

以混凝沈澱去除自然水中鉻、鉛、鋅之錯合物

Removing Complexes of Cr(VI), Pb(II), Zn(II)

from Natural Water by Coagulation and Sedimentation

黃汝賢*

余光昌**

摘要

混凝沈澱程序是給水廠中對濁度及色度去除的重要處理單元之一，本研究主要係藉此一處理程序來探討對重金屬鉻、鉛、鋅之去除效果以及腐植酸對其處理效果之影響。試驗結果發現 FeSO_4 對 Cr(VI) 之去除效果極佳， $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 及 FeCl_3 對 Cr(VI) 之去除效果則不佳。 FeCl_3 及 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 對 Pb(II) 及 Zn(II) 之去除效果甚佳，且 pH 值愈高其去除效果愈佳。腐植酸對 Pb(II) 及 Zn(II) 去除之影響，乃視其本身被去除情況而定，在腐植酸完全去除前，腐植酸會阻滯 Pb(II) 及 Zn(II) 之去除，然在混凝劑含量足以完全去除腐植酸後，則含有腐植酸之原水，其重金屬之去除效果比不含腐植酸之原水較佳。另外，滲析袋 (Dialysis Bags) 試驗結果發現 Cr(VI)、Pb(II)、Zn(II) 與腐植酸錯合程度係隨 pH 值升高而增加，在同一 pH 值下，三者錯合能力大小依序為 Pb(II)、Zn(II)、Cr(VI)。

一、前言

在不受污染的自然水源中，重金屬含量通常很低，但受到工廠排放廢水的侵入，使得重金屬污染的問題日趨嚴重。腐植質是自然水及土壤中大量存在的有機物質，其為高分子的天然色度並具有與很多金屬離子結合的能力。重金屬中之鉻主要由顏料或塗料製造廠、皮革鞣製廠及電鍍工廠等所排放⁽¹⁾；鉛主要由蓄電池製造廠及染料廠所排放；鋅主要由電鍍廠、硬脂酸鋅製造廠及金屬表面處理廠等所排放，由於上述之鉻、鉛、鋅係一般工業廢水中極為普遍之毒性污染物且大都欠缺處理致極可能流入河川而污染了水源，因此選擇這三種重金屬為研究的對象。本文研究的目的是在以傳統之混凝沈澱程序，利用回分式的瓶杯試驗，探討腐植質與鉻、鉛、鋅的錯合對鉻、鉛、鋅去除之影響及尋求混凝沈澱之最佳控制條件。並利用滲析袋 (Dialysis Bags) 試驗探討重金屬與腐植酸之錯合情形。

* 國立成功大學環境工程研究所副教授

** 國立成功大學環境工程研究所研究生

二、試驗設備與方法

(一)人工原水之配製

本研究所需之模擬原水係以人工配製，鉻以 $K_2Cr_2O_7$ 配製，鉛以 $Pb(NO_3)_2$ 配製，鋅以 $ZnCl_2$ 配製，三種重金屬均配製成 $1000\text{ mg}/\ell$ 的儲備溶液；腐植質溶液係以 Aldrich 公司出品之腐植酸 2 克溶入加有 NaOH 1 N 之二段水配製成 $2000\text{ mg}/\ell$ 的儲備溶液。人工原水 pH 值之調整係以 1 N 之 HNO_3 及 1 N 之 NaOH 為之。

(二)混凝沈澱試驗

於 1 ℓ 的燒杯內放入重金屬與腐植酸之人工原水後，回分式之瓶杯試驗步驟如下：快攪拌 (100 rpm) 10 秒鐘，調整 pH，靜置 30 分鐘，然後加入混凝劑 ($Al_2(SO_4)_3$ ， $FeCl_3$ ， $FeSO_4$)，混合，立即調整 pH，接著快混 (100 rpm) 2 分鐘，慢混 (20 rpm) 30 分鐘，靜置一小時，再以 $0.45\ \mu\text{m}$ 的濾紙 (Millipore 製) 過濾。最後以原子吸收光譜儀 (Varian 875) 測試各重金屬，鉻之測試波長 357.9 nm，鋅為 213.9 nm，鉛為 217.0 nm 或 283.3 nm。腐植酸含量之測定以 UV 測之，波長則使用 254 nm，由於腐植酸的吸光度隨 pH 值而變化，標準溶液配製在 pH 為 7，因此混凝後之處理水也都調整 pH 為 7，才進行測試。

(三)鉻、鉛、鋅與腐植酸錯合試驗

使用 1000 MWCO (Molecular Weight Cutoff) 的 Spectra/Por 6 之滲析袋 (Dialysis Bags, Spectrum Industries, Los Angeles, CA)，藉以分離錯合重金屬離子與自由重金屬離子。滲析袋使用前均前處理清洗⁽²⁾，於使用時袋內裝 30 ml 之 0.001 M KNO_3 ，完全浸入於 500 ml 之人工原水，因袋內袋外 pH 值需一致，乃以 0.1 N 之 NaOH 和 0.1 N HNO_3 調整之。靜置後，求出袋內自由重金屬離子的時間變化量，待滲析達平衡後，可採樣並以原子吸收光譜儀測試重金屬離子濃度。錯合重金屬離子濃度可依下式計算：

$$C_e = C_o - \frac{C_f (V_o + V_i)}{V_o}$$

C_e ：錯合重金屬濃度

V_o ：袋外溶液體積

C_o ：原水重金屬濃度

V_i ：袋內溶液體積

C_f ：袋內重金屬濃度 (係自由離子濃度)

三、結果與討論

(一)鉻之去除

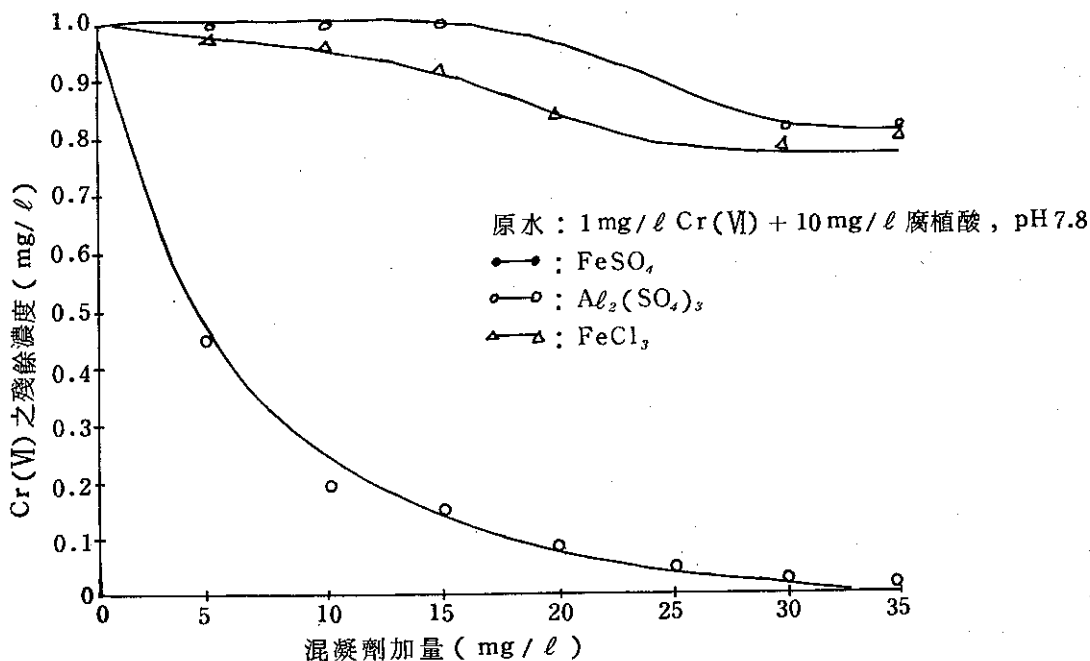
(1) 混凝劑及加量的影響

當 5、10、15、20、30、35 mg/ℓ 之 $Al_2(SO_4)_3$ ， $FeCl_3$ ， $FeSO_4$ 加入配製有 1 mg/ℓ $Cr(VI)$ 、10 mg/ℓ 的腐植酸、pH 為 7.8 的原水中，發現 $Al_2(SO_4)_3$ 加量 30 mg/ℓ 時開始有膠羽產生，至 40 mg/ℓ 左右時腐植酸幾可全部去除，但 $Cr(VI)$ 之去除並不理想，

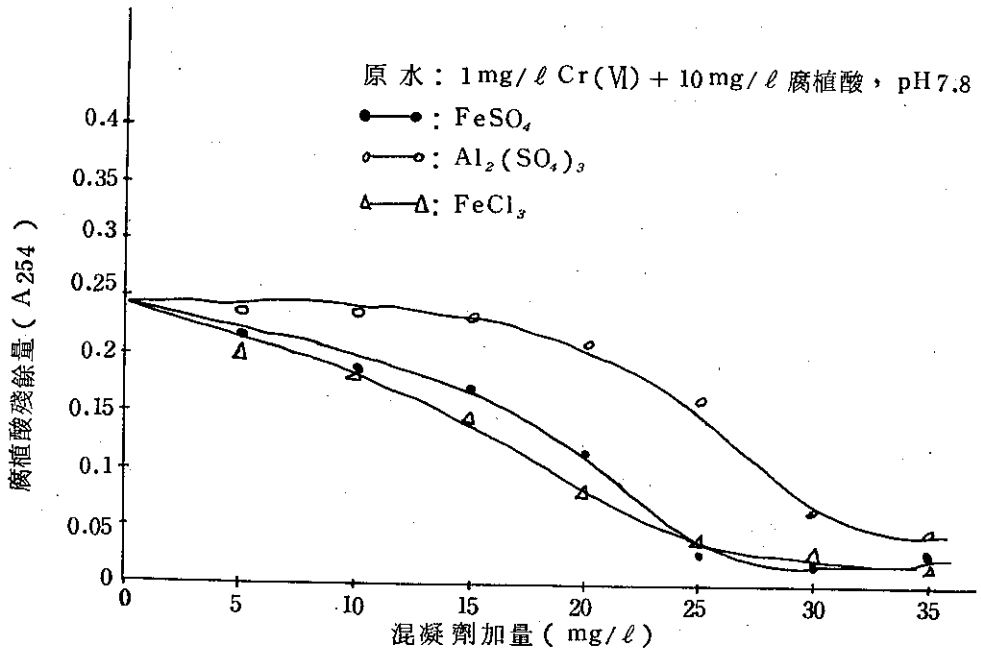
僅達 20 % 左右。FeCl₃ 加量 5 mg/ℓ 時已有膠羽產生，25 mg/ℓ 時腐植酸幾可全部去除，但 Cr(VI) 之去除仍不理想，僅可達 22 %，此乃因 Cr(VI) 為溶解性離子，必須被還原為 Cr(III) 時，才會形成氫氧化物之固體物而被混凝去除。上述三價鐵鹽及三價鋁鹽所混凝去除的 Cr(VI)，可能係部分 Cr(VI) 與腐植酸錯合，而當腐植酸被去除時也一起被帶下來。當加入 FeSO₄ 時，發現效果非常好，於加入 15 mg/ℓ 時，Cr(VI) 的殘餘濃度已達 0.05 mg/ℓ 的台省自來水水質標準，而加入 20 mg/ℓ 時已可全部被去除，此乃因為 FeSO₄ 加入原水中後，把 Cr(VI) 還原成 Cr(III)，增進氫氧化鉻固體物之形成，而二價鐵本身也被鉻氧化成三價鐵，而形成了氫氧化鐵膠羽並可把鉻混凝去除，試驗結果如圖一、圖二所示。

(2) pH 值變化的影響

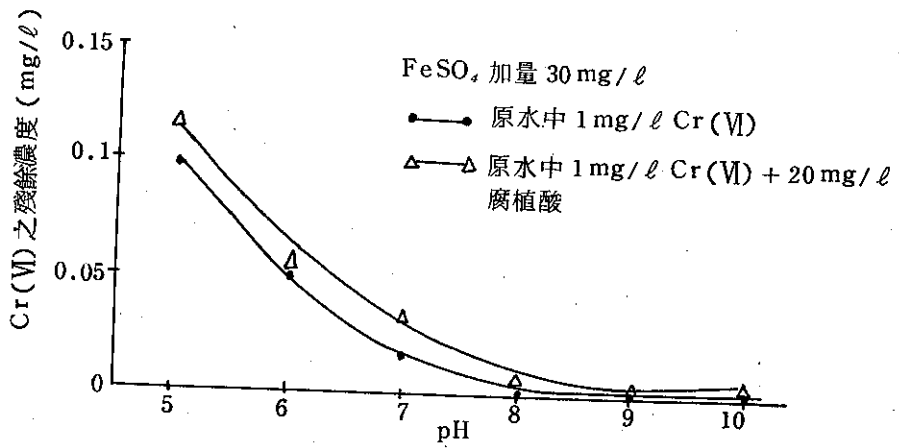
由於 FeSO₄ 對 Cr(VI) 的去除效果甚好，為了解 pH 變化對 Cr(VI) 去除效果之影響，本項試驗將 pH 控制在 pH 5 至 10 的範圍內，並加入 30 mg/ℓ 的 FeSO₄，且使原水中腐植酸含量分別為 0 及 20 mg/ℓ。試驗結果如圖三所示，去除效果隨著 pH 值的升高而增高，因為 Cr(III) 之最低溶解度在 pH 為 8 左右如圖四所示，Fe³⁺ 之最低溶解度約從 pH 7 至 pH 10 左右如圖五所示，故在 pH 7 至 10 之範圍內，Cr(VI) 之去除效果均較佳，然腐植酸含量則略影響 Cr(VI) 之去除。



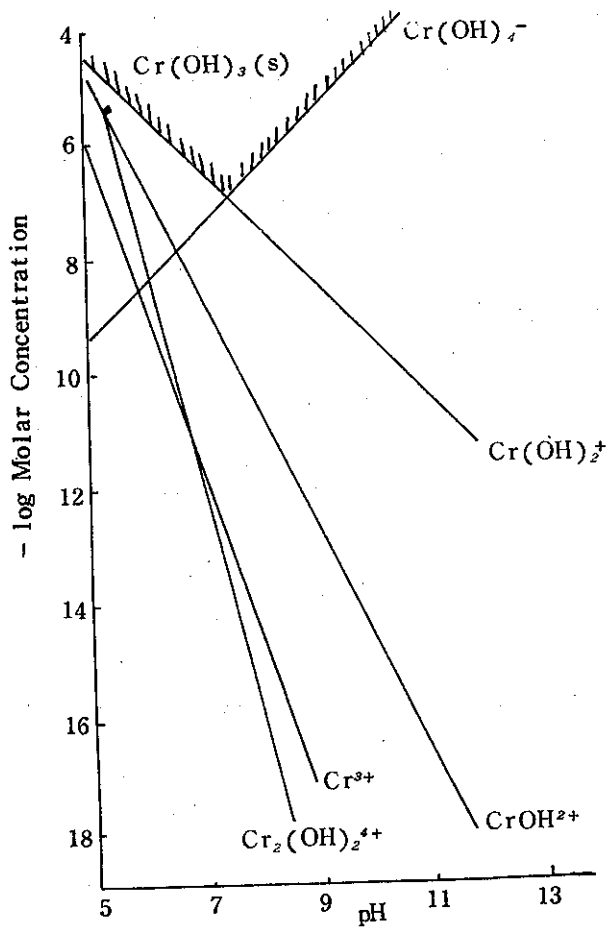
圖一 不同混凝劑及加量對 Cr(VI) 去除之影響



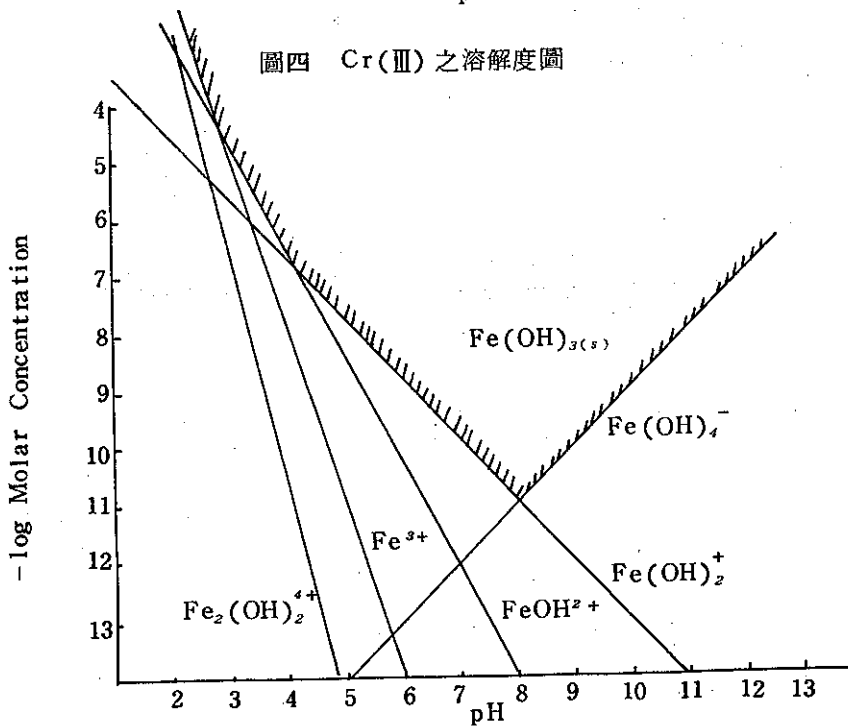
圖二 不同混凝劑及加量對腐植酸去除之影響



圖三 不同 pH 對 Cr(VI) 去除之影響



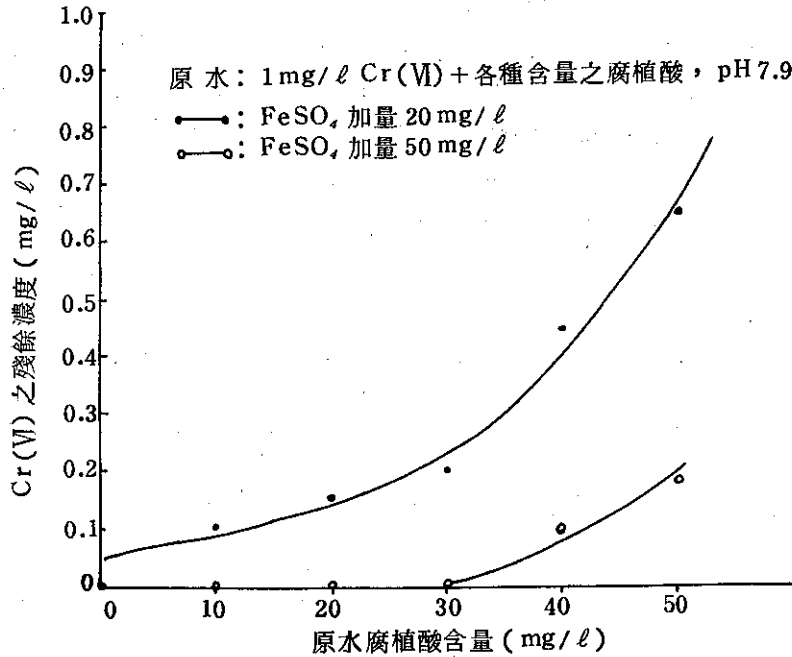
圖四 Cr(III) 之溶解度圖



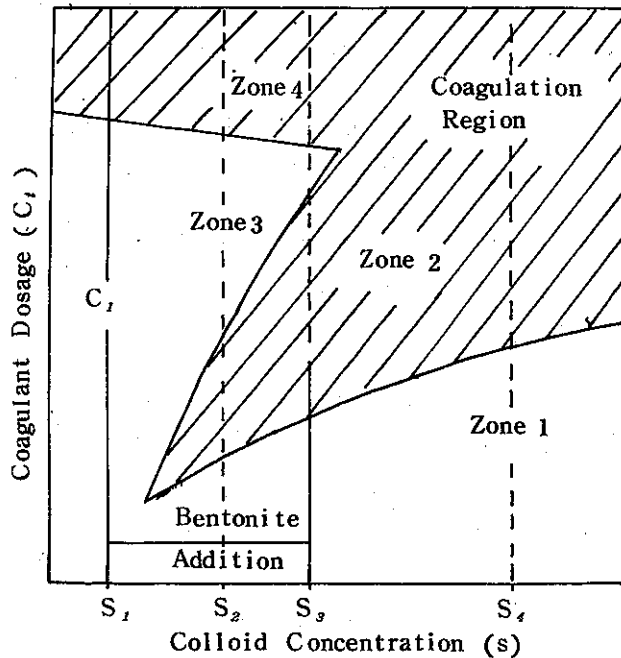
圖五 Fe(III) 之溶解度圖

(3) 腐植酸含量的影響

為進一步了解腐植酸對Cr(VI) 去除之影響程度，乃配製並使原水中的腐植酸含量分別為 0、10、20、30、40、50 mg/l，pH 調整為 7.8 再分為兩組進行瓶杯試驗。第一組加入 20mg/l 之 FeSO₄，第二組則加入 50mg/l 之 FeSO₄，試驗結果如圖六所示，發現隨腐植酸含量的增加，而使得Cr(VI) 之去除效果變差，此一現象可以由圖七來解釋⁽³⁾，當溶液中腐



圖六 同一混凝劑量下，原水中不同腐植酸含量對Cr(VI) 去除之影響



圖七 原水中膠羽濃度與混凝劑之關係圖⁽³⁾

植酸含量增加時，微膠羽的數量亦隨著增加，因此必須加入更多的混凝劑才能由 Zone 1 進入 Zone 2 而發生混凝作用。由圖六的結果可看出，含 10mg/l 腐植酸的原水，若加入 20mg/l 之 FeSO_4 時，Cr(VI) 可去除到 0.1mg/l，但含 40mg/l 腐植酸的原水則必須加入 50mg/l 的 FeSO_4 始可達到 0.1mg/l 之殘餘濃度。

(4) 腐植酸與鉻之錯合

由以上的討論，可了解腐植酸對 Cr(VI) 去除之影響，乃進一步探討腐植酸與鉻之錯合量到底有多少。腐植酸結構上的官能基如羧基 ($-\text{C}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{OH}$)、酮基 ($>\text{C}=\text{O}$)、酚基 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$)，在適當的 pH 值情況下極易解離出 H^+ ，而與帶有高價正電荷之金屬離子互相吸引。因此以滲析袋試驗做了 1mg/l 鉻與腐植酸在不同 pH 值，分別為 pH 4、5、6、7、8、9，並變化腐植酸加量為 5、10、20mg/l，所得之試驗結果如表一所示，鉻之錯合能力隨著 pH 值之升高而增加；而腐植酸的濃度增加，所能提供鉻之錯合位置也隨著增加，因此亦能提高鉻之錯合濃度。

表一 滲析袋試驗分離錯合鉻在不同 pH，不同腐植酸含量下之結果
(原水鉻含量 1.0mg/l)

錯合 Cr(VI) 之濃度 (mg/l) 腐植酸 (mg/l)	pH						
	4	5	6	7	8	9	
5	0.02	0.03	0.05	0.11	0.23	0.18	
10	0.02	0.02	0.07	0.12	0.29	0.45	
20	0.05	0.06	0.10	0.15	0.34	0.51	

(二) 鉛之去除

(1) 腐植酸與鉛之錯合

經由滲析袋試驗，含有 4.14mg/l 鉛和 5、10、20mg/l 腐植酸的原水，在各種 pH 下鉛之錯合量如表二所示。pH 6 時錯合量最大，在 pH 6 以下時其錯合量隨 pH 值降低而遞減，在 pH 值大於 7 時，其錯合量則隨 pH 值增加而遞增。

(2) 混凝劑及加量的影響

使用 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 及 FeCl_3 兩種不同的混凝劑去除鉛的混凝沈澱試驗中，發現鐵鹽的去除效果比鋁鹽要好，由於鉛在 pH 值 7 至 9 間溶解度低而易形成 $\text{Pb}(\text{OH})_2$ 、 PbCO_3 、 $\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ 之微膠羽⁽⁴⁾。在沒有加入腐植酸的情況下，含有 4.14mg/l 鉛之 pH 為 9 的

表二 滲析袋試驗分離錯合鉛在不同 pH，不同腐植酸含量下之結果
(原水鉛含量 4.14 mg/l)

錯合鉛濃度 (mg/l) 腐植酸 (mg/l)	pH					
	4	5	6	7	8	9
5	1.01	1.8	3.76	3.38	3.39	3.68
10	1.35	2.38	3.8	3.68	3.70	3.76
20	1.64	2.50	3.91	3.74	3.83	3.95

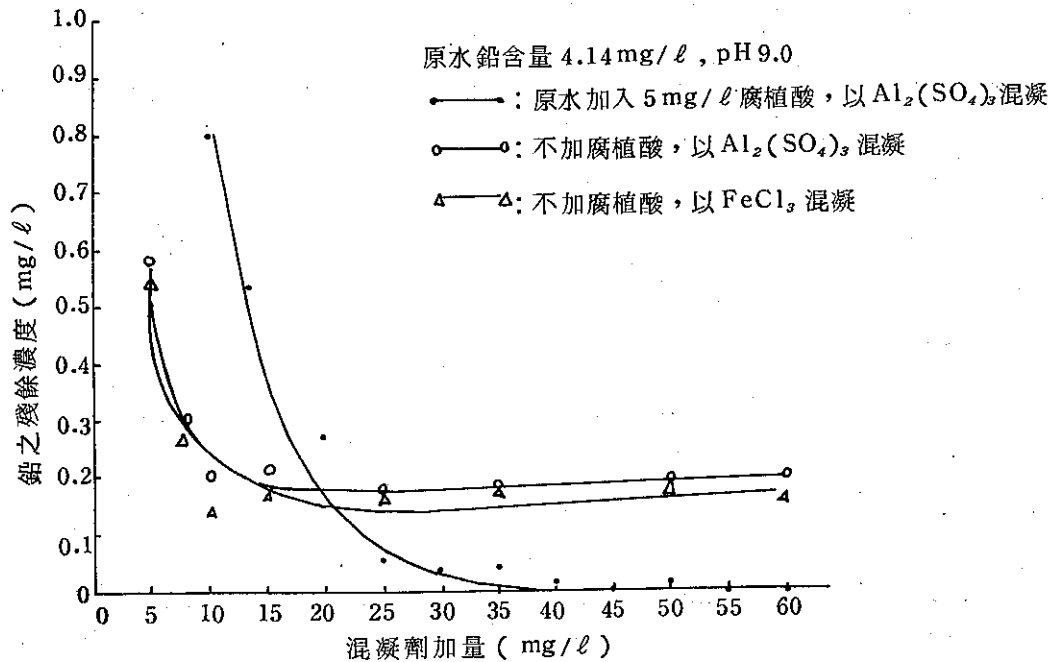
原水，當加入 10 mg/l $Al_2(SO_4)_3$ 時已可去除鉛至 0.2 mg/l，但當 $Al_2(SO_4)_3$ 加量再繼續增加，則去除效果並未顯著增加，於加量增至 60 mg/l 時，鉛之殘餘濃度仍維持在 0.2 mg/l 左右。 $FeCl_3$ 的去除效果比 $Al_2(SO_4)_3$ 好些，當加入 10 mg/l $FeCl_3$ 時可使鉛之殘餘濃度達 0.15 mg/l 左右，若加量再繼續增加時，則未能有更佳之去除效果。另外一組加有 5 mg/l 腐植酸的原水，在 10 mg/l 的 $Al_2(SO_4)_3$ 加量時，去除效果欠佳，雖有 80% 左右之去除效果，但仍有 0.8 mg/l 左右之殘餘濃度；但加量至 25 mg/l 時，鉛之去除效果即顯著增加，且鉛之殘餘濃度已可達 0.05 mg/l 以下。由上面之結果可發現：(1) 腐植酸的加入將增大了達到鉛之最佳去除率所需之混凝劑量，(2) 腐植酸可和一些溶解性的鉛錯合，使得加入腐植酸後，在其本身達最佳去除率後，鉛之殘餘濃度比在沒有加入腐植酸時低。因此可以推論在含有腐植酸和重金屬鉛之溶液中，在腐植酸未能被完全去除之前，腐植酸有減低重金屬鉛之去除；但當混凝劑加量足以完全去除腐植酸之後，腐植酸可以幫助鉛之去除。試驗結果如圖八所示。

(3) pH 值變化的影響

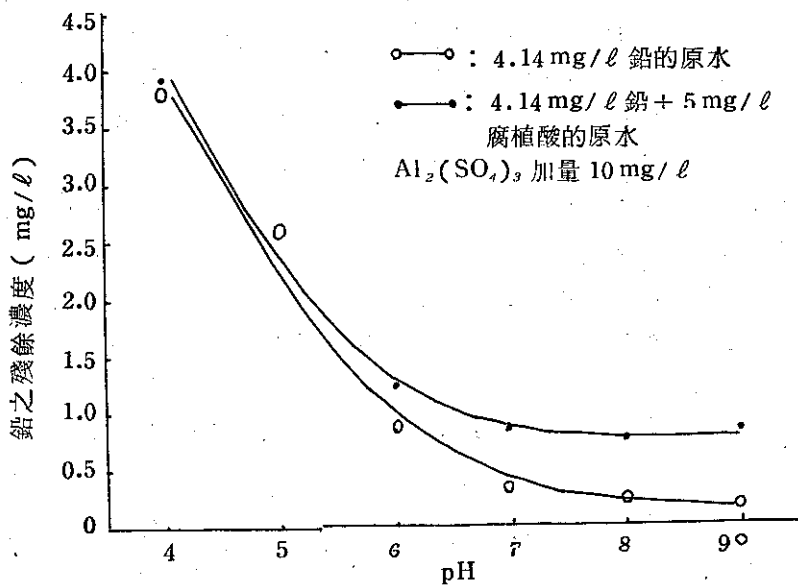
pH 值對鉛去除效果之影響最大，其顯著的結果如圖九所示，在 pH 9 至 4 的範圍內，鉛之去除效果隨 pH 值之降低而遞減，此一現象可由鉛的溶解度來解釋，如圖十所示，在 pH 7.5 至 9.5 的範圍，鉛的溶解度最低，去除效果最好。隨著 pH 值的降低，其溶解度降低， $PbCO_3(s)$ 之固體物量減少，相對的，溶解性的 Pb^{2+} ， $PbOH^+$ 將增加，使得混凝效果欠佳。另外一組試驗結果，在加有腐植酸 5 mg/l 溶液中，在 pH 低的情況，與沒有加腐植酸之原水去除效果相近。

(4) 腐植酸含量的影響

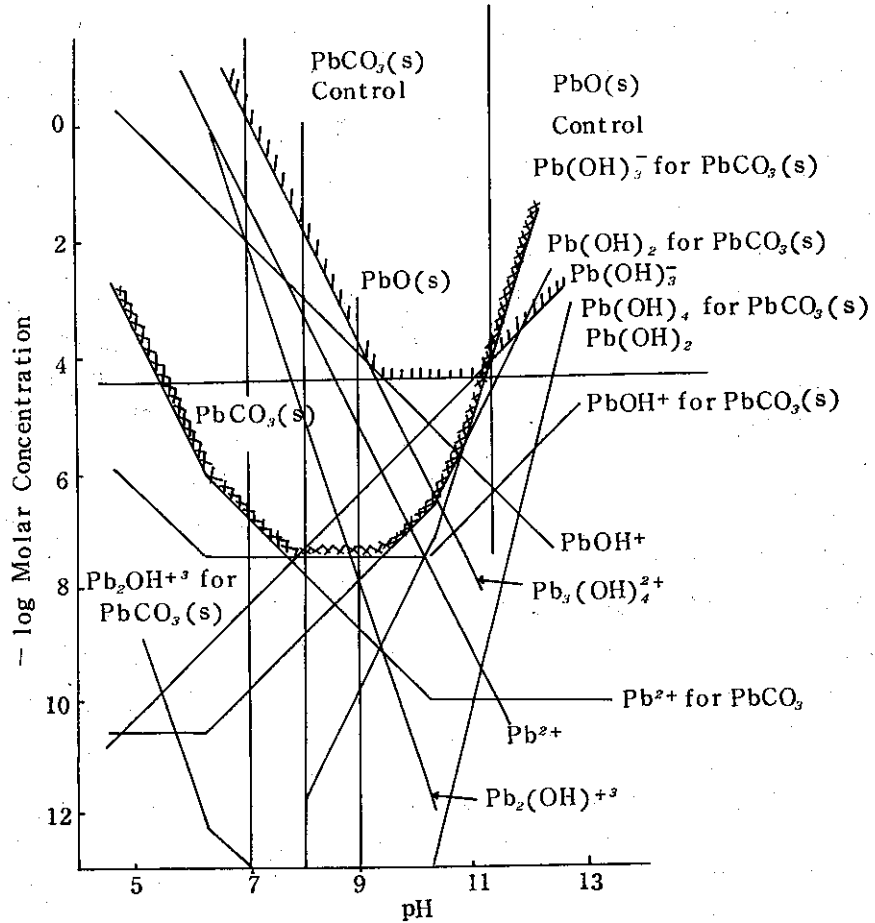
這項試驗分別做了兩組，一組是在 pH 6.4 ~ 6.8 之原水中，含有分別為 0、10、20、30、40、50 mg/l 之腐植酸，以 40 mg/l 之 $FeCl_3$ 混凝；另一組則以 60 mg/l 之 $FeCl_3$ 混凝，試驗結果如圖十一、十二所示，腐植酸含量增加，鉛之去除效果並不好。當加入 40 mg



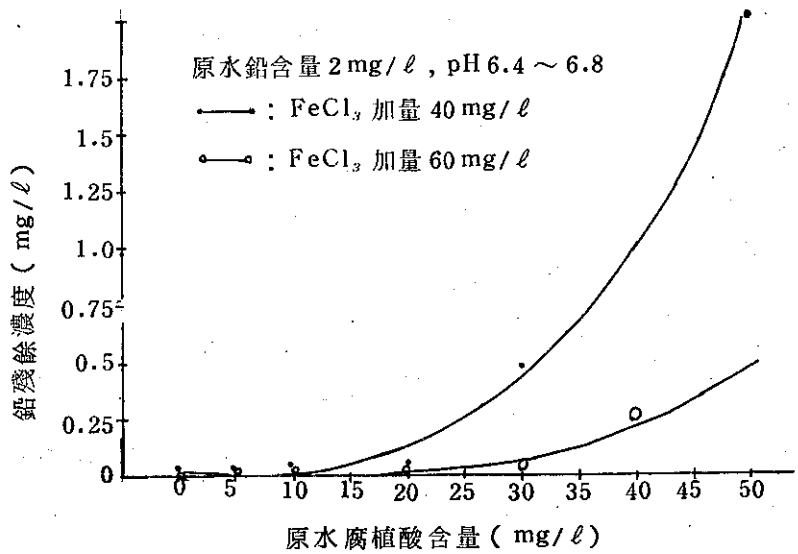
圖八 不同混凝劑及加量對鉛去除之影響



圖九 不同 pH 對鉛去除之影響

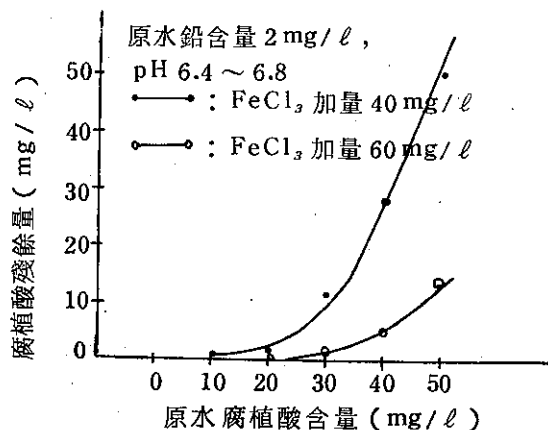


圖十 Pb(II) 之溶解度圖



圖十一 原水中不同腐植酸含量對鉛去除之影響

1/l FeCl₃ 並在含有 20 mg/l 之腐植酸時，幾可完全去除鉛，但若腐植酸含量繼續增加時，其去除情況並不佳。當加入 60 mg/l FeCl₃ 時，幾乎可把含腐植酸 30 mg/l 的原水內之鉛去除。由圖十一及圖十二亦可看出腐植酸與鉛之去除情形相近，其原因乃是當腐植酸加量增加時，搶走了一些能與鉛膠羽吸附的荷電鐵塩使得鉛去除不佳且腐植酸搶到的鐵塩也不足以把腐植酸完全去除，因此腐植酸去除也不佳，這個可由圖七來解釋。



圖十二 同一混凝劑量下，原水中不同腐植酸含量與腐植酸去除量之關係

(三) 鋅之去除

(1) 腐植酸與鋅之錯合

為便利解釋下面混凝沈澱之試驗結果，乃對 1.3 mg/l 的鋅與腐植酸之錯合量做了分析，仍然以滲析袋做為分離錯合離子與自由金屬離子的試驗設備，經試驗兩天後，所得結果如表三所示，其錯合能力隨 pH 值之降低而遞減。這項結果可印證 Shapiro 的說法⁽⁶⁾，Shapiro 指出腐植酸之錯合容量隨 pH 值之增大而增加，主要原因乃係腐植酸在 pH 值升高時極易解離出

表三 滲析袋試驗分離錯合鋅在不同 pH 值，不同腐植酸含量下之結果 (原水鋅含量 1.3 mg/l)

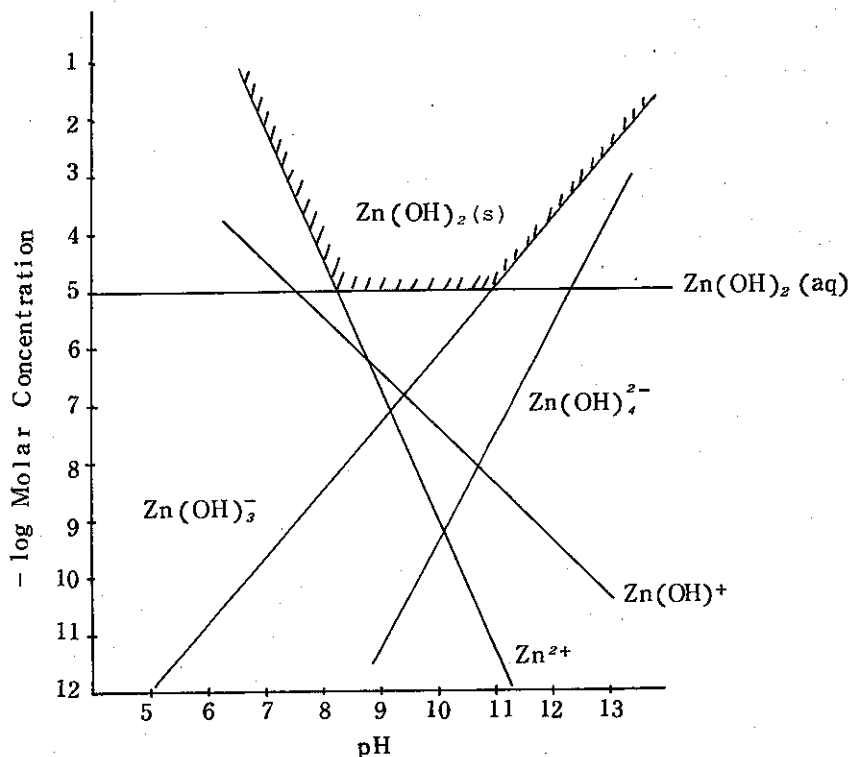
錯合鋅濃度 (mg/l) 腐植酸含量 (mg/l)	pH					
	9	8	7	6	5	4
5	0.71	0.47	0.52	0.39	0.19	0.13
10	0.76	0.85	0.72	0.48	0.23	0.13
20	0.82	0.79	0.74	0.58	0.41	0.20

更多的酚基和羧基，使得可提供電子對的配位基增加。由表三的結果可看出鋅在高 pH 值時，其錯合量相當大，譬如，pH 9 時之錯合量約為 pH 4 時的 6 倍。

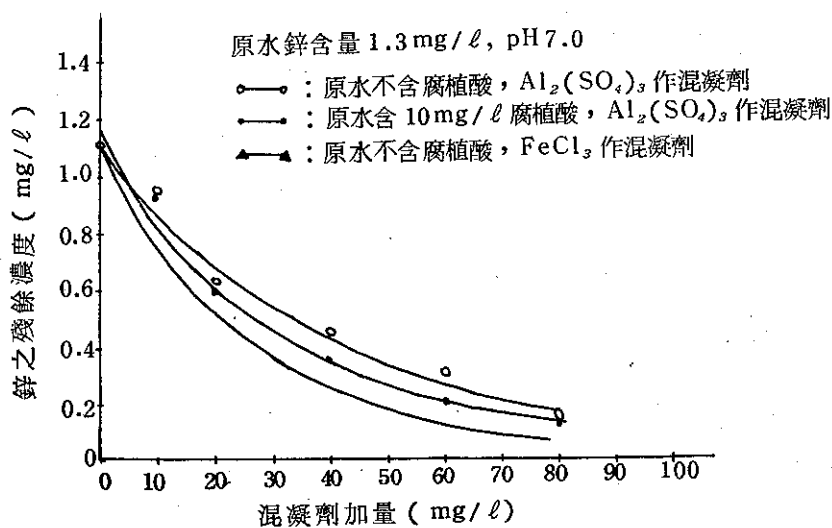
(2) 混凝劑及加量的影響

本項試驗之目的在於求得較佳之混凝劑及加量，並尋求腐植酸對混凝效果的影響，因此乃

分別以 FeCl_3 及 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 作為混凝劑，劑量分別為 0、10、20、40、60 至 80 mg/ℓ ，另外做了一組含有 10 mg/ℓ 腐植酸的原水以對照原水中含或不含腐植酸所造成之影響，由於原水 pH 為 7，並不在鋅的最低溶解度範圍內（如圖十三所示），所以去除效果不佳。試驗結果如圖十四所示，鐵鹽對鋅的去除效果比鋁鹽好，因鐵鹽所形成之膠羽較粗大且比重也大，使得



圖十三 Zn(II) 之溶解度圖

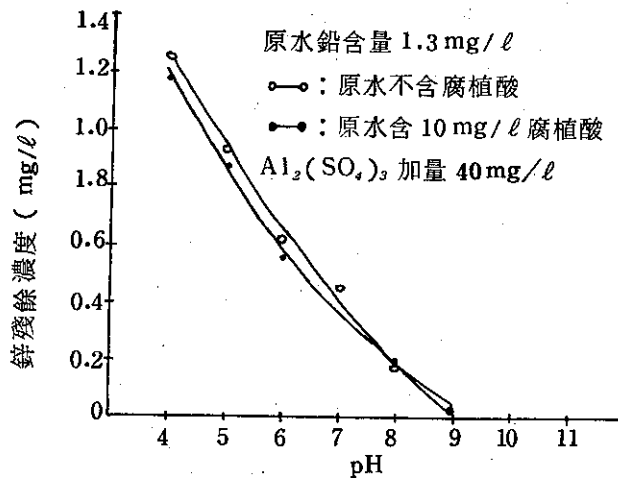


圖十四 不同混凝劑及加量對鋅去除之影響

沈澱所需時間較短。含有腐植酸的這一組試驗，其結果發現鋅之去除反而比不含腐植酸的原水佳，這點可由腐植酸與重金屬的錯合來解釋，在 pH 為 7 時，因鋅之溶解度高，其形成 $Zn(OH)_2$ 微膠羽的數量不多，使腐植酸與 Zn 結含量高達 $0.72\text{mg}/\ell$ （原水鋅含量 $1.3\text{mg}/\ell$ ）。在 $Al_2(SO_4)_3$ 加量達 $40\text{mg}/\ell$ 後，即 $10\text{mg}/\ell$ 腐植酸幾可完全被去除的情況下，有助於鋅被腐植酸帶下而去除；另外，鋅之去除率隨混凝劑之增加而增加，可能係因鋅化物成爲鐵塩或鋁塩的氫氧化物沈澱物的核心，而被沈澱絆除（Enmeshment）⁽⁶⁾。

(3) pH 值變化的影響

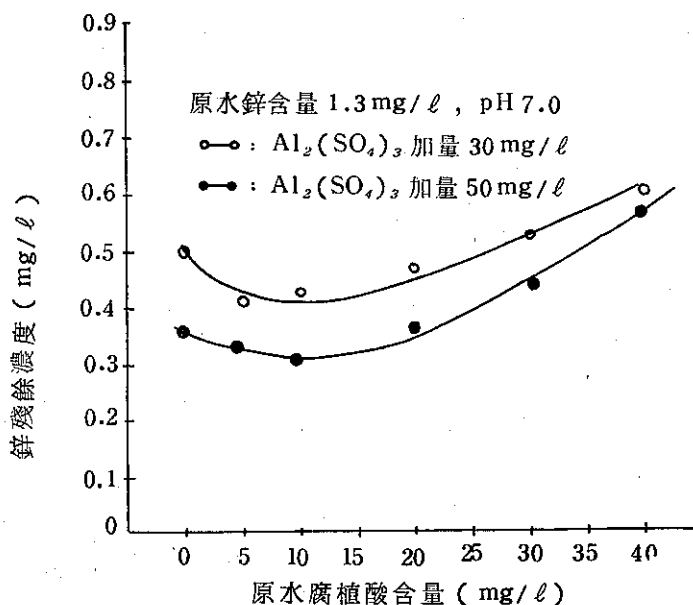
pH 值變化對鉛去除效果之影響甚爲明顯，可見重金屬的去除與本身溶解度的大小有顯著的關係。如圖十五所示，由 pH 4 時的幾乎無法去除到 pH 9 時的幾乎完全去除，而含有 $10\text{mg}/\ell$ 腐植酸的原水在 pH 值小於 8 時去除效果比不含腐植酸之原水略佳，然在 pH 大於 8 時，兩者之鋅的去除效率則非常接近，乃因鋅的溶解度低，微膠羽量多，且鋅化物與腐植酸結含量大，所加入之 $40\text{mg}/\ell$ $Al_2(SO_4)_3$ 已可完全去除腐植酸及鋅。而 pH 小於 8 時，隨著 pH 值降低使鋅溶解度升高，致其去除效果欠佳；腐植酸與鋅化物之錯合量雖隨 pH 之降低而遞減，但仍有一些溶解性鋅化物與腐植酸錯合並被其帶下去除，此現象可說明當 pH 小於 8 時，鋅之去除效果在含有腐植酸之原水比不含者爲佳。



圖十五 不同 pH 對鋅去除之影響

(4) 腐植酸含量的影響

由以上試驗結果可知鋅的去除效果沒有鉛好，乃因鋅的溶解度比鉛高。爲更進一步了解原水中腐植酸對鋅去除之影響，本項試驗做了兩組，一組是含有 0、5、10、20、30、40 mg/ℓ 等不同腐植酸濃度的 pH 爲 7 之原水，並加入 $30\text{mg}/\ell$ 的 $Al_2(SO_4)_3$ ；另一組則加入 $50\text{mg}/\ell$ $Al_2(SO_4)_3$ ，試驗結果發現兩組有個共同的趨勢，亦即含有腐植酸的原水在腐植酸未達最佳去除情況前，會阻滯鋅之去除，但影響情況沒有鉛之顯著，試驗結果如圖十六所示。



圖十六 原水中不同腐植酸含量對鋅去除之影響

四、結 論

本文主要探討自然水中之有機物與重金屬鉻、鉛、鋅的錯合以及這些自然有機物對重金屬鉻、鉛、鋅以混凝沈澱去除之影響。自然水中有機物質濃度若以總有機碳 (TOC) 表示則約 0.1 至 10 mg/l^(7,8)，大部分為腐植物質，其主要成份為腐植酸及黃酸 (Fulvic Acid)。本研究以腐植酸做試驗，Truitt⁽⁹⁾ 曾作黃酸對 Cd(II)、Cu(II)、Zn(II) 以混凝去除之影響，發現黃酸對 Cd(II)、Zn(II) 之去除有明顯之助益，Cu(II) 則不明顯，與本文結果略同。以下便是本研究以回分式瓶杯試驗及滲析袋試驗所得之結論：

- (1) Cr(VI) 必須先還原成 Cr(III)，才能被混凝沈澱去除，尤以 FeSO_4 為混凝劑之效果最佳，而 FeCl_3 及 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 之效果則很差，僅能去除一些與腐植酸錯合之 Cr(VI)。
- (2) 腐植酸在未完全去除前，確對重金屬鉛、鋅之去除有所妨礙，但當混凝劑加量可完全去除腐植酸時，腐植酸則對鉛、鋅之去除有所助益。
- (3) FeCl_3 對鉛、鋅之去除效果比 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 好。
- (4) pH 值的變化對含及不含腐植酸之鉻、鉛、鋅有顯著影響，在 pH 4 至 9 之範圍內，pH 值愈高，其去除效果愈佳，這與重金屬鉻、鉛、鋅之溶解度有關，而受混凝劑的溶解度之影響較不明顯。
- (5) Cr(VI)、Pb(II)、Zn(II) 與腐植酸之錯合量係隨 pH 值之增大而增加，當腐植酸含量增加，將提供較多之錯合位置因而增加錯合量，在分別含有 2×10^{-6} M 之 Cr(VI)、Pb(II)、Zn(II) 之原水，與腐植酸錯合能力之大小則依序為：Pb(II) > Zn(II) >

Cr(VI)。

(8)腐植酸含量愈多，重金屬鉻、鉛、鋅之去除效果愈差。

參 考 文 獻

- 1 李錦地、張嵩林、洪正中，「台灣省水污染物質中重金屬調查及管制」，工業污染防治，第二卷，第一期，P. 2 (72年)。
- 2 Truitt, R.E., and Weber, J.H., " Determination of Complexing Capacity of Fulvic Acid for Copper(II) and Cadmium(II) by Dialysis Titration, " Anal. Chem., 53 : 2 : 337 -342 (Feb. 1981)
- 3 Stumm, Werner and O'Melia C.R., " Stoichiometry of Coagulation, " Jour. AWWA, 60 : 5 : 2 : 514 ~ 539 (May 1968)
- 4 Hemand, J.D. and Durum, W.H., " Solubility and Occurrence of Lead in Surface Water, " Jour. AWWA, 68 : 3 : 562 (Aug. 1973)
- 5 Shapiro, J., " Effect of Yellow Acid on Iron and Other Metals in Water, " Jour. AWWA, 56 : 8 : 1062 (Aug. 1964)
- 6 Weber, W.J. Jr., " Physicochemical Processes for Water Quality Control, " John Wiley & Sons, Inc., New York, (1972)
- 7 Stumm, W. and Morgan, J.J., " Aquatic Chemistry, " Wiley - Interscience , P. 375 (1981)
- 8 Reuter, J.H. and Perdue, E.M., " Importance of Heavy Metal -Organic Matter Interactions in Natural Waters, " Geochimica et Cosmochimica Acta, 41 : 2 : 325 (Feb. 1977)
- 9 Truitt, R.E. and Weber J.H., " Influence of Fulvic Acid on the Removal of Trace Concentrations of Cadmium (II), Copper (II), and Zinc (II) from Water by Alum Coagulation, " Water Research, 13 : 12 : 1171 (Dec. 1977)

誌 謝

本研究承蒙國科會提供計畫經費 (NSC 74 - 0410 - E 006 - 13) 始得以順利完成，謹此致由衷之謝忱。