

化學混凝法對水源中藻類之去除

曾四恭* 蔡利局** 林亨錯***

摘要

水源中藻類的大量繁殖，不但會使水質產生味、臭、及色度，影響水中 pH 值變化，增加水質濁度，並且對給水工程各處理單元帶來困擾，以往淨水廠對優養水源中藻類之去除並不理想，形體較小之藻類尚可貫穿濾床，又會造成濾床阻塞、縮短濾程，因此本研究主在探討不同混凝沉澱操作條件下，對水中不同藻類的去除能力，作為改善藻類在混凝沉澱單元去除之依據。實驗結果得知不同藻類種類之混凝去除效率不同；最適混凝操作 pH 值因混凝劑種類而異，大部分混凝劑最佳操作 pH 值在 pH 4 ~ 7；藻類的形狀及大小會影響混凝效率，一般以顆粒大而屬非絲狀之藻類沉降性較佳；快混過程中加入沉澱池污泥，以增加藻類與混凝劑污泥顆粒的碰撞機會，使藻類易於形成穩固的膠羽、沉降完全且快速，同時改善污泥性質；加高分子聚合物，亦有助於藻類去除率的增加。

前言

台灣地區現有四十餘個湖泊水庫中已有部分因廢水排入而水質惡化，尤其含氮、磷高湖泊水庫，如澄清湖、鳳山水庫、德基水庫等已產生嚴重優養作用，其他水源中亦漸發現有藻類增加之趨勢，尤其夏季更為嚴重。

水源中藻類的大量繁殖，不但會使水質產生味、臭及色度⁽¹⁾，影響水中 pH 值的變化、增加水質濁度，並且對給水工程各處理單元帶來困擾，例如：絲狀藻易造成濾床阻塞⁽²⁾，大量藻類之存在減低膠凝、消毒的效果，增加沉澱池的污泥量，促進水管系統發

* 國立台灣大學環境工程研究所教授兼所長

** 國立台灣大學環境工程研究所碩士

*** 國立台灣大學環境工程研究所研究助理

生腐蝕現象⁽³⁾，降低配水系統的流速等問題，並且增加水處理上的困擾與耗費。藻類的大量繁殖也會導致三鹵甲烷及藻毒素⁽³⁾的產生，而影響水質對人畜之安全性。

根據 Mackanthur 與 Keup (1970)⁽²⁾ 報導，美國曾調查處理程序所發生的生物性困擾問題，顯示由藻類引起的問題佔第一位，其中尤以藻類引起水臭與異味問題佔首位，其次是濾床阻塞。因此為要解決水源藻類所形成之問題，基本上要進行污染源控制，以減少水源中藻類之生長。但對已產生優養之水源，為確保自來水之水質，則需探討藻類去除方法。以往淨水廠對優養水源中藻類之去除率並不理想，形體較小之藻類，尚可貫穿濾床，且又會造成濾池之阻塞及縮低濾程，因此傳統淨水程序對含藻水源之處理尚有繼續研究的必要。本研究目的即在探討淨水程序中化學混凝單元中對水中藻類的去除效率。

實驗方法

1. 實驗藻類：

純種藻類：Oscillatoria tenuis, Microcystis aeruginosa, Chlorella sp., Pediastrum duplex meyen, Scenedesmus quadricauda。

混合藻類：Oscillatoria tenuis, Microcystis aeruginosa, Chlorella sp., Pediastrum duplex meyen, Scenedesmus quadricauda, Navicula sp., Gomphonema sp. 等。

2. 實驗方法：

本研究以瓶杯試驗進行混凝沉試驗，瓶杯試驗操作條件為快混 80 rpm 2 分鐘，慢混 20 rpm 30 分鐘，沉澱 60 分⁽⁴⁾。

3. 試驗混凝劑：

(1) 多元氯化鋁 (PAC)

(2) 硫酸鋁

(3) 氯化鐵

(4) 氯化鋁

(5) 硫酸鐵

(6) 硫酸亞鐵

4. 分析方法：

(1) 葉綠素 a：以 0.45 μ 孔徑濾膜將藻類分離，再用丙酮或甲醇萃取，用分光光度計測定吸光度。

(2) 藻類計數：以 Sedgwick-Rafter Counter Chamber 計算。

(3) 界達電位：以 Zeta meter 測定。

結果與討論

1. 不同混凝劑之去除率：

混凝劑的種類會影響藻類去除率的好壞。若單以適當加藥量多少來作為比較各種混凝劑的好壞時，以硫酸亞鐵對藻類去除效果最差，氯化鋁次之，硫酸鋁、硫酸鐵、氯化鐵、多元氯化鋁尚可（見圖 1）。其中多元氯化鋁形成的膠羽巨大，沉降最快，硫酸鋁、硫酸鐵次之。二價鐵鹽形成膠羽小，沈降慢。

2. 各種混凝劑的最適 pH 值：

大體而言，pH 4 ~ 7 之中性偏酸環境，對藻類之去除較適合，但混凝劑與藻種不同，最適 pH 值仍會有差異。

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	最適範圍 pH 8 ~ 10，以 pH 8.8 最好。
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot X\text{H}_2\text{O}$	最適範圍 pH 5 ~ 7，以 pH 5.9 最好。（圖 3）
$\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	最適範圍 PH 4 ~ 7，以 pH 5 最好，其次為 PH 8 ~ 10。
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	最適範圍 pH 4 ~ 7，以 pH 6 最好。
PAC	最適範圍 pH 3 ~ 6，以 pH 4.5 最好。
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \sim 18\text{H}_2\text{O}$	最適範圍 pH 4 ~ 5.5，以 pH 4.5 最好。（圖 2）

而藻種方面，Chlorella 較不受 pH 影響，但 Microcystis 却較敏感，適當範圍外，去除率明顯降低，此於藻種特性中作說明。

3. 不同藻類濃度對葉綠素去除率的影響

原水中藻類的去除若以葉綠素去除百分率表示時，去除率高低所代表的只是原水在處理前後水中所含有的相對藻類數目。葉綠素去除率高並不完全表示處理後水中所含藻類數少。一般而言，原水中藻類濃度愈高，葉綠素去除率愈好，以硫酸亞鐵（ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ）為混凝劑以去除原水中藻類時，藻類濃度高低影響葉綠素去除率甚巨（見圖 1）。混凝劑量低時，去除曲線斜率大，藻濃度愈高去除率愈佳。混凝劑量高時（60 mg/ℓ）去除率曲線平緩，顯示葉綠素去除率受水中藻濃度影響變小。

4. 聚合電解質對水中藻類之去除

聚合電解質的添加，有利於節省無機鹽類的使用量。陽離子聚合電解質，如 Cat-Floc-T，單獨使用時，只在某適當藥量下才能達到最好的去除率，藥量太高或太低對藻類去除率反而不好，如圖 4。當有 Cat-Floc-T 作為助凝劑時，所需的混凝劑量很低，如圖 5，0.5 mg/ℓ 以上時，去除率明顯降低。

5. 界達電位和混凝沉澱的關係性

界達電位與藻類去除率間亦有明顯相關。生長於水中的微細藻類帶負電，添加混凝劑後，界達電位趨向零或正值，界達電位愈接近零者去除效果愈好，如圖 6，符合前人對無機性膠體粒子混凝沉澱和界達電位相關性研究的結果：Z.P. 在 0 ~ 3 時，膠體聚集最完整且沉降完全；Z.P. 在 -1 ~ -4 時，膠體凝集優良而能沉降；Z.P. 在 -5 ~ -10 時，膠體能凝集沉澱；Z.P. 在 -11 ~ -20 時，膠體只稍微凝集。此外，混凝過程中改變 pH 的結果如圖 7，除了 pH 在 2 或 3 時，強酸使藻體受到分解，形成可濾性 TOC 增加，使得葉綠素去除率與 Z.P. 不能配合外，界達電位可為去除效果指標，亦可由界達電位知最適加藥量，界達電位愈趨近於零者，葉綠素及 TOC 去除效果愈好。

6. 不同藻類之混凝去除效率比較：

藻類的不同在除效果上亦有明顯差異。pH 方面如圖 8，pH 4.5 以上，Chlorella，Scenedesmus 去除效果好，而 Microcystis 在 pH 3 ~ 5 有很好的去除率，但大於 5 效果顯著下降。Oscillatoria 大於 pH 3 後效果也不錯。顆粒大小方面，大顆粒（30 ~ 60 μm ）較小顆粒（3 ~ 5 μm ）受重力作用大，易吸附，去除容易。以形態而言絲狀藻最不易去除，如 Oscillatoria 為易飄浮的絲狀，有顫動運動又含有氣胞，不易形成膠羽，去除最為困難。同形態者，界達電位高的較易去除。以生理而言，有氣胞者不易沉澱。而矽藻類的 Navicula sp. 和 Gomphonema sp. 形狀為紡錘形，大小在 10 ~ 20 μm 之間，運動性不大，因而去除容易。

7. 濁度物質存在對藻液混凝沉澱的影響

濁度物質的存在亦會影響去除率，此處濁度物質為沉澱池污泥。圖 9 顯示葉綠素去除率隨加藥量增加而增高，到達某一加藥量即呈現一定之去除率。濁度愈高去除率愈好。在低混凝劑量時，濁度影響較為明顯，高混凝劑量時，濁度的影響變小。而且濁度的添加，並不會使出流水濁度增加。由圖 10 可知，藻原水中濁度物質添加得愈多，出流水中剩餘濁度反而愈小，pH 值的影響一如前面 PAC 對葉綠素影響，偏酸性時去除效果較好。但污泥的添加必需在一定量以上才會顯出正面效果。由圖 10 顯示，當增加藻液中濁度物質時，葉綠素去除率變化是隨濁度增加而升高，但如和未加濁度物質的藻液之葉綠素去除率相比時，就有增加和減少兩種情形出現。圖中 A 點是無添加濁度物質時藻液的葉綠素去除率和添加濁度物質藻液之葉綠素去除率交會點，此點顯示，在此濁度以上之添加量，對藻類去除率才有正面影響。如增加混凝劑的量，A 點將會往左移，如圖中 A 點與 A' 點。因此沉澱池污泥的添加，有助於節省混凝劑用量，且濁度愈高，形成的污泥藍綠色愈不明顯，沉降性愈好，且污泥與水界面清楚，污泥量少，處理容易。

結 論

1. 含藻原水濃度愈高，葉綠素去除率愈高，但如果以殘留數目而言，藻濃度高者殘留數目亦愈多。
2. 何種混凝劑對藻類的去除最好，很難有定論，須視其處理後水的用途而定，用於自來水者，還是以 PAC 及硫酸鋁較為適當。
3. 各種混凝劑對葉綠素之去除有其適當 pH 值範圍，本研究所試用之 5 種混凝劑中除硫酸亞鐵外，其他混凝劑最適 pH 範圍在 4 ~ 7。
4. 以藻類顆粒形狀來分，非絲狀者混凝效果較佳，以顆粒大小來分，則顆粒大者沉降性較好。
5. 藻類顆粒都帶負電，不同藻類之界達電位亦各不同，藻類顆粒所帶界達電位較大者較易以混凝去除。混凝劑量加大，使藻類界達電位趨向零或正值。pH 大於 10 或小於 4，比電導度增加，界達電位變大，混凝去除率變小。
6. 高分子聚合物 Cat-Floc-T 的使用，有助於藻類去除率的增加，及減少混凝劑消耗量，且所形成的污泥體積小，易於處理。
7. 含藻原水中加入充足量的沉澱池污泥，則混凝時水中的藻類顆粒和污泥顆粒結合，使藻類的沉降更為快速，不易上浮，形成的污泥體積小，密度大，處理容易，增加藻類的去除率。

參考文獻

1. 李淑珍，陳從和，“產生味與臭的藻類”。自來水會刊，第 14 期，民國 74 年。
2. 陳是瑩，曾怡禎，“澄清湖藻類圖鑑”，民國 75 年。
3. 李淑珍，陳從和，“藻類在供水中的意義”自來水會刊，第 13 期，民國 74 年。
4. 曾四恭等，“傳統淨水程序對水源中藻類之去除及改善方法之研究”環境工程研究報告 No. 189 號，民國 77 年。
5. Jenney, M.W. et al., "Algal Flocculation with synthetic Organic Polyelectrolytes." *Applied Microbiology*, 18 : 6 : 965, 1969.
6. Ayonb, G.M., Lee, S. & Koopman, B., "Seawater Induced Algae Flocculation." *Water Res.* 20 : 10 : 1265, 1986.

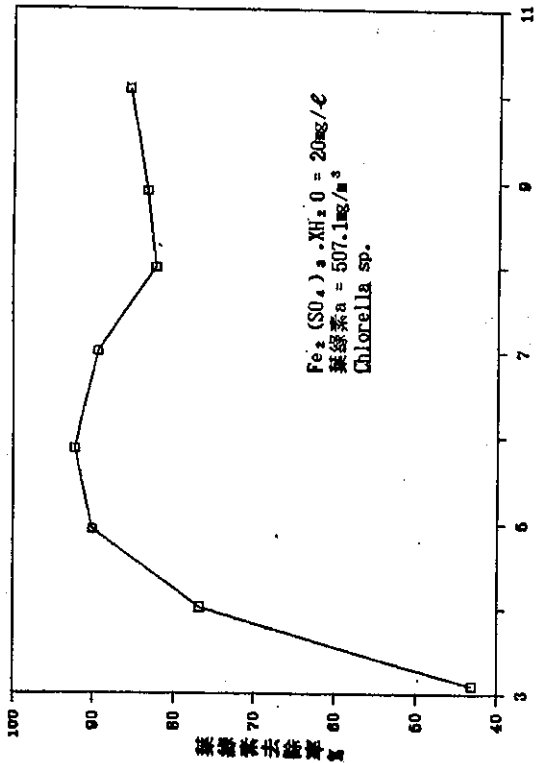


圖 3. 各種 PH 下，硫酸鐵對藻綠素的去除率

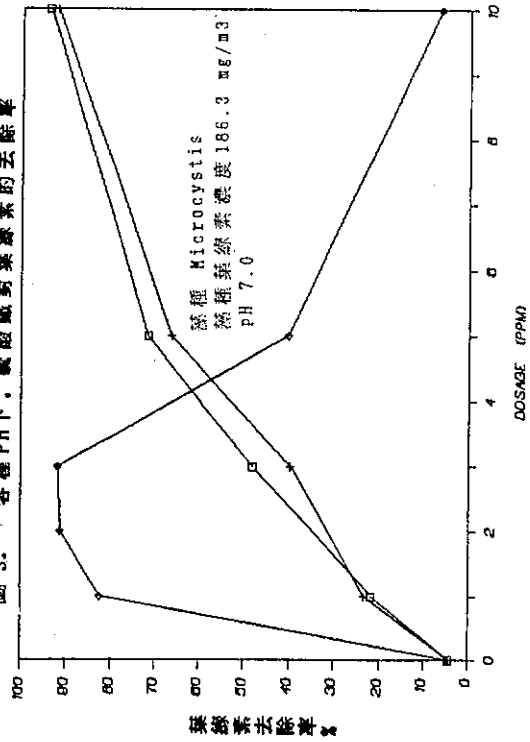


圖 4. Cat-Floc-T, PAC, 硫酸鋁去除藻類的比較

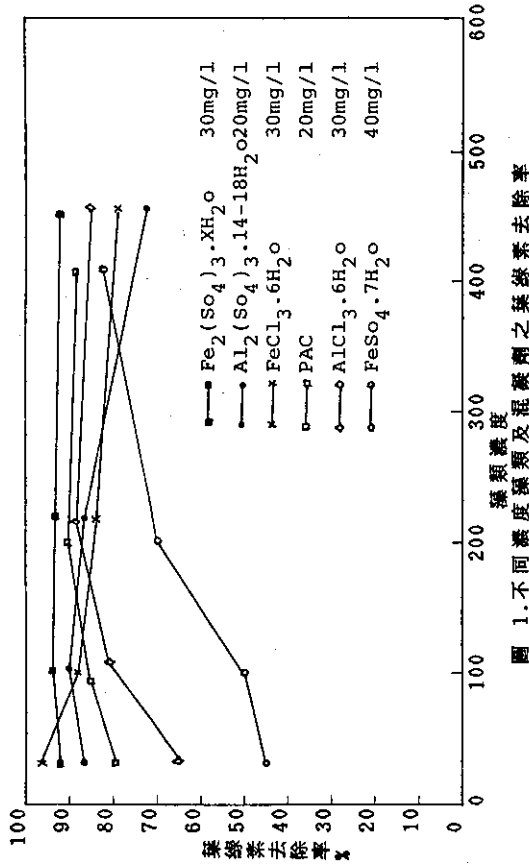


圖 1. 不同濃度藻類及凝糞劑之藻綠素去除率

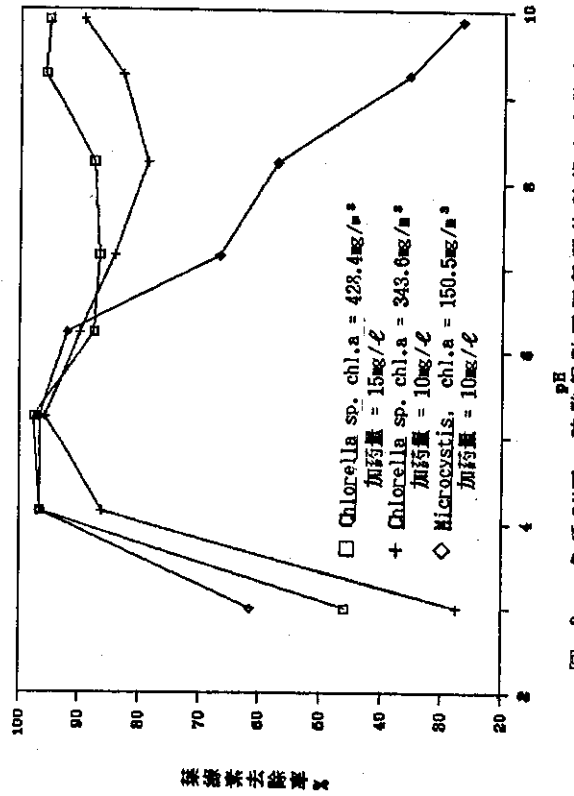


圖 2. 各種 PH 下，硫酸鋁對不同藻類的藻綠素去除率

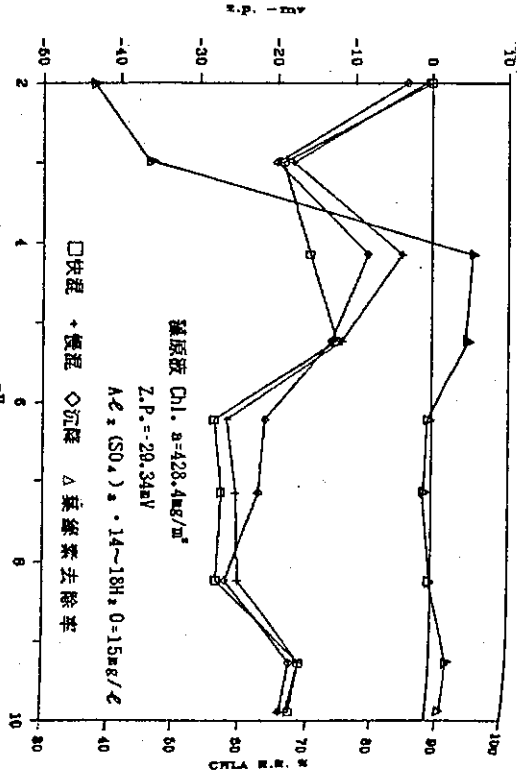


圖 7. pH變化對界面電位及藻綠素去除率影響 (以Chlorella為材料, 硫酸鋁為凝聚劑)

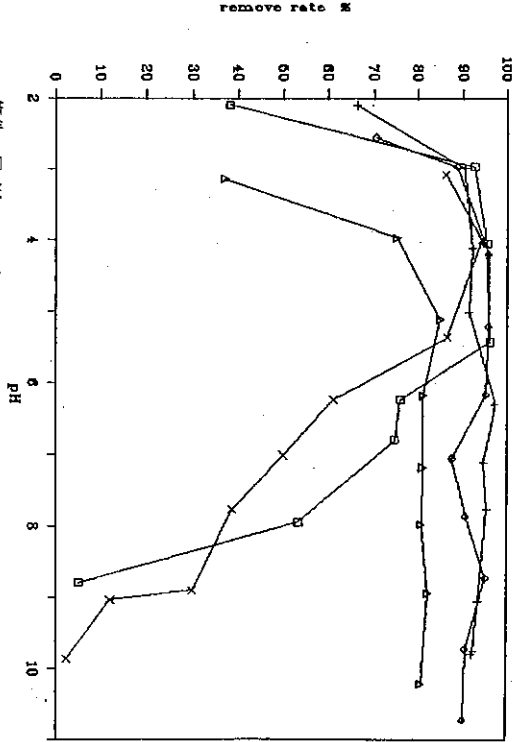


圖 8. 各種pH下, 多元氯化鋁對不同藻類的藻綠素去除率

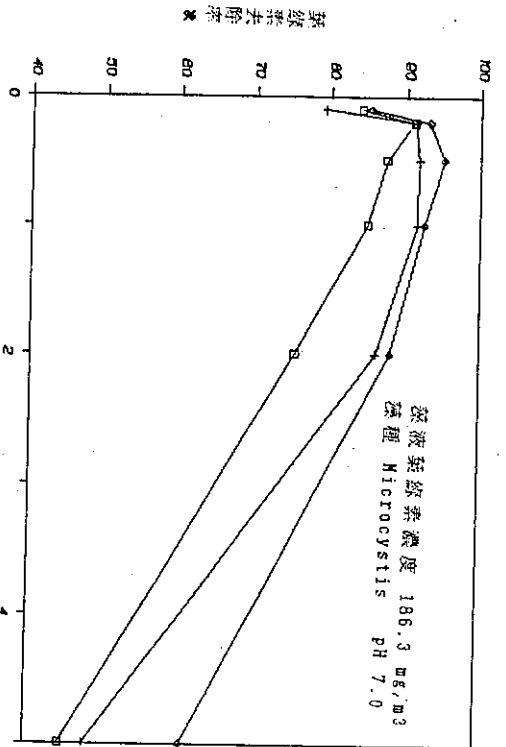


圖 5. 助凝劑 Cat-Floc-1 的影響

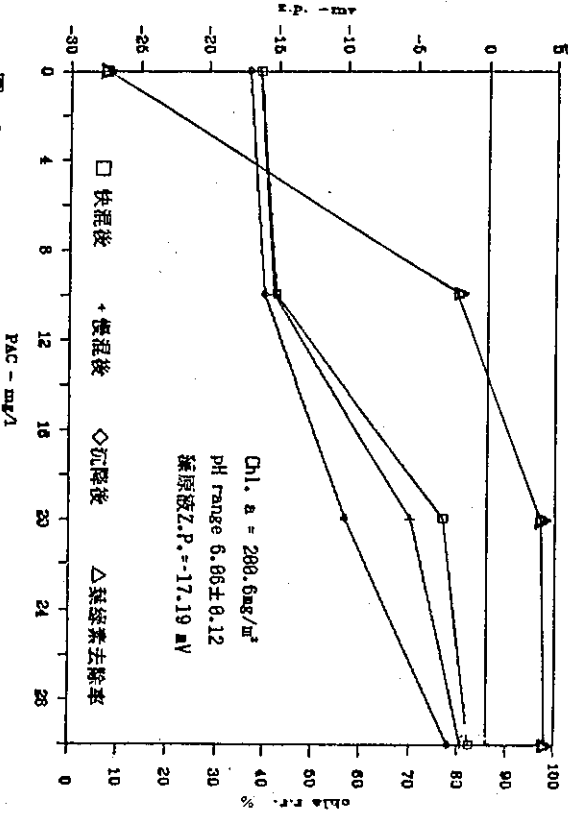


圖 6. 多元氯化鋁變化量與Z.P.、藻綠素去除率關係

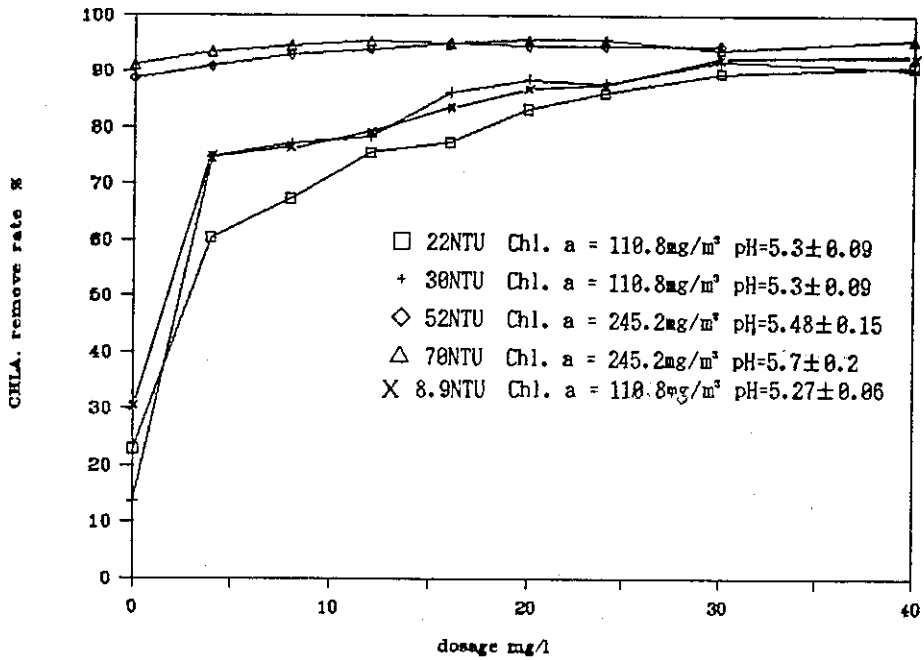


圖 9. 不同濁度原水在最適 pH 下，加藥量與葉綠素去除率之關係（以 PAC 處理混合藻液）

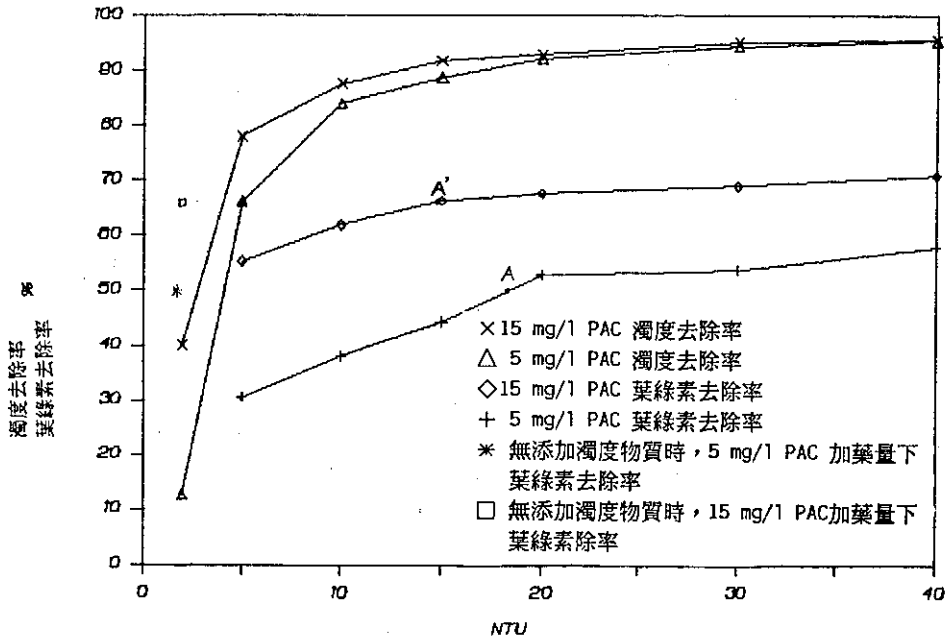


圖 10. 添加濁度物質對葉綠素去除率的影響