

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 以低溫處理提昇污泥調理脫水效率之研究 (II)

計畫類別： 個別型計畫    €整合型計畫

計畫編號：NSC-89-2211-E-009-007-

執行期間： 88年08月01日至89年07月31日

計畫主持人：黃志彬 教授

共同主持人：李公哲 教授

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：國立交通大學環工所

中 華 民 國八十九年 十 月三十一日

# 以低溫處理提昇污泥調理脫水效率之研究 (II)

Low-Temperature Treatment to Increase  
the Dewatering Efficiency of Sludge (II)

計畫編號：NSC-89-2211-E-009-007-

執行期間：88/08/01 - 89/07/31

計畫主持人：黃志彬 交通大學環境工程研究所教授

共同主持人：李公哲 台灣大學環境工程研究所教授

## 一、中文摘要

隨著飲用水質標準及放流水標準之提高，淨水及廢水污泥之產量亦日漸增加。為有效提高污泥脫水效率，適當的調理行為為重要步驟。此外淨水及廢水污泥廣泛使用高分子聚合物為調理劑，但是殘餘之高分子聚合物可能對環境及人體造成影響，研發取代高分子聚合物調理之替代方案則有其必要性。

本研究分別針對淨水污泥及廢水生物污泥，以不同之調理劑，包括常用之合成高分子聚合物、無機性調理劑(PFS)及生物可分解性調理劑(幾丁聚醣)進行調理，並搭配物理性調理(低溫調理)。藉以探討不同之調理劑及低溫調理對污泥性質之影響，並以 CST、SRF、界達電位及壓濾實驗評估調理後污泥之脫水特性。在脫水程序方面，利用實驗室規模之壓濾、帶濾及離心式脫水機，模擬實廠脫水狀況。

實驗結果顯示，PFS 對於兩種污泥之調理效果均不明顯，幾丁聚醣可促進淨水污泥之脫水性，但調理效果較高分子聚合物差，只有在泥餅含水率上，有相近之結果。在生物污泥部分，幾丁聚醣在較高劑量下可達到與高分子聚合物相近甚至更佳之調理成效，並較無過量加藥之問題。低溫調理生物污泥成功之關鍵在於污泥是否結冰，此外生物污泥經低溫調理後，再搭配幾丁聚醣調理，可達到較佳之調理效果。在後續脫水程序中，脫水機之最適操作壓力會因脫水機型式而異，以泥餅含水率評估脫水效率，離心式脫水機之脫水效率為三者中之最高。

關鍵字：幾丁聚醣、多元硫酸鐵、低溫調理、污泥脫水

## 英文摘要

Because of the higher standard for drinking water and more stringent regulations on industrial effluents, the amount of sludges from water treatment plant (WTP) and wastewater treatment plant (WWTP) increases rapidly. Efficient sludge dewatering depends on appropriate sludge conditioning. Polymer conditioning has been widely applied to WTP and WWTP sludges. Since the residual polymer may cause long term adverse effect on both environment and human health, it is necessary to search for alternatives for polymer conditioning.

The study examined the conditioning efficiencies of polymer, polyferric sulphate (PFS) and chitosan, as well as low temperature treatment, on sludge dewatering. CST, SRF, ZP and water contents of sludge cakes were monitored as dewatering characteristics. Sludges were dewatered with laboratory-scale filter press, belt press and centrifuge to simulate the full scale dewatering.

Experimental results indicate that PFS has no significant effect on sludge dewatering for both sludge. Although the chitosan conditioning improved the dewaterability of WTP sludge, particularly in the water content of the sludge cake, it is generally less efficient than the polymer conditioning. However chitosan, at higher dosage, achieved the same level of dewatering on biological sludge as the polymer. Unlike the polymer, the chitosan had less overdosing effect. Conditioning by chitosan was observed when the biological sludge was first treated with low temperature. In the study on dewatering processes, each

dewatering device required different optimal pressure. When evaluated with water contents of sludge cakes, centrifuge had the highest efficiency among the three dewatering devices.

**Keyword: chitosan, PFS, low temperature condition, sludge dewatering**

## 二、計畫緣由與目的

污泥處理與處置是以『減量化』、『安定化』、『無害化』及『資源化』為基本原則，其中減量化之處理方向是應因未來台灣地狹人稠，以及降低後續處理成本之一重要的發展方向。依據 82 年經濟部委託工研院的污泥市場調查報告中指出，現行工業製程所產生之污泥平均含水量均大於 95 %以上，經後續脫水設備脫水後，大部份仍有 80 %以上之含水，如此龐大的污泥體積不但增加處理時間，而且在後續熔融之處置中，也造成成本上的負擔，因此，如何有效的降低污泥脫水後的體積，增加脫水的效率，則是一值得深入研究的問題。

國內廢水處理廠中大多以添加無機性調理劑為調理之主流；物理性調理則包含熱處理及低溫處理，在相關研究報告中(1)則指出低溫處理法所產生之污泥含水率可有效降低至 60 %左右，因此，低溫處理為一有效降低污泥含水率的方法。

學者(2)亦指出在慢速冷凍的過程中，形成的冰晶將漸漸的推擠外來的固體粒子向冷凍遠端部份濃縮，並定義此過程為“整體遷移”(gross migration)現象。爾後，陸續有學者(3)(4)(5)亦對此有相同的發現。Vesilind and Wallinmaa 更提出了在水結冰的過程中，原先存於污泥系統中的電解質或溶解性物質較不易被冰封，使得固體顆粒間的離子強度上昇，造成有利於凝滲的電雙層壓縮現象。

幾丁聚醣(chitosan)為幾丁質去乙酰化(deacetylation)後的衍生物，為一種天然的陽離子型高分子聚合物(6)，其表面暴露的游離胺基，提供給重金屬離子一個良好

的吸附位置(7)。幾丁質可由蝦、蟹殼中提煉出，為第二大量的天然聚合物，亦為分佈最廣的多醣類之一；以台灣約 20 家蟹肉罐頭工廠估算，每年約可產生數十噸至一百噸之幾丁質(8)，其衍生物幾丁聚醣溶解在酸性溶液中時，為一種天然的聚電解質(9)；若以生物可分解之調理劑來取代高分子合成聚合物，不但可避免殘餘的高分子合成聚合物對人體所造成的傷害，更可將大量廢棄蝦、蟹殼加以利用，解決蝦、蟹加工廠廢棄物處理的問題。

多元硫酸鐵(PFS)是一種無機高分子化合物，分子式為  $[\text{Fe}_2(\text{OH})_n(\text{SO}_4)_{3-n/2}]_m$  ( $n < 2, m > 10$ )，在凝滲調理上具有以下幾方面的優點(10)：(1) 由於多元硫酸鐵本身是具有  $[\text{Fe}_2(\text{OH})_3]^{3-}$ 、 $[\text{Fe}_3(\text{OH})_6]^{3+}$ 、 $[\text{Fe}_8(\text{OH})_{20}]^{4+}$  等的多元態鐵的結構物，因此具有優良的凝滲性能，而且由於水解產物膠體的電荷高，有利於產生凝滲作用。(2) 作為凝滲劑時，有廣泛的 pH 使用範圍，且多元硫酸鐵凝滲後殘餘鐵含量比單體鐵鹽少。(3) 和鋁鹽比較，多元硫酸鐵對濁度及色度去除的穩定性比較不受凝滲劑加藥量的影響。而且近年來日本及歐美國家均針對多元硫酸鐵這種新型凝滲劑進行研發及應用(11)(12)，故本研究考慮將此種調理劑應用在污泥調理脫水上。

## 三、實驗設備方法

(1) 調理劑—幾丁聚醣為 Bio-science 公司所提供(去乙酰度 80%)，實驗前 4 小時，將粉末狀幾丁聚醣加入 pH = 1 之鹽酸溶液中，以磁石攪拌使其充分溶解而配置成 1 % 之溶液(重量比)。高分子調理劑(PC-325)為陽離子性高分子聚合物，由台灣聚合化學公司所提供，平均分子量為  $1.1 \times 10^7$ ， $1.2 \times 10^7$ ，電荷密度(高分子聚合物中帶電荷之分子所佔之百分率)為 25 %。實驗前 3-4 小時，以磁石充分攪拌，配置成 0.1 % 之溶液使用。PFS (Poly-Ferric Sulphate) 為多元硫酸鐵，由衛源公司所提供之液態多元硫酸鐵，分子量為 160000，比重為 1.45，

pH 值為 2-3，分子式可表示成  $(\text{Fe}_2(\text{OH})_n(\text{SO}_4)_{3-n/2})_m$ 。

#### (2) 污泥來源

生物污泥取自中壢某食品廠之廢水處理廠，採樣時污泥取自曝氣池及沈澱池間之生物迴流污泥。淨水污泥取自淨水場之濃縮池，該廠混凝程序所採用之混凝劑為多元氯化鋁(PAC)，加上污泥成份中以砂礫及黏土成份為主，所以其污泥應屬於無機之鋁鹽化學污泥。

#### (3) 低溫調理

污泥分別以不同冷藏時間及冷藏溫度，探討冷藏程序對污泥特性之影響，並搭配化學調理，以評估低溫調理之可行性。

#### (4) 化學調理

將配置之調理劑溶液加入 1 升污泥中，並以 100 rpm 及 1 分鐘之攪拌步驟，提供調理所需之攪拌。

#### (5) 脫水程序

經幾丁聚醣及高分子調理劑調理之生物污泥，以壓濾式脫水機、帶濾式脫水機及離心式脫水機進行脫水程序。壓濾式脫水機係參考英國水研究中心(Water Research Center)所使用之脫水設備並加以改進。帶濾式脫水機為ASTRO公司生產之實驗室規模脫水機，濾帶面積為 $0.4 \text{ m}^2$ 。離心式脫水機為使用Hsiangtai型號BK-24之離心式脫水機，採不鏽鋼SUS304製，可調整轉速由0~3000 rpm，具有三點彈簧防震裝置，轉動懸籃完全均衡，外部尺寸為 $24 \times 24 \times 25 \text{ cm}$ ，懸籃直徑為15公分，高8公分，容量為1.0公升，採用#400之濾袋。除了不同脫水方式之比較，並將改變操作壓力，以資比較。

## 四、結果與討論

### 4.1 不同調理劑對淨水污泥之調理

應用三種不同調理劑：PFS、幾丁聚醣及 PC-325 調理淨水污泥，表 1 為不同調理劑對淨水污泥 CST 值之影響。為達比較 CST 的目的，使用不同範圍調理劑劑量，發現 PC-325 之劑量遠低於其餘兩者，而幾丁聚醣之劑量又略低於 PFS。就

降低 CST 值之調理效果而言，PFS 之調理，幾乎不產生任何變化。以幾丁聚醣進行調理，可將 CST 值由 131 降低至 73，最佳加藥量約出現於 500 mg/L 附近。PC-325 劑量在 150 mg/L 以前，降低 CST 值之效果有限，但是當劑量達到 200 mg/L 時，可將 CST 值有效降低至 35 左右，顯示妥善控制 PC-325 劑量，將可大幅降低 CST 值。若以調理劑劑量與 CST 值之變化情形來看，幾丁聚醣調理之 CST 值，隨著劑量而逐漸下降。而 PC-325 在低劑量時，亦呈現微幅下降之趨勢，但是接近最佳加藥量，CST 值則有顯著之下降，顯示在最佳加藥量附近，膠羽結構有顯著的改變，導致 CST 值出現顯著之變化。

### 4.2 不同調理劑對生物污泥之調理

由上節之實驗結果得知，幾丁聚醣對於淨水污泥確有調理效果，而 PFS 幾乎沒有調理效果，所以在後續實驗中，僅選擇幾丁聚醣及 PC-325 為調理劑調理生物污泥。首先改變幾丁聚醣對於 CST 值及界達電位之影響如圖 1 所示，隨著幾丁聚醣之加入，CST 值亦隨之大幅下降。但是當加藥量高達 50 mg/L 以上，CST 值便不再下降，顯示以 CST 實驗預測最佳加藥量，其值應為 50 mg/L。若以界達電位代表膠羽表面之電位變化，由於幾丁聚醣為帶正電荷之陽離子性高分子聚合物能中和顆粒表面之負電荷，使得表面電位逐漸偏向正值，促進膠羽表面之電性中和。一般而言，若以電性中和為主要作用機制，其最佳加藥點應與等電位點重合或近似，但是圖 1 顯示等電位點落在加藥量 100 mg/L 之處，然而 CST 值卻從 50 mg/L 以後便不再下降，顯示作用機制以架橋作用為主，電性中和為輔。此一結論與實驗先前之研究結果相近，幾丁聚醣應用於混凝時，架橋作用為其主要作用機制之一(陳, 1996)。

為了比較幾丁聚醣與 PC-325 之調理效果，另以 PC-325 對生物污泥進行調理，其 CST 值之變化，如圖 2 所示。在較低劑量下，PC-325 之調理效果似乎略優於幾丁聚醣。然而，隨著加藥量繼續增

加，兩者之差距，逐漸縮小。當加藥量超過 20 mg/L 時，PC-325 呈現過量加藥之情況，但是，幾丁聚醣卻可將 CST 值繼續降低，甚至超過 PC-325 之最佳調理效果。因此就加藥量討論，PC-325 可使用較小之劑量，就經濟層面，較為可行。若單以調理效果而言，幾丁聚醣之調理效果可達到 PC-325 之水準，甚至更佳，且無過量加藥之考量。

### 4.3 低溫調理對污泥之影響

實驗中採用三種冷藏溫度及三種冷藏時間進行生物污泥之調理，所有之檢測項目均回溫至室溫(25 )進行。對生物污泥 CST 值之影響，如圖 3 所示，其中冷藏時間原點表示常溫環境。先就三種溫度及時間之污泥狀態作一簡單描述，0 之污泥，即使時間高達 48 小時亦無法結冰。-4 之污泥，12 小時只有表面些微結冰，直到 24 小時以後完全結冰。-8 之污泥，12 小時即完全結冰。數據顯示 0 之冷藏處理對於 CST 值之影響極小。經-4、12 小時冷藏處理之污泥，降低 CST 值之效果有限，經過 24 小時，可大幅降低 CST 值。-8 之處理，則自 12 小時起有效降低 CST 值。由 CST 值之數據顯示，污泥需經完全結冰，方能有明顯調理效果，而完全結冰後，再增加冷藏時間，只能略微降低 CST 值。

將生物污泥經 -4 低溫調理 24 hr，然後回溫至 25 以不同調理劑進行調理。圖 4 顯示在低溫調理下，不同調理劑對泥餅含水率之影響。雖然 PC-325 所需之劑量較小，只須加藥量 2 mg/L，即可達到最佳調理效果，但是降低含水率之成效並不明顯。反觀幾丁聚醣雖然所需加藥量較高(約 10 mg/L)，但是可將含水率降至 85% 以下。尤其兩者在最佳加藥量之調理效果，有明顯差距。顯示經低溫調理之污泥，搭配幾丁聚醣調理，可有效降低污泥含水率。在常溫環境下，亦有相同之結果，只是兩者相差的幅度較小。在較高加藥量時，幾丁聚醣可將 SRF 含水率再降低。就實廠應用而言，使用幾丁聚醣為調

理劑，可達到 PC-325 所無法達到之調理效果，原因有二：一是幾丁聚醣為生物性聚電解質，較容易與生物性污泥顆粒結合而發生作用。其次因為經過低溫調理之污泥，其顆粒之表面特性及粒徑大小，均有顯著的變化，所以較適合以幾丁聚醣進行調理(常溫之污泥以 PC-325 及幾丁聚醣調理，其調理效果相差較少)。

### 4.4 調理與脫水之相關性

在常溫環境下以幾丁聚醣調理生物污泥，分析調理指標與脫水程序之相關性，如表 2 所示，表中之數值為相關係數，相關係數介於 0 到 1，相關係數越高，表示相關性越好。以 CST 為調理指標時，與離心式脫水機有相當良好之相關性，相關係數高達 0.96。以壓濾式脫水機進行脫水，相關係數亦可高達 0.94，顯示 CST 與壓濾式及離心式脫水機均有相當良好之對應性，適合作為此兩種脫水機脫水前評估之指標。反觀帶濾式脫水機，與 CST 之相關性僅有 0.69，表示若應用帶濾式脫水機為後續脫水步驟，CST 則不適用於脫水指標。觀察 SRF 與三種脫水機之相關性，SRF 與壓濾式脫水機有非常高的相關性，相關係數達到 0.97，SRF 之脫水機制與壓濾式脫水機最為相近，所以兩者在脫水效率之相關性最高。因此 SRF 適合作為壓濾式脫水機之脫水指標。相對於 SRF 與帶濾式脫水機及離心式脫水機，其相關係數則只有 0.74 及 0.58。若以泥餅含水率為指標，三種脫水機之相關性極為接近。

另以 PC-325 調理生物污泥，再以三種形式之脫水機進行脫水步驟，並與 CST、SRF 等脫水指標比較，其相關性如表 3 所示。明顯看出以 CST 為調理脫水指標時，與離心式脫水機之相關性明顯優於其餘兩者，原因主要是因為壓濾式脫水機及帶濾式脫水機均直接施壓於污泥顆粒，所以對膠羽之強度要求較高，而 CST 並無加壓過程，離心式脫水機乃藉由離心力將水分脫出，並無直接加壓於污泥膠羽，所以 CST 與離心式脫水機之相關性較高。若比較 SRF 與脫水機型式之關係，

壓濾式脫水機與 SRF 之相關性頗佳，原因也是因為兩者之過濾行為相近，所以脫水效率之相關性明顯優於另外兩種脫水機。若比較幾丁聚醣與 PC-325 之調理對相關性之影響，經幾丁聚醣調理之污泥，無論以 CST 或 SRF 為脫水指標，與脫水機之相關性均優於以 PC-325 調理之污泥。若以泥餅含水率為指標，則幾乎完全相似不同調理劑會影響其指標相關性，幾丁聚醣調理之污泥，在調理指標與脫水步驟之間有較佳之關連性。因此，調理脫水之指標與調理劑污泥種類及脫水方式皆有很大之關係。

## 五、結論

以不同之調理劑應用於淨水污泥調理，PFS 幾乎沒有調理效果，幾丁聚醣可降低 CST 值及 SRF，然而 PC-325 之調理效果要優於幾丁聚醣。而以幾丁聚醣及 PC-325 調理生物污泥，在常溫環境下，兩者有相當相近之調理效果，若污泥先經低溫調理，則幾丁聚醣之調理效果要優於 PC-325，而且幾丁聚醣較無過量加藥之問題。不同調理劑會對指標與脫水之相關性造成影響，實際應用時須審慎評估污泥種類及調理劑種類，以選擇合適之脫水方式。

## 六、參考文獻

1. Knocke W. R. and Trahern P. (1987) Freeze-thaw conditioning of chemical and biological sludge. *Wat. Res.* **23**, 35-42.
2. Logsdon G. S. and Edgerley Jr. E. (1971) Sludge dewatering by freezing. *J. AWWA.* **63**, 734-740.
3. Lee D. J. and Hsu Y. H. (1994) Fast freeze/thaw process on excess activated sludges: Floc structure and sludge dewaterability. *Envir. Sci. Tech.* **28**, 1444-1449.
4. Vesilind A. P. and Martel J. C. (1990) Freezing of water and wastewater sludges. *J. Envir. Eng.* **116(5)**, 854-862.
5. Parker P. J., Collins A. G. and Dempsey J. P. (1998) Effects of Freezing Rate, Solids Content, and Curing Time on Freeze/Thaw Conditioning of Water Treatment Residuals. *Environ. Sci. Technol.* **32**, 383-387.

6. Carlos K. S., Dolores R. S. and Chokyum R. (1982) Dilute Solution Behavior of a Cationic Polyelectrolyte. *Journal of Applied Science.* **27**, 4467-4475.
7. Sakaguchi T. and Nakajima A. (1982) Recovery of Uranium by Chitin Phosphate and Chitosan Phosphate. *Chitin and chitosan, Precedings of the Second International Conference of Chitin and Chitosan, Sapporo, Japan, July. 12-14*, 177-186.
8. 錢明賚，水產廢棄物蝦蟹外殼利用之研究，食品工業發展研究所報告118號，1978。
9. Knorr D. (1984) Use of Chitinous Polymer in food. *Food Technol.* **38**, 85-97.
10. Mikami Y. (1980) Coagulation properties and Application of Polyferric Sulphate. *PPM.* **11(5)**, 24-32.
11. Jiang J. Q., Gragam N. J. D. and Harward C. (1992) Comparison of Polyferric Sulphate with Other Coagulants for the Removal of Algae and Algal-Derived Organic Matter. *IAWQ/IWSA Joint Special Conference.* Geneva, Switzerland.
12. Tenny A. M. and Derka J. (1992) Hydroxylated Ferric Sulfate and Aluminum Salt Alternative. *Water Supply.* **10**, 167-174.

表 1 不同調理劑對淨水污泥 CST 值之影響

	Dosage (mg/L)	CST (sec)
PFS	0	131
	160	122
	800	100
	1600	105
	3200	113
chitosan	0	131
	100	103
	300	81
	500	73
	1000	74
PC-325	0	131
	100	117
	150	96
	200	35
	250	62

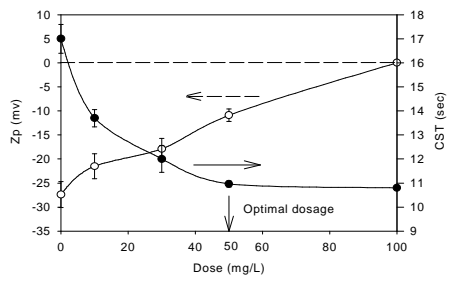


圖 1 幾丁聚醣對生物污泥 CST 值及界達電位之影響

表 3 PC-325 調理生物污泥指標與脫水之相關性

相關係數	Belt press	Filter press	Centrifuge
CST	0.64	0.31	0.88
SRF	0.75	0.89	0.39
泥餅含水率	88%	87%	85%

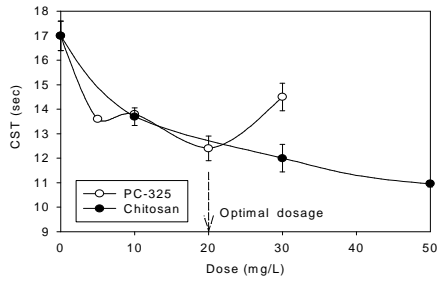


圖 2 不同調理劑對生物污泥 CST 值之影響

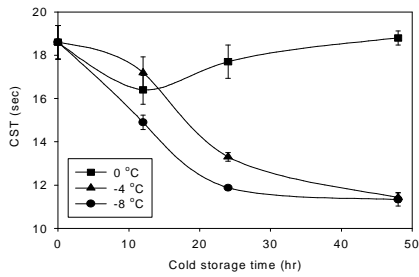


圖 3 不同冷藏溫度下冷凍時間對生物污泥 CST 值之影響

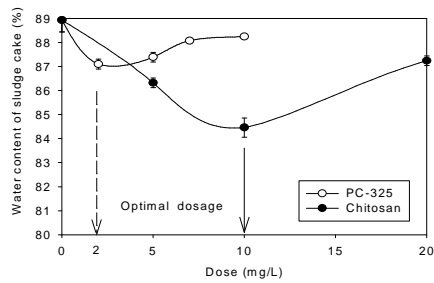


圖 4 低溫環境不同調理劑對 SRF 泥餅含水率之影響

表 2 幾丁聚醣調理生物污泥指標與脫水之相關性

相關係數	Belt press	Filter press	Centrifuge
CST	0.69	0.94	0.96
SRF	0.74	0.97	0.58
泥餅含水率	86%	86%	84%