

114 年
09-10 月號



〈雙月刊〉

環境工程技師公會會訊

- ◎ 發行人：劉敏信
- ◎ 發行所：台灣省環境工程技師公會 (<https://www.tpeea.org.tw>)
- ◎ 協助策劃：中華民國環境工程技師公會全國聯合會
- ◎ 編輯：台灣省環境工程技師公會學術委員會
- ◎ 主編：周奮興
- ◎ 發行地址：台北市大同區長安西路342號4樓之1
- ◎ 電話：02-25550353
- ◎ 傳真：02-25591853

本期要目

	頁次
■ 主編的話	2
■ 會務報告	5
■ 重要法令	6
■ 行政院公共工程委員會核備 114 年 9 至 10 月訓練積分課程表	9
■ 環保訊息	12
■ 論述園地	14
NATURE-BASED REMEDIATION FOR GROUNDWATER CONTAMINATION CASE STUDY－呂榮俊環工技師	14
黑水虻幼蟲於燃料油污染土壤之生物修復潛力：降解效能、生物安全性 與生態效益評估－賴文亮教授、洪堂耀副教授、陳上權助理教授、周奮 興環工技師	36
■ 徵稿啟事	50
■ 各公會理監事會會議紀錄	51

主編的話

在氣候變遷的衝擊下，全球各國正積極尋求兼顧環境保護與經濟發展的解決方案，而「以自然為本的解決方案 (Nature-Based Solutions, NbS)」(以下簡稱自然解方或NbS)，正逐漸成為公部門與企業不可忽視的關鍵策略。2016年國際自然保護聯盟 (IUCN) 將NbS正式定義為「可有效、能調適地應對社會挑戰，同時提供人類福祉和生物多樣性效益，為永續管理和恢復自然或改造的生態系統之保護行動。以解決重大社會挑戰為目標，包含糧食安全、氣候變遷、水安全、人類健康、災害風險、社會和經濟發展、環境惡化與生物多樣性流失等。」

2023年在杜拜舉行的聯合國氣候大會COP28，「以自然為本的解決方案」(Nature-based Solutions, NbS)被納入國家氣候和生物多樣性策略中，用於推動各國在減緩氣候變遷的同時，也能保護和復育自然生態系統，並達到生物多樣性保護的雙重效益；COP28強調應在國家層級的氣候、生物多樣性與土地恢復計畫中，整合和一致性地納入以自然為本的解決方案。我國環境部在2023年起亦已將NbS納入國家氣候變遷調適行動計畫。

NbS 是利用自然或模仿自然過程，來應對環境挑戰的策略，亦可以有效應用於土壤及地下水污染的整治和預防，其應用領域包括：

一、土壤污染防治

- 生物整治 (Bioremediation)：利用微生物、植物等生物來分解或移除土壤中的污染物，例如利用特定植物吸收土壤中的重金屬。
- 濕地建設：濕地具有良好的過濾和淨化作用，可以有效減少土壤中的污染物滲入地下水。
- 植被覆蓋：增加植被覆蓋有助於減少土壤侵蝕，防止污染物隨雨水流失，並改善土壤結構。
- 土地利用方式改變：例如，推廣永續農業，減少農藥和化肥的使用，有助於降低土壤污染風險。

二、地下水污染防治

- 人工補注：利用 NbS 改善地表水涵養能力，增加地下水補注量，有助於稀釋地下水中的污染物。
- 地下水流動控制：透過工程措施和植被種植，改變地下水流動方向，避免污染物擴散，並促進污染物自然衰減。
- 建立緩衝帶：在污染源周圍種植植被，形成緩衝帶，可以有效阻擋污染物進入地下水。

三、土壤及地下水保護的額外效益

- 增加生物多樣性：NbS 通常涉及多樣化的生態系統，有助於提升生物多樣性，創造更健康的生態環境。
- 改善水資源管理：NbS 可以提高水資源利用效率，減少水資源短缺的風險。
- 增強社區韌性：NbS 方案可以提高社區應對氣候變遷和自然災害的能力。

本期會訊論述園地所收錄的兩篇專文即以自然為本的解決方案 (Nature-Based Solutions, NbS) 應用於土壤地下水整治為主題，第一篇邀請科林環境科技股份有限公司呂榮俊技師以「Nature-Based Remediation for Groundwater Contamination Case Study」(自然為本的地下水污染整治案例研究) 為主題，介紹位於美國加州某化工廠四氯乙烯 (PCE) 地下水污染場址，應用三種自然為本的地下水整治技術 (Nature-based remediation (NBR))，包括：污染源區 (高污染區) 採用現地生物整治技術 (in-situ bioremediation; ISB)，污染團 (中污染區) 採用植物整治技術，污染團邊界 (低污染區) 則以自然衰減 (MNA) 技術搭配長期監測的管理方案。此三種技術之搭配，可有效的處理試驗現場的主要關切污染物，污染團邊界的關切污染物濃度亦呈現下降的趨勢。

第二篇邀請大仁科技大學環境管理研究所賴文亮教授主筆撰述「黑水虻幼蟲於燃料油污染土壤之生物修復潛力：降解效能、生物安全性與生態效益評估」，以黑水虻幼蟲 (BSFL) 的昆蟲修復 (Insect-remediation) 技術，分解並移除濃度在 2,000 ~ 10,000 mg/kg 的重質燃料油污染土壤。實驗結果顯示總石油碳氫化合物 (TPH) 的降解效能顯著，每日移除率穩定維持在約 220 mg/kg-day，並發現 BSFL 腸道內的已知嗜油菌屬—紅球菌屬 (Rhodococcus)，其相對豐度從初始的 0.92% 急劇富集至 26.36%，成為降解功能的核心優勢菌群。期間 BSFL 對高濃度燃料油展現出卓越的生理耐受性，即使在 10,000 mg/kg 不利於生物復育的極端污染條件下，其死亡率仍低於 1.5%。本研究證實黑水虻幼蟲 (BSFL) 是一種處理高濃度燃料油污染的理想生物工具，兼具高效降解、高度耐受與低生物累積風險等多重優勢，其技術層次已從單純的「污染物移除」提升到符合「以自然為本的解決方案 (Nature-Based Solutions, NbS)」的「生態系統功能恢復」層次。

最後，時節已近秋分，預祝各位技師先進中秋佳節愉快，闔家平安健康，諸事圓滿！

會務報告

1. 本會 114 年度會員大會已於 7 月 5 日（星期六）順利舉辦完成。
2. 114 年度常年會費繳費通知及記事本已於 113 年 11 月 21 日寄出，敬請尚未繳納 114 年度常年會費（金額 4,000 元）之會員儘速繳納。
公會匯款資訊如下：
 - 戶名：台灣省環境工程技師公會
 - 銀行匯款資料：台灣企銀(050)營業部 帳號：01012241581
 - 郵局劃撥帳號：18091292
3. 會員若有更動執業資料、受聘公司、地址、電話、Email…等相關資料，敬請告知公會以便及時修改檔案。
4. 公會網站廣告刊登：
 - (1) 費用：
 - 會員（即會員之執業機構、所營公司或受聘公司）：
5,000 元/年；一次繳交 5 年 20,000 元；一次繳交 10 年 37,500 元。
 - 非會員
6,000 元/年；一次繳交 5 年 24,000 元；一次繳交 10 年 45,000 元。
 - (2) 刊登辦法：
請繳交費用後，將貴公司或事務所之 LOGO（尺寸：288 *93）及網址 MAIL 至公會。
5. 會訊廣告刊登：
 - (1) 費用：8,000 元/期
 - (2) 刊登辦法：
請繳交費用後，將投放廣告內容 PDF 檔（尺寸：A4 紙）MAIL 至公會。

重要法令

1. 環境部中華民國 114 年 7 月 1 日環部循字第 1146111651 號函公告，修正「物品或其包裝容器及其應負回收清除處理責任之業者範圍」公告事項第 6 項、第 6 項之 1 規定及第 1 項表 1、第 2 項表 2，除表 1 之乾電池自 114 年 7 月 1 日生效外，自 116 年 7 月 1 日生效。
2. 環境部中華民國 114 年 7 月 1 日環部循字第 1146111613 號函公告，修正「應標示回收相關標誌之物品或容器責任業者範圍、標誌圖樣大小、位置及其他應遵行事項」，自即日起生效。
3. 環境部中華民國 114 年 7 月 1 日環部循字第 1146112392 號函公告，核釋「物品或其包裝容器及其應負回收清除處理責任之業者範圍」公告事項第 11 項之補充規定，自 114 年 7 月 1 日生效。
4. 環境部中華民國 114 年 7 月 10 日環部循字第 1146112562 號函公告，修正「事業廢棄物清理計畫書審查管理辦法」部分條文。
5. 環境部中華民國 114 年 7 月 16 日環部氣字第 1149107791 號函公告，訂定「氣候變遷風險評估作業準則」。
6. 環境部中華民國 114 年 7 月 18 日環部空字第 1141046338 號函公告，本部改制前行政院環境保護署 103 年 7 月 30 日環署空字第 1030059933 號函自即日起停止適用。
7. 環境部中華民國 114 年 7 月 29 日環部授管字第 1147118393 號函公告，修正「獎勵民眾舉發污染案件實施要點」第 2、7 點，自即日起生效。
8. 環境部中華民國 114 年 8 月 1 日環部保字第 1141048426 號函公告，修正「環境部環境影響評估審查委員會組織規程」第 4 條、第 11 條條文。
9. 環境部中華民國 114 年 8 月 5 日環部化字第 1148109932 號函公告，預告訂定「列管全氟及多氟烷基物質與其運作管理事項」草案。
10. 環境部氣候變遷署中華民國 114 年 8 月 7 日環部授氣字第 1149109716 號函公告，修正「溫室氣體減量效益核發及帳戶管理作業要點」第 6 點，自即日起生效。
11. 環境部化學物質管理署中華民國 114 年 8 月 11 日環部化字第 1148114994 號函公告，「列管毒性化學物質及其運作管理事項」相關行政函釋計 1 件，自即日起停止適用。
12. 環境部資源循環署中華民國 114 年 8 月 12 日環循利字第 1146115509 號函公告，訂定「固體再生燃料驗證機構認可作業要點」，自即日起生效。

13. 環境部中華民國 114 年 8 月 13 日環部保字第 1141049691 號函公告，修正「環境部補（捐）助民間團體、傳播媒體及學校辦理環境保護相關活動或計畫實施要點」第 10 點，自即日起生效。
14. 環境部中華民國 114 年 8 月 14 日環部空字第 1141051497 號函公告，預告廢止「大型柴油車汰舊換新補助辦法」。
15. 環境部化學物質管理署中華民國 114 年 8 月 19 日環部化字第 1148115919 號函公告，全氟及多氟烷基物質檢驗用混合標準品核可文件得合併於單一項目申請。
16. 環境部中華民國 114 年 8 月 21 日環部授研字第 1145110485 號函公告，預告訂定「水中總有機碳檢測方法－燃燒／紅外線測定法(NIEA W530.52C)」草案。
17. 環境部中華民國 114 年 8 月 21 日環部水字第 1141051028 號函公告，預告修正「水污染防治費中央與地方分配辦法」草案。
18. 環境部中華民國 114 年 8 月 21 日環部授研字第 1145110487 號函公告，預告廢止「水中總有機碳檢測方法－燃燒／紅外線測定法 (NIEA W530.51C)」。
19. 環境部資源循環署中華民國 114 年 8 月 21 日環循基字第 1146115845 號函公告，修正「行政院環境保護署獎勵民眾檢舉應回收廢棄物稽核認證團體實施要點」第 1 點，名稱並修正為「環境部資源循環署獎勵民眾檢舉應回收廢棄物稽核認證團體實施要點」，自即日起生效。
20. 環境部資源循環署中華民國 114 年 8 月 21 日環循基字第 1146116198 號函公告，修正「行政院環境保護署獎勵檢舉不法領取應回收廢棄物回收清除處理補貼費實施要點」第 1 點，名稱並修正為「環境部資源循環署獎勵檢舉不法領取應回收廢棄物回收清除處理補貼費實施要點」，自即日起生效。
21. 環境部資源循環署中華民國 114 年 8 月 25 日環循基字第 1146116548 號函公告，修正「行政院環境保護署稽核認證團體監督會設置要點」第 1、2、14 點，名稱並修正為「環境部資源循環署稽核認證團體監督會設置要點」，自即日起生效。
22. 環境部中華民國 114 年 8 月 26 日環部水字第 1141051996 號函公告，預告「聚丙烯醯胺、聚氯化己二烯二甲基胺及氯甲基一氧三環二甲基胺聚合物為飲用水水質處理藥劑」修正草案。
23. 環境部中華民國 114 年 8 月 26 日環部空字第 1141050494 號函公告，訂定「環境部營建工程環境保護卓越獎推動作業要點」，自即日起生效。
24. 環境部中華民國 114 年 8 月 27 日環部空字第 1141048594 號函公告，預告「水泥業空氣污染物排放標準」第 2 條、第 5 條修正草案。

25. 環境部化學物質管理署中華民國 114 年 8 月 28 日署環化綜字第 1148116088 號函公告，修正「環境部化學物質管理署對民間團體、傳播媒體及學校補（捐）助要點」第 11 點，自即日起生效。
26. 環境部中華民國 114 年 8 月 29 日環部氣字第 1149110247 號函公告，預告修正「溫室氣體排放量盤查登錄及查驗管理辦法」部分條文草案。
27. 環境部氣候變遷署中華民國 114 年 9 月 3 日環氣淨字第 1149111015 號函公告，修正「環境部氣候變遷署對民間團體、傳播媒體及學校補（捐）助要點」第 11 點，自即日起生效。
28. 環境部中華民國 114 年 9 月 5 日環部水字第 1141048976 號函公告，有關「事業及污水下水道系統應公開水污染防治許可證（文件）、申報資料及申請復工之水污染防治措施及污泥處理改善計畫於資訊公開平台」之相關規定。

行政院公共工程委員會核備 114 年 9 至 10 月訓練積分課程表

*本項課程表係轉達工程會核備之積分課程資訊，細節請技師先進洽詢主辦單位

序號	課程名稱	課程時間	主辦單位	聯絡資訊
1	國際工程履約風險管理「本課程有採用視訊或網路教學」	114/09/18	中華經濟研究院	聯絡人：莊惠蘭 電話：27356006 轉 103 信箱：bigred0115@cier.edu.tw
2	114 年度建築物智慧能源及維運管理服務平台教育訓練台北場	114/09/19	社團法人台灣智慧建築協會	聯絡人：熊澤仁 電話：0227528072#103 信箱：trhsiung@tiba.org.tw
3	資深大地工程師申請大地工程技師第一階段免試經驗分享講座「本課程有採用視訊或網路教學」	114/09/20	中華民國大地工程技師公會	聯絡人：謝美玲 電話：02-27820022#21 信箱：pgea@pgea.org.tw
4	中華民國建築技術學會 iPAS 淨零碳輔導課程「本課程有採用視訊或網路教學」	114/09/20	社團法人中華民國建築技術學會	聯絡人：畢寶玲 電話：23775899 信箱：pi@nibt.org.tw
5	114 年度土石流潛勢溪流保全戶與疏散避難規劃講習	114/09/22	國立東華大學	聯絡人：薛庭芳 電話：03-8903282 信箱：gining0331@gms.ndhu.edu.tw
6	經濟部水利署 114 年用水回收率查驗教育訓練	114/09/23	財團法人環境與發展基金會	聯絡人：顏逢毅 電話：0227087321#12 信箱：fengyi@edf.org.tw
7	淡江大橋的誕生與推動	114/09/24	亞新工程顧問股份有限公司	聯絡人：翁鈞晟 電話：02-26961555#6407 信箱：jackson.weng@maaconsultants.com
8	鋼結構塗裝檢查員訓練班	114/09/24 至 114/09/26	中華民國防蝕工程學會	聯絡人：江淑慈 電話：0918038267 信箱：anticorr@seed.net.tw
9	114 年 9 月 25 日技師技術服務專業訓練講習（實體課程花蓮場）	114/09/25	行政院公共工程委員會	聯絡人：黃婕登 電話：02-87897615 信箱：7232@mail.pcc.gov.tw
10	能資源循環利用技術研討會	114/09/25	台灣水環境再生協會	聯絡人：趙小姐 電話：02-27772675 信箱：ouyang@twea.org.tw

序號	課程名稱	課程時間	主辦單位	聯絡資訊
11	淡江大橋的誕生與推動	114/09/26	亞新工程顧問股份有限公司	聯絡人：翁鈞晟 電話：02-26961555#6407 信箱： jackson.weng@maaconsultants.com
12	2025 第 23 屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會	114/09/25 至 114/09/26	中華民國隧道協會	聯絡人：林淑琪 電話：02-29291962 信箱：ctta.tw@msa.hinet.net
13	工程預算編列實務與作業要領	114/09/26	中興工程顧問社	聯絡人：褚琴琴 電話：02-87919198*453 信箱：cherry@sinotech.org.tw
14	統包工程：專案管理與應對、各式計畫書審查要領與錯誤態樣	114/09/26	中華產業發展與品質管理協會	聯絡人：蔡專員 電話：07-5566909 信箱：service@iqma.org.tw
15	國際工程企業爭端解決方案與仲裁實務「本課程有採用視訊或網路教學」	114/09/30	中華經濟研究院	聯絡人：莊惠蘭 電話：27356006 轉 103 信箱：bigred0115@cier.edu.tw
16	114 年臺灣公路容量分析軟體 THCS 實機教育訓練	114/09/30	中國土木水利工程學會	聯絡人：黃欣庭 電話：02-87973567#1626 信箱：hsinhuang@ceci.com.tw
17	工程減碳技術及未來發展趨勢剖析	114/09/30	亞新工程顧問股份有限公司	聯絡人：翁鈞晟 電話：02-26961555#6407 信箱： jackson.weng@maaconsultants.com
18	台電公司【161kV 松廣電纜線路統包案&大潭計畫】工程參訪	114/10/01	台灣世曦工程顧問股份有限公司	聯絡人：吳玕璇 電話：02-2392-6325 #22 信箱：service@ciche.org.tw
19	114 年臺灣公路容量分析軟體 THCS 實機教育訓練	114/10/02	台灣世曦工程顧問股份有限公司	聯絡人：黃欣庭 電話：02-87973567#1626 信箱：hsinhuang@ceci.com.tw
20	114 年度生態檢核管理提升與執行成效追蹤-農村及水保工程生態友善教育訓練(第 1 場次) 「本課程有採用視訊或網路教學」	114/10/02	觀察家生態顧問有限公司	聯絡人：陳幸琳 電話：02-2550-6230#213 信箱：ob.gracechen@gmail.com

序 號	課程名稱	課程時間	主辦單位	聯絡資訊
21	『執行職務遭受不法侵害預防』專題講座	114/10/02	台灣世曦工程顧問股份有限公司	聯絡人：李濬易 電話：02-87973567-8839 信箱：chunyi@ceci.com.tw
22	淡海輕軌計畫及井式基礎概論	114/10/02	亞新工程顧問股份有限公司	聯絡人：翁鈞晟 電話：02-26961555#6407 信箱： jackson.weng@maaconsultants.com
23	「鋼結構塗裝檢查員訓練班」操作複習與實作測驗	114/10/03	中華民國防蝕工程學會	聯絡人：江淑慈 電話：0918038267 信箱：anticorr@seed.net.tw
24	土壤及地下水的污染整治與數值模型	114/10/08	國立雲林科技大學	聯絡人：林秋惠 電話：05-5376915 信箱：linciouh@yuntech.edu.tw
25	智慧居住空間解決方案技術推廣說明會-北部場	114/10/15	工業技術研究院產業學院	聯絡人：張綾珂 電話：03-5913797 信箱：lingkochang@itri.org.tw
26	114 年度建築物智慧能源及維運管理服務平台教育訓練高雄場	114/10/15	社團法人台灣智慧建築協會	聯絡人：熊澤仁 電話：0227528072#103 信箱：trhsiung@tiba.org.tw
27	消防泵浦三種控制盤迴路動作解說及水系統管路故障點判定及壓力開關設定-1	114/10/18	社團法人中華消防協會	聯絡人：閔詩涵 電話：02-2259119#31 信箱：fe@cafp.org.tw
28	消防泵浦三種控制盤迴路動作解說及水系統管路故障點判定及壓力開關設定-2	114/10/18	社團法人中華消防協會	聯絡人：閔詩涵 電話：02-2259119#31 信箱：fe@cafp.org.tw
29	執行印尼工程案件的實務經驗「本課程有採用視訊或網路教學」	114/10/22	中華經濟研究院	聯絡人：莊惠蘭 電話：27356006 轉 103 信箱：bigred0115@cier.edu.tw
30	經濟部水利署 114 年用水回收率查驗教育訓練	114/10/28	財團法人環境與發展基金會	聯絡人：顏逢毅 電話：0227087321#12 信箱：fengyi@edf.org.tw
31	114 年度建築物智慧能源及維運管理服務平台教育訓練台中場	114/10/31	社團法人台灣智慧建築協會	聯絡人：熊澤仁 電話：0227528072#103 信箱：trhsiung@tiba.org.tw

環保訊息（資料來源：環境部）

- 114/07/01 【**紙餐具回收基金就源徵收 兼顧稽徵效率與公平性**】
環境部為提升紙平板容器（如：紙杯、紙碗等紙免洗餐具）回收基金徵收與營業量查核效率，並促使責任業者確實申報，以維持課費公平，爰修正「物品或其包裝容器及其應負回收清除處理責任之業者範圍公告事項」第 6 項、第 6 項之一及第 1 項表 1、第 2 項表 2，將現行紙平板容器之課費對象，由紙平板容器製造業者，改向紙板（捲）製造或輸入業者徵收回收清除處理費，並自 116 年 7 月 1 日實施。
- 114/07/01 【**7 月 1 日起氫氟碳化物未經許可禁止輸出入違者將處新臺幣 10~100 萬罰鍰**】
為對接國際環保公約蒙特婁議定書「吉佳利修正案」將高溫暖化潛勢物質「氫氟碳化物（HFCs）」納管，環境部已於 114 年 2 月 25 日發布「氫氟碳化物管理辦法」，明定氫氟碳化物之國家消費量削減時程，並自 114 年 7 月 1 日起未經核准不得輸入或輸出氫氟碳化物。環境部特別呼籲使用或供應氫氟碳化物的廠商，於氫氟碳化物輸出入前須先取得核准，以免觸法。
- 114/07/01 【**塑膠襯墊、泡殼責任業者自 116 年 7 月 1 日起 須標示塑膠材質辨識碼**】
環境部為加強宣導塑膠襯墊、泡殼回收，並接軌國際有關塑膠包材的材質標示制度，發布修正「應標示回收相關標誌之物品或容器責任業者範圍、標誌圖樣大小、位置及其他應遵行事項」，增訂塑膠襯墊與泡殼應標示塑膠材質回收辨識碼的相關規定，並自 116 年 7 月 1 日起實施。
- 114/07/10 【**環境部修正發布「事業廢棄物清理計畫書審查管理辦法」**】
環境部為強化審核機關對再利用機構管理及行政管理措施，及因應共通性事業廢棄物作為固體再生燃料(Solid Recovered Fuel, SRF)原料再利用管理辦法之訂定，於 114 年 7 月 10 日修正發布「事業廢棄物清理計畫書審查管理辦法」，修正條文計有 4 條，自發布日施行。
- 114/07/14 【**環境部發布 4 類盤查作業指引，協助擴大盤查對象掌握溫室氣體排放量**】
環境部於今日（7 月 14 日）發布服務業、運輸業、醫院及大專校院等 4 類溫室氣體盤查作業指引，以協助今(114)年公告擴大盤查對象執行溫室氣體排放量盤查作業。環境部預計自 7 月中旬開始與中央目的事業主管機關合作辦理一系列輔導說明會，並於今年 9 月進行申報系統試行填報，以確保所有受納管的事業能在 115 年 4 月 30 日前順利完成 114 年度溫室氣體排

放量的盤查登錄。

- 114/07/16【**環境部發布「氣候變遷風險評估作業準則」**】
為提升各級政府應對極端天氣事件之氣候調適能力，強化氣候風險管理，環境部依據氣候變遷因應法第 18 條規定，正式發布「氣候變遷風險評估作業準則」，作為各級政府推動調適政策與行動計畫之依據，建構一致性的氣候風險評估操作流程。
- 114/07/24【**自然碳匯向海擴展 環境部審查通過「海草復育」與「紅樹林植林」減量方法**】
環境部溫室氣體抵換專案及自願減量專案審議會於今(24)日召開第 19 次會議，審查通過「海草復育」、「紅樹林植林」兩項本土減量方法，促使我國推動碳匯增匯工作向海洋擴展，期透過核發減量額度之機制，鼓勵帶動國內產業開發海洋碳匯潛力，為我國邁向淨零目標增添助力。
- 114/08/27【**環境部預告修正水泥業空氣污染物排放標準**】
環境部於 114 年 8 月 27 日預告修正「水泥業空氣污染物排放標準」(以下簡稱本標準)，係為因應資源循環、淨零碳排與空氣品質維護政策目標，本次修正將戴奧辛、12 項重金屬、氟化氫(HF)、氯化氫(HCl)及一氧化碳(CO)等空氣污染物納入排放標準，建立更全面的污染管制，也鼓勵業者自行強化使用資源循環原(燃)物料之成分篩選管理，與歐盟工業排放指令(IED)相接軌，確保在推動循環經濟的同時，維持國內空氣品質與民眾健康安全。
- 114/08/29【**環境部預告修正「溫室氣體排放量盤查登錄及查驗管理辦法」，廣徵各界意見**】
環境部為配合 114 年 3 月 4 日公告「事業應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源」(下稱擴大列管事業)，研擬「溫室氣體排放量盤查登錄及查驗管理辦法」(下稱本辦法)部分條文修正草案，已於 114 年 8 月 29 日預告，誠摯邀請各界提供寶貴意見，共同完善制度。
- 114/09/12【**環境部預告修正「違反水污染防治法義務所得利益核算及推估辦法」**】
為明確違反水污法所得利益之核算與追繳機制，環境部於 114 年 9 月 11 日預告修正「違反水污染防治法義務所得利益核算及推估辦法」部分條文，本次修正不法利得的範疇、合理計算方式及計算期間，以落實環境正義。

論述園地

NATURE-BASED REMEDIATION FOR GROUNDWATER CONTAMINATION CASE STUDY

呂榮俊 博士
環境工程技師
科林環境科技股份有限公司

ABSTRACT

Nature-based remediation (NBR) is the process of using natural systems and ecological principles to remediate and restore contaminated or degraded environments. It leverages natural processes (e.g., bioremediation, phytoremediation), materials (e.g., biomass, industrial waste derived), and energy (e.g., solar, water, wind) to reduce or eliminate the harmful effects of contaminants. NBR is a sustainable and resilient alternative to traditional remediation techniques, offering the benefits of reduced carbon footprint, enhanced ecosystem, and improved cost-effectiveness.

NBR techniques were applied to the case study of a former chemical manufacturing facility. Historical operations of the facility had resulted in chlorinated solvents impacts to groundwater with an approximately 2,000-foot tetrachloroethylene (PCE) and breakdown product plume. Feasibility study evaluations selected three NBR techniques in-situ bioremediation (ISB) to control the source area, phytoremediation to treat the plume area, and monitored natural attenuation (MNA) to manage the low-concentration plume fringes. This case study presents the NBR techniques, field pilot test, and full-scale implementation, operation, maintenance, and monitoring of sustainable and resilient remediation at the chlorinated solvent-impacted site.

Keywords: Natural-based remediation, in-situ bioremediation, phytoremediation, monitored natural attenuation, chlorinated solvent contamination, field pilot test, full-scale implementation

1. NATURE-BASED REMEDIATION

NBR offers promising alternatives for soil and groundwater remediation by leveraging natural processes and ecosystems. These alternatives involve using microorganisms, plants, and natural materials to degrade, remove, or immobilize contaminants from the environment.

NBR is gaining traction and public acceptance over past decades with international support from United Nations, European Commission, and US Environmental Protection Agency (EPA) due to environmental, economic, and social sustainability. NBR is environmentally sustainable because many of them are implemented with lower energy consumption than traditional methods resulting in reduction of carbon footprint and lower environmental footprint. In addition, NBR enhances ecosystem services by providing additional benefits of improved water quality, carbon sequestration, and habitat creation. NBR is cost-effectiveness because they are more affordable, particularly for large-scale or long-term remediation systems. Overall, NBR is perceived positively by the public increasing their social acceptance and feasibility.

1.1 Nature - Based Remediation Implementation

NBR implementation is specific for soil, groundwater, or sediments encompassing in-situ and ex-situ approaches. In-situ NBR approach can be divided into areas of microbiological, chemical, and combination of microbiological and chemical. Microbiological remediation includes primary or co-metabolic bioremediation; chemical remediation includes reduction-oxidation or hydrolysis reactions. Ex-situ NBR approach can be divided into areas of phytoremediation/mycoremediation systems, bioreactors, and natural vegetation control. Phytoremediation/mycoremediation systems include wetlands, plants, and fungal based remediation; bioreactors include microbial or algal based remediation. In

addition, beneficial re-use is another important aspect of NBR, such as re-use of coal ash for metals recovery, construction/ceramic industry, soil amendments, material synthesis, etc. (Zhou, H., 2022)

Challenges associated with NBR implementation are site-specific conditions, longer timelines, integration requirement, and limited research and data. The effectiveness of NBR can vary depending on soil type, contaminant type, and other site-specific factors. Some NBR, like phytoremediation, may take longer to achieve desired results compared to conventional remediation. The implementation of NBR often requires integration with conventional remediation techniques or other management strategies. More research is needed to fully understand NBR long-term effectiveness and optimize their application.

1.2 Nature – Based Remediation for Brownfield Redevelopment

NBR offers great potential for application in the field of brownfield redevelopment. There are approximately 600,000 registered brownfield sites in the United States (USEPA, 2017). Natural-based redevelopment technologies used for planning and redevelopment are revegetation at contaminated sites and integration with landscape architecture, converting into greenspace, green industrial heritage park, or nature reserves, and providing ground source heating (Song, Y., et al., 2019). Landscape architecture at former industrial sites may improve the aesthetic characteristics of the site and transform the site to a stable ecosystem. Large brownfield sites can be converted into parks and greenspaces to create a more enjoyable urban environment and to fulfill sustainability goals. Brownfield sites can be developed into green industrial heritage parks, offering significant socioeconomic benefits. Depending on the perception of risks by the public and other stakeholders, brownfield sites may be converted to nature

reserves with human access. Groundwater remediation was coupled with a heat-cold storage technique using a recirculation system to create a constant flow so that heat and cold could be exchanged with groundwater near constant temperature (Slenders et al., 2010).

1.3 Nature – Based Remediation Examples

Various NRB techniques have been implemented. Most applicable NBR examples are:

- Bioremediation – Bacteria and fungi are employed for degradation or immobilization.
- Phytoremediation – Plants are utilized for phytoextraction, phytovolatilization, phytostabilization, or hydraulic control.
- Solar energy application – Solar energy is used as heat for increasing biodegradation, or electricity for driving control units/pumps.
- Green materials – Organic materials such as biochar, plant fibers, or peat are incorporated for adsorption, bark mulch and cotton burrs are used for biowall.
- Water flow application – The natural flow of groundwater is utilized as a driving force for permeable reactive barriers and dispersion of admixtures.
- Wind power application – Wind power is harnessed for creating negative pressure for bioventing (Figure 1) (Dominguez, R. et al., 2012).



Figure 1 Wind-Driven Bioventing System

In conclusion, NBR offers a promising pathway for sustainable soil and groundwater remediation, providing a range of environmental, social, and economic benefits. These are the benefits of Sustainable Resilient Remediation (SRR) implying NBR aligned with SSR. SSR considers climate change in addition green and sustainable remediation. Careful planning, site-specific assessments, and integration with other technologies are crucial for successful implementation of NBR.

2. CASE STUDY: NBR IN-SITU BIOREMEDIATION AND PHYTOREMEDIATION TO TREAT PCE-IMPACTED GROUNDWATER

The 378-acre former chemical manufacturing facility (the Site) is located in California, US. The manufacturing facility produced chlorofluorocarbons (CFCs), fuel-additive anti-knock compounds (AKCs), and white pigments titanium dioxide (TiO₂). Production of CFCs began in 1956. AKCs production was added in 1957 followed by production of TiO₂ in 1963. All three product lines were discontinued beginning with AKCs manufacturing in 1981 followed by CFCs manufacturing in 1995, and TiO₂ manufacturing in 1997. The TiO₂ and CFCs blending operations were shut down in November 1998. The manufacturing facilities had been demolished at the Site since then. The Site was zoned for heavy industrial use. Site access was restricted by a perimeter fence and a guarded entrance.

2.1 Site Background

The former TiO_2 manufacturing area appeared to be the source for the solvent PCE identified in the Plume 3 area groundwater above California state cleanup levels. The Plume 3 area began in the southwest corner of the former TiO_2 manufacturing area and continued northeast toward a river flowing to sea. The westernmost portion of the Plume 3 area was used for manufacturing and processing, while the central and eastern portions remain as undeveloped wetlands (Figure 2).

The groundwater table was measured between 8 and 12 ft below ground surface, highly impacted by tidal effect. The groundwater total dissolved solids (TDS) concentrations ranged from 1,000 to 2,000 mg/L, classified as brackish water. Main contaminant of concerns (COCs) was PCE. Other contaminants also detected are 1,2-Dichloroethane, carbon tetrachloride, CFCs, and organo-lead.



Figure 2 Site Map with Historic Features

Groundwater had been investigated and routine quarterly groundwater had been monitored over the past decade. The specific groundwater cleanup standards and objectives for Plume 3 had been provided based on the evaluation of the potential human and ecological exposures and health risks associated with PCE in groundwater. Specific measures were recommended to clean up groundwater using NBR techniques ISB, phytoremediation, and natural attenuation.

2.2 Field Pilot Tests

Field pilot studies were conducted for two NBR techniques ISB and phytoremediation. ISB and phytoremediation resulted in reduced carbon footprint, and phytoremediation resulted in generated carbon credit. The field pilot test results were used to evaluate the effectiveness of the COCs removal and the design of the full-scale ISB and phytoremediation systems.

2.2.1 In-Situ Bioremediation

A field pilot test was conducted to evaluate the effectiveness of ISB in treating PCE and its daughter products (trichloroethene [TCE], dichloroethane [DCE], and vinyl chloride [VC]) within Plume 3. Emulsified vegetable oil (EVO) of soybean oil was injected as a slow-release source of organic carbon for anaerobic reductive dechlorination of the COCs. Sodium lactate was also included to rapidly provide substrate prior to the slow degradation of the EVO. The total volume of injection substrate was approximately 5,800 gallons of which 90 percent by weight consisted of groundwater extracted from the pilot test area. The remainder of the substrate mixture consisted of approximately 3.5 percent emulsified soybean oil, 1.5 percent sodium lactate, and 5 percent pH buffer by weight.

ISB pilot test results were shown on Figure 3. Initially PCE, TCE, and DCE concentrations decreased and VC concentration increased, implying anaerobic biodegradation occurred. Three quarters after the injection, DCE concentration started to rebound slightly and VC concentration decreased, indicating additional biostimulation was needed to carry on the anaerobic biodegradation. Total molar concentration decreased to a stable concentration after the injection, but slightly rebound three quarters after the injection indicating a bioaugmentation might be required to complete the biodegradation processes to ethene.

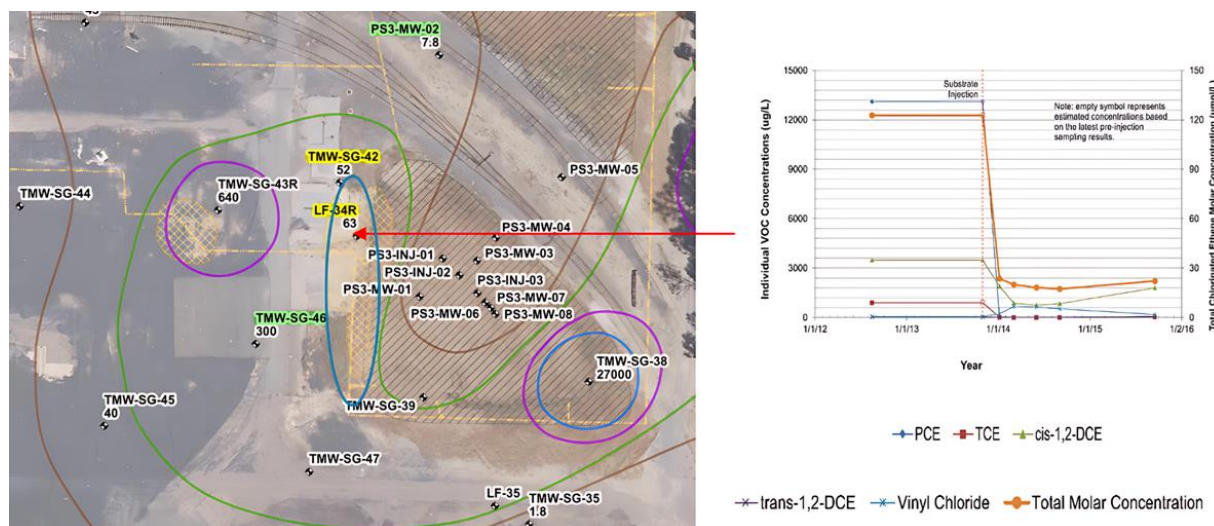


Figure 3 Bioremediation Pilot Test Results

2.2.2 Phytoremediation

On-site existing eucalyptus and willow trees were sampled for tissue and analyzed for COCs uptake study. 36 eucalyptus and willow tree tissue samples were collected and preserved with methanol before shipping to the analytical laboratory. Data indicated COCs uptake occurred in eucalyptus and willow trees.

Phytoremediation pilot test, including sampling locations and analytical results, were shown on Figure 4.

The sample results indicated the concentrations of the daughter products (DCE and chloromethane) were higher than that of the respective parent products (PCE and chloroform). The daughter products were easier absorbed than the parent products because DCE and chloromethane were more readily biodegradable intermediate in the breakdown of PCE and chloroform.

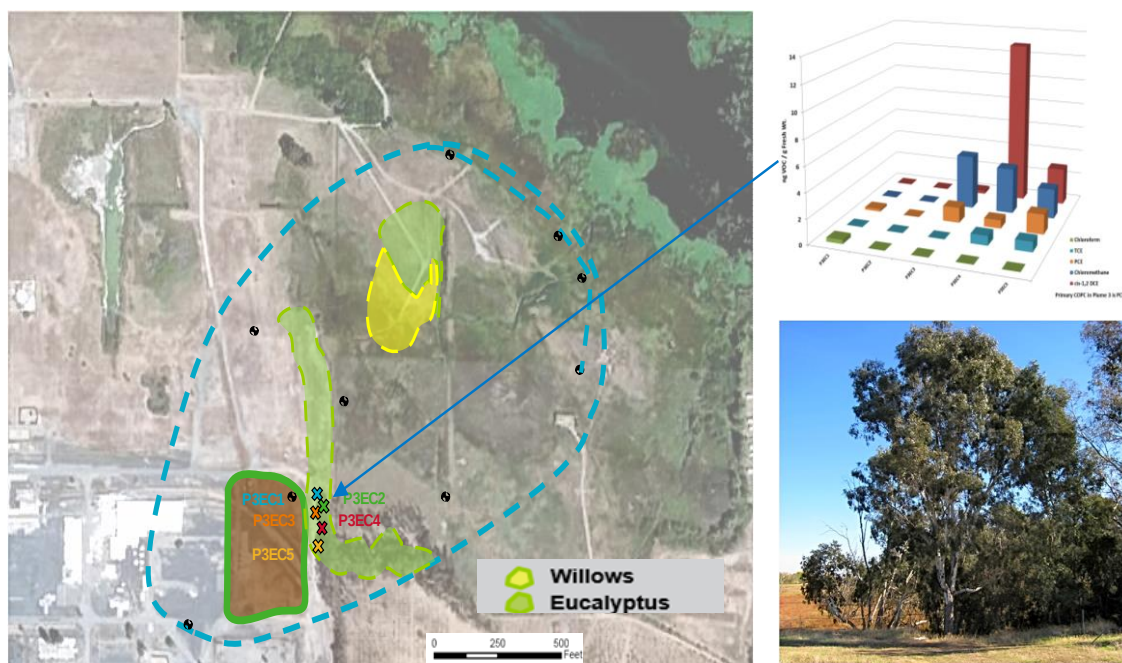


Figure 4 Phytoremediation Pilot Test Results

2.3 Full-Scale Remedy Implementation

Based on the field pilot test results, the full-scale remedy was implemented as a combination of institutional controls and three NBR techniques: ISB for the source area control, phytoremediation for the plume area treatment, and MNA for the plume fringe management for Plume 3 at the Site (Figure 5).

Institutional controls included a land use covenant for the Site to prevent the extraction and use of groundwater other than for monitoring purposes. The covenant required future buildings to be constructed to protect public health.

ISB was applied as biostimulation and bioaugmentation for the source area control. Biostimulation was to treat PCE and daughter products in groundwater through the addition of substrates to enhance the anaerobic biodegradation processes due to insufficient total organic compounds at the Site. Bioaugmentation was to complete the PCE and daughter products degradation process to ethene through the addition of *Dehalococcoides* (Dhc) microorganisms due to shortage of such microorganisms.

Phytoremediation was applied for the plume area treatment. Phytoremediation used eucalyptus and willow trees to treat PCE and daughter products through three mechanisms: reductive dichlorination, phytovolatilization, and hydraulic barrier (O'Connor, D., et al., 2019). The reductive dechlorination of PCE and daughter products was enhanced by plant roots secreting carbohydrates and enzymes at the root-soil interface. Carbohydrates acted as substrates to stimulate microbial growth, enhancing the reductive dechlorination of PCE and daughter products. Enzymes facilitated the hydrolysis of large molecules into smaller and usable substrates for microbes to utilize for energy and growth. Phytovolatilization of PCE and daughter products was a passive process driven by evapotranspiration from leaves and stems. A local cone of depression was created through evapotranspiration to act as hydraulic barrier to the advective flow of contaminated groundwater away from the Site. Routine collection and analysis of groundwater upgradient and downgradient of the phytoremediation areas demonstrated the effectiveness of phytoremediation.

MNA was applied for the plume fringe management. Data collected during routine groundwater monitoring at the Site indicated that natural attenuation was effective to treat PCE and daughter products. Plume status is controlled by the balance of source mass flux and attenuation capacity in the

plume. Plume is expanding when the effect of mass flux is higher than natural attenuation, and collapsing when the effect of mass flux is lower than natural attenuation. MNA usually initiates when plume is stable or collapsing. In addition, initiation of MNA requires source area remediated to practicable extent, plume posed minimal risk, and remediation goals met in reasonable timeframe (Wilson, J., 2011). Routine groundwater monitoring continued at the Site for the long term, and data were carefully evaluated to monitor the effectiveness of natural attenuation.

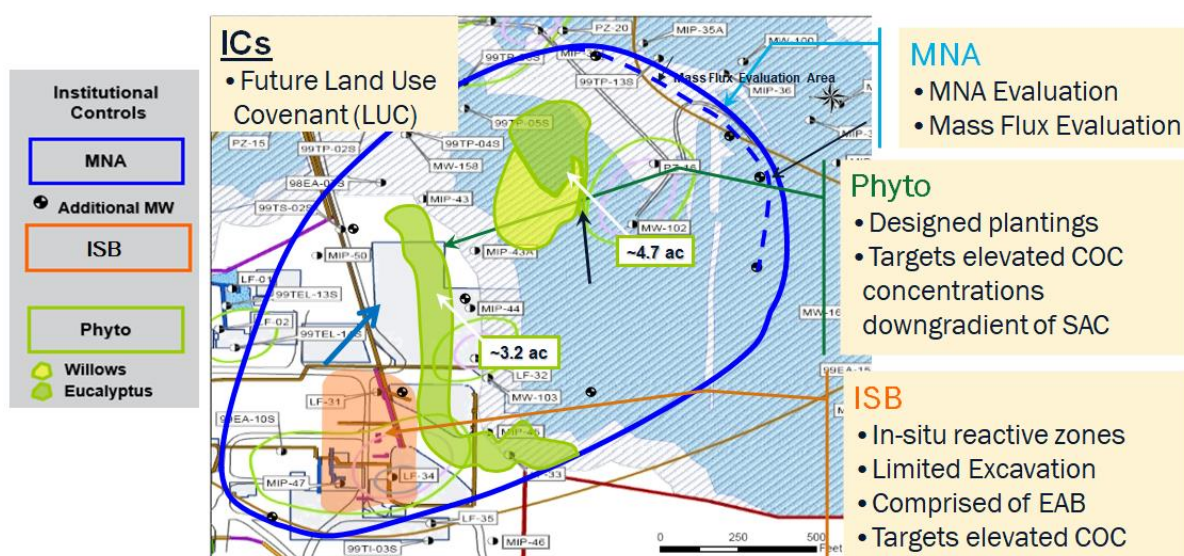


Figure 5 Full Scale Remedy Layout

2.3.1 In-Situ Bioremediation – Source Area

A total of 15 injection wells were installed for the ISB in the source areas of Plume 3. 10 injection wells were in Treatment Area C and 5 injection wells were in Treatment Area D (Figure 6). The injection wells were located on the upgradient of each treatment area to inject substrates for biostimulation and microbial culture for bioaugmentation.



Figure 6 In-situ Bioremediation Substrate/Microbial Culture Injection

A total of approximately 52,800 gallons of liquid mixtures was injected in 15 wells to treat PCE in Treatment Area C and D, including:

- Newman Zone® Products – 3,300 gallons
- Neutral Zone® pH Buffer – 1,650 gallons
- Makeup and recirculation water – 47,850 gallons

Newman Zone® products included slow-release substrate EVO and quick-release substrate lactate and whey. Slow-release substrate provided substrate for microbes in a long-term supply, while quick-release substrate rapidly stimulated microbial biodegradation. A pH buffer was added to neutralize organic acids produced from substrate reactions. Both Newman Zone® products and Neutral Zone® pH buffer are commercial products in the US.

The injected substrate volume was calculated from “Substrate Estimating Tool for Enhanced Anaerobic Bioremediation of Chlorinated Solvents” based on treatment zone physical dimensions, treatment zone hydrogeological

properties, native electron acceptors, contaminant electron acceptors, and aquifer geochemistry (ESTCP, 2010). The calculated volumes of substrates, pH buffer, and makeup and recirculation water were shown on Table 1.

Table 1 Calculated Substrate Volume

Well ID	Vertical Injection Well			Emulsion Injection Mixture (RNAS Newmans Zone)										Total Volume			Estimated		
	Injection Interval (feet)	Screen Length (feet)	Number of Wells/Points	Product Volume (gallons)	Product Weight (pounds)	Soybean Oil Component (gallons)	Lactate (pounds)	Whey (pounds)	Neutral Zone (gallons)	Makeup Water (gallons)	Substrate (pounds)	Water Recirculation (10%)	Water/ Substrate (gallons)	Injection Length (feet)	Effective Porosity (percent)	Radius of Influence (feet)			
Vertical Injection Wells																			
P3 Surfacial INJ-1	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-2	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-3	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-4	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-5	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-6	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-7	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-8	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-9	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-10	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-11	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-12	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-13	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-14	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
P3 Surfacial INJ-15	8-18	10	1	218	1,794	115	897	58	713	110	1,320	2,900	955	290	3,518	10	14%	10.3	
SUBTOTALS:			15	3,263	26,916	1,725	13,458	865	10,701	1,650	19,800	43,500	14,323	4,350	52,763				
SUBSTRATE CONCENTRATIONS										BIOAUGMENTATION QUANTITIES									
Lactic Acid Concentration:				19,019	milligrams per liter		Total Volume				199,706	liters		Note: Bioaugmentation culture is applied at a minimum rate of 1 liter of culture per 20,000 liters of amendment. vertical wells will receive one liter each.					
Buffer to Makeup Water by Weight:				5.0%	percent		Total volume of culture				15	liters							
Vegetable Oil Concentration:				30,631	milligrams per liter														
Percent Oil by Volume in Substrate Mixture:				3.3%	percent														
EFFECTIVE TREATMENT ZONE CONCENTRATIONS																			
Effective Lactic Acid Concentration:				639	milligrams per liter														
Effective Vegetable Oil Concentration :				1,029	milligrams per liter														
Total Groundwater Treated				1,570,861	gallons														
DESIGN FACTOR ANALYSIS																			
Lactic Acid Design Factor:				0.35															
Vegetable Oil Design Factor:				1.5															
Total Design Factor:				1.8															
Design Life (years):				4.0															
Hydrogen Demand (lbs):				1,032															
NOTES: Vegetable Oil Emulsion Product (Newmans Zone)																			
1. Assumes emulsion product is 46 percent soybean oil by weight.																			
2. Assumes contribution from emulsifiers is equivalent to 4% by weight soybean oil.																			
3. Product density is 0.99 (per product MSDS), or 8.25 pounds per gallon at room temperature.																			
4. Soybean oil/Emulsifier component is 4.95 pounds per gallon of product.																			
NOTES: Buffer Product (Neutral Zone)																			
1. Assumes buffer product is 12.0 lb/gal (per product MSDS)																			
2. Assumes product is approximately 3.67 lb/gal solids (12.0 lb/gal product - 8.33 lb/gal for water).																			

Thirty days after the substrate injection to ensure favorable anaerobic conditions, i.e. dissolved oxygen (DO) < 1 mg/L, negative oxidation reduction potential (ORP), and neutral pH, Dhc microorganism culture was injected including:

- KB-1® Culture – 1 liter/well
- Makeup water – 1 gallon on-site clean background groundwater
- Push water – 30 gallons on-site clean background groundwater

Microbial culture contained Dhc microorganisms to promote complete dichlorination of PCE and daughter products to ethene. KB-1® culture is a commercial product in the US. Favorable anaerobic conditions also can be reached by adding oxygen scavengers to decrease DO concentration or lower ORP value.

2.3.2 Phytoremediation – Plume Area

Approximately 550 eucalyptus and willow trees were planted to treat PCE and daughter products in plume area and acted as hydraulic barrier. Two solar powered irrigation stations were installed in upland and wetland areas using clean background well water and imported fresh water, respectively, as water sources for the first two years of irrigation operation.

Due to lack of power sources and electrical lines, two solar-powered irrigation stations were installed: the upland irrigation station and the wetland irrigation station. There were seven zones of phytoremediation area. The upland irrigation station encompassed four zones of eucalyptus trees; the wetland irrigation station covered two zones of eucalyptus trees and one zone of willow trees (Figure 7). In the upland area, the newly implanted trees and existing eucalyptus trees acted as a hydraulic barrier for the source area of Plume 3.

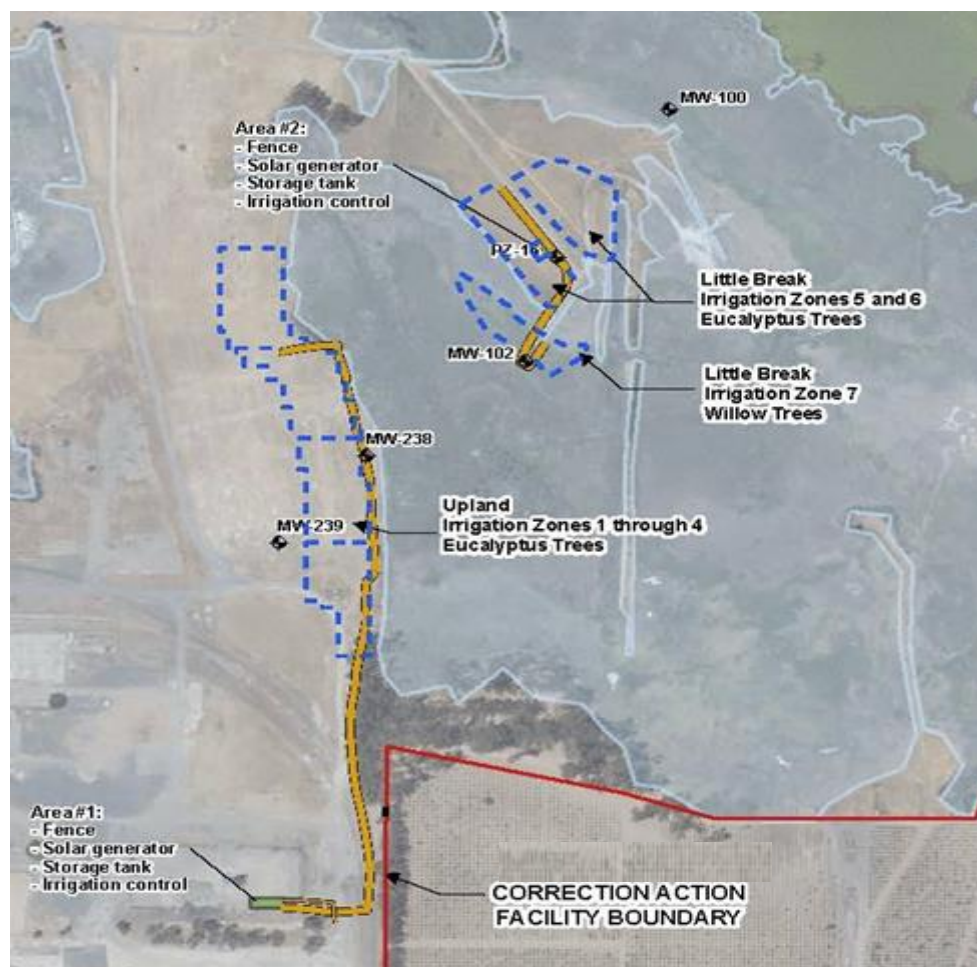


Figure 7 Phytoremediation Layout

Various species of eucalyptus trees were bench tested for salt tolerance and five species were selected and cultured for the full-scale phytoremediation. These tree seeds were propagated from California Polytechnic State University. The sapling trees were delivered to the Site for planting. The planting specification was 15 ft by 15 ft grid. Each tree was planted in a 1.5 ft diameter hole at a depth of 10 ft in the upland area due to beneath buried debris and 3 ft in the wetland area due to shallow groundwater level. Each tree hole was backfilled with on-site soil mixed with 10% compost from a local municipal wastewater treatment plant. Drip irrigation emitters were used to reduce water usage because of water shortage issue in California.

The upland irrigation station had a 1,100-gallon tank to store on-site groundwater extracted from a downgradient clean background well. Solar panels were used to power a submersible pump extracting groundwater from the downgradient clean background well to the storage tank and a transfer pump transferring the tank groundwater to the drip irrigation network (Figure 8). The wetland irrigation station had a larger 2,600-gallon tank to store imported fresh water due to salty groundwater in wetland area. Solar panels were used to power a transfer pump transferring tank fresh water to the drip irrigation network.



Figure 8 Upland Solar-Powered Irrigation Station

2.4 Performance Monitoring

The NBR techniques ISB, phytoremediation, and MNA were implemented from October 2015 to January 2016. Quarterly and annually monitoring had been conducted to monitor and document each remedy performance and compliance since inception.

2.4.1 In-Situ Bioremediation

Field measurements of neutral pH, negative ORP, less than 1 mg/L DO, and less than 1 mg/L sulfate concentration indicated that anaerobic conditions conducive to biodegradation of PCE had been induced in the ISB treatment

zone. The concentrations of PCE and its daughter products (TCE, total 1,2-DCE and VC) had decreased significantly to non-detection levels in the source area treatment zone since ISB implementation while background and side gradient VOC concentrations remain relatively stable, indicating that the ISB system was successfully destroying contaminant mass in-situ. Order of magnitude increases in Dhc and functional gene populations supported the conclusion that active anaerobic biodegradation was occurring in the ISB treatment zone.

ISB performance monitoring was shown on Figure 9. The monitoring well is located downgradient of the injection wells in Treatment Area D. Maximum PCE concentration of approximately 30,000 $\mu\text{g/L}$ was detected at the well. The concentration of PCE, TCE, total 1,2-DCE, and VC decreased to be not detected without rebound approximately three years after the injection, indicating COCs was almost biodegraded in the source area of Plume 3.

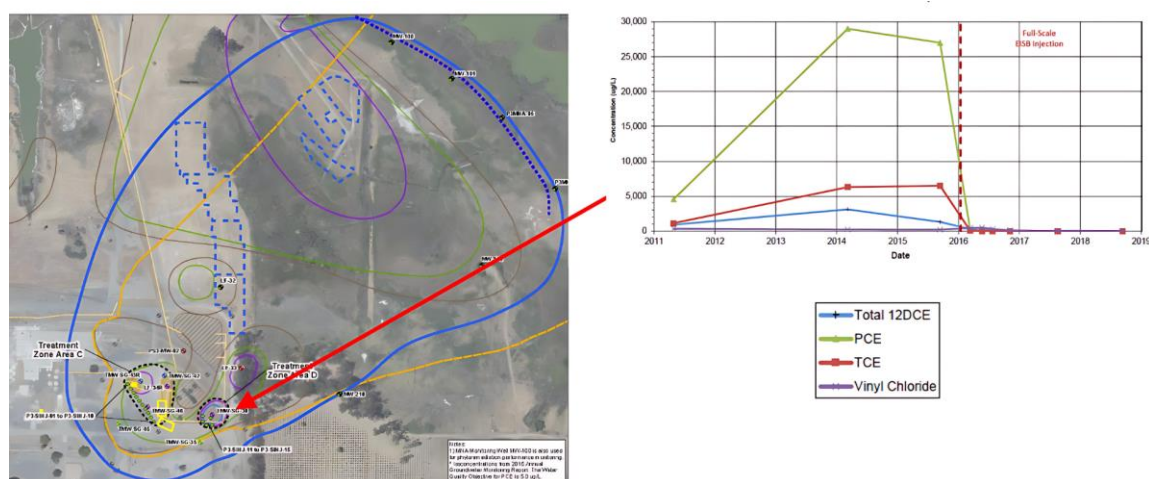


Figure 9 In-situ Bioremediation Performance Monitoring

2.4.2 Phytoremediation

Phytoremediation plot trees were growing successfully with high survival rates despite high soil salt concentrations. Two years after the phytoremediation implementation, PCE concentrations in monitoring wells started to decrease indicating tree roots might have reached to groundwater table and were taking up groundwater.

Phytoremediation performance monitoring was shown on Figure 10. The monitoring well was located in the eucalyptus zone wetland plot. Maximum PCE concentration of approximately 1,700 µg/L was detected at the well. The PCE concentration decreased, but the TCE, total 1,2-DCE, and VC concentrations slightly increased, indicating the performance was affected by both ISB and phytoremediation.

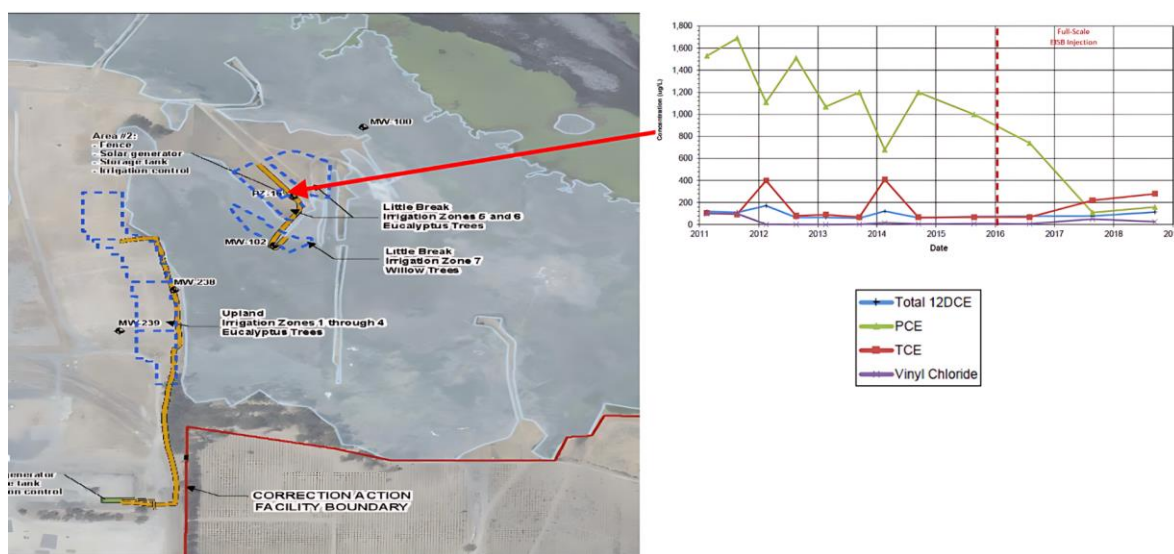


Figure 10 Phytoremediation Performance Monitoring

2.4.3 Monitored Natural Attenuation

MNA performance monitoring was shown on Figure 11. The monitoring well was located in the plume fringe, downgradient of phytoremediation wetland plot. Only DCE was detected at the well with maximum DCE concentration of

approximately 150 µg/L. The DCE concentration generally decreased since the ISB injection and phytoremediation implementation indicating natural attenuation was occurring and Plume 3 was shrinking.

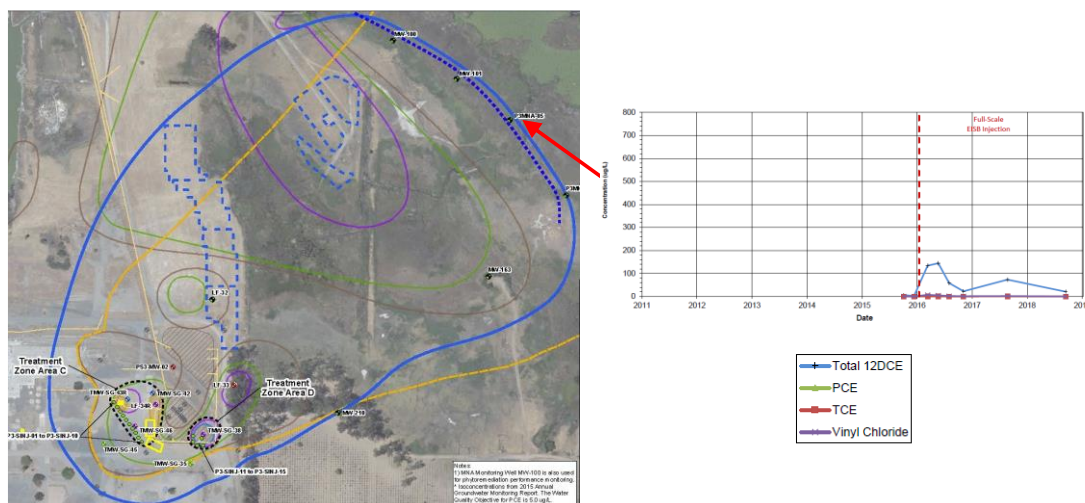


Figure 11 MNA Performance Monitoring

2.5 Lesson Learned and Summar

Lessons learned from the implementation of ISB and phytoremediation were provided for future similar application. The NBR techniques for Plume 3 were summarized to demonstrate the successful application of ISB for the source area control, phytoremediation for the plume area treatment, and MNA for the plume fringe management.

2.5.1 Lessons Learned – In-Situ Bioremediation

Minor substrate spoilage was detected in the totes due to long-term exposed to sun light. Slower than expected injection rate was observed due to shallow groundwater level, low permeable aquifer, and high TDS groundwater. The injection manifold was expanded to maintain minimal approximately 4 gpm flow rate required for the injection pump-priming. High pressure direct push technique was suggested for future injection to improve injection efficiency at the source area of Plume 3.

High TDS can contribute formation of scum when injecting EVO for bioremediation. EVO initially hydrolyzes into readily biodegradable glycerin and slow-release substrate long-chain fatty acids (LCFAs).



TDS can react with LCFAs to form insoluble soaps, which then accumulate as “soap scum”, potentially clogging injection wells.

2.5.2 Lessons Learned – Phytoremediation

More effort was involved in weeding and mowing than anticipated the first half year after the phytoremediation implementation. Both eucalyptus and willow trees had high survival rate. Eucalyptus species *E. Robusta* and *E. Occidentalis* were observed to have the highest survival rate among the selected five salt tolerant eucalyptus trees. Sapling willow trees had to be fenced to prevent from beaver bite in the wetland area. The irrigation water in the wetland station was imported due to high salinity groundwater in the wetland area. Solar panels were easily attracted vandalism in the irrigation stations. Drip irrigation system stopped after two years of operation (Figure 12)



Figure 12 Upland Phytoremediation Area (2016 - 2018)

2.5.3 Summary

Three NBR techniques were applied for Plume 3 at the Site: ISB for source area control, phytoremediation for plume area treatment, and MNA for plume fringe management. These NBR techniques not only reduce carbon footprint, but also generate carbon credit by phytoremediation. The NBR techniques implementation for the case study was summarized as follows:

- Field pilot studies demonstrated the NBR technologies ISB and phytoremediation successfully treated the COCs of Plume 3 at the Site.
- ISB was implemented successfully for the source area of Plume 3. COCs concentrations decreased significantly in treatment zone wells. Microbes and volatile fatty acid concentrations were still detected in certain wells three years after the injection implying biodegradation was occurring. However, injection rate was inefficient due to shallow groundwater level, low permeable aquifer, and high TDS groundwater.
- Phytoremediation with solar powered irrigation systems were successfully implemented for the Plume 3 area. High survival rate was observed for the selected high salt tolerant eucalyptus trees and willow trees. The irrigation systems were terminated two years after the operation.
- MNA monitoring indicated decreasing trend of COCs concentrations in Plume 3 fringe. The monitoring results implied natural attenuation was occurring and Plume 3 was shrinking.

REFERENCES

- [1] Dominguez, R., Leu, J., and Bettahar, M., 2012. Sustainable Wind-Driven Bioventing at a Petroleum Hydrocarbon-Impacted Site. *Remediation: The Journal of Environmental Cleanup Costs, Technologies, & Techniques*, Volume 22, Number 3, 65–78.
- [2] Environmental Security Technology Certification Program (ESTCP), 2010. Substrate Estimating Tool for Enhanced Anaerobic Bioremediation of Chlorinated Solvents.
- [3] O'Connor, D., Zheng, X., Hou, D., Shen, Z., Li, G., Miao, G., O'Connell, S., Guo, M., 2019. Phytoremediation: Climate change resilience and sustainability assessment at a coastal brownfield redevelopment. *Environment International*, 130 (2019) 104945.
- [4] Slenders, H.L.A., Dols, P., Verburg, R., de Vries, A.J., 2010. Sustainable remediation panel:
- [5] sustainable synergies for the subsurface: combining groundwater energy with remediation.
- [6] *Remediation J.* 20, 143–153.
- [7] Song, Y., Kirkwood, N., Maksimović, Č., Zhen X., O'Connor, D., Jin, Y., Hou, D., 2019. Nature based solutions for contaminated land remediation and brownfield redevelopment in cities: A review. *Science of the Total Environment*, 663 (2019) 568–579.
- [8] US Environmental Protection Agency (USEPA), 2017. Overview of the Brownfields Program. 2017.
- [9] Wilson, J., 2011. An Approach for Evaluating the Progress of Natural Attenuation in Groundwater. EPA 600/R-11/204.
- [10] Zhou, H., Bhattarai, R., Li, Y., Si, B., Dong, X., Wang, T., Yao, Z., 2022. Towards sustainable coal industry: Turning coal bottom ash into wealth. *Science of The Total Environment*, 804 (2022) 149985.

黑水虻幼蟲於燃料油污染土壤之生物修復潛力：降解效能、生物安全性與生態效益評估

賴文亮教授¹、洪堂耀副教授¹、陳上權助理教授¹
周奮興環工技師²

¹大仁科技大學環境管理研究所、²富立業工程顧問股份有限公司

摘要 (Abstract)

石油烴 (Total Petroleum Hydrocarbons, TPH)，特別是重質燃料油造成的土壤污染，對生態系統與人類健康構成嚴重威脅。傳統物理化學修復方法常伴隨高成本與二次污染風險，使得開發永續、高效的生物修復技術至為重要。昆蟲修復 (Insect-remediation) 作為新興策略，潛力巨大，但其對難分解污染物的處理效能與深層機制仍待釐清。本研究主要在評估黑水虻幼蟲 (*Hermetia illucens*, Black Soldier Fly Larvae (BSFL)) 作為生物反應器，在處理高濃度燃料油污染土壤 (人工配製不同濃度，介於 0 至 10,000 mg/kg)，進行為期 21 天的 BSFL 生物修復試驗中的效能、安全性，並深入探討其腸道微生物在降解油品過程中所扮演的關鍵角色。研究期間，除監測高低碳數 TPH 在土壤與 BSFL 蟲體內的濃度變化、幼蟲的存活率與生長狀況。另透過小麥草 (*Triticum aestivum*) 種子發芽試驗評估修復後土壤的植物毒性，並利用次世代定序 (next-generation sequencing, NGS) 技術，對生存於高污染環境下 BSFL 腸道內的微生物菌群結構進行深度剖析。

研究結果顯示，BSFL 對高濃度燃料油呈現出卓越的耐受性，即使在 10,000 mg/kg 的極端污染條件下，其死亡率仍低於 1.5%。BSFL 對 TPH 降解效能顯著，每日移除率約 220 mg/kg-day。更重要的是，經 GC/FID 分析證實，土壤中 TPH 被高效移除的同時，幼蟲體內並未發生顯著的生物累積，有效阻斷污染物進入食物鏈的風險。經 BSFL 處理受污染土壤具生態功能，小麥草發芽率可達 80%，高於無油污染對照組的 36%。機制探討方面，NGS 數據顯示「昆蟲-微生物」的強力協同作用：在燃料油的選擇壓力下，BSFL 腸道內的嗜油菌屬-紅球菌屬 (*Rhodococcus*)，其相對豐度從初始的 0.92% 急劇富集至 26.36%，成為降解功能的核心優勢菌群。

本研究證實黑水虻幼蟲是一種處理高濃度燃料油污染的理想生物工具，兼具高效降解、高度耐受與低生物累積風險等多重優勢。其核心機制在於利用自身腸道作為一個高效的「活體生物反應器」，透過富集並驅動如 *Rhodococcus* 等功能性微生物，實現對難分解性油品污染物的快速降解。此發現不僅為石油污染的生物修復提供創新且安全的解決方案，也展現昆蟲修復技術在廢棄物資源化與循環經濟應用中的巨大潛力。

關鍵字：黑水虻；生物修復；石油污染；腸道微生物；協同作用；循環經濟

一、前言 (Introduction)

本研究基於全球土壤污染與修復需求的日益攀升，尤其以燃料油與其所含重質石油烴（如長鏈烷烴、多環芳香烴（Polycyclic Aromatic Hydrocarbons，簡稱 PAHs）的持久性與土壤生態毒性最為顯著。傳統物理化學修復技術雖具一定效能，卻常伴隨高成本、對土壤結構與原生微生物群落的干擾及排放/二次污染風險，因此亟需具經濟性且環境友善的新興修復策略 (Azubuikwe et al., 2016; Yang, 2025)。在此背景下，生物修復與生物工程技術逐漸成為修復領域的重要方向，其中以昆蟲介入的 entomoremediation 概念尤具潛力 (Ewuim, 2013; Bulak et al., 2018; Fan et al., 2020)，且已在多種污染物組合與環境條件下，展現出顯著效果與可轉化資源的機會。

相關研究指出昆蟲對污染物降解機制的理解逐漸從單一微生物降解，轉向昆蟲與腸道微生物之協同作用，其中以 BSFL (*Hermetia illucens*) 為代表，其具備高度適應性腸道微生物群與解毒代謝能力，能在污染場域中充當「移動的生物反應器」，促使污染物更易於生物可利用性提升與分解 (Fan et al., 2020; Bulak et al., 2018)，尤其在木質/有機廢棄物富集的條件下，BSFL 不僅展現出去除污染物的能力，同時其體內污染物累積風險亦展現出可控性，顯示其在生態安全性與資源化潛力方面的雙重優勢。

整合上述文獻發現 entomoremediation-以昆蟲作為原地修復的生態工程師，其在污染生物質的降解與資源化方面展現出可觀的前景，且有望與微生物群落動態互動以提升整體處理成效。過往研究證實 BSFL 能夠耐受並降解特定污染物，然而，針對成分更複雜、毒性更強的「燃料油混合物」，BSFL 的整體修復效能、生物安全性（特別是污染物是否會在蟲

體內累積)、以及其對土壤生態系統功能的實質影響,仍缺乏系統性的評估。此外,BSFL 在降解過程中,其腸道微生物群落如何回應高濃度石油烴的衝擊,並與宿主產生協同作用,產生高效降解效果的相關研究機制,少有文獻述及。

基於上述說明,本研究旨在全面評估 BSFL 作為生物修復工具,處理燃料油污染土壤的潛力,具體研究目的包括:(1) 量化 BSFL 在不同燃料油污染梯度下的存活率與總石油烴(TPH)降解效率;(2) 檢測 TPH 在 BSFL 體內的生物累積程度,評估其環境安全性;(3) 透過小麥禾本植物發芽試驗,評估經 BSFL 整治後土壤生態毒性的恢復狀況;(4) 利用次世代定序技術,深入探討燃料油污染驅動 BSFL 腸道與土壤微生物群落的演替,以揭示「昆蟲-微生物」協同降解的核心機制。最後,期待本研究結果可為 BSFL 應用在重油污染場地提供關鍵的科學依據與理論支持。

二、實驗材料及分析方法

2-1 人工配製受燃料油污染土壤

模擬一系列受污染土壤樣本,本研究取自校園未受污染的土壤,先去除大顆粒雜質以篩網(10 mesh, 2 mm, 台製)過篩後備存,進行土壤基本性質,包括酸鹼度、導電度、有機質、有效性磷、有效性鉀、有效性鎂、質地分析與重金屬含量測定,作為背景測值。將甲種燃料油(高雄礦油行)分別溶於正己烷中,倒入含未受污染土壤(乾土)之 20 L 玻璃容器,再使用玻璃攪拌棒將其均勻攪拌等待至乾燥狀態(溶劑完全揮發),油品濃度控制在 2,000 ~ 10,000 mg/kg 以模擬現地環境污染狀況,進行後續 BSFL 減量效能評估。

2-2 BSFL 幼蟲培育及選擇

關於 BSFL 之培育,本研究使用 18 cm (L) × 25.5 cm (W) × 10.3 cm (H) 之塑膠盆飼養,取 0.1 g BSF 蟲卵進行孵化,根據實驗室前期試驗 0.1 g 蟲卵可孵化約 3,846 ~ 4,600 隻 BSFL。

研究期間分四階段,第一階段為孵化期,確保幼蟲完全孵化後,進入下階段,第二階段為餵養幼蟲期,使用米糠營養源(於屏東碾米廠購得)餵養 7 天至 3 齡後(蟲重約 385 ± 15 g),開始進行所規劃之試程,第三階段為實驗飼養期,投入受不同濃度污染之土壤(1 kg),及添加小於 100 克之營養源(如米糠)作為 BSFL 蟲體基質,此階段定期紀錄 BSFL 蟲體之變化,飼養期間盆內固定濕度為 60 ~ 80 %,21 天實驗期間,固

定時間，紀錄 BSFL 蟲體之變化狀況外，並進行相關實驗分析。每種受污染土壤劑量均進行三重覆試驗，實驗期間會固定使用 RO 水調整樣本濕度 (60 ~ 80 %)。

2-3 TPH 濃度分析

土壤樣本前處理為環保署公告之標準方法 (NIEA. M165)，經正己烷與丙酮 (1:1 v/v) 混合溶劑萃取後；蟲體及蛹以去離子水清洗後進行冷凍乾燥再進行破碎，使用正己烷與丙酮 (1:1 v/v) 混合溶劑萃取，再依環保署公告之標準方法 (NIEA S703.63B)，以氣相層析儀進行低碳數/高碳數之 TPH 分析，低碳數分析管柱為 DB-624 (30 m × 0.53 mm × 3.0 μm)/高碳數分析管柱為 ZB-1 HT (30 m × 0.32 mm × 0.1 μm)。氣相層析儀 (gas chromatograph/flame ionization detector, GC/FID) 分析條件使用環保署公告之標準方法 (NIEA S703.63B) 進行。

2-4 菌相分析

2-4-1 細菌染色體 DNA 的抽取

首先抽取土壤樣品細菌 DNA，利用 Qiagen 公司所出產之強力土壤 DNA 抽取試藥組 (DNeasy power soil kit) 進行 DNA 萃取；BSFL 腸道菌 DNA 的萃取，則將蟲體於 -20°C 冷凍 10 分鐘後，以無菌 RO 水洗淨，再用 70% 酒精清洗，以消毒過的解剖剪刀剪下其腸道，置於無菌離心管中。將回溫後的腸道置於無菌生理水中，以超音波振盪機將腸道的內容物震出，以低速離心去除較重的組織碎片，取上清液離心 (6000 x g 10 分鐘)，腸道菌即在沉澱物中 (De Filippis et. al., 2023)。細菌的染色體 DNA 係利用 Bacteria Genomic DNA Kit (Qiagen) 抽取。所抽取的 DNA 則冰存於 -20°C 暫存，DNA 樣品以冷凍寄送至生物科技公司進行次世代定序 (Next Generation Sequencing, NGS)。

2-4-2 次世代定序

土壤樣本或是 BSFL 腸道菌所抽取的 DNA，先經由聚合酶連鎖反應 (polymerase chain reaction, PCR) 增幅 16S rDNA V3-V4 區域，使用引子 (Primer) 對為 341 F (341 F CCTACGGGNGGCWGCAG) 及 805 R (805 R :GACTACHVGGGTATCTAATCC) 進行 16S rDNA V3-V4 區域的擴增 (大小約為 465 bp)；再構築 DNA library，然後 DNA 的定序主要是由 MiSeqSystem 進行，在經過合併 (merge) 雙端序列即可獲得較長的序列。將定序所得的 16S rRNA 區域原始數據進行資料分析，以獲得

微生物菌相分布。將資料進行生物資訊的整理分析，即可了解土壤中原本的菌相、添加 TPH 後的菌相及黑水虻腸道原本的菌相，進食 TPH 後的黑水虻腸道菌相，透過比對分析瞭解 TPH 對於土壤與黑水虻腸道菌相族群的影響。

2-5 肥力試驗

選擇小麥禾本植物進行試驗，盆栽外層置於盆座內，以防止澆水時，污染土壤隨著水分流出，造成二次污染，將黑水虻去化 21 天後之受污土壤進行植物栽培，觀測黑水虻去化前後樣本對植物之生長狀況，為了預防天氣等因素影響，將植物置於半開放空間，實驗進行 90 天監測，評估植物生長狀況，定期量測每株植物高度及葉片數。

三、結果與討論 (Results and Discussion)

3-1 低生物累積風險：從「污染物儲存」到「徹底降解」

圖 1 為比較不同樣本氣相層析儀 (GC-FID) 圖譜，呈現 TPH 之去向，並證實其在 BSFL 體內之低生物累積特性。圖 1 A-1 為 2,000 mg/kg 燃料油標準品高碳數 TPH 圖譜分析，停留時間區間在 5.2 min-15.4 min，有明顯訊號值，對應積分面積為 327.9。圖 1A-2 顯示 相同劑量燃料油標準品低碳數圖譜分析，在停留時間 3.5 min、4.1 min、4.5 min 及 4.8 min 及 5.7 min 有明顯訊號值，對應積分面積分別為 43.4、39.9、37.5、66.6 及 26.5。

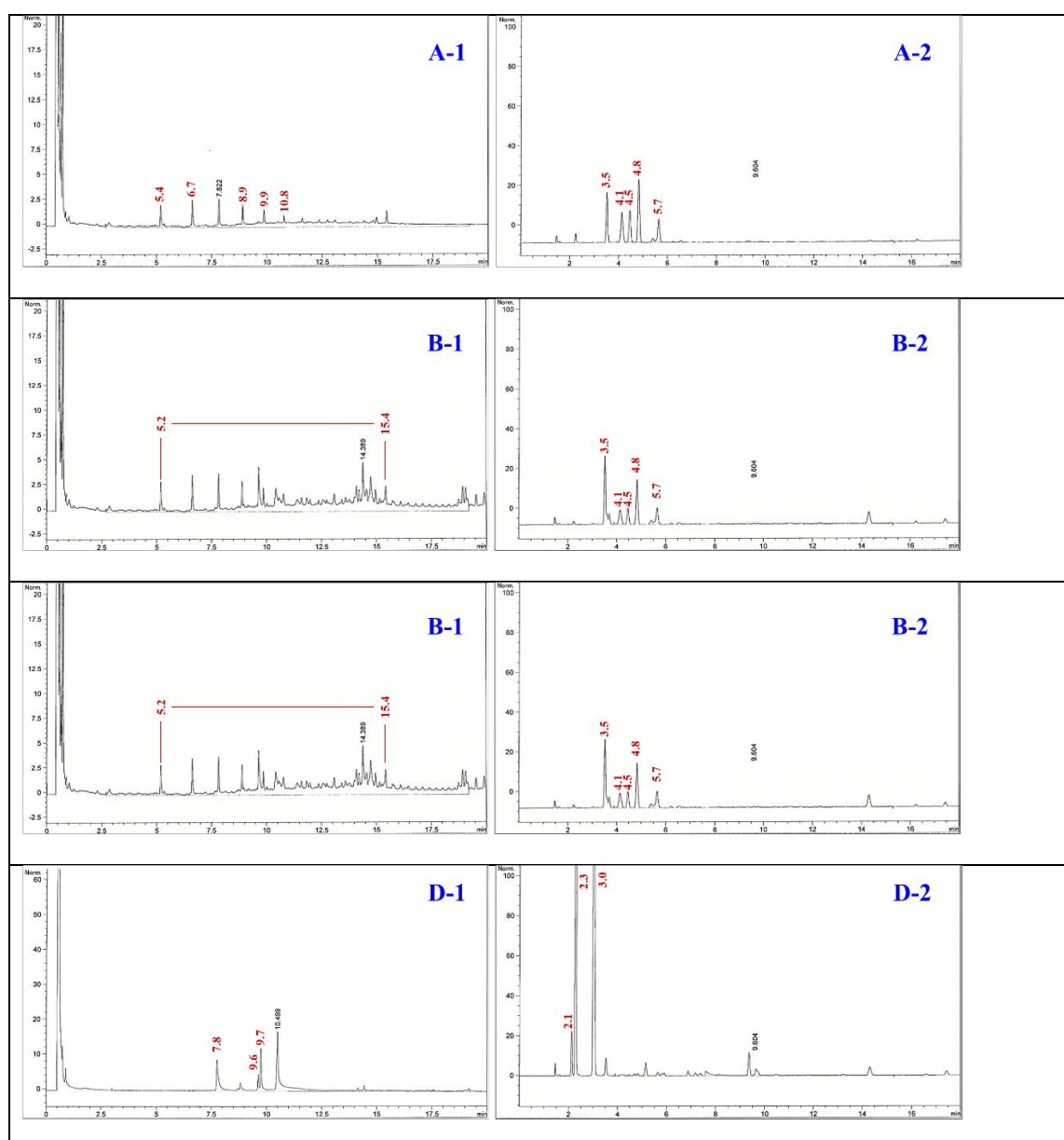


圖 1 (A) 2,000 mg/kg 標準品 (B) 經 BSFL 受燃料油污染土壤，21 天後，土壤中 (C) 對照組 BSFL 蟲體 (D) BSFL 處理受燃料油污染土壤，21 天後 BSFL 蟲體之 (1) 高碳數 (2) 低碳數 TPH 之 GC/FID 分析圖譜變化

圖 1 B-1 顯示 2,000 mg/kg 燃料油土樣經 BSFL 處理後 21 天後，高碳數 TPH 圖譜分析，波峰對應時間分別為 9.9 min、10.4 min 及 11.2 min 停留時間對應積分面積分別為 21.9、15.2 及 9.6，全部積分面積相較標準品，明顯下降，顯示 BSFL 可有效去除高碳數之 TPH；圖 1 B-2 顯示土樣中低碳數圖譜，發現在停留時間 3.5 min、4.1 min、4.5 min、4.8 min 及 5.7 min 有明顯訊號值，對應之積分面積分別為 67.0、21.5、21.5、53.2 及 21.0，相較標準品峰值積分面積，除低停留時間呈現微幅增加外，其餘呈現下降。整合上述說明，受燃料油污染土樣經 BSFL 處理 21 天後，土壤中高低碳數的 TPH 均顯著的被降解/移除（波峰面積下降，且部分高碳數波峰從長停留時間區段移至更短的停留時間，代表些許低碳數的化合物持續存在）。圖 1-C-1 為 BSF 於對照組（不含燃料油），BSFL 經 21 天後，蟲體中高碳數 TPH 之圖譜分析。圖 1-C-1 顯示在停留時間 7.8 min、9.6 min、9.7 min 及 10.5 min 有明顯訊號值，對應之積分面積分別為 76.8、27.4、51.8 及 285.2（稀釋 20 倍），與含燃料油土壤之標準品，出現波峰時間重疊，意謂原存在於 BSFL 體內的高碳數 TPH 與含燃料油土壤中高碳數 TPH 較難區分。圖 1-C-2 為 BSFL 於對照組（不含燃料油），經 21 天後，BSFL 蟲體中低碳數 TPH 之圖譜分析，圖中發現在停留時間 2.1 min、2.3 min 及 3.0 min 有明顯訊號值，對應之積分面積分別為 72.4、35.4 及 345.1，與含燃料油土壤之標準品，出現波峰時間 3.5-5.7 min，明顯不同，此可視為原存在於 BSFL 之低 TPH 成份。

圖 1-D-1 顯示含 2,000 mg/kg 燃料油土樣經 BSFL 處理後 21 天，TPH 高碳數圖譜，與對照組之停留時間相同，對應積分面積分別為 70.9、15.4、46.6 及 157.8（稀釋 20 倍），均較對照組為低，顯示 BSFL 對高碳數之 TPH 具有有效去除/降解之能力，同時避免污染物在蟲體內過度累積，支撐低生物累積風險的結論。另 BSFL 蟲體中 TPH 低碳數圖譜（圖 1 D-2）與對照組有三個明顯訊號值之停留時間相同（2.1 min、2.3 min 及 3.0 min），另產生 9.4 min 之波峰（對照組不明顯），在燃料油土樣標準品亦未被發現，對應之積分面積分別為 70.6、1,333、1,697 及 52.7，這部分非屬燃料油低碳數 TPH 成份，代表 BSFL 可有效處理及轉換燃料油高低碳數 TPH 含量，成為 BSFL 蟲體生物體之質量，此部分可由蟲體重量增加，加以驗證（在此未呈現數據）。

綜合上述，BSFL 蟲體中出現的波峰變化，與土壤中波峰的總體下降趨勢共同支持 BSFL 對土壤 TPH 的去除能力：土壤 TPH 被降解、轉化或移除，蟲體內累積燃料油高低碳數 TPH 較低，並呈現原屬 BSFL 低碳數 TPH，證明 BSFL「低累積、高降解 TPH」的特性，擴大提升該技術的環境安全

性與後續資源化的潛力，包括有效阻斷燃料油污染物透過 BSFL 進入更高營養級的食物鏈風險，與避免生物放大（Biomagnification）效應。此與 Fan et al. (2020) 的研究形成有趣的對照與補充，Fan 的研究聚焦於污染物的「移除率」，本研究則進一步確認這些被移除的污染物並未大量轉移至蟲體內，而是被系統有效地分解，使得經處理後收穫的 BSFL 蟲體，若可經過安全性驗證後，應具備轉化為高附加價值產品（如飼料蛋白、幾丁質）的巨大潛力，構建一個從「廢物處理」到「資源再生」的循環經濟模式。

3-2 BSFL 對燃料油的高效降解效能與生理耐受性

圖 2 為黑水虻幼蟲（BSFL）處理燃料油污染土壤 21 天後之修復效能與生理耐受性。圖 2(左) 為 BSFL 暴露於不同燃料油濃度(0, 2000, 6000, 及 10000 mg/kg) 之死亡率，結果呈現 BSFL 卓越的耐受性，即使在最高污染濃度下，死亡率仍低於 1.5%，與對照組無顯著差異。圖 2(右) 為土壤中總石油烴（TPH）之移除效率，數據顯示在所有測試濃度下，TPH 均被持續且高效地降解，意謂 BSFL 幼蟲具強大的生物修復能力。

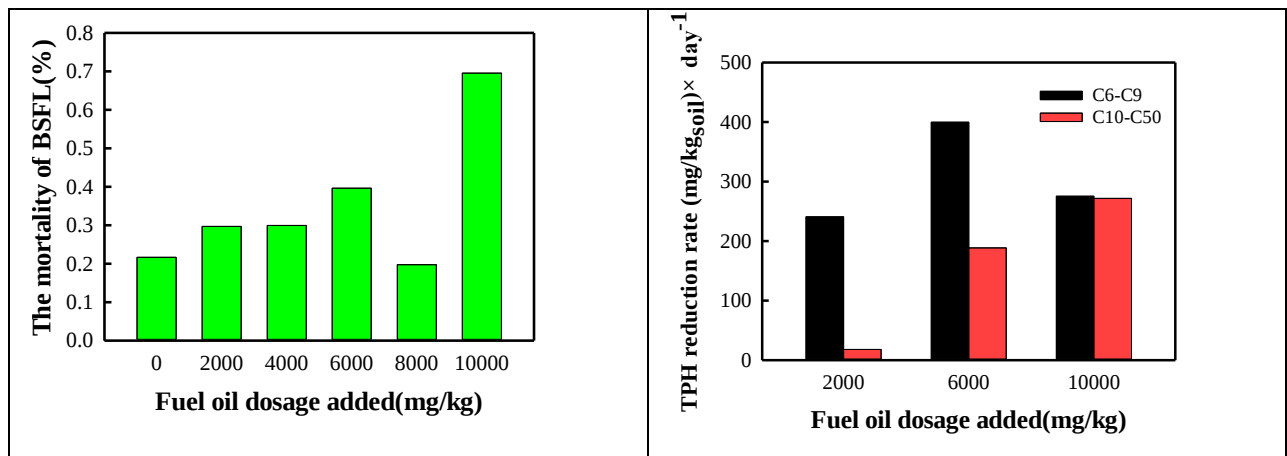


圖 2 BSFL 處理受燃料油污染土壤 21 天後，(左)BSFL 之死亡率(右)高低碳數 TPH 之去除效率

BSFL 具卓越的耐受性與 Fan et al. (2020) 的研究發現相呼應，該研究針對燃料油的關鍵毒性組分之一，多環芳香烴（PAHs），發現 BSFL 能夠耐受高達 100 mg/kg 的特定 PAHs（如萘、菲、芘），僅表現出輕微的發育延遲，而死亡率與羽化率等關鍵生存指標未受顯著影響。本研究選用的燃料油是一種成分遠比單一 PAHs 複雜且毒性更強的污染物，從「單一化學物」的層次，推進至「複雜混合物」的實際情境，BSFL 在此嚴苛條件下仍維持極低的死亡率，進一步證實其生理系統對石油烴類污染物的廣譜耐受能力，可能與其體內高效的解毒酶系統（如細胞色素

P450) 及腸道微生物屏障的協同作用，能迅速將有毒物質轉化或降解相關。

在降解效能方面 (圖 2 右)，BSFL 對燃料油的總石油烴展現持續且高效的移除能力，這不僅是幼蟲的物理攝食，且是一個活躍的生物化學過程，推測此與 BSFL 及其腸道共生微生物協同作用的結果：幼蟲透過翻攪、攝食來增加污染物的生物可利用性 (bioavailability)，而腸道內的嗜油菌則將複雜的碳氫化合物分解為更簡單的分子，與 Fan et al. (2020) 觀察到 BSFL 系統能移除 34.1% 至 84.2% 的 PAHs 的結論一致，共同指向 BSFL 作為一個移動的「生物反應器」，能主動處理環境中的難分解有機物。

3-3 土壤生態功能恢復：從「有毒廢土」到「潛在沃土」

BSFL 整治的生態效益不僅體現在污染物的去除，更體現在土壤生態功能的顯著恢復。圖 3 呈現未受污染土壤 (對照組) 對小麥草的發芽率為 36%，然而，經過 BSFL 處理 21 天後，不同受燃料油劑量污染土壤，可讓小麥草發芽率大幅提升至 80%。

此顯著的改善，應與以下多重機制共同作用相關，包括 (1) **毒性解除**：BSFL 有效降解抑制植物生長的燃料油，從根本上改善植物的生長環境。(2) **物理改良**：BSFL 在土壤中持續的鑽探和翻動行為 (生物擾動，Bioturbation) 打破土壤板結，增加土壤的孔隙度與通氣性。(3) **養分回饋**：BSFL 的排泄物-蟲糞 (Frass) 是一種優質的生物肥料。

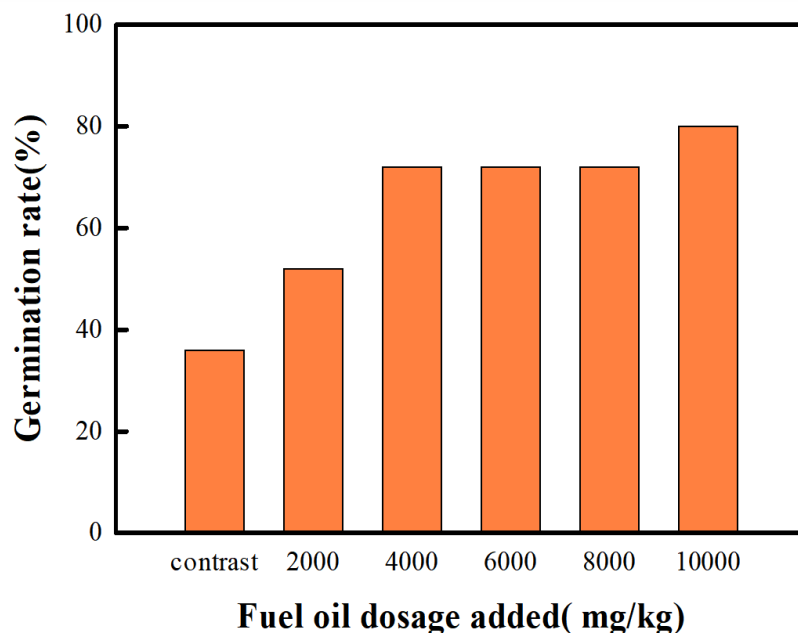


圖 3 受燃料油污染土壤經 BSFL 處理 21 天後對小麥草發芽率之影響

然而，在評估蟲糞的正面效益時，必須審慎考慮其潛在的負面影響。Labella et al. (2024) 的研究對此提供重要的警示，其研究指出未經稀釋的黑水虻蟲糞水萃取液因其極高的電導率(EC 值，即高鹽度)，會對植物發芽和根系生長產生強烈的抑制作用，並強調蟲糞的效益具有顯著的「濃度依賴性」，低濃度(如 25%)施用可能促進生長，而高濃度則表現出植物毒性。

結合 Labella et al. (2024) 的發現，可以全面性地解釋本研究中發芽率從 36%躍升至 80%的現象：BSFL 在整治過程中，其排泄的蟲糞與大量土壤基質混合，相當於進行「原位稀釋」，避免高濃度蟲糞直接接觸種子所可能導致的鹽害，使其「促生效益」得以彰顯，提供未來 BSFL 技術的實際應用提供重要指導：整治後的土壤或純蟲糞產品，在使用前應評估其鹽度，並可能需要進行適當的熟化或與其他基質混合，以最大化其肥力效益並規避植物毒性風險。本研究的結果，及整合 Labella et al. (2024) 的研究發現，BSFL 技術在恢復受污染土地生產力方面的巨大潛力與實際操作中應注意的事項。

3-4 燃料油降解的微生物機制：腸道富集 *Rhodococcus* 的生物反應器

為探究 BSFL 高效降解能力的生物學基礎，本研究利用次世代定序技術解析 BSFL 腸道與土壤微生物菌相的動態變化。表 1 發現一個引人注目的現象：在 BSFL 腸道中，當接觸 2,000 mg/kg 的燃料油後，紅球菌屬 (*Rhodococcus*) 的相對豐度從對照組的 0.92% 飆升至 26.36%，成為絕對的優勢菌屬；即使在更高濃度下，其豐度仍維持在 9% 左右的顯著高水平。相較之下，土壤本身的菌相變化則呈現相對平緩。此意謂 BSFL 的腸道扮演一個「智能生物反應器」的角色，能夠在外界污染物的選擇壓力下，迅速篩選並富集自身攜帶或從環境中攝入的高效降解菌。燃料油作為一種特殊的碳源，可驅動腸道微生物群落的演替，使得具備降解石油烴能力的 *Rhodococcus* 得以爆發性增長。

表 1 受燃料油污染土壤 (2,000–10,000 mg/kg) 經 BSFL 於處理 21 天後，土壤及 BSFL 蟲體菌相豐富度之變化 (前 5 名)

土壤				BSFL 蟲體						
屬	TPH mg/kg			科	屬	TPH mg/kg				
	0 (contrast)	2,000	10,000			0 (contrast)	2,000	6,000	10,000	
<i>Dysgonomonas</i>	9.86%	8.05%	8.29%	Dysgonomonadaceae	unclassified	15.24%	1.58%	10.47%	8.75%	
<i>Bacteroides</i>	7.65%	7.05%	3.54%	Actinomycetaceae	<i>Actinomyces</i>	9.35%	12.73%	9.34%	9.76%	
<i>Sphingobacterium</i>	7.40%	6.79%	3.54%	Enterococcaceae	<i>Enterococcus</i>	9.10%	7.35%	15.48%	17.31%	
<i>Acinetobacter</i>	5.96%	10.76%	4.42%	Lachnospiraceae	unclassified	7.86%	9.09%	8.50%	8.54%	
<i>Enterococcus</i>	1.88%	2.61%	3.82%	Nocardiaceae	<i>Rhodococcus</i>	0.92%	26.36%	9.59%	8.95%	

Martínková et al. (2009) 的整合文獻闡述 *Rhodococcus* 屬在生物降解領域的巨大潛力，指出其擁有擁有功能重複且多樣化的代謝途徑以及能夠編碼多種降解酶 (如烷烴加氧酶、雙加氧酶) 的遺傳特性，使其成為降解包括 PAHs 在內的各類芳香族化合物的「明星菌株」。另其富含黴菌酸的疏水性細胞壁，使其能有效吸附並利用油性污染物。本研究創新之處在於將 Martínková et al. (2009) 對 *Rhodococcus* 的「潛在能力」，在 BSFL 腸道的「活體微環境」中進行動態驗證。在傳統生物修復常需分離、純化並回投特定菌株，過程繁瑣且效果易受環境影響，本研究揭示一種更高效、自發的模式：無需額外接種工程菌，BSFL 系統能「自適應地」富集並利用 *Rhodococcus* 的內源性功能菌群，形成一個高效、移動且穩定的「昆蟲-微生物聯合體」，此種宿主與微生物的緊密協同作用，正是 BSFL 能夠高效、安全地降解難分解性燃料油污染的核心機制。

3-5 綜合討論：建構「BSFL-微生物-土壤」協同作用的生物修復模型

綜合本研究的相關發現及參酌文獻內容，團隊可以提出一個關於黑水虻生物修復燃料油污染的整合性模型，核心為「昆蟲-微生物-土壤」三方之間的動態協同作用。

1. BSFL 作為物理與生化反應的啟動者： BSFL 並非單純的降解媒介，而是整個系統的「引擎」。首先，其物理性的鑽探與攝食行為(生物擾動)極大地改善污染物的生物可利用性，打破污染物在土壤中因吸附而形成的物理屏障。其次，如 Fan et al. (2020) 之研究說明 BSFL 本身具備對石油烴毒性成分(如 PAHs)的生理耐受性，使其能在高污染環境中存活並執行其生態功能，此耐受性之特質是整個修復過程得以啟動的前提。

2. 腸道作為高效降解菌的富集與反應中心： BSFL 的腸道是生物化學反應的核心場所，依現有相關數據清晰地証明，腸道環境在燃料油的刺激下，迅速演變為一個高度特化的微生態系統，選擇性地富集如紅球菌屬(Rhodococcus)的高效降解菌，與 Martínková et al. (2009) 描述的 Rhodococcus 的強大降解潛力完全吻合。BSFL 為這些微生物提供穩定的物理化學環境(如厭氧/微氧條件、恆溫)和持續的有機物供應(被攝入的污染物)，使其降解效率遠高於在開放土壤環境中的自然狀態，此「宿主-微生物」的共生關係，是實現污染物高效降解的關鍵機制。

3. 土壤作為生態功能恢復的最終載體： 經 BSFL 處理後，土壤系統發生質的轉變，除主要污染物(TPH)被有效降解，植物毒性解除；另 BSFL 的代謝產物-蟲糞(Frass)，為土壤注入有機質與養分，促進土壤團粒結構的形成與肥力的提升。在 Labella et al. (2024) 的研究說明，蟲糞的應用並非毫無限制，高鹽度是潛在的風險因子，必須在實際應用中加以管理。本研究的發芽試驗成功，恰恰是因為 BSFL 在土壤中「原位」施肥，蟲糞與土壤基質充分混合，實現自然的「稀釋」，從而發揮其正面效益。

此整合模型不僅解釋本研究觀察到的現象，並將 BSFL 技術從單純的「污染物移除」提升到「生態系統功能恢復」的層次，進而說明 BSFL 生物修復技術的優越性：它是一個自適應、自驅動、多功能的生態工程系統，能同時解決燃料油污染物降解、土壤改良和廢物資源化的多重挑戰。

四、結論與未來展望 (Conclusion and Future Perspectives)

4-1 結論

本研究系統性地評估 BSFL 在生物修復燃料油污染土壤中的潛力與機制，並得出以下主要結論：

1. **高效能與高安全性：** BSFL 能夠在長達 21 天的時間內，耐受高達 10,000 mg/kg 的燃料油污染，且死亡率極低；其對 TPH 的降解率顯著，同時生物累積風險極低，有效阻斷污染物進入食物鏈的途徑。

2. **生態恢復潛力巨大：** BSFL 處理能顯著將受污染土壤轉化為能夠支持植物生長的基質，主要歸因於污染物降解與蟲糞的土壤改良雙重效應。

3. **核心機制：** BSFL 的高效降解能力源於其與腸道微生物的緊密協同作用。BSFL 腸道作為一個選擇性富集平台，在燃料油脅迫下，顯著富集具有強大石油烴降解能力的紅球菌屬 (*Rhodococcus*)，形成高效降解污染物的「昆蟲-微生物聯合體」。

4-2 未來展望

基於本研究的發現，未來可朝下列方向深化：

1. **功能微生物的深入挖掘與驗證：** 雖然本研究鎖定 *Rhodococcus* 作為關鍵菌屬，但其具體的菌株及其在降解過程中的功能基因 (如烷烴加氧酶基因 *alkB*)，仍需進一步的分離培養與功能驗證。利用總體基因體學 (Metagenomics) 和總體轉錄組學 (Metatranscriptomics) 技術，可以更精準地揭示「誰」在「何時」執行「何種」降解功能。

2. **整治後土壤的長期生態效益評估：** 本研究的發芽試驗是短期評估，未來需要進行長期的盆栽或田間試驗，全面評估經 BSFL 整治後土壤的理化性質、微生物群落結構、養分循環以及作物產量與品質。同時，應根據 Labella et al. (2024) 的啟示，系統研究蟲糞熟化、稀釋比例等因素對土壤改良效果的影響，以制定最佳的應用策略。

3. **技術的放大與應用可行性分析：** 將實驗室規模的研究推向模型試驗，乃至實際污染場域的應用，是該技術的最終目標，然而需要考量成本效益、操作流程標準化、環境條件 (溫度、濕度) 控制及對當地生態系統的潛在影響等一系列工程學與生態學問題。

誌謝

本研究之完成，除感謝環境部土壤地下水整治基金補助經費之支持 (LAB-R-RC2-B)，另計畫專案助理曹靜雯小姐在行政程序及研究實驗之大力協助，亦在此一併誌謝。

參考文獻

- [1] Azubuiké, C. C., Chikere, C. B., & Okpokwasili, G. C. (2016). Bioremediation techniques—classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(11), 180. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2137-x>
- [2] Bulak, P., Polakowski, C., Nowak, K., Waśko, A., Wiącek, D., & Bieganski, A. (2018). *Hermetia illucens* as a new and promising species for use in entomoremediation. *Science of the Total Environment*, 633, 912-919.
- [3] De Filippis F, M. Bonelli, D. Bruno, G. Sequino, A. Montali, M. Reguzzoni, E. Pasolli, D. Savy, S. Cangemi, V. Cozzolino, G. Tettamanti, D. Ercolini, M. Casartelli, S. Caccia. 2023. Plastics shape the black soldier fly larvae gut microbiome and select for biodegrading functions. *Microbiome*. PMID: 37705113
- [4] Ewuim, S. C. (2013). Entomoremediation—a novel in-situ bioremediation approach. *Animal Research International*, 10(1), 1681-1684.
- [5] Fan, M., Liu, N., Wu, X., Zhang, J., & Cai, M. (2020). Tolerance and removal of four polycyclic aromatic hydrocarbon compounds (PAHs) by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology*, 49(3), 667-672.
- [6] Konur, O. (2021). Bioremediation of petroleum hydrocarbons in contaminated soils: A review of the research. *Petrodiesel Fuels*, 995-1013.
- [7] Labella, R., Bochicchio, R., Addesso, R., Labella, D., Franco, A., Falabella, P., & Amato, M. (2024). Germination behavior and geographical information system-based phenotyping of root hairs to evaluate the effects of different sources of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larval frass on herbaceous crops. *Plants*, 13(2), 230.
- [8] Martínková, L., Uhnáková, B., Pátek, M., Nešvera, J., & Křen, V. (2009). Biodegradation potential of the genus *Rhodococcus*. *Environment International*, 35(1), 162-177. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.07.018>
- [9] Yang, K. M. (2025). Recent trend in phytoremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: a bibliometric review. *International Journal of Phytoremediation*, 1-9.

徵稿啟事

- 一、 本會會訊提供會員及專家學者發表環境領域新知、技術與專業經驗等。
- 二、 專題稿件以環境相關理論與實務、環境法規、環境保護理念之論述為原則，採技術報導或論文等撰寫形式皆可，文長以 8000 字以內為原則，所附圖表或照片應清晰，稿件禁止以公司集體智慧，有著作權、業主版權疑問或抄襲複製等情事，以免觸法。
- 三、 會訊以雙月刊週期出版，出版日期為奇數月 10 日，投稿稿件須於出版日之 15 日以前，以電子檔案寄（送）抵公會。
- 四、 專題稿件稿酬之文字單價為每字新台幣 2 元，原創照片與圖表單價為每幀新台幣 500 元，每篇稿酬以新台幣 12,000 元為上限；特殊專文之稿酬另案處理。
- 五、 本會負有以下權利與義務：
 - （一）專題稿件之審閱。
 - （二）提供審閱意見請撰稿者修改或回覆。
 - （三）決定專題稿件刊登與否。專題稿件之審閱及審閱意見之提供，必要時得請相關專長之專家學者擔任。
- 六、 會訊為專業交流之發佈管道。具名撰稿者刊登之稿件內容，不代表本會的意見或立場。具名撰稿者應遵守智慧財產權等相關法令，以及無條件負擔因其稿件內容刊登所衍生之責任。

各公會會員大會、理監事會會議紀錄

中華民國環境工程技師公會全國聯合會

中華民國環境工程技師公會全國聯合會

第 11 屆第 9 次理監事聯席會議紀錄

壹、時 間：中華民國 114 年 7 月 19 日上午 11 時 00 分

貳、地 點：本會會議室（台北市大同區長安西路 342 號 4 樓之 1）

參、出席人員：理事—黃啓明、張天益、劉敏信、張耿榕、范綱智、
林永欽、黃福全、黃義雄、徐永郎、王朝民、
許甫豪

監事—楊基振、高信福、曾寶山、林清洲、范振國（線上）

肆、缺席人員：（無）

伍、請假人員：理事—林威安、周奮興、蕭友琳

陸、列席人員：（無）

柒、主 持 人：黃常務理事啓明

捌、記 錄：洪忻妍

玖、報告事項：

一、第 11 屆第 8 理監事會提案決議執行情形

提案 1	
案由	114 年 1-3 月收支決算表、資產負債表提請理事會審議、監事會監察。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。
提案 2	
案由	114 年度會員代表大會名冊提請審議。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。

提案 3	
案由	114 年度會員代表大會相關事項，提請審議。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。
提案 4	
案由	修正 114 年度收支預算表，提請審議。
決議	修正後通過。
內政部備查	無意見。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。

二、工作報告：

1. 會議（參閱下表）

日期	出席者	召開單位	會議名稱
114 年 5 月 15 日	徐理事永郎	新北市政府水利局	「114 年度新北市河川水體底泥品質檢測」底泥品質採樣及檢測計畫書審查會
114 年 5 月 21 日	高監事信福	中國工程師學會	「推動技師相互認許協議」專家諮詢會議
114 年 6 月 27 日	林理事長威安、 劉常務理事敏信、 楊常務監事基振、 高監事信福	中華民國環境工程技師公會全國聯合會	召開環境永續發展基金會來訪會之會前會議。

2. 水污核章件數： 114 年共 152 件（截至 6 月 30 日止）

3. 第 11 屆第 3 次會員代表大會已於 114 年 7 月 5 日（星期六）假臺大醫院國際會議中心順利舉辦完成，實到 48 人（親自出席 38 人，委託出席 10 人）

壹拾、討論提案：

提案 1・提案人：理事長

案由：114 年 1-6 月收支決算表（如附件一）提請理事會審議、監事會監察。

決議：照案通過。

提案 2・ 提案人：理事長

案由：114 年度資產負債表（如附件二）提請理事會審議、監事會監察。

決議：照案通過。

提案 3・ 提案人：理事長

案由：114 年 1-6 月現金出納表（如附件三）提請理事會審議、監事會監察。

決議：照案通過。

提案 4・ 提案人：會員代表大會

案由：第 11 屆第 3 次會員代表大會原提案人林威安理事長，連署人黃福全技師附議提案：「調整房租金額」，提請討論。

說明：本會向台灣省環境工程技師公會承租會址辦公室，租金自 104 年迄今維持每月新台幣 4,286 元（未稅），台灣省環境工程技師公會有自 115 年 1 月調漲租金，經本會第 11 屆第 3 次會員代表大會討論，決議授權理事會辦理後續事宜。

決議：調整房租金額至每月新台幣 6,000 元（未稅），並自 115 年 1 月開始實施。

提案 5・ 提案人：會員代表大會

案由：第 11 屆第 3 次會員代表大會原提案人林威安理事長，連署人王志遠、張天益技師附議提案：「調整台灣省環境工程技師公會年費繳納金額」，提請討論。

說明：會員代表大會已決議調降年費至 300 元/人，經台灣省環境工程技師公會理監事會議同意後，自 115 年度起開始實施。

決議：照案通過。

壹拾壹、臨時動議

提案 1・ 提案人：理事長

案由：有關建立技師與環境部的交流平台，提請討論。

說明：本案係源自台灣省環境工程技師公會第 13 屆第 2 次會員大會之會員提案，內容為：「建議公會成立專案小組收集會員意見，彙整後透過與環境部彭部長溝通平台，必要時修訂法規」。該提案已提送至台灣省環境工程技師公會第 13 屆第 5 次理監事聯席會議討論，並決議將相關事宜移請本會全權辦理。

決議：由理事長召集相關人員召開會議，研議後續執行事宜。

壹拾貳、散會

台灣省環境工程技師公會

台灣省環境工程技師公會

第 13 屆第 5 次理監事聯席會議紀錄

壹、時間：中華民國 114 年 7 月 19 日上午 10 時

貳、地點：本會會議室（台北市長安西路 342 號 4 樓之 1）

參、出席人員：理事長－劉敏信

常務理事－張天益、高信福

理事－林清洲、王志遠、黃福全、黃啓明、曾寶山、
范振國（線上）、黃振倉

監事－楊基振、范綱智、彭文良

肆、缺席人員：無

伍、請假人員：理事－林玉青、陳俊明、林威安、吳慶龍、許定華

監事－王凱中、周奮興

陸、列席人員：（無）

柒、主 持 人：劉理事長敏信

捌、記 錄：洪忻妍

玖、報告事項

（一）第 13 屆第 4 次理監事會提案決議執行情形

提案 1	
案由	114 年度 1 月至 3 月經費收支提請審議。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 2	
案由	新入會會員名冊提請理事會審核。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 3	
案由	提報 114 年度會員大會名冊，請審議。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查

提案 4	
案由	114 年度會員大會相關籌辦事宜，提請討論。
決議	討論決議如下，其餘事項照說明通過。 1. 研討會講師請理監事協助推薦 2. 會員報名大會餐敘須繳費 500 元，當日出席即退款。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 5	
案由	有關本會 114 年度會員旅遊相關事宜，請討論。
決議	可舉辦健行等活動，請福利委員會籌辦相關事宜。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 6	
案由	有關本會辦公室會議室壁癌整修工程，提請討論。
決議	請黃理事福全協助洽詢廠商。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 7	
案由	修正 114 年度收支預算表「雜項收入」科目之說明欄。
決議	修正後通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查

(二) 會員繳費紀錄：截至 114 年 6 月 30 日止，繳交 114 年度常年會費者 639 人。

(三) 工作報告：

1. 委託案件

(1) 固定污染源操作許可證委託審查

委託單位	南投縣政府環境保護局	
執行人	范振國	
	收入(未稅)	支出(未稅)
第 3 期	270,760 元	249,260 元
1131224	第 3 期款請款	
1140115	第 3 期款入帳	
1140206	第 3 期款出帳	
1140710	第 4 期款請款 (請款金額 237,770 元)	

2. 各委員會工作報告

	日期	委託/召開/ 來函單位	事由	說明
審查	1140423	台南市政府水利局	協助事業用戶排放事業廢污水水質超標輔導改善事宜	黃義雄技師出席
	1140509	臺南市政府水利局	「聲寶股份有限公司安平區古堡段 2004 地號等 1 筆聲寶橘青春台南安平館新建工程」專用下水道審查作業案	黃義雄技師協審
	1140515	臺南市政府環境保護局	名翔能源股份有限公司廢棄物違法填埋強化管制及缺失改善方案審查會	陳理事俊明出席
	1140515	臺南市政府環境保護局	辰揚企業行廢棄物違法填埋強化管制及缺失改善方案審查會	陳理事俊明出席
	1140515	新北市政府水利局	召開「114 年度新北市河川水體底泥品質檢測」底泥品質採樣及檢測計畫書審查會	王理事志遠出席
	1140529	臺南市政府水利局	「中德建設股份有限公司一北區東興段 926-1、925-3、911-1、911-5 地號等 4 筆店舖集合住宅新建工程」專用下水道審查作業	黃義雄技師協審
	1140609	臺南市政府水利局	「京城建設股份有限公司一仁德區崁腳北段 820 地號等 21 筆廠房新建工程」專用下水道審查作業	黃義雄技師協審
審查	1140609	臺南市政府水利局	「寶國建築經理股份有限公司一善化區慶安段 332、333-1、333-2、334、335 地號等 5 筆集合住宅新建工程」專用下水道變更設計審查作業	黃義雄技師協審
	1140630	臺南市政府水利局	「皇田國際開發股份有限公司一歸仁區林子邊段 246-6 地號等 31 筆之 C 區 (215、758-14 地號)」廠辦新建工程專用下水道審查作業	黃義雄技師協審

	日期	委託/召開/ 來函單位	事由	說明
評鑑	1140423	桃園市政府水務局	「113 年度重訴字第 432 號損害賠償民事訴案」	范綱智出席
學術	1140509	11405-06 會訊	現地 DNAPL 及重金屬鉻複合型污染整治工法探討－林雍承專案工程師、楊世閔專案工程師	
			臺中市空品感測器物聯網限縮工業區污染源之應用－臺中市政府環境保護局莊韻蓉技正、賴後讚股長、鄭丞峰技士、思維環境科技有限公司江嘉凌總經理、黃致霖副總經理、林佳民組長	
	1140710	11407-08 會訊	八里海洋放流管擴散管均勻配水之初步探討－劉雅文技師、陳伯珍技師	
			從節水到加值：智慧水表於工業與住宅端的應用成效與挑戰－蘇政賢總經理、曾寶山技師	

3. 會務

- (1) 第 13 屆第 2 次會員大會已於 114 年 7 月 5 日假臺大醫院國際會議中心順利舉辦完成，實到 317 人（親自出席 260 人，委託出席 57 人）。本次邀請環境部彭啓明部長擔任講座主講人。
- (2) 114 年度會員聯誼旅遊，訂於 113 年 9 月下旬，預計於 7 月下旬發布報名資訊。
- (3) 第 13 屆第 6 次理監事會時間暫定於 114 年 10 月 18 日（六）召開。

壹拾、提案討論

提案 1・ 提案人：理事長

案由：114 年度 1 月至 6 月經費收支提請審議。

說明：如附件一（1 月至 3 月收支決算表、資產負債表及現金出納表）。

決議：照案通過。

提案 2・提案人：審查委員會

案由：新入會會員名冊提請理事會審核。

說明：執業技師 9 名、營造業技師 7 名，共 16 名，名單如下。

類別	技師姓名	會籍編號	執業機構／受聘公司
執業技師	游正男	0971	方圓環境工程技師事務所
	梅瑋豐	1457	景丰科技股份有限公司
	張雲翔	1458	泰興工程顧問股份有限公司
	徐靖軒	1460	群安環工技師事務所
	唐志慧	1461	康振環境科技有限公司
	賀之珏	1463	安石土木結構環工技師事務所
	陳彥旻	1464	培茗迅環境工程技師事務所
	徐悅芝	1465	台灣世曦工程顧問股份有限公司
	吳蕙均	1466	科進栢誠工程顧問股份有限公司
營造業技師	游正男	0971	方圓環境工程技師事務所
	鍾如真	0295	永清營造有限公司
	余憲睿	0475	甲頂營造有限公司
	陳怡靜	0549	得龍營造有限公司
	陳慶彬	0637	爽禾系統科技有限公司
	黃建元	0745	沅建營造有限公司
	唐大維	1459	力美營造有限公司
	高銘鴻	1462	玖峰環境股份有限公司

決議：照案通過。

提案 3・提案人：福利委員會

案由：有關 114 年度會員旅遊相關事宜，提請討論。

說明：相關行程已向三間旅行社詢價（如附件二）。

決議：

1. 與可樂旅遊合作舉辦。
2. 會員報名不限人數，每位會員補助 5,000 元。

提案 4・提案人：理事長

案由：有關調整房屋租金事宜，提請討論。

說明：中華民國環境工程技師公會全國聯合會租用本會辦公室為會址，租金自 104 年迄今維持每月新台幣 4,286 元（未稅），本會計畫於 115 年 1 月起調整房租金額至每月新台幣 6,000 元（未稅）。

決議：照案通過，並以雙方理監事聯席會議決議通過之會議紀錄為憑，正式執行房租調整，自 115 年 1 月起生效。

提案 5・ 提案人：會員大會

案由：第 13 屆第 2 次會員大會原提案人禹道浙技師、連署人尹可倫技師附議提案「建議公會定期提醒年資滿 20 年的會員申請健康檢查補助，以維護權益」，提請討論。

決議：請會務人員發布電子郵件公告，並於技師 LINE 群組及會訊內刊登相關資訊。

提案 6・ 提案人：會員大會

案由：第 13 屆第 2 次會員大會原提案人吳曉芬技師，連署人黃福全技師附議提案「建議公會製作安全帽」，提請討論。

說明：為提升本會名譽，建議效法其他技師公會，由公會統一製作安全帽讓會員申購。

決議：由福利委員會籌辦相關事宜，並於下次會議提供樣式參考。

提案 7・ 提案人：會員大會

案由：第 13 屆第 2 次會員大會原提案人蔡勝雄技師，連署人王志遠技師附議提案「建議公會成立專案小組收集會員意見，彙整後透過與環境部彭部長溝通平台，必要時修訂法規」，提請討論。

說明：1. 依環境部彭部長演講提出之意願。

2. 擴展環工技師技術服務項目及範圍，如：節能減碳、AI 服務案件等。

決議：移請中華民國環境工程技師公會全國聯合會全權辦理。

壹拾壹、臨時動議

提案 1・ 提案人：王志遠理事 連署人：林清洲理事

案由：有關本會推薦採購查核委員相關事宜。

說明：1. 推薦作業依「各機關採購評選委員會專家學者參考名單資料庫建置及除名作業要點」（如附件三）及本會「行政院公共工程委員會採購評選委員及財政部促參甄審委員專家學者推薦辦法」（如附件四）辦理。

2. 本會接獲工程會來函（工程企字第 11401000171 號），旨在提升各機關採購評選委員會專家學者參考名單資料庫女性專家學者比率，爰本次推薦人選務必女性會員。

決議：由各理監事協助分別洽詢推適當人選之意願後辦理推薦作業。

壹拾貳、散會