

# 藻類對鋁鹽污泥調理特性之影響

## Influence of Algae on Alum Sludge Conditioning

莊曜嘉\* 黃志彬\*\* 吳志超\*\*\* 傅誠剛\*\*\*\*

### 摘要

自來水源中藻類之存在除了影響淨水程序外，亦可能影響污泥處理。本研究主要乃調查淨水污泥特性及後續調理時因藻類介入所產生之影響，以提供水廠作為因應優養化日趨嚴重後所產生之含藻污泥處理問題。研究中乃採明德水庫實廠之含藻污泥進行二星期之老化試驗以分析其界達電位值(Zeta Potential Value)、污泥毛細汲取時間(Capillary Suction Time)及結合水含量(Bound Water Content)。在老化期間以陽離子性之高分子聚合物進行調理，比較其不同老化程度對調理劑之調理反應。研究結果顯示在老化試驗時含藻污泥之界達電位值隨老化試驗日數增加而愈趨負值，之後再逐漸趨向中性，然而CST值則隨老化日數增加而先行降低之後再度上升，充分顯示因藻類存在所產生之生物有機性之影響。在老化初期因帶生物負電之故，形成污泥顆粒間穩定狀態，而後數日中，因藻體產生胞外聚合物而引生污泥間之生物凝聚，導致其脫水性改善及結合水含量降低。但隨著老化日數的逐漸增加，污泥系統中會產生電性逆轉情形，致使調理作用隨之降低。

---

\*交通大學環境工程研究所碩士

\*\*交通大學環境工程研究所教授

\*\*\*逢甲大學環境工程與科學系專任講師、交通大學土木工程研究所博士候選人

\*\*\*\*交通大學環境工程研究所研究生

## 前 言

水源中藻類的大量存在與繁殖，不但會使水質產生臭、味及色度，影響水中pH值變化及增加水質濁度，且更會導致濾床的阻塞，增加沈澱池的污泥量等問題[konno, 1993]。傳統淨水程序將原水中大部份藻類捕捉後進入污泥系統，一旦淨水污泥中有藻類之存在時其污泥顆粒之結構勢必將複雜化，且趨向於含生物之混合污泥，故此時之污泥必將因藻類存在之多寡而在顆粒之表面特性、電性與含水分佈上有不同程度之變化，並改變後續之調理及脫水條件。影響污泥脫水之特性包括污泥顆粒之表面積、污泥顆粒組成、形狀、密度、表面電荷、結合水含量及有機物含量等[karr, 1978]。Konno[1993]發現污泥之表面電荷隨著其所含之藻類及其衍生物含量增加而負電荷量增加。Dulin和Knocke[1989]的研究中亦發現水源中如存在有機物時，經混凝後之污泥其濃縮性與脫水性會較差，而成因則為鋁鹽污泥受有機物影響而形成一較小的膠羽結構且因密度減低而含較多之水分。

O' Brien及Novak[1977]認為無機污泥與有機污泥含有大量有機物之性質不同，故其可存放數星期而其特性並不會有很明顯之變化。Dulin和Knocke[1989]則建議對含有有機物之污泥進行基本特性研究時，污泥應在採樣後24小時內完成分析工作，以免污泥發生老化現象。然而在含藻污泥之老化過程中，藻類之衍生物亦稱之為胞外聚合物產生最多時會使得污泥所帶之負電荷量最大[konno, 1993]。Pavoni等人[1972]則指出胞外聚合物之產生和其所發生之生物凝聚作用(bio-flocculation)有相互之關係同時於藻類之內呼吸期時所產生之生物凝聚作用最大而其膠羽亦最大。Li及Ganczarcyk[1990]利用顯微鏡觀察胞外聚合物之存在對污泥之影響。Tilton等人[1972]則指出陽離子性之高分子聚合物對藻類有明顯之聚集作用而陰離子性則否。

Tsang及Vesilind[1990]以乾燥法將污泥中之水份分佈區分為四種型態：自由水(free water)、間隙水(interstitial water)、表面水(surface water)及結合水(bound water)，其中結合水之含量可視之為機械脫水之上限。再結合水之測定上Robinson與Knocke[1992]認為膨脹計法較優於乾燥法。膨脹計法原理乃

是將於-20°C時可結冰之水視為自由水，而不結冰水視之為結合水，並利用乾燥法求出污泥所含之總水份再扣除膨脹計法之結冰水(自由水)如此即可求出結合水之含量[Robinson and knocke, 1992]。在本研究中利用膨脹計法求得結合水含量並透過量測污泥之CST值、藻類與其衍生物之存在來對污泥脫水性變化做一探討，同時以界達電位儀判定污泥在老化過程中之表面電位之變化與其影響，並以陽性高分子調理劑調理含藻污泥以了解含藻對其調理後脫水性之影響。

## 研究方法

### 1. 污泥來源

本研究所需之污泥均取自於明德淨水場之沈澱池污泥，經由排泥管採樣取得，由於水場每星期不定期排泥數次，故每次採樣所得之污泥尚屬新鮮之污泥。

### 2. 污泥老化試驗

研究中所採之污泥為淨水污泥，以無機物含量為主但尚包含有機物成分，如藻類之大量存在。然而由於藻類之存在引起污泥經過存放一段時間後基本特性會有明顯之改變。實驗中乃將含藻污泥放置於有蓋之塑膠筒中儲存，於室溫下避免陽光照射，於二個星期內依放置不同天數進行固含量分析、TOC、界達電位、pH、CST及結合水之測定，藉以了解含藻污泥於老化現象中對污泥特性、調理與脫水性之影響。

### 3. 污泥調理

實驗過程中，取800 mL之污泥加入加入陽性之高分子聚合物(PC-320)於1 L之攪拌槽中，並以每秒100轉之攪拌速度攪拌60 sec進行調理，其中PC-320為台灣聚和公司所提供，平均分子量皆為 $1.1 \times 10^7 \sim 1.2 \times 10^7$ ，帶20%之電荷密度，使用前先以去離子水配置成0.1%(重量比)之調理液。

### 4. 污泥脫水性試驗

在污泥老化過程中利用CST之測定來判定其特性改變所引起之脫水性變化，同時並在調理試驗中利用CST之測定來決定其最佳高分子聚合物和其最佳加藥量。

## 5. 結合水測定

利用膨脹計法來進行結合水含量之測定，其原理乃利用自由水在20°C降溫至-20°C間體積之變化反應在膨脹計之指示油液面上，此油之液面變化與自由水含量成一線性關係。所用之指示油品乃需符合(1)不溶於水(2)不揮發(3)單位降溫之體積變化率恆定(4)於-20°C時不結冰(固化)。實驗之詳細流程則見於文獻[Robinson and knocke, 1992; Smith and Vesilind, 1995]。

## 結果與討論

### 1. 顯微鏡下觀察之污泥型態

多次採樣之結果中發現，藻類含量多之污泥在存放數天老化之後，污泥會稍呈現結塊之現象，且逐漸產生惡臭及顏色由原本之黃棕色變黑，故對採樣之污泥進行老化試驗之顯微鏡觀察。結果顯示，原始之污泥顆粒如(圖1)所示，而綠藻為存在之主要藻類，其藻種為Pediastrum(圖2)及少量之Ankistrodesmus(圖4)。此外尚有少量之矽藻出現，其藻種為Melosira(圖5)。然而在顯微鏡下觀察污泥老化過程發現到一有趣之現象，第一天觀察之污泥顆粒較小(圖4)，藻類結構完整(圖2)；第五天觀察發現污泥顆粒和藻類有明顯之凝聚現象(圖3、圖4、圖5)，且大部分污泥因顆粒間相互凝聚而變大(圖6)；第十天後之觀察中(圖7、圖8)，發現污泥顆粒和藻類凝聚現象破壞，藻類死亡解體而結構破壞，且較不易發現藻類。

由上述現象發現污泥之所以會稍有結塊現象產生，乃因污泥在老化過程之初期，會有細胞外衍生物產生及胞內分泌物釋出，一般稱之為extracellular organic matter(EOM)。而這些生物胞外聚合物(exocellular biopolymer)之產生，會引起生物膠凝作用(bio-flocculation)，使得污泥顆粒之間及其與藻類產生凝聚現象。同時污泥老化造成藻類及其EOM被污泥系統中其他細菌作用而腐化分解，使得污泥凝聚作用逐漸破壞，藻體之分解死亡使得藻類之觀察不易。

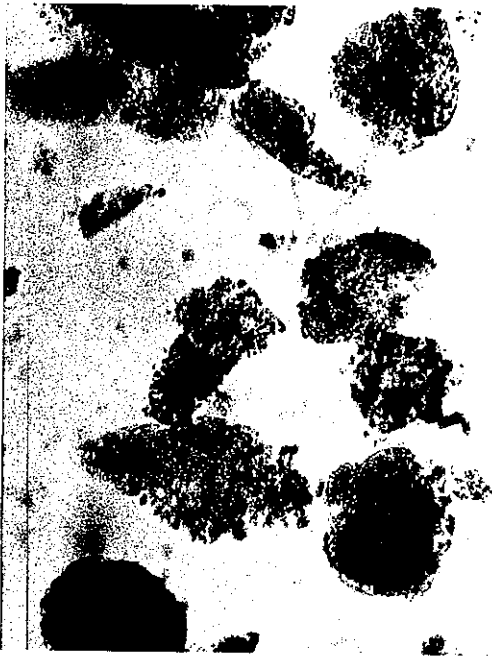


圖 1 顯微鏡觀察之污泥原始顆粒(放大 250 倍)

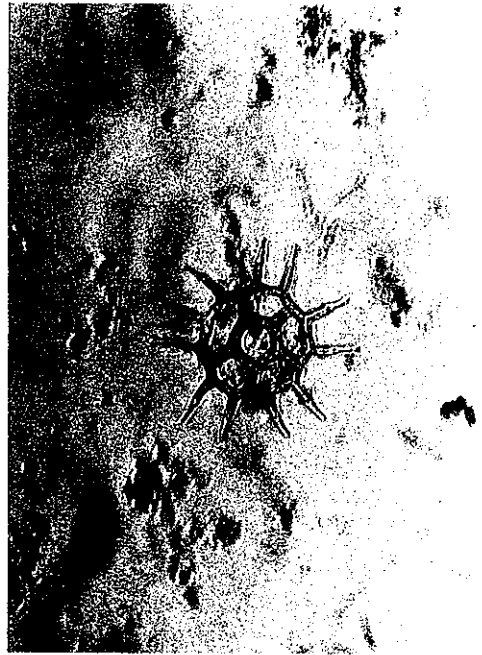


圖 2 顯微鏡觀察之污泥中主要藻類  
(*Pediastrum*, 放大 250 倍)



圖 3 顯微鏡觀察污泥中藻類之生物膠凝現象  
(*Pediastrum*, 放大 250 倍)



圖 4 顯微鏡觀察污泥中藻類之生物膠凝現象  
(*Ankistrodesmus*, 放大 250 倍)



圖 5 顯微鏡觀察污泥中藻類之生物膠凝現象  
(*Melosira*, 放大 250 倍)



圖 6 顯微鏡觀察污泥因藻類之生物膠凝現象  
而生成較大之膠羽(放大 250 倍)



圖 7 顯微鏡觀察污泥老化試驗末期藻類  
之生物膠凝現象(放大 250 倍)

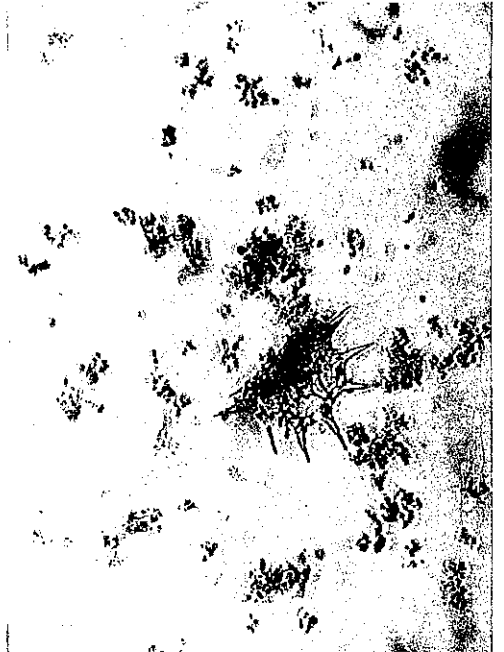


圖 8 顯微鏡觀察污泥老化試驗末期藻類  
之死亡解體現象(放大 250 倍)

## 2. 污泥老化過程中之特性變化

污泥老化試驗過程中之特性變化，可由圖 9(a)及圖 9(b)發現其pH值和TS之變化不大。圖 9(c)之結果顯示，TOC含量隨著老化天數增加而逐漸降低，而結合水含量亦隨老化天數增加而減少。TOC降低表示在老化過程在黑暗及厭氧之環境條件之下，藻類及其所產生之胞外分泌物與釋出之胞內分泌物為分解過程中之初產物，在老化過程末期被污泥系統中其他細菌作用分解。然而在老化試驗之初期，藻類所生成之胞外聚合物對污泥顆粒有生物膠凝作用，將附著於污泥顆粒表面而把污泥顆粒表面之水分子取代出來，使得結合水含量降低，然而在第五天至第七天時又因藻類所生成之胞外聚合物對污泥顆粒之生物膠凝作用，而使得污泥顆粒表面因有機物含量增加而呈較親水性之狀態，使結合水含量略增。同時老化過程末期造成藻體之死亡解體而結構破壞，藻體細胞表面水及胞內結合水釋出，且由於藻體之衰減而使得污泥顆粒表面有機物含量降低導致TOC含量降低，使污泥顆粒表面呈較疏水狀態，造成所測得之結合水含量降低。

此外，在老化過程中所測得之污泥表面電位變化則如圖9(d)所示，污泥第一天乃帶中性偏負電荷(-1.3 mV)而隨天數增加負電荷量逐漸增加，到了第五天時帶最多負電荷(-11.5mV)，第五天以後負電荷量逐漸減少，而到第十二天後污泥之表面電位變成帶正電荷。Konno[1993]指出污泥表面電荷隨藻類之EOM含量增加而帶愈多負電荷。由此可發現污泥在老化過程之中，其所含藻類所產生之EOM使得污泥表面愈趨負電，由TOC含量漸減及污泥腐化變黑產生惡臭之現象，可表示藻類及其衍生之EOM隨老化天數增加而受污泥系統中其他微生物之作用逐漸破壞分解，而使得污泥之表面電位再度回升。圖9(e)則為CST值之變化趨勢，CST值隨著老化時間增加而逐漸降低，在第五天至第七天間降至最低，之後再度回升。在老化過程中藻體所產生之胞外聚合物(exocellular biopolymer)會生成生物膠凝作用，使得CST值逐漸降低，而當藻類和其EOM大部分被腐化分解之後，膠凝作用受到破壞，使得CST值再度上升。Dolejs[1993]及Konno[1993]的研究中亦指出藻類及其EOM之含量多寡會造成污泥表面電性之改變，同時其胞外聚合物之產生會造成 $Al(OH)_3$ 吸附於藻體表面及產生污泥顆粒間之膠凝作用而影響混凝效果。

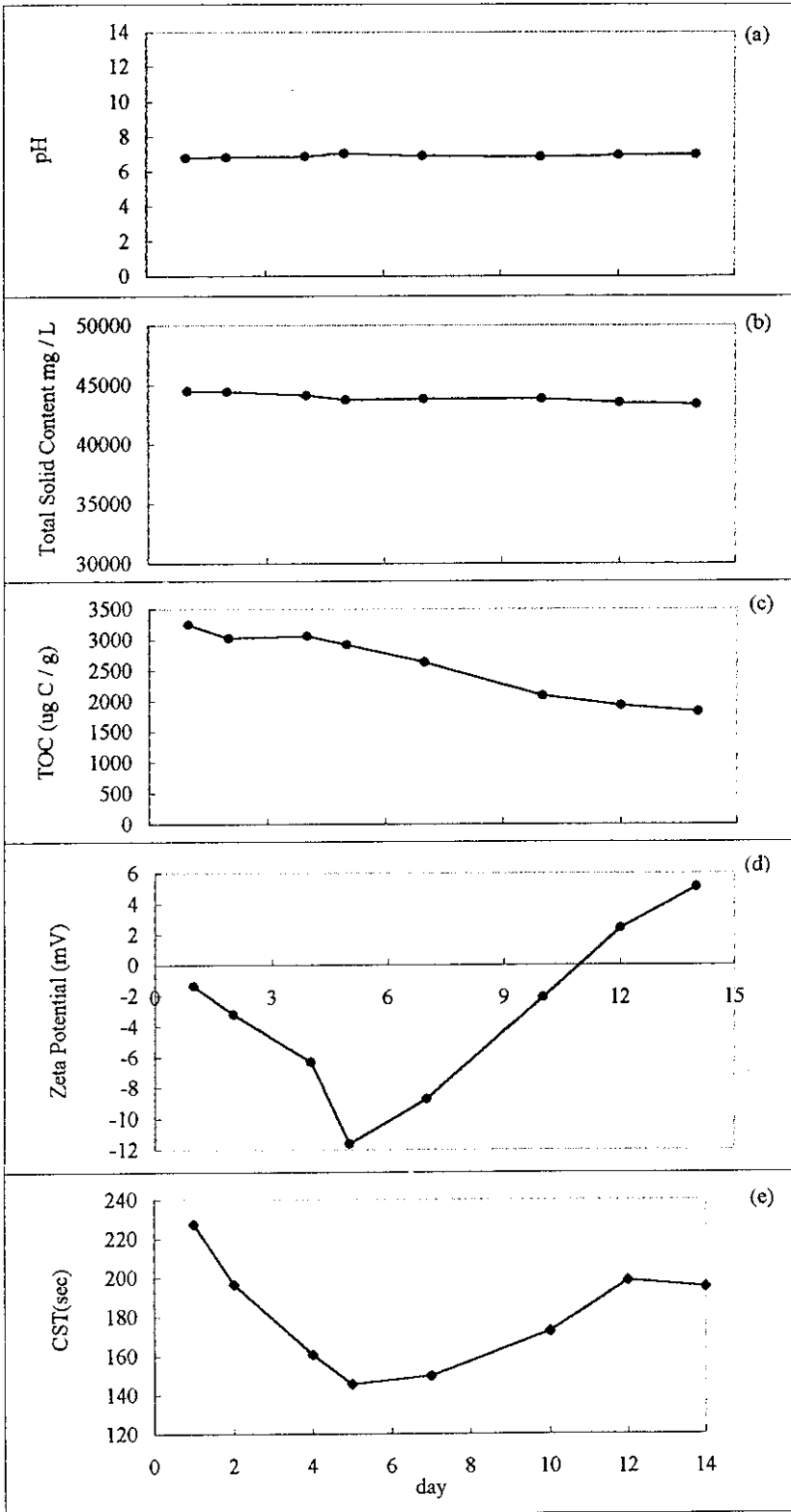


圖 9(a-e) 污泥老化試驗過程中之特性變化

### 3. 污泥老化對調理的影響

自淨水廠採樣帶回實驗室之污泥樣品，在老化過程中經由顯微鏡觀察其污泥形態變化及分析其基本特性，發現老化過程會引起污泥形態和基本特性之改變，同時也由於藻體產生之胞外聚合物引起污泥顆粒間之膠凝作用，使得污泥原始之CST值下降，因此老化過程必定會影響調理之最佳加藥量。本實驗採用PC-320陽離子性高分子聚合物為調理劑，依不同天數之老化時間進行污泥調理，固定加藥量而觀察其CST值之變化其結果如圖 14所示。其中顯示在加藥劑量為40mg/L之前，在不同天數所測得CST值變化趨勢彼此間並無明顯的差異，當劑量到達60mg/L以後，第十四天所測得之CST值與其它三天之測值相比較下有較高之測值，亦即於污泥老化至十四天時，在相同之調理劑量下其調理效果較第二、第五、第十天為差。造成此差異之原因可歸因於污泥表面特性之改變，正如前節所述污泥表面帶電在第十二天時已由原負電荷轉趨向帶正電荷，高分子調理劑對污泥之主要調理機制除了架橋作用外電性中和亦扮演相當重要的角色。當陽性高分子加入調理時其所帶之正電與污泥之負電進行電性中和，以破壞其穩定性，並同時藉著高分子之架橋作用以形成凝聚達到調理之成效，然當污泥老化漸趨至十四天時，因其表面電性逆轉成正電之故，導致原有之電性中和作用漸次失效，因此其調理作用明顯低於另三次(第二、五、十日)。

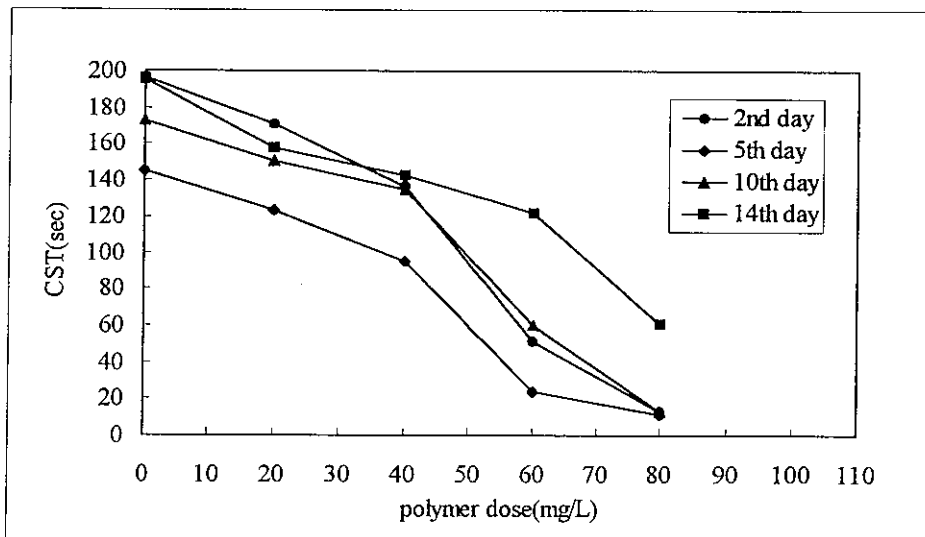


圖14 不同天數之老化時間加入高分子聚合物調理之CST變化結果

## 結 論

在含藻污泥之老化過程試驗中，藻類所產生的胞外聚合物會對污泥之基本特性和其脫水性造成影響，同時並影響其調理之效果。由於胞外聚合物增加使的表面電位帶最多之負電荷，且造成生物凝聚現象最顯著，而使之有最佳的脫水性（最低之CST值）。然而老化時間漸長時，藻類數量逐漸減少，污泥系統中之電性漸由負電荷轉為正電荷，致使得原有電性中和機制漸次失效，導致調理效果的降低。

## 誌 謝

本研究承蒙國科會NSC 84-2221-E-009-051研究計畫經費之提供，於採樣期間承蒙明德淨水場大力協助，在此深表謝意。

## 參考文獻

- Dolejs, P., "Influence of algae and their exudate on removal of Humic Substances and Optimal Dose of Coagulant", *Wat. Sci. tech.*, 27, 123-132, 1993.
- Edzwald, J. K., "Coagulation in Drinking Water Treatment: Particles, Organics and Coagulants", *Wat. Sci. tech.*, 27, 21-35, 1993.
- Dulin, B. E. and Knocke, W. R., "The Impact of Incorporated Organic Matter on the Dewatering Characteristics of Aluminum Hydroxide Sludges", *J. AWWA*, 81, 74-79, 1989.
- Li, D. H. and Ganczarczyk, J., "Structure of Activated Sludge Flocs", *Biotechnol. Bioeng.*, 35, 57-65, 1990.
- Lee, D. J., Hsu, Y. H., "Measurement of Bound Water in Sludges: A Comparative Study", *Wat. Environ. Res.*, 67, 310-317, 1995
- Konno, H., "Settling and Coagulation of Slender Type Diatoms", *Wat. Sci. Tech.*, 27, 231-240, 1993.

- Karr, P. R. and Keinath, T. M., "Influence of the Particle Size on Sludge Dewaterability", J. WPCF, 50, 1911-1930, 1978.
- Knocke, W. R., Hamon, J. R., Dulin, B. E., "Effects of Coagulation on Sludge Thickening and Dewatering", J. AWWA, 79, 89-98, 1987.
- Knocke, W. R. and Wakeland, D. L., "Fundamental Characteristics of Water Treatment Plant Sludges", J. AWWA, 75, 516-523, 1983.
- O' Brien, J. H., Novak, J. T., "Effects of pH, and Mixing on Polymer Conditioning of Chemical Sludge", J. AWWA, 69, 600-605, 1977.
- Pavoni, J. L., Tenney, M. W. and Echelberger, W. F., "Bacterial exocellular polymers and biological flocculation", J. WPCF, 44, 414-431, 1972.
- Robinson, J., Knocke, W. R., "Use of Dilatometric and Drying Techniques for Assessing Sludge Dewatering Characteristics", Wat. Environ. Res., 64, 60-68, 1992.
- Smith, J. K. and Vesilind, P. A., "Dilatometric Measurement of Bound Water in Wastewater Sludge", Wat. Res., 29, 2621-2626, 1995.
- Tilton, R. C., Murphy, J. and Dixon, J. K., "The Flocculation of Algae with Synthetic Polymeric Flocculants", Wat. Res., 6, 155-164, 1972.
- Tsang, K. P. and Vesilind, P. A., "Moisture Distribution in Sludges", Wat. Sci. Tech., 22, 135-142, 1990.