

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 總計劃

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-009-030-

執行期間：91年08月01日至92年10月31日

執行單位：國立交通大學環境工程研究所

計畫主持人：林志高

計畫參與人員：江康鈺 黃介辰

報告類型：精簡報告

報告附件：國際合作計畫研究心得報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 31 日

# 行政院國家科學發展委員會專題研究計畫 成果報告

## 有機廢棄物再利用之研究－生機肥料資源化－總計劃

計畫類別： 個別型計畫      整合型計畫  
計畫編號：NSC91-2211-E-009-030  
執行期間：91年08月01日至94年07月31日  
執行單位：國立交通大學 環境工程研究所

計畫主持人：林志高  
計畫參與人員：江康鈺、黃介辰

報告類型：精簡報告  
報告附件：出席國際合作計畫研究合作會議之結論  
處理方式：本計畫可公開查尋

中華民國九十二年十月

# 有機廢棄物再利用之研究－生機肥料資源化－總計劃

## 第一年度（九十一年）成果報告

計畫編號：NSC91-2211-E-009-029

執行期間：91年8月1日至92年7月31日

主持人：林志高

計畫參與人員：江康鈺、黃介辰

### 一、中文摘要

隨著經濟的發展及下水道鋪設率的增長，產自污水處理廠的下水污泥亦逐年顯著地增加。由於下水污泥數量過於龐大，台灣現有衛生掩埋場所又已嚴重不足和場所取得不易，污泥含水量高之特性，若採用焚化處理並不太符合經濟效益，並且有產生二氧化碳加劇溫室效應和戴奧辛污染之虞；將污泥餅由廢棄物轉變為可資源化的堆肥法，為一具經濟效益性的污泥處理方案。

本整合計畫案之主要研究目的即為解決下水污泥再利用限制瓶頸，期使下水污泥再利用為生機肥料的總體目標早日達成。子計畫一、二分別針對影響堆肥品質的重金屬、危害性有機物加以研究，期能提昇下水污泥堆肥應用於綠農地之可行性。子計畫三則藉由分子科技解析污泥堆肥生物作用之黑盒子機制，開發出本土性堆肥有益菌種與功能酵素、基因，進而以生物技術提昇污泥堆肥效益，促進生產高品質、高反應速率、低成本、低環境負荷之生機肥料，達成廢棄物資源化、環境保護永續發展之目標。

關鍵詞：下水污泥、堆肥、危害性有機物

### Abstract

Along with economic development and

sewage system pavement, the sewage sludge from wastewater treatment plant has increased remarkably recently. The sludge quantity is enormous. The landing field which held in Taiwan are quite insufficient, and the locations are not easy to get, either. Furthermore, sludge with incineration arrangement doesn't fit economic benefit due to its high water content characteristic. It might cause CO<sub>2</sub> that speeds up greenhouse effect and affects dioxin pollutions. For example, adopting compost procedure to dispose sludge into reusable product is one of the economic sludge disposals which fit this condition.

The first and second subprojects were focus on heavy metal and hazardous organic matters, respectively and enhanced the quality of sewage sludge compost. The third subproject was by using the concepts and techniques from modern molecular biotechnology, established the domestic bacterial profiles and development of the ecological engineering techniques for the sewage sludge composting.

Keywords : Sewage Sludge, Composting, Hazardous Organic Matters

## 二、緣由與目的

近年來,台灣人口膨脹與都市生活水準急速發展的情況下,導致工業廢水與都市污水處理量大增,加上政府提高下水道的接管率,以減少污水直接排放污染河川,伴隨而來的即是龐大污泥量的處置問題。截至 2001 年 6 月底,內政部營建署統計台灣地區公共污水下水道普及率為 7.5%,鑒於污水下水道為都市發展的重要公共工程,先進國家均視為生活環境品質重要指標,政府未來將投入大量經費加速推動污水下水道建設,隨著國內下水道建設發展,下水污泥產量勢必大量激增,學者研究推估國內未來產生的污泥量約為處理污水量 0.5-2.5% (體積比;且以未濃縮、未脫水之生污泥估算),預估 2003 年底,普及率將達 14.7%,屆時每日生污泥產量將高達 18 萬立方公尺;因此,污泥問題應及早研議因應對策及處理方案,以免造成環境二次污染等公害問題。

鑒於下水污泥作為生機肥料必須藉由堆肥穩定程序,而有機堆肥取代化學肥料對農業永續發展、地球暖化減緩、礦產資源保育等環境保護具正面效益。美國於 1970 年代中期受石油危機影響,體認下水污泥堆肥再利用將是經濟且環保的處理方法之一,污泥堆肥廠由 1983 年的 61 廠增加到 1988 年 115 廠,且均採用好氧堆肥法。目前全美污泥堆肥廠超過 300 廠,產品年產量近 700 萬噸,足見污泥堆肥作為生機肥料或土壤改良劑為先進國家推動之趨勢。因此,本研究重點為下水污泥再利用之研究,以生機肥料資源化為目標,亦即下水污泥經堆肥程序轉化為生機肥料。針對如何縮短堆肥所需時間,提昇反應速率、解決肥料產品規格限制因素(如重金屬、危害性有機物、致病性微生物等含量),利用分生技術、反應條件操作控制、反應器設計改良等研究分工達成整體目標。

## 三、研究結果

九十一年度總計劃「有機廢棄物再利用之研究－生機肥料資源化」共分三項子計劃進行：

### 子計畫一：提昇下水污泥堆肥品質可行性研究－重金屬之評估

執行單位：逢甲大學環境科學與工程研究所

主持人：江康鈺

本子計畫案之目的期利用具有較高陽離子交換能力及比表面積之沸石,以及具有固化/穩定化作用之石灰,作為改善下水污泥堆肥過程重金屬移動性之添加劑,並提昇下水污泥堆肥應用於綠農地之可行性。實驗結果顯示,添加沸石之試驗組由於沸石具吸附氨及離子之能力,在堆肥成品中 pH 值及電導度(EC)值較低;而石灰之添加則有提昇 pH 值之作用。堆肥過程中反應溫度及 CO<sub>2</sub> 濃度變化之試驗結果指出,沸石及石灰之添加對微生物活性稍具抑制作用,然長達 28 天以上之高溫期,已可達到滅菌之效果。另由揮發性固體物(VS)、電導度(EC)、陽離子交換容量(CEC)及 C/N 比結果顯示,本實驗各試驗組之堆肥成品皆達腐熟標準。另根據發芽指數(Germination index)分析結果顯示,各試驗組之發芽指數均在 50%以上,均達到堆肥成品應用之規範。

為進一步評估堆肥成品應用於綠農地之重金屬危害性,由試驗結果可知,本實驗中之堆肥成品重金屬濃度均較法規限值為低。另一方面,利用 Cd/Zn 比值作為重金屬對植物毒害之指標,各試驗組堆肥成品中 Cd 之總量濃度皆低於儀器偵測極限,其堆肥成品 Cd/Zn 比值遠低於文獻限值(Cd/Zn <0.5),同時依毒性特性溶出試驗 (Toxicity characteristic leaching procedure, TCLP) 分析各試驗組之堆肥成品,結果顯示各試驗組之堆肥成品

TCLP 溶出濃度，均符合法規管制標準。

針對重金屬之植物可利用性 (DTPA) 分析結果，各試驗組的重金屬植物可利用性，除鋅介於 4mg/kg~13mg/kg 較高外，其餘試驗組重金屬均低於 5mg/kg 以下，顯示堆肥成品對植物並無明顯毒害性。根據添加沸石及石灰序列萃取試驗結果顯示，沸石、石灰之添加皆有助於降低鉛、鋅、鎳之移動性，另一方面，根據沸石對重金屬之吸附攝取率結果顯示，添加沸石對鉛、銅、鋅及鎳確具吸附移除作用，綜合前述研究結果，本研究添加沸石與石灰對下水污泥堆肥具有降低及穩定重金屬移動性之作用，有助於提昇未來下水污泥堆肥成品應用綠農地之可行性。

#### 子計畫二：提昇下水污泥堆肥品質可行性研究－危害性有機物之評估

執行單位：國立交通大學環境工程研究所

主持人：林志高

本子計畫案之目的先針對堆肥系統在較佳的條件下，瞭解實際減積減重率，作為規劃堆肥廠房大小的依據；並設法減少熱散失量，將研究之結果貢獻於設計堆肥廠細部設施之用，讓溫度快速上升至高溫期，並且持續維持法規規定之溫度與天數，去除致病菌，且降低污泥堆肥成品的水分含量（百分之四十以下），除了增加運送的經濟性外，更增進肥料含量以利農地使用或當作土壤的改良劑，達到堆肥快速化和經濟化之目的，希冀此研究成果對未來規劃污泥堆肥廠有所裨益。堆肥實驗以民生污水處理廠之污泥餅為基質，並以木屑和腐熟之堆肥成品做不同水分之調配；兩槽 110 公升實驗室規模反應槽 (Lab-Scale)，分為密閉式和開放式，進行三批次共六組實驗，每批次初始污泥堆肥含水率調整各為 55%、60% 和 65%。一槽 13 立方公尺模廠規模實驗廠 (Pilot-Scale) 建置於八里污水

處理廠內，進行一批次一組實驗，初始污泥堆肥含水率調整為 65%。110 公升實驗室規模反應槽所進行的六組污泥堆肥化實驗，結果顯示以開放系統之堆肥化反應較佳，溫度高於密閉系統約 3-5°C，顯示堆肥物與大氣接觸面積越多，堆肥化反應效果越佳。另外，因氣候因素以開放式初始含水率 55% 的堆肥化反應最佳，共減少 9.6 kg，其次為 60% 及 65%。13 立方公尺模廠式規模實驗廠所進行的六組污泥堆肥化實驗，總共減重 4.59 公噸，溫度維持 55°C 超過 15 天以上，已達到 U.S. EPA 305 法規的標準。

#### 子計畫三：利用分生科技研發下水污泥堆肥之生態工程技術

執行單位：國立中興大學生命科學系

主持人：黃介辰

本子計畫案之目的係針對微生物在下水污泥堆肥之生態組成進行定性定量分析，利用分生科技中核酸檢測分析技術如聚合酵素連鎖反應、逆轉錄-聚合酵素連鎖反應、變性梯度膠電泳分離等技術，解析微生物菌相。另外篩選、分離污泥堆肥之優勢菌種，比較不同反應條件下之微生物影響情形，鑑定對堆肥程序或成品有益之菌種如高溫纖維素強效分解微生物等，並進一步以不同成分之污泥堆肥基質（澱粉、纖維素等），比較菌種與酵素之分解功能作為測試接種添加於各種系統污泥堆肥之參考。將篩選所得之有益菌或酵素接種評估其效益，測試其對縮短堆肥期程、加速腐熟、提高品質之影響。針對特殊酵素與功能性基因之關係，研究建立功能性基因指標，另外污泥堆肥安全與腐熟度與特定微生物之關聯性的解析亦為計畫目標之一。茲將研究結果整理如下：

(1) 建立解析污泥堆肥分生技術方法：

因為傳統微生物培養鑑定方式費時且能在實

驗室培養之微生物比例甚低,本研究直接以微生物核酸分析方法,聚合酶連鎖反應(PCR)及逆轉錄聚合酶連鎖反應(RT-PCR)及與引子(primer)之選擇設計可分別檢測DNA與RNA,配合利用變性梯度膠電泳法(DGGE)將不同細菌DNA分離,定序後解析細菌族群。目前已購入變性梯度膠電泳槽並完成建立其實驗法以及相關研究人員之訓練。此外在核酸萃取方法上參考Sohail在1998年提出之方法(Mol Biotechnol 10(2): 191-193)及2001年Monpoeho等人提出之萃取方法( Appl. Environ. Microbiol. Vol.67 No6, p2484-2488),以建立國內污泥堆肥微生物DNA及RNA萃取技術與程序。

(2)篩選、分離、鑑定出污泥堆肥特殊有益菌種:

以類環境賀爾蒙之 diethylhexylphthalate (DEHP) 為標的物質,已成功篩選出能以 DEHP 為惟一碳源之分解菌種株(CF-3、CF-5、JG-39、N-2 N-5 PP),其中CF-3已鑒定為 *Comamonas testosterone* CF-5 為 *Acinetobacter* sp.而 JG-39 為 *Gordonia nitida* 這些菌種將在下年度的研究中分析其特性以期能找出有益菌種之污泥堆肥分解或特殊功能之酵素並找出酵素與功能性基因之關聯以建立高速堆肥功能性基因指標。

(3)藉 primer 與 PCR 程序鑑定優勢菌種之功能性基因:

各開環酵素 primer 之探討:

- 1.Naphthalene dioxygenase;  
Ac149f:5'-CCCYGGCGACTATGT-3,Ac1014r:5'-CTCRGGCATGTCTTTTTC-3'(Ferrero et al. Appl. Environ. Microbiol. 2002, p957-962),
2. 2,3-dioxygenase;  
DEG-F:5'-CGACCTGATC(AT)(CG)CATGAC-CG A-3',DEG-R:5'-T(CT)AGGTCA(GT)(AC)-ACGGT

CA-3'(Mesarch et al. Appl. Environ. Microbiol. 2000, p678-683),

3. Naphthalene dioxygenase;  
NahAc-F:5'-GCGGGAAGCTGGCTTTTTCTCACT CA-3',NahAc-R:5'-ACCGAAACCAGGGTTTGAA AGCAGA-3'(Herrick et al. Appl. Environ. Microbiol. 1997, p2330-2337)

PCR 測試結果如下:

lane 1: 100bp ladder(marker) lane 2,3: CF5---primer A lane 8: P putida---primer A(positive control) lane 4,5: CF5---primer N lane 9: P putida---primer N(positive control) lane 6,7: CF5---primer D lane 10:P putida---primer D(positive control) lane1,7: 100bp ladder(marker) lane4: J G39---primer A lane10:JG39---primer N

#### 四、研究成果

在研究計劃進行過程中定期舉行研究結果交流與研討會,使各子計畫之研究工作能彼此配合。此外,總主持人林志高教授於2001年參與國科會國際合作計畫,與國外學者專家針對有機廢棄物資源再生為生機肥料,進行跨國跨領域合作研究;參與之國外研究單位與人員為 Institute of Microbiology & Biotechnology, University of Latvia, Latvia (Drs. Mara Grube and Dzidra Zarina), Lithuanian University of Agriculture, Kaunas, Lithuania (Drs. P. Janulis and V. Paulauskas)。在各位參與研究人員的努力下,本研究計劃之成果已發表於國內外學術期刊及相關研討會,彰顯整合研究成果、強化學術交流。