68292.83	67786.51	882.5702	2	880.3476	68121.8	67615.47	880.3476	883.9
S3-2x	877.6	0.453437	877.6351	0.999967	877.6351	1	874.0956	67640.68	67134.36	874.0956	2	876.867	67853.95	67347.63	876.867	877.6
D1-2x	101100	0.817265	101054.4	0.999967	101054.4	1	100008	785044	7847937	100008	2	1005674	7740057	7739569	1005674	101100
D2-2x	113000	0.646827	112983.9	0.999967	112983.9	1	112799	8606447	8680141	112799	2	112359.9	8464854	8466348	112359.9	113000
D3-2x	102200	1.109121	102205.3	0.999967	102205.3	1	101413	7800474	7803947	101413	2	103500	7965507	7964551	103500	102200



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							1	-639.629	-639.629	2	-476.951	-476.951	3	-414.38	-414.38	0	-510.32	
10ppb							1	1489.999	2000.319	2	1434.87	1945.191	3	1344.16	1854.48	10	1423.01	
50ppb							1	7981.992	8492.312	2	8169.31	8679.63	3	8125.073	8635.393	50	8092.125	
100ppb							1	13776.28	14286.6	2	13834.3	14344.62	3	14242.65	14752.97	100	13951.07	
200ppb							1	29179.28	29689.6	2	29277.19	26437.51	3	25572.6	26082.92	200	26893.02	
300ppb							1	34685.33	35195.65	2	36207.95	36718.27	3	34922.76	35433.08	300	35272.01	
400ppb							1	50755.12	51265.44	2	50700.9	51211.22	3	50088.63	50598.95	400	50514.88	
500ppb							1	63969.2	64479.52	2	63800.66	64310.98	3	63820.09	64338.41	500	63865.98	
MBK	-6.756	2.950768	-6.75602	0.998206	-6.75602	-6.75602	1	-6.67122	-238.905	271.4152	-6.67122	2	-6.98376	-277.922	232.968	-6.98376	-6.75602	
QC250	167.4	0.450251	167.3862	0.998206	167.3862	167.3862	1	167.1496	2146.909	2197.211	167.1496	2	168.2298	2195.973	22106.05	168.2298	167.3862	
SI-500x	-12.18	3.213515	-12.1798	0.998206	-12.1798	-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	-11.2322	1	-10.5554	-723.805	-213.485	-10.5554	2	-12.3717	-950.555	-440.234	-12.3717	CS1-1000x	-11.2322
CS2-1000x	-10.17	6.483806	-10.1721	0.998206	-10.1721	-10.1721	1	-9.70038	-617.066	-106.745	-9.70038	2	-8.98027	-640.771	-130.451	-8.98027	-10.1721	
CS3-1000x	-11.15	3.272553	-11.1504	0.998206	-11.1504	-11.1504	1	-10.8474	-763.58	-253.259	-10.8474	2	-11.564	-849.721	-339.401	-11.564	-11.1504	
CS1-1000x	-41.55	1.207613	-41.5478	0.998206	-41.5478	-41.5478	1	-41.4217	-4577.15	-4066.83	-41.4217	2	-41.022	-4661.91	-4151.59	-41.022	-41.5478	
D1-500x	-16.07	3.169203	-16.0674	0.998206	-16.0674	-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	-15.4833	1	-15.5688	-1340.67	-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	-15.3384	1	-15.6737	-1362.77	-852.454	-15.6737	2	-16.1737	-1418.14	-907.816	-16.1737	-15.3384	
D1-2000x	-11.07	10.29296	-11.0659	0.998206	-11.0659	-11.0659	1	-9.85313	-636.135	-125.814	-9.85313	2	-11.2317	-908.229	-297.909	-11.2317	-11.0659	
D2-2000x	-10.96	7.709859	-10.9619	0.998206	-10.9619	-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	-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	-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	0.675071	-35.4917	0.942536	-35.4917	-35.4917	1	-35.5417	-1202.57	-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	-36.7881	1	-35.9745	-1263.67	-1047.84	-35.9745	2	-36.3281	-1298.66	-1083.382	-36.3281	-36.7881	
S3-50x	-38.13	1.642855	-38.1334	0.942536	-38.1334	-38.1334	1	-37.9032	-1526.03	-1311.12	-37.9032	2	-37.6547	-1492.11	-1277.26	-37.6547	-38.1334	
D1-50x	-50.43	0.837262	-50.4349	0.942536	-50.4349	-50.4349	1	-50.6997	-3273.43	-3058.6	-50.6997	2	-50.6571	-3267.61	-3028.756	-50.6571	-50.4349	
D2-50x	-51.08	1.79818	-51.0802	0.942536	-51.0802	-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	-47.2107	1	-47.1983	-3683.79	-3451.7	-47.1983	2	-47.9863	-3795.31	-3497.7	-47.9863	-47.2107	
SI-2x	-336.5	0.633745	-336.453	0.942536	-336.453	-336.453	1	-338.853	-4262.15	-4240.66	-338.853	2	-335.727	-4204.6	-338.727	-335.727	-336.453	
CS1-2x	-317.7	1.846428	-317.705	0.942536	-317.705	-317.705	1	-324.477	-40658.4	-40443.6	-324.477	2	-314.428	-39286.2	-37701.4	-314.428	-317.705	
CS2-2x	-307.8	1.248129	-307.81	0.942536	-307.81	-307.81	1	-306.701	-38231	-38016.1	-306.701	2	-304.645	-37950.2	-37075.4	-304.645	-307.81	
CS3-2x	-324.7	1.719104	-324.747	0.942536	-324.747	-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	-323.512	1	-323.988	-40591.6	-40376.8	-323.988	2	-329.323	-42341.3	-41309.2	-329.323	-323.512	
S3-2x	-407.8	0.726783	-407.846	0.942536	-407.846	-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	-402.942	1	-408.254	-52098.4	-51983.5	-408.254	2	-407.143	-51946.7	-51731.8	-407.143	-402.942	
D2-2x	-477	0.640561	-476.971	0.942536	-476.971	-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	-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

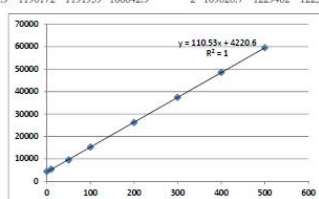
Sample ID	Reported (RSD)	(Conc	(Cali	Corr	Coef	Conc (San Repl No1)	Conc (San Int (Net)1	Int (Corr)1	Conc (Cali Repl No2)	Conc (San Int (Net)2)	Int (Corr)2	Conc (Cali Repl No3)	Conc (San Int (Net)3)	Int (Corr)3	Conc (Cali Sample ID)	660.72	-1861.2
Calib Blank	0						1	-579.885	579.885	2	699.244	699.244	3	-809.041	-809.041	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	63443.87	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	189868.6	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	1873.629	2571.706	5.655741	3	5.446377
QC250	239.4	1.073639	239.3513	0.999868	239.3513	1	237.1822	14584.04	15546.46	237.1822	2	238.6823	155841.5	156537.6	238.6823	3	242.1894
CS1-1000x	10.66	1.038251	10.66341	0.999868	10.66341	1	10.70159	529.556	590.612	10.70159	2	10.53866	5101.9	5797.957	10.53866	3	10.74997
D1-500x	14.67	1.436006	14.66587	0.999868	14.66587	1	14.86254	7958.784	8654.841	14.86254	2	14.44366	7682.023	8378.08	14.44366	3	14.6914
D2-500x	15.68	0.454652	15.68441	0.999868	15.68441	1	15.62686	8463.788	9159.845	15.62686	2	15.66219	8487.134	9183.19	15.66219	3	15.76418
D3-500x	14.69	1.069662	14.69114	0.999868	14.69114	1	14.85914	7956.478	8654.841	14.85914	2	14.66673	7820.408	8525.465	14.66673	3	14.54763
SI-50x	51.13	1.490874	51.12576	0.999913	51.12576	1	51.16072	3552.062	3220.215	51.16072	2	50.34667	3497.898	3166.051	50.34667	3	51.8699
S2-50x	53.98	1.254583	53.98155	0.999913	53.98155	1	53.73775	3732.923	3394.076	53.73775	2	53.44326	3703.933	3372.086	53.44326	3	54.72765
S3-50x	51.25	1.395468	51.2525	0.999913	51.2525	1	51.9816	3606.68	3274.833	51.9816	2	50.55203	3511.563	3179.715	50.55203	3	51.22386
SI-2x	1150	0.655611	1149.827	0.999913	1149.827	1	1157.962	77194.22	76862.38	1157.962	2	1143.077	76203.85	7582.01	1143.077	3	1148.442
CS1-2x	1958	0.928424	1958.247	0.999913	1958.247	1	1957.05	130362.4	130030.5	1957.05	2	1940.695	129274.1	128974.0	1940.695	3	1967.997
CS2-2x	1697	0.32871	1696.813	0.999913	1696.813	1	1702.314	113413.3	113081.4	1702.314	2	1691.651	112671.2	112339.4	1691.162	3	1696.964
CS3-2x	1949	0.924465	1948.754	0.999913	1948.754	1	1965.438	130920.5	130588.6	1965.438	2	1929.621	128593.4	128225.5	1929.651	3	1951.174
SI-20x	1210	0.752126	1210.769	0.999913	1210.769	1	1225.866	8275.5	8036.37	1225.866	2	1209.647	8076.38	8037.88	1209.695	3	1213.785
S3-2x	1238	1.007765	1238.495	0.999913	1238.495	1	1252.06	83455.15	83123.3	1252.06	2	1227.533	81823.18	81439.31	1227.533	3	1235.783
SI-20x	21530	0.489147	21532.04	0.999913	21532.04	1	21585.65	143672	143960.5	21585.65	2	21410.7	142473.1	141499.39	21410.7	3	21599.78
D2-2x	22410	1.69415	22409.48	0.999913	22409.48	1	22287.25	1483053	1482741	22287.25	2	22381.62	1479352	1479020	22331.62	3	22710.78
D3-2x	21730	0.703802	21734.48	0.999913	21734.48	1	21794.79	1450287	1449955	21794.79	2	22224.44	145380	145438	21488.04	3	21650.51



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

Pb

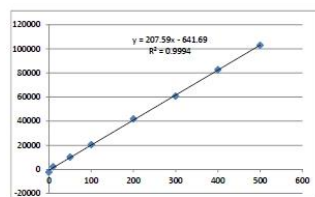
Sample ID	Reported (RSD)	Conc (Conc)	Cali	Coef	Conc (San Repl No1)	Conc (San Int (Net)1)	Int (Corr)1	Conc (Cali Repl No2)	Conc (San Int (Net)2)	Int (Corr)2	Conc (Cali Repl No3)	Conc (San Int (Net)3)	Int (Corr)3	Conc (Cali Sample ID)	110.53	4220.6
Calib Bian	0				1	4544.72	4544.72	2	4383.717	4383.717	3	4317.9943	4317.994	0	4415.477	
10ppb	0				1	5271.11	855.6351	2	5431.745	1016.268	3	5539.4514	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	32952.77	2	37655.3	33239.82	3	37178.84	32763.36	300	37400.8	
400ppb	0				1	48288.28	43872.8	2	49038.38	44622.9	3	48268.596	43853.12	400	48531.75	
500ppb	0				1	59316.96	54901.48	2	59388.26	54972.78	3	59729.11	55313.63	500	59478.11	
MBK	3.75	18.77739	3.749521	0.99998	3.749521	1	4.329917	4699.174	283.6968	4.329917	2	3.952332	4657.439	241.9624	3.952332	3.749521
QC250	238.1	0.479807	238.0652	0.99998	238.0652	1	238.8226	30617.55	26202.08	238.8226	2	238.6218	30595.36	26179.88	238.6218	238.0652
CS1-1000x	11	5.568656	10.99944	0.99998	10.99944	1	10.36053	5365.735	950.2583	10.36053	2	11.05617	5442.624	1027.147	11.05617	10.99944
D1-500x	65.7	1.920055	65.69689	0.99998	65.69689	1	66.05777	11521.93	7106.453	66.05777	2	66.73853	11597.17	7181.697	66.73853	65.69689
D2-500x	63.84	1.434465	63.84065	0.99998	63.84065	1	63.03732	11188.08	6772.604	63.03732	2	64.83783	11387.09	6971.613	64.83783	63.84065
D3-500x	62.74	1.480251	62.73792	0.99998	62.73792	1	61.79599	11050.88	6635.4	61.79599	2	62.76501	11157.98	6742.504	62.76501	62.73792
S1-50x	39.02	13.21794	39.02223	0.999825	39.02223	1	43.68769	4683.215	450.2864	43.68769	2	33.48335	4569.372	336.4133	33.48335	39.02223
S2-50x	43.69	1.134181	43.68879	0.999825	43.68879	1	43.68608	4683.198	450.2384	43.68608	2	43.19464	4677.715	444.7559	43.19464	43.68879
S3-50x	45.93	11.87234	45.93352	0.999825	45.93352	1	46.35287	4712.949	479.9901	46.35287	2	51.16512	4766.636	533.6773	51.16512	45.93352
S1-2x	1038	1.828925	1037.88	0.999825	1037.88	1	1056.826	15986.14	11753.18	1056.826	2	1037.97	15775.77	11542.81	1037.97	1037.88
S1-2x	2219	0.358928	2219.173	0.999825	2219.173	1	2210.204	28853.62	24620.66	2210.204	2	2225.423	29023.4	24790.44	2225.423	2219.173
CS2-2x	2205	0.888428	2205.046	0.999825	2205.046	1	2182.995	28550.07	24317.11	2182.995	2	2211.699	28870.29	24637.33	2211.699	2205.046
CS3-2x	1998	0.811169	1998.357	0.999825	1998.357	1	2016.663	26694.41	22461.45	2016.663	2	1992.584	26425.77	22192.81	1992.584	1998.357
S2-2x	1006	0.433957	1006.156	0.999825	1006.156	1	1001.357	15367.31	11134.35	1001.357	2	1007.215	15432.66	11199.7	1007.215	1006.156
S3-2x	982.5	0.809958	982.536	0.999825	982.536	1	974.5411	15068.14	10835.18	974.5411	2	982.6102	15158.16	10925.2	982.6102	982.536
D1-2x	109600	1.002057	109628.2	0.999825	109628.2	1	110869.9	124109.9	126866	110869.9	2	108782.8	1217814	1213581	108782.8	109628.2
D2-2x	107700	1.928315	107690.4	0.999825	107690.4	1	108175.3	1211037	1206804	108175.3	2	109481.7	1221378	109481.7	109481.7	107690.4
D3-2x	108100	1.449411	108062.2	0.999825	108062.2	1	106842.9	1196172	1191939	106842.9	2	109828.7	1229482	1225249	109828.7	108062.2



Pb
CS(校) 215.8633 17.27
S(實) 101.6048 8.13
D(差) 64.09182 1281.84
回收率(%) 95.23
單位：mg/kg soil

Zn

Sample ID	Reported (RSD)	Conc (Conc)	Cali	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)	207.59	641.69
Calib Bian	0				1	-2161.7	-2161.7	2	-2406.01	-2406.01	3	-2675.44	-2675.44	0	-2414.38	
10ppb	0				1	-15.7846	2398.596	2	-181.694	2232.686	3	-250.48	2163.901	10	2265.061	
50ppb	0				1	7580.711	9995.092	2	7743.763	10158.14	3	7813.839	10228.22	50	10127.15	
100ppb	0				1	17536.51	19950.89	2	18247.33	20661.71	3	18501.91	20916.29	100	20509.63	
200ppb	0				1	39228.94	41643.32	2	39347.68	41762.06	3	39747.71	42162.09	200	41855.82	
300ppb	0				1	57904.57	60318.96	2	58144.92	60559.3	3	58969.07	61383.45	300	60753.9	
400ppb	0				1	78688.23	81102.61	2	81028.87	83443.25	3	81080.19	83494.58	400	82680.15	
500ppb	0				1	100979.4	103393.8	2	100025.6	102440	3	100521.2	102935.6	500	102923.1	
MBK	25.22	2.280869	25.22465	0.999921	25.22465	1	25.71396	2904.433	5318.814	25.71396	2	25.36916	2833.513	5247.894	25.36916	25.22
QC250	239	1.133243	238.9639	0.999921	238.9639	1	236.9487	46353.43	48767.81	236.9487	2	242.0422	47401.11	48815.5	242.0422	239
CS1-1000x	77.09	1.655067	77.09334	0.999921	77.09334	1	77.59111	13575.07	15989.46	77.59111	2	78.04537	13668.51	16082.89	78.04537	77.09
CS2-1000x	21.37	1.309104	21.37325	0.999921	21.37325	1	21.11092	1957.632	4372.013	21.11092	2	21.66774	2072.164	4486.545	21.66774	21.37
CS3-1000x	45.31	0.783809	45.3127	0.999921	45.3127	1	45.63398	7001.795	9416.176	45.63398	2	45.37279	6948.07	9362.45	45.37279	45.31
D1-2000x	289.9	0.297052	289.8737	0.999921	289.8737	1	290.674	57404.21	59818.59	290.674	2	288.9626	57052.18	59466.57	288.9626	289.9
D2-2000x	277	1.117219	277.0413	0.999921	277.0413	1	274.8857	54156.72	56571.1	274.8857	2	280.5879	55329.6	57743.98	280.5879	277
D3-2000x	262.7	2.062196	262.6865	0.999921	262.6865	1	268.9416	52934.06	55348.45	268.9416	2	259.5417	51000.6	53414.98	259.5417	262.7
S1-50x	129.2	2.78034	129.2401	0.99263	129.2401	1	133.2536	983.3846	3118.096	133.2536	2	128.1444	850.2138	2984.925	128.1444	129.2401
S2-50x	109.6	0.562485	109.5577	0.99263	109.5577	1	109.3459	360.2346	2494.946	109.3459	2	110.2519	383.8499	2518.561	110.2519	109.5577
S3-50x	112.1	0.664873	112.0866	0.99263	112.0866	1	111.3432	412.2948	2547.006	111.3432	2	112.8337	451.1431	2585.854	112.8337	112.0866
S1-2x	6882	7.55091	6881.941	0.99263	6881.941	1	7436.35	191336.7	193471.4	7436.35	2	6803.503	174841.7	176976.4	6803.503	6881.941
S2-2x	3320	2.450723	3320.168	0.99263	3320.168	1	3406.34	86295.51	88430.22	3406.34	2	3309.511	83771.7	85906.41	3309.511	3320.168
S3-2x	3354	0.884402	3354.283	0.99263	3354.283	1	3322.033	84098.07	86232.78	3322.033	2	3380.406	85619.56	87754.28	3380.406	3354.283



Zn
CS(校) 47.92 19169.33
S(實) 16.07 32.13193
D(差) 276.53 22122.67
回收率(%) 95.6
單位：mg/kg soil

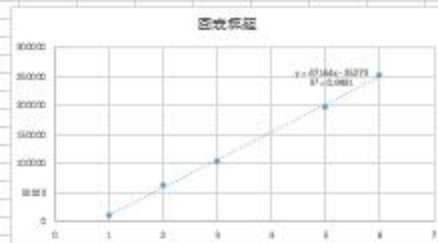
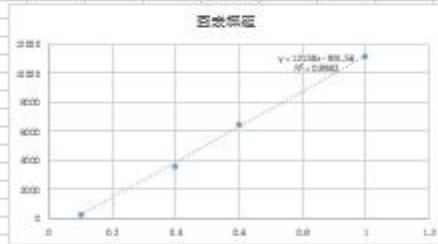


附錄

2. DDT 與 Lindane 原始資料

DDT

0.05							
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	
1	1.009	759.8	92.6	0.1053	100	0.158	
							0.1 305.1
							0.1 3607.5
							0.6 6188.7
0.1							
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	
1	1.09	810.7	83.3	0.1247	72.66	0.58	1 11121.8
2	11.391	305.1	11.7	0.1021	27.34	0.66	2 61002.2
							3 102281.1
							5 196110.7
							6 251602.8
0.1							
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	
1	1.086	1229.2	114.2	0.1368	21.68	0.165	
2	13.116	833.2	87.6	0.1397	14.64%	0.511	
3	11.386	3607.5	577.2	0.0837	63.62%	0.653	
0.6							
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	
1	1.081	1362.3	129.7	0.1385	15.66%	0.106	
2	13.108	955.1	106.9	0.1269	10.84%	0.177	
3	11.381	6188.7	1156.9	0.083	73.682	0.656	
0.8							
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	
1	1.085	1503.5	138.1	0.1395	10.712	0.136	
2	13.11	1375.2	117.5	0.1376	9.82%	0.166	
3	11.381	11118.1	1912.5	0.086	79.135	0.657	
1							
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	
1	1.085	1529.1	132.1	0.1463	10.958	0.135	
2	13.107	1303.1	139.1	0.1339	9.539	0.115	
3	11.38	11121.8	1928.2	0.0865	79.703	0.656	
2							
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	
1	1.039	2715.9	215.7	0.137	5.892	0.102	
2	13.1	3061.7	351.6	0.1218	1.392	0.117	
3	11.376	61002.2	11875.8	0.0821	91.716	0.686	
3							
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	
1	1.082	3251.8	297.1	0.1106	2.961	0.137	
2	11.679	497.2	63.1	0.1175	0.155	0.606	
3	13.102	3783.1	418.5	0.1221	3.115	0.178	
4	11.371	102281.1	18776.3	0.0828	93.138	0.655	
5							
#	Time	Area	Height	Width	Area%	Symmetry	
1	1.039	5951.7	566.7	0.1101	2.129	0.105	
2	11.675	873.5	106.2	0.1199	0.12	0.525	
3	13.099	5633.6	685.5	0.1183	2.709	0.175	
4	11.371	196110.7	36117.7	0.0826	91.112	0.688	



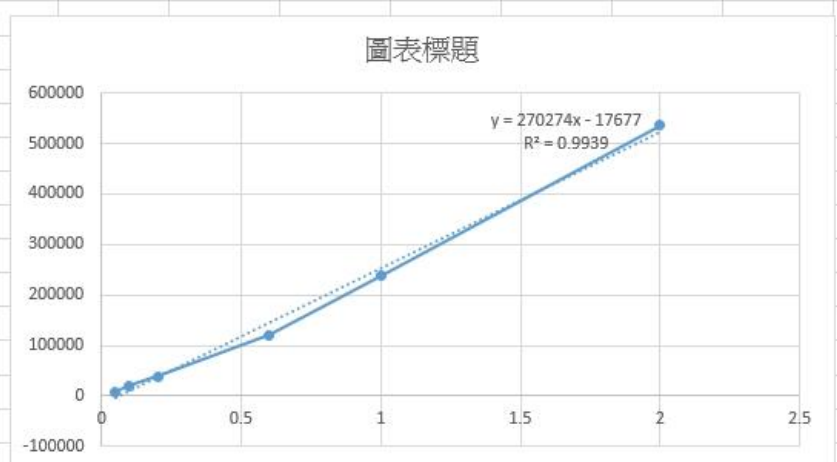


二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證

	0	7	14	28	49		0	7	14	28	49		COD	0	7	14	28	49
1-1	185399.1	381971.3	529551.9	130691	1210166	1-1	4678831	8846669	1191216	551987	53157177	1	1	1307173	2382151	6678789	6622299	
1-2		111528.5	1302009	91889.6	76803	1-2		3106555	9869263	2687688	23763096	2	1	6666629	1333355	883189	5094219	
2-1	399138.9	1668106	3981688	163261.1	1073499	2-1	7060306	3861281	5161602	4289511	236021457	3	1	8826287	1345692	1369507	8136288	
2-2		39886.2	2862923	168865.5	185952.2	2-2		2254102	710905	4311307	468012806	4	1	1094727	2838599	1724972	2386236	
3-1	399136.9	802391	305146.5	217395.6	-	3-1	7160306	2449158	7217783	5357234	-	5	1	1024235	1653191	1390089	1397019	
3-2		205590	2037725	298771.7	58801.2	3-2		5106077	5188589	7082684	139461878	6	1	952381	1237598	1178151	115598	
4-1		105625.9	27605.1	11260.1	354738.1	4-1		2987125	6688396	5136596	784520185	7	1	1913889	9362058	8179379	8138666	
4-2		295927.5	8771895	59695.1	62772.1	4-2		7022516	1933659	1263608	139734777	8	1	8735599	9551021	8175815	8170012	
5-1	63168.1	173922	2849088	212161.9	273351.6	5-1	2087215	4417895	7000517	524633	654571131	9	1	1209721	1601019	8354639	8234023	
5-2		198061	338861.2	294955.7	258571.6	5-2		194729	7952686	7097971	62305367							
6-1		86062.6	180181.9	266820	206271.3	6-1		2572652	4568207	6305161	512137011							
6-2		98483.8	283156.9	17839.1	221309	6-2		2857196	6751516	4370115	54020863							
7-1	87847.3	371001.7	158251.6	60621.7	23051.1	7-1	2610472	8614912	1103867	2033282	121542702							
7-2		396712.1	98855.8	755619	98576.7	7-2		9159213	2365981	2349968	27955805							
8-1		123710.6	110263.7	2108.1	1099.8	8-1		3371501	3385758	8888816	87713937							
8-2		122999.3	56817.2	2775.9	1671.7	8-2		3354514	1952553	886736	878352415							
9-1	117414.2	306798.2	205975.5	21746	12170.5	9-1	5873446	7316411	5191894	1251357	100992613							
9-2		141346	410506.1	58645.3	18205.7	9-2		3714781	9447841	1991313	113388814							
	180351.2							4571796										
	0	7	14	28	49		0	7	14	28	49							
1-1	17182	19905.9	26810.8	68256.3	51680.8	1-1		65%	75%	102%	118%	80%						
1-2		10560.5	22986.7	53893.9	42352.1	1-2			10%	86%	79%	62%						
2-1	9872.1	17175.9	18360.8	39379.2	40000.3	2-1		77%	65%	70%	58%	138%						
2-2		11505.1	18870.5	57157.1	50801.9	2-2			41%	71%	81%	71%						
3-1	9872.1	11609.5	20807.1	8644.3	-	3-1		57%	41%	79%	19%	-						
3-2		16202.5	19300.6	8521	16361.2	3-2			51%	75%	12%	21%						
4-1		16556.8	26211.1	88311.2	65803.7	4-1			63%	99%	71%	39%						
4-2		11175.1	24901.3	23931.1	48000.9	4-2			42%	91%	35%	65%						
5-1	8180.8	15001.5	24725.6	37143.9	50165	5-1		52%	57%	91%	51%	73%						
5-2		16385.2	24078.6	21136.8	41779.8	5-2			62%	91%	11%	66%						
6-1		13883	15906.6	21638.7	42305.1	6-1			55%	71%	36%	62%						
6-2		15727.9	28119.3	18506.1	52371	6-2			52%	100%	27%	77%						
7-1	11551.8	12736.5	15696.7	19271.3	58808.3	7-1		11%	18%	59%	28%	88%						
7-2		18523	12511.8	16935.2	48010.2	7-2			19%	17%	25%	12%						
8-1		11517.9	25886.7	17660.8	75805.5	8-1			41%	98%	36%	111%						
8-2		20185.3	24116.3	25159.2	62805	8-2			38%	91%	54%	82%						
9-1	15197.1	21207.7	17705	22159.8	40198.7	9-1		58%	30%	67%	33%	117%						
9-2		11750.1	28192.6	26318.1	59941.3	9-2			96%	107%	38%	88%						

Linadane

Line-1	
Conc.	Area
0.01	
0.02	
0.05	7270.5
0.1	20779.8
0.2	38939.2
0.6	120155.2
1	238044
2	536335.7
3	1026455





附錄

Area	0	7	14	28	49
1-1	12457.2	15529.5	8877.1	132519.3	6278.6
1-2		7075.1	4008	1399.3	
2-1	53541.6	71004.6	57018.9	26813	46599.8
2-2		33529.3	86895.3	12070.3	40999.3
3-1	282502.5	128328.5	36629.9	70941.8	85794.7
3-2		178521.9	145333.8	98757.2	126399.8
4-1		54257.6	37516.2	10283.1	7379.8
4-2		37081.4	36954.3	5662.9	7915.3
5-1	313570	195235.2	60476	53511.9	48582.4
5-2		67278.3	119902.5	69945	37445.2
6-1		21490.9	55901.2	57917.8	25339.7
6-2		28443.9	40037	5588.6	63856.4
7-1	133148	59766.5	140569.9	834.9	6533.5
7-2		63450.9	128003.6	90564.9	2608.3
8-1		13562.8	6628.6	560	213
8-2		20642.3	7358.2	269.7	661.1
9-1	115326.9	78156.5	90752.7	22170.6	22924.9
9-2		64354	58123	43109.5	11235.5
151757.7					
Conc.	0	7	14	28	49
1-1	0.111495	0.1228624	0.0982468	0.5557186	0.0886345
1-2		0.0915815	0.0802394	0.0705813	0.065404
2-1	0.2635052	0.3281174	0.276371	0.1646107	0.2378209
2-2		0.1894607	0.3869122	0.1100635	0.2168773
3-1	1.1106488	0.5216947	0.2009928	0.327885	0.38264
3-2		0.7259259	0.6081316	0.4128009	0.519165
4-1		0.2661548	0.204212	0.1084509	0.0938667
4-2		0.2026033	0.202133	0.0863564	0.0946902
5-1	1.225597	0.7877649	0.2891621	0.2633953	0.2451564
5-2		0.3143303	0.5090371	0.3241969	0.209493
6-1		0.1449192	0.2722256	0.2796969	0.1591596
6-2		0.1521452	0.2135389	0.0860815	0.3016694
7-1	0.5580448	0.286537	0.5855055	0.0684561	0.0895776
7-2		0.3001691	0.5390108	0.4004895	0.0750546
8-1		0.1155857	0.089911	0.067476	0.0661921
8-2		0.1417795	0.092629	0.0664019	0.06785
9-1	0.4921076	0.3545791	0.4011844	0.1474341	0.150225
9-2		0.3085105	0.2804561	0.2249069	0.1069748
0.6368997					
10-CB	0	7	14	28	49
1-1	26118.1	24753.3	24179.9	23265.1	18120.7
1-2		14903	16386.1	20004	19399.8
2-1	13526.7	15838.9	15546.7	8838.6	32071
2-2		14429.6	21268.6	5519.8	27796.1
3-1	25108.9	21550.1	10950.8	16728.5	52628.9
3-2		28744.8	20595.6	16708.2	42171.8
4-1		16951.7	14542.2	14000	47407
4-2		12913	18129.7	12269.4	49351.7
5-1	25659.2	20223	11000.2	19939.6	34370.6
5-2		15180.6	17006.1	16817.2	33999.6
6-1		5704.6	14978.1	17338.5	15506.9
6-2		6319.8	11844	2225.9	37213.6
7-1	12852.5	7060.5	24422.9	10854.1	68611.7
7-2		15463.5	20220.3	42252.4	76721.7
8-1		11358.4	22612.1	19709	75752.4
8-2		10920.6	29457	17978.8	74555.7
9-1	22573.7	11130.5	15621.3	6465.6	24699.3
9-2		25542.5	13144.5	7602.2	22632.1
回收率	0	7	14	28	49
1-1	99%	94%	92%	88%	27%
1-2		56%	62%	76%	28%
2-1	51%	60%	59%	33%	47%
2-2		55%	81%	21%	41%
3-1	95%	82%	41%	63%	77%
3-2		90%	78%	63%	62%
4-1		64%	55%	53%	69%
4-2		49%	69%	46%	72%
5-1	97%	77%	42%	73%	50%
5-2		57%	64%	64%	50%
6-1		22%	57%	66%	23%
6-2		24%	45%	8%	54%
7-1	49%	27%	92%	39%	73%
7-2		59%	77%	160%	82%
8-1		43%	86%	75%	79%
8-2		41%	89%	66%	79%
9-1	85%	42%	59%	24%	94%
9-2		97%	50%	29%	86%



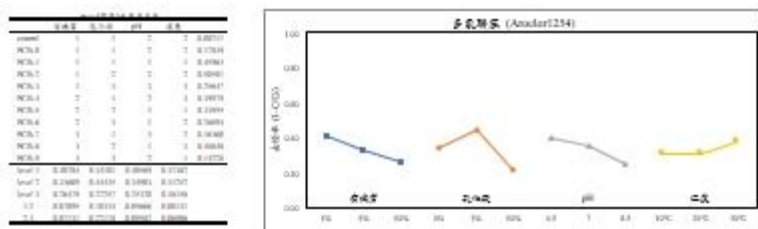
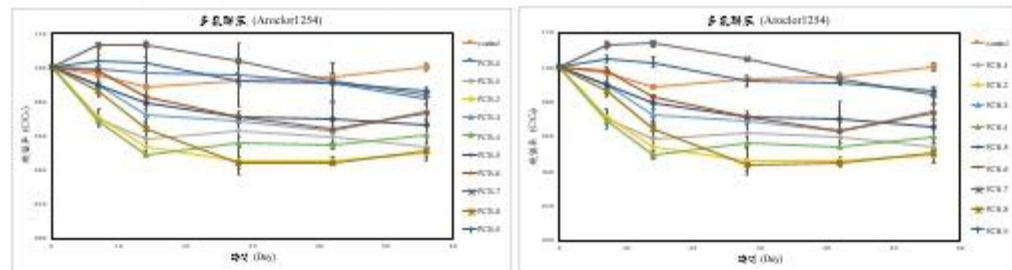
二仁溪污染底泥整治模場試驗計畫-結合低溫現地相反轉及生物分解進行土壤與底泥有機物污染整治技術研發及驗證

3. Aroclor 1254 與 HCB 原始資料

Aroclor 1254

Aroclor 1254 (ppm)										Aroclor 1254 (ppm)										Aroclor 1254 (ppm)										Aroclor 1254 (ppm)									
樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位
PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5

Aroclor 1254 (ppm)										Aroclor 1254 (ppm)										Aroclor 1254 (ppm)										Aroclor 1254 (ppm)									
樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位	樣本	日期	位置	深度	單位
PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5	PCB-1	2018.12.17	0.5	0.5	0.5



HCB

Figure 1 is a line graph titled "六氟苯 (PFCB)". The y-axis is labeled "相对保留时间 (0.000)" and ranges from 0.000 to 1.000. The x-axis has four categories of parameters: "溶剂种类" (Solvent type) with values 1%, 30%, and 100%; "苯/六氟" (Benzene/hexafluorobenzene) with values 0%, 1%, and 100%; "pH" with values 0.5, 7, and 8.5; and "温度" (Temperature) with values 0°C, 20°C, and 100°C. There are four data series plotted: a blue line with circles, an orange line with circles, a grey line with circles, and a yellow line with circles. The blue and orange series are clustered at low relative retention times (around 0.45-0.55), while the grey and yellow series are clustered at higher relative retention times (around 0.55-0.85).

参数	值	蓝色系列 (相对保留时间)	橙色系列 (相对保留时间)	灰色系列 (相对保留时间)	黄色系列 (相对保留时间)
溶剂种类	1%	0.45	0.45	-	-
	30%	0.50	0.50	-	-
	100%	0.45	0.45	-	-
苯/六氟	0%	-	0.50	-	-
	1%	-	0.55	-	-
	100%	-	0.40	-	-
pH	0.5	-	-	0.50	-
	7	-	-	0.55	-
	8.5	-	-	0.40	-
温度	0°C	-	-	-	0.40
	20°C	-	-	-	0.50
	100°C	-	-	-	0.85



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

4. Dioxin 原始資料



附錄

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)： 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)： 2.0729 (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	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



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

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)： 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)： 1.6790 (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



附錄

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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): 1.8210 (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



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

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): 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): 1.3102 (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	2.180	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：謝幸吟、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): 2.0697 (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	5.910	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



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

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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)： 1.6060 (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	5.910	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



附錄

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 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)： 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)： 1.6614 (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	2.740	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



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

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)： 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)： 1.6182 (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	2.800	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)： 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)： 1.6016 (參考實驗記錄簿)
5. 樣品濃度 E (ng/kg)： $A \times B / C / D \times 1000$
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)： $E \times F$

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



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

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)： 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)： 1.5819 (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	4.390	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



附錄

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：謝李吟、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) | 0.010 | (請參考工作記錄簿) |
| 3. 萃取液分析量/總量 C | 1 | (請參考工作記錄簿) |
| 4. 添加體積 D(mL) | 0.010 | (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
Total TEQ				100

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

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：
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	品質規範
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
核算員
報告簽署人



附錄

環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

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

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
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): 2.1051 (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	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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				70.4

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



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

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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): 2.2375 (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	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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				71.516

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



附錄

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. 最終定容體積 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): 1.6333 (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	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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				127.917

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



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

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): 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): 1.6346 (參考實驗記錄簿)
5. 樣品濃度 E (ng/kg): $A \times B / C / D \times 1000$
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): $E \times F$

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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				137.432

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



附錄

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)： 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)： 1.8928 (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	3.090	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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				76.256

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



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

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

樣品編號：L2 (n=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

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. 樣品分標 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)： $A \times B / C / D \times 1000$
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)： $E \times F$

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



附錄

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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): 1.5800 (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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				111.813

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



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

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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): 1.5481 (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	4.180	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
Total TEQ (ng-TEQ/kg)				123.433

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



附錄

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 (F=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. 最終定容體積 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)： 1.4110 (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	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



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

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)： (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)： 1.9869 (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	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：
樣品日期：
版次：
樣品頁數：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 (n=28)	CL2 (n=28)	CHI (n=28)	CH2 (n=28)	L1 (n=28)	L2 (n=28)	H1 (n=28)	H2 (n=28)	CL1 (n=0)	CL2 (n=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

報告簽署人

驗算員

檢驗員



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

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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)： 0.00037 (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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				9962.4

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



附錄

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)： 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)： 0.00001 (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	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



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

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)： 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)： 0.00001 (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	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)： 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)： 1.7428 (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	2.600	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



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

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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): 1.3494 (參考實驗記錄簿)
5. 樣品濃度 E (ng/kg): $A \times B / C / D \times 1000$
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): $E \times F$

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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				110.179

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



附錄

環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

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

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
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): 1.2339 (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



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

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 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)： 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)： 1.6020 (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	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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				112.205

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



附錄

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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): 1.1475 (參考實驗記錄簿)
5. 樣品濃度 E (ng/kg): $A \times B / C / D \times 1000$
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): $E \times F$

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



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

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): 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): 1.1504 (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



附錄

環境生態毒性研究室 底泥戴奧辛及呋喃檢測數據表

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

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
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): 1.5865 (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	2.940	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



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

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)： 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)： 1.1480 (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	2.940	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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				122.237

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



附錄

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. 最終定容體積 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): 1.3731 (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	2.940	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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				102.198

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



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

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): 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): 1.5518 (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	2.940	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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				90.429

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

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

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
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): 1.5109 (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



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

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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): 1.6528 (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	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：
儀器日期：
儀器頁數：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	BIK	MS	1	2	BK	L1 (t=0)	L2 (t=0)	HK (t=0)	H2 (t=0)	CL1 (t=14)	CL2 (t=14)	LK (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

報告簽署人

驗單員

檢驗員



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

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 9 頁
報告頁數：第 頁/共 頁
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

樣品編號：CL1(f=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

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): 1.3849 (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	2.050	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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				150.5

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝幸吟、吳孟純

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

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): 1.5836 (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



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

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): $A \times B / C / D \times 1000$
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): $E \times F$

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

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

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
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): 1.5356 (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



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

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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): 1.5428 (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	4.190	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): (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): 1.6281 (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	4.740	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



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

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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)： 1.4335 (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	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



附錄

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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): 1.5902 (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	4.370	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

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

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：
標準日期：
標準頁數：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	BIK	MS	CL1(t=28)	CL2(t=28)	LI(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



附錄

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 12頁
報告頁數：第 頁/共 頁

樣品編號：CL1 (n=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): 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): 1.3626 (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	2.250	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



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

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)： 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)： 1.8162 (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	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)： 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)： 1.7213 (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	2.780	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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				82.356

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



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

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)： (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)： 1.4237 (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	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



附錄

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)： 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)： 1.4821 (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	4.760	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



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

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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): 1.7215 (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	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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				126.559

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 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)： 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)： 2.0096 (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	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



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

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): 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): 2.5908 (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	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
Total TEQ (ng-TEQ/kg)				140.280

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)： 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)： 5.1511 (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	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



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

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10頁/共 12頁
報告頁數：第 頁/共 頁
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟迪

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

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): 4.2477 (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	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



附錄

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)： 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)： 2.6148 (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	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
Total TEQ(ng-TEQ/kg)				229.517

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

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

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
寄處理時間：2018/10/ ~2018/10/
儀分時間：2018/10/16~2018/10/17

文件編號：
標準日期：
版次：
標準頁數：第 12頁/共12頁
報告頁數：第 頁/共 頁
寄處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

化合物名稱	BLK	MS	C11(=100)	L1(=100)	L2(=100)	CH1(=100)	CH2(=100)	H1(=100)	H2(=100)	C1(=0)	C2(=0)	C3(=0)	C4(=0)	品質範圍
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 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): $A \cdot B / C \cdot D \cdot 1000$
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	2.170	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



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

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): (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): 1.7980 (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	5.570	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



附錄

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): 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): 2.0099 (參考實驗記錄簿)
5. 樣品濃度 E (ng/kg): $A \times B / C / D \times 1000$
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): $E \times F$

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



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

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. 最終定容體積 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): 1.7086 (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	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



附錄

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
採樣地點：
前處理人員：中興大學
儀分人員：謝季吟、吳孟純

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

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): 2.0500 (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	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



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

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. 最終定置體積 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): 1.3187 (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	2.600	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 M905
實驗時間：2018/10/ ~2018/10/
備分時間：2018/10/23~2018/10/23

文件編號：
標準日期：
版次：
總計頁數：第 1 頁 / 共 1 頁
報告頁數：第 1 頁 / 共 1 頁
寄處理人員：中興大學
備分人員：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)	C12(t=100)	品質規範
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)



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

(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、附件抽存繕辦。
 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，

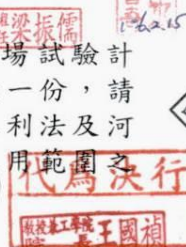
 符合本校『文書處理要點』第18條、
 33條規定，以紙本文辦理。

國立中興大學



1050050425

第1頁

 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

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 私0公頃	使用種類	其他
使用面積	公0.0035 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83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模場試驗計畫使用，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：許可使用人施設之越堤路、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：如上游水库管理機關(構)依規定洩洪，致淹水、流失、或毀損，不得向水库管理機關(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，應依水利法、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

本案授權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

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×	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。	✓			
申請新設建造物無擅自設置使用。	✓			
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。	✓			
	✓			

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建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；若因申設構造物設施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





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

(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蔡、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。 1. 僅適用於水相。
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。	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蔡、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 ₂ S 形成FeS ₂ 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"> 1. 較適用於水相。 2. 適用於在酸性條件下容易解離之重金屬。 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。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 僅添加乳化液者有助於重金屬離子之釋出。 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。 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。 4. 操作應屬簡易器具製作也 簡易。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 僅適用於水相。 2. 重金屬去除率過低,尚未具實場應用價值。 3. 感潮河段恐較不適用。
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"> 1. 適用於Log K_{OW} 在3.0 以上之污染物較佳。 2. 因必須進行攪拌靜置分離等步驟,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 3. 黏粒為主之底泥恐不適用。 4. 50%鹽度仍可適用。 5. 中度有機質仍可適用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分離迅速，針對高Log K_{OW} 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。 2. 可有效提高生物分解效率。 	<ol style="list-style-type: none"> 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。

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"> 1. 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。 2. 50%鹽度仍可適用。 3. 中度有機質仍可適用。 4. 黏粒為主之底泥恐不適用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 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。 2. 可有效提高生物分解效率。 	<ol style="list-style-type: none"> 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。
底泥玻璃化(已獲專利)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一般砂質之表層底泥。 2. 50%鹽度仍可適用。 3. 底泥中應避免混有磚塊、石頭、鋼筋等雜物，否則將難以進行 4. 現址進行尚須模場試驗確認。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一般表層底泥砂質顆粒較多，適用性高 2. 確認可應用於海水鹽度 50%之底泥中。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 矽酸鹽成分過低(非砂質)，如黏土土質之底泥恐不適合。 2. 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。

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
磁性活性碳去除底泥中重金屬與Aroclor 1254	<ol style="list-style-type: none"> 1. 確認在 2.0 小時之單次操作可去除超過80%之PCBs。 2. 可去除部分重金屬。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 確認在2.0 小時之單次操作可去除超過80%之PCB。 2. 快速有效。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需製作磁性活性碳較為費時。 2. 雖然可以再利用,但成本仍 ——— 1. 尚須模場試驗進行驗證。
污染底泥之凝膠過濾法(已獲專利)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已經完成浚渫法之址上底泥。 2. 絕大部分污染物為有機污染物且多吸附於細顆粒上。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 確認可在30 秒內完成有效分離。 2. 操作簡單且機具容易製作。 	<ol style="list-style-type: none"> 2. 製作凝膠費時且成本可能較高。 3. 對重金屬可能無效。
現地相反轉法與再加蓋處理(審查中)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 應可適用於大部分之表層底泥，有少許障礙物仍可施作。 2. 水力傳導係數不宜太低，黏土質底泥不適用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 工程手段簡易。 2. 操作簡單且機具容易製作。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 成本相對低廉。 2. 模場整治試驗尚未完成。

註：以表面增強拉曼散射進行PBDEs 與Phthalates 污染物快速檢測技術(已獲專利)因非屬整治技術，故未列入比較。



附錄

附錄四 本計畫之復舊作業程序



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



附錄

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。



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



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 $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ 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物污染整治技術研發及驗證

(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。