

2017 年 6 月國際間土壤及地下水污染調查與整治技術最新發展趨勢

成功大學永續環境實驗所、業興環境科技股份有限公司、行政院環境保護署

主題：植生復育技術

摘要：本文共收錄了 5 篇 2017 年與植生復育技術相關之國際期刊內容。首先是針對楊樹植物處理污染的技術，混種楊樹植物在實驗室培植下，發現具有顯著的污染耐受性，可有效去除土壤及水中大量銅污染，成為一項有用的環保生物工具。第二篇文章是為比較兩種螯合劑 Desferrioxamine B (DFOB) 和乙二胺四乙酸 (EDTA) 增加向日葵對重金屬之植物萃取的效率差異，研究添加等量的 DFOB 或 EDTA 於重金屬污染土壤中進行 28 天的實驗。研究結果顯示向日葵中添加 EDTA 具有較佳的銅和鎳的植物萃取效果。以鎳的研究結果來說，其吸收速率受限於通過細胞膜時的內化作用，而以透過非選擇性途徑直接攝取金屬-EDTA 複合物，來達成有效的吸收貢獻。第三篇文章是針對原生及具耐受性的根系細菌對植生復育之影響，研究發現菌株透過增強多項有機質及營養鹽的利用，強化植物組織中的重金屬累積，進而提高植物萃取能力。故分離原生及具耐受性的根系細菌有機會成為各種金屬污染場址成功再生的潛在生物技術工具。第四篇文章係針對在污泥添加對植生復育影響之研究結果顯示，來自食品工業的污水污泥提供植物可有效利用的營養物質。過程中因它對土壤有機質的貢獻，並提高測試土壤的保水能力，顯示優質污泥應用於污染和貧瘠土壤整治具正面的成效。第五篇文章係針對以土壤添加劑對砷污染土壤植生復育的影響顯示，在處理污染土壤上建立合適的植被並搭配合適的添加劑，如稻殼生物炭 (RHB)，可增加砷的穩定性，有效防止砷的擴散，並增加生物的多樣性。

一、主題架構：

1. 混種植物對重金屬的處理效能研究；
2. 螯合劑對植生復育效能之影響；
3. 根系細菌對植生復育的影響；
4. 污泥添加對植生復育的影響；
5. 土壤添加劑對植生復育的影響

二、探討問題重點：

1. 楊樹植物處理銅污染技術；

2. 螯合劑對液相中金屬的移動性和形態進而對植生復育的影響；
3. 原生及具耐受性的根系細菌對植生復育的影響；
4. 污泥添加對植生復育的影響；
5. 土壤添加劑對 As 污染土壤植生復育的影響

三、重點整理：

3.1 楊樹植物處理銅污染技術[1]

由於食物污染和食物鏈的生物濃縮，使得農業土壤和水中的銅增加，對環境和人類健康造成嚴重的影響。若要應用環境永續技術之一的植生復育，達成去除不同污染物質的要求，則應選擇具有污染耐受性和高去除能力的植物物種。為此，研究將混合楊樹種的植物在水耕的培養室中生長並暴露於過量的銅濃度下，結果證明培養之楊樹植物具顯著的耐受性，以組織層面來看，根系受銅影響較大。銅測定也顯示，該金屬主要在根系累積，相對到達樹枝的量十分有限。葉綠素含量和螢光分析也證實暴露於較低濃度下植物中有良好的生理狀態。相反的，通過氣體交換測定，觀察到暴露於最高濃度中，其光合作用相關的程序損害。根據水溶液的銅含量分析顯示，楊樹植物成功地去除了約 50% 的銅總添加量。該結果也說明楊樹植物可用於金屬污染水的淨化，可以做為一項有用的環保生物工具。

小結：

混種楊樹植物在實驗室培植下，發現具有顯著的污染耐受性，可有效去除水中大量銅污染，成為一項有用的環保生物工具。

3.2 螯合劑對液相中金屬的移動性和形態進而對植生復育的影響[2]

為比較兩種螯合劑 Desferrioxamine B (DFOB) 和 乙二胺四乙酸 (Ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA) 增加向日葵對重金屬之植物萃取的效率差異，該研究添加等量的 DFOB 或 EDTA 於重金屬污染土壤中進行 28 天的實驗。研究中進行孔隙流出水收集及分析，來評估兩種螯合劑對液相重金屬的移動性和形態的影響。研究結果顯示，DFOB 並非二價金屬在土壤中有效的增效劑，但可選擇性地增加三價金屬的可移動性。而 EDTA 的添加則同時增加三價金屬和二價金屬的可移動性。相較之下，向日葵中添加 EDTA 具有較佳的銅和鎳的植物萃取效果。在不同品種向日葵下與添加 DFOB 比較，銅的效果為 2.0~2.8 倍、鎳則為 1.3~2.3 倍。該結果也證實，在 EDTA 存在下，重金屬被吸收的形式和相關途徑不同。以鎳來看，其吸收速率受限於通過細胞膜時的內化作用，透過非選擇性質體外途徑 (apoplast pathway) 直接攝取重金屬，為重金屬主要吸收途徑。

小結：

為比較兩種螯合劑 Desferrioxamine B (DFOB)和 乙二胺四乙酸 (EDTA) 增加向日葵對重金屬之植物萃取的效率差異，研究添加等量的 DFOB 或 EDTA 於重金屬污染土壤中進行 28 天的實驗。研究結果顯示向日葵中添加 EDTA 具有較佳的銅和鎳的植物萃取效果。以鎳來看，其吸收速率受限於通過細胞膜時的內化作用，透過非選擇性質體外途徑 (apoplast pathway) 直接攝取重金屬，為重金屬主要吸收途徑。

3.3 原生及具耐受性的根系細菌對植生復育的影響[3]

該研究針對印度西孟加拉最大的火力發電廠-Mejia 火力發電廠(MTPS-DVC) 廢棄灰坑現場存在的自生甘蔗根系，分離鑑定出三株具植物生長促進能力的磷酸鹽增溶菌菌株。包括炭疽芽孢桿菌菌株、葡萄球菌屬菌株及芽孢桿菌菌株，分別具有 2.86、2.31 及 2.40 的磷酸鹽溶解指數，可在 4 天內分別產生 700、600 及 640 mg/l 的可溶性磷酸鹽。培養過程中，pH 顯著降低，顯示各種有機酸的產出。研究也顯示其他植物生長促進特徵，如氮、鐵載體、氫氰酸鹽和生長素(Indole acetic acid, IAA, 吲哚乙酸)的產出。這些菌株都耐多種重金屬和抗生素。在盆栽培養基中存在這些分離菌株時，莖苔屬的乾重、原重以及芽和根長度皆增加。該些菌株也依此增強植物組織中的重金屬累積，進而提高植物的萃取能力。由此得知，分離出原生及具耐受性的根系細菌有機會成為各種金屬污染場址成功再生的潛在生物技術工具。

小結：

針對原生及具耐受性的根系細菌對植生復育之影響，研究發現菌株透過增強多項有機質及營養鹽的利用，強化植物組織中的重金屬累積，進而提高植物萃取能力。故分離原生及具耐受性的根系細菌有機會成為各種金屬污染場址成功再生的潛在生物技術工具。

3.4 污泥添加對植生復育的影響[4]

地表土壤大面積衰退及污染，如何維持肥力及整治是一大挑戰。依歐盟而言，在農地處理污水污泥是受到法令的嚴格限制的。這些地區經常被覆蓋缺乏生物活性之污染混合物的表土而造成肥力衰退。利用污水污泥有機質和穩定植物覆蓋物來活化整治土地已有長時間的探索，但其應用仍受到污水污泥化學物質的限制。因此，該研究調查以低金屬污染的污水污泥一次性添加於貧瘠且污染的土壤，並探討其影響及有害微量金屬形成永續的植生覆蓋之成效。該研究在高金屬濃度(鎘、鋅、鉛)和土壤肥力差的鋅冶煉廠附近的污染地區進行田間實驗。首先，以食品工業污水污泥做為單一次使用的物質，並將蘇雲金松、挪威雲杉和橡樹的森林物種用於植生復育。研究結果發現污水污泥的單次施作有利於植物覆蓋的成型。試驗開始五年後，樹木(主要是雲杉和松木)的生物量顯著增加。此外，在施作的

地塊中，還觀察到各種草、雙子葉植物和樺樹的自發性生長。而在沒有污水污泥施作的控制地塊上，種植的樹木在試驗期間逐漸消失。研究結果顯示，來自食品工業的污水污泥提供植物可有效利用的營養物質。過程中因它對土壤有機質的貢獻，還提高測試土壤的保水能力。與對照區相比，5年研究結束時，土壤中大量元素和碳含量仍然較高。處理的植物，重金屬主要積累在根中。該實地試驗研究發現優質污泥應用於污染和貧瘠土壤整治具正面的成效。

小結：

在污泥添加對植生復育影響之研究結果顯示，來自食品工業的污水污泥提供植物可有效利用的營養物質。過程中因污水污泥提供土壤有機質來源，並提高土壤的保水能力，顯示優質污泥應用於污染和貧瘠土壤整治具正面的成效。

3.5 土壤添加劑對砷污染土壤植生復育的影響[5]

砷(As)是一種已知的致癌物質，也是礦場周圍農田土壤中最常見的污染物之一。該研究以四種不同粒徑的土壤添加劑(稻殼生物炭(RHB)、楓葉生物炭(MLB)、紅泥(RM)和鋼渣(SS))，操作不同施用量，搭配兩種超高累積能力物種菊科(萵苣)和甘藍科(芥菜綠)進行土壤中砷的穩定化與植生復育試驗。研究中觀察到處理土壤中砷穩定化的不同模式。隨著 MLB、RM 和 SS 的施用量的增加，觀察到砷穩定化呈現明顯的下降，而 RHB 則呈現上升的結果。而砷的最大穩定效率主要歸因於添加劑結構內增加接觸表面積。對於萵苣來說，砷主要累積於葉子，而對芥菜綠來說砷則藉由根部來萃取。該研究也證實，在處理污染土壤上建立合適的植被並搭配合適的添加劑，對防止砷擴散有極大的成效。而這樣的組合也顯著地增加生物的多樣性。

小結：

以土壤添加劑對砷污染土壤植生復育的影響顯示，在處理污染土壤上建立合適的植被並搭配合適的添加劑，可有效防止砷的擴散，並增加生物的多樣性。

四、結論

植生復育被歸類於永續整治的一環，研究無不極力強化其效能，包括以混種強化污染耐受性及處理效能、添加有效的螯合劑改變重金屬的移動性進而增加植物吸收能力、分離出原生及具耐受性的根系細菌來強化植物對土壤可用物質之利用率，進而強化植生復育的效能、添加有機污泥以增加植生復育之有機質，以增進植物之生長、測試不同土壤添加劑增加植物萃取效能等。而這些研究也顯示，在多層面之強化皆有顯著的成效。

五、參考文獻

1. Pietrini et al. 2017. Investigation on metal tolerance and phytoextraction activity in the poplar hybrid clone "Monviso" under Cu-spiked water: Potential use for wastewater treatment., *Sci. Total Environ.* Vol.,592, 412-418
2. Cornu et al. 2017. How do low doses of desferrioxamine B and EDTA affect the phytoextraction of metals in sunflower?., *Sci. Total Environ.* Vol.,592, 535-545
3. Mukherjee et al. 2017. Phytoextraction potential of rhizobacterial isolates from Kans grass (*Saccharum spontaneum*) of fly ash ponds., *Clean Technol. Environ. Policy* Vol.,19, 1373-1385
4. Grobelak et al. 2017. Effects of single sewage sludge application on soil phytoextraction., *J. Clean Prod.* Vol.,155, 189-197
5. Nejad et al. 2017. Reclamation of arsenic contaminated soils around mining site using solidification/stabilization combined with revegetation., *Geosci. J.* Vol.,21, 385-396