

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

都市下水污泥再利用與資源化之整合型研究(III)

子計畫五：都市下水污泥綠農地利用可行性之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89 - 2211 - E - 009 - 048

執行期間：89年08月01日至90年07月31日

計畫主持人：林志高

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：交通大學環工所

中華民國 90 年 10 月 30 日

都市下水污泥再利用與資源化之整合型研究(III) – 子計畫五:都市下水污泥綠農地利用可行性之研究

EVALUATING THE FEASIBILITY OF MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE RECYCLING AND APPLING TO AGRICULTURAL SOILS

計畫編號：NSC 89-2211-E-009-048

執行期間：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

計畫主持人：林志高教授 國立交通大學 環境工程研究所

一、中文摘要

由於本研究於過去 1-2 年內持續的在民生污水處理廠之污水、污泥中偵測濃度不等之鄰苯二甲酸-2-乙基己基酯化合物 (簡稱 DEHP), 此物質不但具危害性、生物難分解性、且為環境荷爾蒙的一種。根據文獻與本研究過去獲得之結果, 得知 DEHP 在污泥中之分解途徑主要藉由生物之作用, 然而其分解速率卻相當緩慢。因此, 本研究今年度之主要工作內容為進行農地模擬試驗, 目的為妥善利用污泥中營養物質與豐富之有機質, 將污泥以土壤改良劑之形式施用於不同性質之土壤, 除了可探討 DEHP 在污泥摻合土中之分解行為, 亦可藉此得知污泥施用於土壤後對其基本性質改善之幅度。本研究使用之土壤來源分別為茶葉改良場之紅土與台大試驗農場之耕土, 污泥餅則取自民生污水處理廠, 污泥 - 土壤摻合率分別為 25、50、100 與 200 (g/kg)。

關鍵字：下水污泥；危害性物質；鄰苯二甲酸-2-乙基己基酯；土壤改良劑；農地模擬試驗；污泥摻合土；摻合率。

Abstracts

According to the survey of investigating the concentrations of DEHP in municipal wastewater and sludge samples during past 2 years, DEHP have been frequently found both in sewage and sludge samples with varied concentrations. DEHP is recalcitrant to biodegradation and has been characterized into the category of endocrine disrupting chemicals (EDCs) by many nations. Besides, the biodegradation rate of DEHP in sludge is very slow. Sewage

sludge conserves abundant nutrients and hydrocarbons and can be further used as soil fertilizers or soil conditioners. Hence the objectives of study are two-fold: (1) to further investigate the changes of DEHP concentrations in sludge-amended soils; (2) to discuss the changes of physicochemical properties of soils caused by sludge amendment. The sludge - amendment rate are 25, 50, 100 and 200 (g/kg dry weight). Three types of soils were used in this study.

Keywords: DEHP, biodegradation, endocrine disrupting chemicals, soil fertilizers, soil conditioners, sludge-amended soils, physicochemical properties.

二、前言

下水污泥之有效資源化方式與其永續利用為近年各國正極力拓展廢棄物管理之最終目標。然而, 存在於污泥中之危害性物質 (有機物、重金屬、致病菌等) 卻成為此構想推行之阻礙; 若無完善且嚴謹之法規制度與管理系統予以規範, 污泥再利用時可能引起之危害與風險實在無可預期。由此可知, 污泥中有害物質篩選與鑑定為確定污泥是否具有危害性之首要工作、亦為此污泥施用於農地之適用性參考準則。本研究於過去兩年中, 已分別針對各種不同來源、性質之污泥進行萃取與鑑定之工作, 目前已具有污泥中危害性有機物分析之能力與技術, 因此, 將逐步建立之鑑定技術大範圍的使用於本土之各式污泥與建立危害物質資料庫, 為本研究欲達成的目標之一。由於污泥屬於組成複雜之基質, 其性質差異將影響有機物於萃取時脫附之效果, 因此, 污泥樣品於分析前之

製備過程亦為相當重要的環節；有鑑於此，本研究亦已建立一系列污泥與污水中鄰苯二甲酸酯類之萃取與分析技術 (NSC 88-2211-E-009-031)，如此即可克服過去傳統方式樣品萃取與分析時面臨之干擾問題。除此之外，本研究對於鄰苯二甲酸酯類 (phthalate esters, PAEs) 在都市污水處理廠之各單元濃度流佈亦已獲得相當完整之數據 (NSC 89-2211-E-009-031)，另一方面，對於鄰苯二甲酸酯類在污泥中之降解行為亦已獲得初步之背景資料 (Cheng *et al.*, 2000)，雖然 PAEs (尤其是 DEHP) 在污泥中之生物降解速率相當緩慢，即使經過 189 天仍有 70% 之濃度殘留在污泥餅中，然而此結果之獲得已可提供本研究相當重要之支持，亦即可利用微生物之作用進一步降解污泥中之 DEHP，因此，本年度之研究內容主要為將污泥與不同性質之土壤進行摻合，藉由此動作之進行不但可改善土壤之基本物化特性 (Aggelides and Londra, 2000)，亦可保持污泥中可供再利用之資源如有機質與營養成分，使污泥由廢棄物之角色晉升為土壤改良劑 (Wong *et al.*, 1998)，然而，將污泥施用於農地或與土壤摻合之前應詳細考量其中危害性有機物之濃度，並應詳細探討此類有機物由污泥轉移至土壤後之分解行為，以期能將污泥農地利用可能引起之風險降低至最小。

Mangas *et al.* (1998) 的研究中指出 AHCs, LABs, PCBs, PAHs 等四種有機物質於污泥摻和土中之分佈，主要為 C₁₀ - C₁₂ 鏈長的 AHCs、C₁₀ - C₁₃ 鏈長的 LABs、11 種 PCBs 同系物 (congeners) 與 11 種 PAHs 同系物；AHCs 的濃度於 21 天時下降 70%，第 84 天時已完全消失；LABs 的分解速率則比 AHCs 緩慢，短鏈 LABs 異構物則比長鏈 LABs 異構物之分解速率要慢的多。Prats *et al.* (1999) 亦針對不易分解之 soap 進行降解研究，發現具有飽和結構的 soap，其生物分解速率較不飽和結構之 soap 為高，與 LAS 相似的是，好氧條件下處理效率遠大於厭氧消化的方式；若將含有 soap 之污泥與農地之土壤摻和後，於實驗 150 天內，

soap 即可達 100% 之分解率。另外，Madsen *et al.* (1999) 的研究中亦提及 DEHP 於土壤與污泥摻和土中之分解速率不同，仍以生物之作用為主要之分解機制；好氧條件之分解速率為厭氧條件之 4 - 5 倍，污泥摻和土中微生物對於溫度之變化較無摻和污泥之土壤敏感；DEHP 之分解行為可區分為兩階段：phase I (初始與土壤摻和) 與 phase II (> 40 days)，好氧條件下仍有 > 41% DEHP 無法被礦化，另一方面，厭氧條件下，則有 > 68% DEHP 無法被分解，此結果與本研究獲得之成果相當接近，由於本研究之最終目的在於將都市下水污泥實際的利用於綠農地，然而，此階段之施行必須依據一系列之前置試驗確認可行後方可實施，因此，本研究最後即利用三種不同組成之土壤與污泥摻合，進行農地模擬試驗，分別探討 DEHP 在污泥 (sludge)、污泥摻和土 (sludge-amended soils) 中之分解行為，並以種子發芽率 (seed germination) 確認 DEHP 是否抑制植物之生長現象。另外並探討實際污泥與不同組成質地之土壤摻和決定最佳摻和率以及摻和後對於土壤性質之改變 (如無機氮與有機質)。由此可知，都市下水污泥綠農地利用之後續研究，確實具有繼續進行之必要，此研究亦具有相當寬廣之發展潛力與空間，對於國內污泥管理策略之建立與施行，前景應十分看好。

三、實驗方法

1. 污泥與土壤樣品之前處理程序

本研究使用之樣品主要為脫水污泥餅與土壤，污泥餅取自台北市民生污水處理廠，此為經過好氧消化後之穩定污泥；土壤樣品則取自埔心茶葉改良場與台灣大學實驗農場之農地，其基本性質分析結果如 Table 1 所示，由 Table 1 可知茶改場之土壤質地以 clay (47.6%) 為主要組成，台大農場土則以 silt (656 g/kg) 為主要之成分。污泥與土壤取回後，首先進行 1 - 2 週風乾之工作，之後再將風乾後之污泥與土壤樣品分別破碎、研磨與均勻化，使用 30 mesh 之篩網進行污泥過篩、土壤則使用 20 mesh 之篩網進行篩選，目的為收集粒

徑大小分佈相當之樣品，以利後續摻合試驗之進行。另一方面亦同時進行污泥與土壤樣品之基本特性分析。

2. 污泥 – 土壤摻合試驗

本研究將茶葉改良場取得之土壤以“四、五”表示，自台大農場取回之土壤則以“台”予以表示之，因此欲進行摻合試驗之土壤種類共計三種。摻合率分別為 0 (控制組)、25、50、100 與 200 g sludge/kg soil dry weight。另一方面，本研究亦選擇摻合率為 50 g/kg 之實驗組進行對照試驗，亦即此對照試驗之土樣不予攪拌或控制含水率。為了避免不必要之干擾，本試驗於室溫下 (約 28 – 30°C)、室內通風良好處進行，並於實驗過程中予以每日手動翻拌一次，並維持其含水率於 50 – 60% 左右，同時約每七日隨機取樣分析一次，取樣量約 15 g，分析項目為有機質含量 (organic matters, %)、氮氮濃度與土壤之 pH 值變化。

3. DEHP 之萃取與分析

本研究利用超臨界流體萃取儀 (SFE, HP 7680T) 萃取污泥中 DEHP，並利用氣相層析儀 (GCD, HP 1800A) 配合毛細管柱 (HP-1 capillary column) 進行萃取液之分離，同時以質譜儀進行定性與定量之工作，使用之萃取流體為不具毒性之二氧化碳、淋洗溶劑為正己烷；摻合試驗進行之前，本研究及針對污泥餅與土壤樣品進行萃取分析 (未顯示圖譜)，得知三種土壤中皆無 DEHP 之存在，而污泥中 DEHP 之濃度亦相當低 (26.5 mg/kg)，此濃度已合乎歐盟 (European Union) 污泥農地利用之限制 (100 mg/kg)，表示除了重金屬與致病菌之考量外，此污泥可直接施用於農地，因此本研究暫時不考慮污泥施用於農地後 DEHP 可能導致之負面影響。

Table 1 土壤基本性質分析之結果

| Depth (cm) | Clay (%) | Silt | Sand | Organic carbon (%) | Extractable bases | CEC Cmol(+) | pH (1:1 H ₂ O) |
|------------------|------------------|------|------|--------------------|-------------------|-------------|---------------------------|
| 茶改場 ¹ | 47.6 | 40.6 | 11.8 | 2.66 | 8.1 | 17.5 | 4.9 |
| 台大土 ² | 140 ³ | 656 | 204 | 1.4 | 4.0 | | 4.8 |

¹ 埔心茶葉改良場 (平鎮系土壤)

² 台大試驗農場土 (公館仔土系)

³ 單位為 g/kg

之結果進行討論，其結果示如 Figure 1。

四、結果與討論

1. 污泥摻合土中有機質之變化

由 Table 1 可清楚得知土壤與污泥摻合之前，茶葉改良場與台大農場之土壤，其初始有機碳 (organic carbon) 含量分別為 2.66% 與 1.4%，經換算後得知其有機質 (organic matters) 含量分別為 4.58% 與 2.41%；另一方面，污泥餅之有機質含量為 30.45%，明顯較土壤之有機質豐富數倍之多，本研究將污泥與土壤依不同摻合率進行摻合、並於固定時間取樣分析其有機質之變化，茲列舉茶改場四圍摻合土

Figure 1 茶改場四圍摻合土之有機質變化

由 Figure 1 可得知污泥摻合土之有機質含量隨著摻合率之增加而提昇，顯示污泥之摻合對於提昇土壤之有機質含量具有正面之效果，然而，隨著實驗時間之進行，污泥摻合土中之有機質含量亦隨之下降，四組摻合率試驗得到之有機質變化趨勢相當類似，皆在 50 天左右其有機質變化量達到最高，同時亦可發現摻合率愈小 (四 25)，其有機質下降幅度最大，主要原因可能為土壤中有機質之降解 (Saviozzi *et al.*, 1999)。

2. 污泥摻合土中之 pH 值變化

茶改場土壤與台大農地土壤之初始 pH 值分別為 4.9 與 4.8，皆為呈現偏酸性之土壤；然而，藉由污泥餅之施用與添加，可直接提昇其 pH 值 (Figure 2)，且摻合比例愈大者 (如 100 與 200 g/kg)，對於土壤 pH 值之提昇效果愈明顯 (以台大農場土為例)，Wong *et al.* (1998) 將污泥與砂質土壤摻合後所得之結果亦同。除此之外，於 63 天的實驗時間下，污泥摻合土中之 pH 質之變化幅度並不大，亦即將不會造成土壤再次酸化之可能。

Figure 2 台大農場土 pH 隨時間之變化

3. 污泥摻合土中之氮氮變化

由於污泥農地利用之適用性評估除了應考慮法規制訂之重金屬、危害性有機物與致病菌含量之外，另一個重要因素為營養鹽之成分，尤其是無機態並可供植物利

用之氮素含量，因此本研究亦針對無機氮在污泥摻合土中之變化進行探討，其結果示如 Figure 3。

Figure 3 茶改場四圃土壤之氮氮變化

由 Figure 3 可知摻合土之氮氮變化幅度相當大，然而不同摻合率獲得之氮氮變化趨勢卻相當接近，除了摻合率 100 之試驗組，其他之試驗組約在第 53 天左右時其濃度達到最大值，Shepherd (1996) 之研究指出其主因為污泥摻合土中有機氮大量分解產生無機氮所致。

五、參考文獻

- Cheng, H. F., Chen, S. Y. and Lin, J. G. *Water Science and Technology*, 41(12), 1-6, 2000.
- Aggelides, S. M. and Londra, P. A. *Bioresource Technology*, 71, 253-259, 2000.
- Wong, J.W.C., Lai, K. M., Fang, M. and Ma, K. K. *Environmental International*, 24(8), 935-943, 1998.
- Mangas, E., Vaquero, M. T., Comllas, L., and Broto-Puig, F. *Chemosphere*, 36(1), 61-72, 1998
- Prats, D., Rodriguez, M., Varo, P., Moreno, A., Ferrer, J. and Berna, J. L. *Water Research*, 33(1), 105-108, 1999.
- Madsen, P. L., Thyme, J. B., Henriksen, K., Møldrup, P. and Roslev, P. *Environmental Science and Technology*, 33, 2601-2606, 1999.
- Saviozzi, A., Biasci, A., Riffaldi, R. and Levi-Minzi, R. *Biol. Fertil. Soils*, 30, 100-106, 1999.
- Shepherd, M. A. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 58, 171-185, 1996.