

化學混凝法去除水中有機氯殺蟲劑之研究

Removal Organochlorinated Hydrocarbon Insecticides from Water by Chemical Coagulation Process

會四恭* 王 珏**

摘 要

本研究主要目的，在於探討當原水中檢測得微量農藥時，在不改變現有淨水廠處理程序下，於操作上研究如何作有效之調整，以提高水中微量農藥之去除率及其實施之可行性。研究主要內容有三：1. 檢討傳統化學混凝法對水中有機氯殺蟲劑之處理效果，2. 研究以混凝改善法 (modified coagulation) 對提高水中農藥去除率之可行性，3. 探討化學混凝法去除水中農藥之機構。本試驗有機氯殺蟲劑取用阿特靈及 P, P' DDE 兩種。試驗結果顯示傳統式化學混凝法，硫酸鋁對高濃度農藥之去除率較高，而對低濃度農藥之去除率較低。適合阿特靈及 P, P' DDE 之混凝去除 pH 範圍約為 6 ~ 8，其中以 pH = 6 去除率為最高。混凝單元中添加高分子聚合物、明礬污泥及洗砂廢水之混凝去除試驗，結果顯示高分子聚合物併用硫酸鋁對於農藥原水之混凝不具改善之效，而添加明礬污泥及洗砂廢水，可以增加農藥在混凝單元之去除，惟明礬污泥比洗砂廢水更為有效，若將其迴流至原水中，因可提高原水濁度，有利於混凝，並對有機氯殺蟲劑之去除，具有顯著改善之效果。

一、前 言

近年來國內外對於農藥污染生態環境之問題相當重視，尤其本省於民國五十至六十三年間，曾大量而廣泛施用有機氯殺蟲劑 [如滴滴涕 (DDT)、靈丹 (Lindane)、阿特靈 (Aldrin)、地特靈 (Dieldrin) 及飛佈達 (Heptachlor) 等]，故近年來由國內諸多之調查、研究報告，指出於土壤、河川底泥、魚貝類等，均普遍可偵測得有機氯殺蟲劑之殘存量，亟須速謀對策。

依據「台北公共給水源中有害物質之調查及處理技術研究」第一年研究報告⁽¹⁾，亦顯示於坪林及龜山 (北勢溪) 測站，曾偵測得微量有機氯殺蟲劑 P, P' DDE (DDT 之衍生物) 和阿特靈 (Aldrin)，推其原因乃北勢溪上游之坪林地區，往昔於茶葉園中所施用之有機氯殺蟲劑，迄今猶殘存於土壤及河川底泥中。

雖然本省公共給水源 (或河川) 中所含之農藥殘量大都僅為 ppb ($\mu\text{g}/\ell$) 之範圍，但因有機氯殺蟲劑之化學性質相當安定、不易分解，故其殘效性長達數年，倘河水中之有機氯殺蟲

* 國立台灣大學環境工程學研究所教授

** 台灣省政府住宅及都市發展局環北隊幫工程司

劑經由食物鏈之生物加成 (Biological Magnification) 作用，則將濃縮累積達水中濃度之數千至數十萬倍之鉅，甚易導致對人體健康之慢、急性毒害。未來翡翠水庫完工後，該集水區內殘留有農藥之土壤將淹沒於水中，則水源恐有遭受有機氯殺蟲劑污染之虞，故如何思慮預防實乃當前之重要課題。

本研究之主要目的，在於探討當原水中檢測得微量有機氯殺蟲劑時，在不改變現有淨水廠處理程序下，於操作上研究如何作有效之調整，以提高水中微量有機氯殺蟲劑之去除率。基於考慮目前淨水處理程序中，以混凝 (膠凝) 單元較具操作彈性，故本研究採用化學混凝改善法 (Modified Coagulation)，以探討混凝對水中有機氯殺蟲之去除率，且考慮撙節淨水處理成本及實施可行性，俾供爾後淨水處理之參考。

二、文獻研討

以往國內在農藥方面諸多之研究，內容大都偏重於農藥之殘效性與殘留量，其目的主要為探討農藥對環境之污染現況，皆屬調查、分析之性質。至於有關公共給水源中農藥去除方面之文獻，幾付闕如，僅有曾氏⁽²⁾探討有機氯殺蟲劑靈丹 (Lindane) 與腐植酸 (Humic Acid) 同時並存於水中時，以顆粒狀活性炭 (Granual Activated Carbon) 吸附法之研究。

雖活性炭吸附法能有效去除水中之農藥，惟因所需淨水處理成本偏高，故於實際應用之可行性不高⁽³⁾⁽⁴⁾。目前現有淨水廠大都採用傳統式淨水處理法，若化學混凝法能有效去除水中之農藥，則將為較經濟且具可行性者。Kavanaugh⁽⁵⁾指出化學混凝法對水中微量有機物之去除比活性炭吸附法有三項優點：(1)不需 (或甚少) 增加建造費。(2)每單位淨水處理成本增加最少。(3)一般淨水廠較具操作經驗。

依據諸多文獻^{(6)~(10)}，顯示硫酸鋁對水中 DDT、靈丹、環乙烯類 [阿特靈、地特靈、安特靈、毒殺芬 (Toxaphene)] 等有機氯殺蟲劑之混凝沉澱效果普遍不佳。Thebault⁽⁴⁾認為對於水中微量有機污染物，可利用化學混凝改善法以提高去除率，其法為控制鋁鹽 (或鐵鹽) 混凝劑在水中所形成之物種 (Species)，以增進膠羽吸附微量污染物之能力。Kavanaugh⁽⁵⁾認為化學混凝法之處理效果，無法完全去除水中之有機污染物而符合水質標準，且其去除率亦不及活性炭有效，但若以混凝改善法降低水中有機污染物濃度，仍值得考慮採用。惟有關農藥原水之化學混凝改善方法，諸如添加有機高分子聚合物 (Polymer)、洗砂廢水、明礬污泥或黏土礦物 (Clay Mineral) 等物質，以利於形成優良膠羽而吸附去除水中農藥之文獻，幾付闕如實有進一步研究之必要。

通常混凝沉澱為原水中懸浮固體物 (濁度) 去除相當重要之預先處理，且對水中微量有機氯殺蟲劑亦可達到某些程度之去除率，若必須考慮將其降低至符合水質標準，則經混凝、沉澱及過濾後之上澄液，可能仍需再以活性炭吸附法處理，因而可視化學混凝法為水中農藥去除相當重要之前處理。若混凝沉澱之效果，可藉混凝改善法而符合水質標準，則其將為主要之淨水處理法；倘仍無法達水質標準，則其對水中農藥之去除率愈高，亦即所減少之農藥量愈多為不需經過活性炭處理者，而可減低活性炭之負荷，故能延長活性炭管柱 (Column) 之使用期限。

，則不僅可提高處理水質，並可擡節淨水處理成本及提高其實施之可行性。

三、研究方法概要

依據前述研究目的之需要，擬訂研究方針：1. 檢討傳統化學混凝法，對水中有機氯殺蟲劑之處理效果。2. 研究以混凝改善法對提高水中農藥去除率之可行性。3. 探討化學混凝法去除水中農藥之機構 (Mechanism)。本研究之試驗農藥為有機氯殺蟲劑阿特靈 (Aldrin) 和 P,P' DDE 兩種，試驗濃度分別為 100 ppb (高濃度)，10 ppb (低濃度)。農藥原水之混凝沈澱係採用瓶杯試驗 (Jar Test)，故經沈澱後上澄液之有機氯殺蟲劑殘留量及去除率，即代表其處理效果。

本研究主要試驗內容及步驟如下：

1. 農藥之吸附速率及吸附等溫線試驗

本試驗之目的，在於探討洗砂廢水及明礬污泥對於水中農藥之吸附速率和吸附能力 (利用吸附等溫線表示)，藉以明瞭化學混凝法去除水中農藥可能之機構，以及探討能否因吸附作用而增加對水中農藥之去除率。

2. 農藥原水之化學混凝基本試驗

- (1) 不同硫酸鋁加藥量對無濁度農藥原水之試驗。
- (2) 不同 P H 值對於低濁度、低濃度農藥原水之混凝試驗。
- (3) 不同硫酸鋁加藥量對農藥原水之試驗。

3. 農藥原水之化學混凝改善試驗

- (1) 不同聚合物併用硫酸鋁之混凝改善試驗。
- (2) 洗砂廢水併用硫酸鋁之混凝改善試驗。
- (3) 明礬污泥併用硫酸鋁之混凝改善試驗。

(有關試驗藥品、儀器設備、農藥原水之配製及農藥殘量之檢測與各項試驗步驟、方法等，詳如參考文獻⁽¹¹⁾)

四、實驗結果與討論

(一) 農藥之吸附速率及吸附等溫線試驗

1. 農藥之吸附速率試驗 (Rate of Adsorption)

本研究之洗砂廢水及明礬污泥，係分別採自某淨水廠快濾池之反沖洗砂廢水 (約反沖洗 1 Min 後之初沖水) 及沉澱池之底泥，其水質分析結果詳如表一。經分別利用上述之洗砂廢水及明礬污泥對於水中之有機氯殺蟲劑阿特靈 (Aldrin)、P,P' DDE 進行 48 Hr 之吸附速率試驗，結果如圖 1.2。

由上圖之吸附速率曲線，均顯示吸附作用於吸附初期相當顯著，至 8 小時後曲線由陡驟變為平緩，雖延至 48 Hr 間仍有微量吸附，但約 24 Hr 之吸附時間便已趨近於吸附平衡 (Equilibrium of Adsorption)。倘若被吸附質 (Adsorbate) 具有易於被吸附之特性，則初始時被吸附量較大，隨水中農藥殘量之減少而後期被吸附量較少。Schwar-

tz⁽¹²⁾ 曾指出 24 Hr 之吸附時間，可視為已趨近於吸附平衡。

2. 農藥之吸附等溫線試驗 (Adsorption Isotherm Test)

本吸附等溫線試驗，係分別以不同添加量之洗砂廢水及明礬污泥，對於含 Aldrin 及 P,P'DDE 兩種有機氯殺蟲劑之農藥原水進行試驗，藉以探討其對於水中農藥之吸附能力，俾為初步評估添加洗砂廢水或明礬污泥之化學混凝改善法可行性之依據。

本試驗於經 24 Hr 之吸附後再靜置沉澱 24 Hr，則上澄液所含之農藥，即可代表經吸附平衡後水中所殘留之溶解性農藥，試驗結果如圖 3.4，顯示隨吸附劑添加量之增加，水中農藥之殘量亦減少而漸趨近其平衡濃度。當吸附劑量較少時，水中農藥減少率較大；而吸附劑量增加時，水中農藥減少率漸趨於平緩。上述現象，可利用吸附等溫線式予以解釋。

吸附等溫線中最常使用之數學方程式有 Freundlich 式及 Langmuir 式兩種。Schwartz⁽¹²⁾ 指出於較低平衡濃度 (如 1.0 PPM) 時，Langmuir 式並不適用於表示活性炭對於低濃度農藥之吸附；而 Freundlich 式較適宜描述微量有機污染物 (包括農藥) 之吸附現象，因而本研究採用 Freundlich 式為推算之依據，將上述試驗結果整理如圖 5 及表二，顯示 Aldrin 比 P,P'DDE 易於被洗砂廢水和明礬污泥所吸附；而明礬污泥對有機氯殺蟲劑 Aldrin 和 P,P'DDE 之吸附力均較洗砂廢水為大。若就相同之吸附平衡濃度 (C_e 值) 而言，明礬污泥之 X/M 值 (單位重量吸附劑所吸附之農藥量) 較大，且因其 S·S 含量甚高 (如 115,870 mg/l)，因而僅需添加少量即可對水中有機氯殺蟲劑產生良好之吸附效果；而洗砂廢水之 X/M 值較低，且因 S·S 含量較低 (如 2,795 mg/l)，故需添加較多量方能產生良好之吸附效果。

(二) 農藥原水之化學混凝基本試驗

1. 無濁度農藥原水之混凝

本試驗利用無濁度之原水以代表由硫酸鋁所形成的氫氧化鋁膠羽之吸附能力，結果如圖 6，顯示 6 ~ 15 mg/l 之硫酸鋁加藥量對高濃度 (如 50 ~ 60 ppb) 之農藥原水，其去除率約 40 ~ 65 %；但對低濃度 (如 4 ~ 7.5 ppb) 之農藥原水，其去除率僅約 30 ~ 45 %，可見硫酸鋁對高濃度農藥之去除率，比低濃度者稍高些。

2. PH 值對農藥原水混凝之影響

本試驗以 6 mg/l 之硫酸鋁加藥量，對於低濁度 (20 NTU)、低農藥濃度 (10 ppb) 之原水，採用不同 PH 值 (PH = 5 ~ 10) 進行混凝試驗，結果如圖 7。顯示適宜 Aldrin 混凝去除之 PH = 6.0 ~ 7.6，而適合 P,P'DDE 者為 PH = 6.0 ~ 8.0，其中於 PH = 6.0 時對 Aldrin 和 P,P'DDE 可兼得最佳去除率。本試驗適宜濁度去除之 PH = 6.5 ~ 8.0，其中以 PH = 7.0 時效果最佳。

Hall and Packham⁽¹³⁾ 指出硫酸鋁於 PH = 5 ~ 6 時對腐植酸 (as TOC) 之去除率最佳。Kavanaugh⁽⁵⁾ 認為對於濁度與 TOC 之去除，兩者之最佳 PH 值未必相同，其中前者較後者略高。本試驗結果，概與上述文獻結果類似。

3. 硫酸鋁加藥量對農藥原水混凝之影響

本試驗目的在於探討不同硫酸鋁加藥量對於農藥原水混凝效果之影響。由圖 8，顯示若為低濁度、低濃度農藥之原水，則硫酸鋁 15 mg/ℓ 對 Aldrin 和 P, P' DDE 之去除率分別為 69.4 % 及 71.0 %；若加藥量增為 20 mg/ℓ 則上述之去除率分別為 65.9 % 及 75.4 %；但當加藥量超過 30 mg/ℓ 以上時，由於試驗原水中鹼度不足，PH 值降低而不利於混凝，故上澄液之濁度增高且有機氯殺蟲劑之去除率亦降低。可見低濁度低鹼度且低農藥濃度之原水，為最難以混凝去除農藥者。

當原水為低濁度、高鹼度時，可考慮添加較高量之混凝劑，藉以產生掃除膠羽 (Sweep Flocc) 之沉澱絆除作用⁽¹⁴⁾ (Enmeshment in a precipitate)，但因氫氧化鋁膠羽吸附農藥之能力可能不高，雖有相當多量之膠羽，但僅能增加某些程度之去除率，對微量溶解態之有機氯殺蟲劑，仍不易於有效去除。

由圖 9，顯示對高濁度、高濃度農藥之原水，硫酸鋁之最佳加藥量為 15 mg/ℓ，不僅對 Aldrin 及 P, P' DDE 皆達 90 % 左右之去除率，且對濁度亦具有 97 % 之去除率。因而與低濁度、低濃度之農藥原水相比較，顯然化學混凝法對高濃度農藥易於獲得較高之去除率。事實上對於高濃度之農藥原水 (如 100 ppb)，即使高達 90 % 之去除率，混凝沉澱後之上澄液中仍殘存有 10 ppb 之農藥；而低濃度之農藥原水 (如 10 ppb)，雖只有 65 ~ 75 % 之去除率，其上澄液中僅殘存 2.5 ~ 3.5 ppb 之農藥。因而農藥之去除率雖為化學混凝效果之重要指標；惟處理水之農藥殘量多寡，更值得吾人加以重視。

(二) 農藥原水之化學混凝改善法試驗

1. 三種聚合物併用硫酸鋁之混凝改善法試驗

本研究分別以陽性、中性、陰性三種有機高分子聚合物併用硫酸鋁，對於高、低濁度，高、低農藥濃度之四種不同原水進行試驗，以探討添加聚合物作混凝改善之可行性，試驗結果整理如表三及圖 10 ~ 13，顯示對於低濃度之農藥原水，可考慮採用中性聚合物併用硫酸鋁，以提高有機氯殺蟲劑之去除率 (對 P, P' DDE 比 Aldrin 有效)；至於高濃度之農藥原水，上述三種聚合物併用硫酸鋁顯然比單獨使用硫酸鋁或 PAC 時之去除率還低，故皆不具混凝改善之效。

以有機高分子聚合物併用硫酸鋁之化學混凝改善試驗，並未能達成預期之目標，可能係因高分子聚合物本身對有機氯殺蟲劑之吸附力較低且架橋 (Bridging) 作用亦不佳，故有時反而會造成上澄液濁度之增加而降低對有機氯殺蟲劑之去除率。

2. 洗砂廢水併用硫酸鋁之混凝改善法試驗

本試驗係以洗砂廢水添加於低濁度、低濃度之農藥原水中，並維持硫酸鋁之加藥量，以探討淨水廠若迴流洗砂廢水至原水中，對提高農藥去除率之可行性。試驗結果如表四及圖 14，顯示倘添加 1 ~ 10 % 之洗砂廢水量至農藥原水中，並配合硫酸鋁之加藥量，較單獨使用硫酸鋁，對 Aldrin 之相對去除率可提高 14.6 % ~ 76.0 %；而對 P, P' DDE 之相對去除率亦可增加 20.0 % ~ 64.5 %。顯示洗砂廢水之添加對於農藥原水具混凝改善之效，惟因洗砂廢水所含之 S、S 量較低，故其所需迴流之水量較大，而於實際應用之可能性並不大。

3. 明礬污泥併用硫酸鋁之混凝改善法試驗

本試驗仍維持硫酸鋁之加藥量，但改採用明礬污泥添加於低濁度、低濃度之農藥原水中，以探討淨水廠若迴流明礬污泥於原水中，對提高農藥去除率之可行性。試驗結果如表五及圖15，顯示倘添加0.1~0.5%之明礬污泥量至農藥原水中，並配合硫酸鋁之加藥量，較單獨使用硫酸鋁，對Aldrin之相對去除率可提高33.0~83.5%，而對P,P'DDE之相對去除率亦可增加41.0~69.3%。顯示明礬污泥之添加對於農藥原水之混凝改善有顯著效果，且因其所含之S、S量甚高，故所需之迴流量較少，而頗具實施可行性。

四 混凝對有機氯殺蟲劑去除機構之探討

化學混凝法去除水中微量之有機氯殺蟲劑，其處理效率良否，應與有機氯殺蟲劑本身之性質⁽¹⁵⁾及其對水之溶解度具有密切之關係。傳統式化學混凝法普遍對水中有機氯殺蟲劑之處理效果不彰，可能係因氫氧化鋁膠羽本身對有機氯殺蟲劑之吸附力不大或原水濁度太低之故。由於有機氯殺蟲劑為非離子性（不帶電荷），且化學性質相當安定，故無法利用混凝劑（如硫酸鋁）添加所產生之電性中和作用而破壞其穩定性。因大多數有機氯殺蟲劑幾乎不溶於水且具有較高之疏水性⁽¹⁵⁾，故可能對懸浮於水中之濁度、膠體等之顆粒表面，具有較大之親和力（Affinity），故易因吸附作用而附著於顆粒上⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾，再經混凝沉澱而去除⁽⁴⁾⁽⁸⁾⁽¹⁶⁾。此可能為高濃度之農藥原水可藉傳統式化學混凝法而獲得較高去除率的原因。至於低濃度之農藥原水由於較接近（或小於）其對水之溶解度，故農藥分子可能係大多數（或全部）以溶解性之狀態均勻分佈於水中，同時因對水中顆粒表面的親和力減少，故其去除率通常較低。

由於有機氯殺蟲劑被吸附去除之現象，符合Freundlich 吸附等溫線方程式，且其吸附等溫線之斜率相當陡峻，因此於高濃度之農藥原水（即水中之吸附平衡濃度 C_e 值較高），其對應之 X/M 值（單位重量吸附劑所吸附之農藥量）較大，故僅需添加少量之吸附劑即易於達到相當高之去除率。反觀低濃度時（ C_e 值較低）所對應之 X/M 值甚低，因而需添加大量之吸附劑，亦可顯示低濃度農藥不易有較高之去除率。

由於有機氯殺蟲劑具有易被吸附於濁度表面之特性，因此若淨水廠將洗砂廢水或明礬污泥，抽取部份予以迴流至快混池中，可提高原水之濁度與氫氧化鋁膠羽之濃度，並藉快混及慢混之攪拌而增加與水中有機氯殺蟲劑接觸吸附之機會，則將能增加有機氯殺蟲劑附著於濁度或膠羽表面之比例，而有利於沉澱去除。通常高濁度比低濁度原水之混凝效果為佳，倘若混凝條件控制適宜，當可形成相當多沉降性良好之膠羽，而隨著膠羽之沉澱與濁度之去除，則水中之有機氯殺蟲劑可能達到較高之去除率，故本研究所採用之洗砂廢水或明礬污泥迴流於原水中，皆具有提高水中有機氯殺蟲劑之去除率而產生混凝改善（Modified Coagulation）之效益。惟因明礬污泥所需之添加量遠低於洗砂廢水量，故較具實際應用之可行性。

五、結 論

1. 傳統式化學混凝法普遍對於水中有機氯殺蟲劑之處理效果不彰，可能係因原水濁度較低且氫

氧化鋁膠羽之吸附力不大之故。

2. 有機氯殺蟲劑幾乎不溶於水（具疏水性作用），而對於水中之濁度表面頗具親和力。通常高濃度農藥在水中大都係吸附於濁度之表面；而低濃度農藥有一部份係以自由態溶於水中。由於化學混凝對濁度去除相當有效，故高濃度農藥可獲得較高之去除率；但化學混凝對溶解性有機物不易於去除，故對於低濃度農藥之去除率較低。
3. 以化學混凝法去除水中之有機氯殺蟲劑，適合阿特靈（Aldrin）和P, P' DDE之混凝去除PH範圍約為6.0 ~ 8.0，其中去除率最高者為PH = 6.0。
4. 各種含農藥之原水中，以低濁度、低鹼度、低農藥濃度者，最難以混凝去除。通常低濁度不易於混凝，倘欲藉加入大量硫酸鋁以形成掃除膠羽而產生沉澱絆除作用，則可能因水中鹼度不足，導致PH值遽降而不利於混凝，則農藥與濁度之去除率皆不佳。
5. 以三種（陽、中、陰性）有機高分子聚合物併用硫酸鋁，對水中有機氯殺蟲劑之去除未達預期混凝改善之目標；僅於低濃度之農藥原水可考慮採用中性（非離子型）聚合物，以兼具提高有機氯殺蟲劑及濁度去除率之效。
6. 洗砂廢水及明礬污泥皆可吸附水中之有機氯殺蟲劑Aldrin和P, P' DDE。其中明礬污泥之吸附力較洗砂廢水為高（單位重量之吸附劑乾基）；而Aldrin比P, P' DDE易於被上述兩種物質所吸附。前述諸吸附現象均適合以Freundlich吸附等溫線表示。
7. 以明礬污泥併用硫酸鋁，兼可提高原水濁度而增加混凝效果，且明礬污泥對水中有機氯殺蟲劑之吸附力較大，故倘迴流明礬污泥於農藥原水中，可能將頗具混凝改善之效。
8. 利用化學混凝改善法，雖仍難達於1980年EPA水質標準⁽¹⁹⁾，惟仍可有效去除水中之有機氯殺蟲劑。藉明礬污泥之再利用，可有效減低活性炭處理之負荷，以撙節淨水處理成本，故為微量有機氯殺蟲劑去除法中，具實施可行性之前處理法。
9. 本研究係採用兩種不溶性之有機氯殺蟲劑進行化學混凝試驗，惟目前本省使用之農藥中有些是水溶性（如有機磷殺蟲劑），其性質迥異，有待繼續探討。

六、參考文獻

1. 蔣本基、曾四恭、於幼華、劉福智“台北公共給水水源中有害物質調查及處理技術研究”國立台灣大學環境工程學研究所，民國七十四年三月。
2. Tseng Szu Kung “Removal of Lindane from Water by Activated Carbon in the bisolute adsorption System” Graduate Institute of Environmental Engineering, National Taiwan University.
3. Edwards C. A “Persistent Pesticides in the Environment” London, Butterworths, (CRC) Monoscience Series, 1970.
4. Thebault. P, Cases J.M and Fiessinger. F. “Mechanism Underlying The Removal of Organic Micropollutants During Flocculation by An Aluminum or Iron Salt,” Water Research, Vol.15, P 183-189, 1981.
5. Kavanaugh, M.C. “Modified Coagulation for Improved Removal of Tri-

- halomethane Precursors " J. AWWA, P 613-620, November 1978.
6. Carollo J.A " The Removal of DDT from Water Supplies " J. AWWA, Vol.37, No.12, P 1310-1317, 1945.
 7. Whitehouse, J.D " A Study of The Removal of Pesticides from Water " , Kentuchy Water Resources Inst. 1967.
 8. Cater, C.W and Suffet I.H " Binding of DDT to Dissolved Humic Materials " Environ. Sci. Technol, Vol.16, No.11, P 735-740, 1982.
 9. Robeck G.G, Dostal k.A., Chohen J.M and Kreissi J.F " Effectiveness of Water Treatment Processes in Pesticide Removal " J.AWWA, Vol. 57, P 181-199, 1965.
 10. Cohen, J.J et al. " Effect of Pesticide Poisons on Water Supplies (Part 1) " J.AWWA, Vol.52, No.12, P 1551, 1960.
 11. 曾四恭、王珏 " 化學混凝法去除水中農藥之研究 " 國立台灣大學環境工程學研究所，民國七十四年六月。
 12. Schwartz, H.G. Jr. " Adsorption of Selected Pesticide on Activated Carbon and Mineral Surfaces " Environmental Science and Technology, Vol.1, No.4, P 332-337, 1967.
 13. Hall E.S and Packham, R.F " Coagulation of Organic Color With Hydrolyzing Coagulants " J.AWWA, Vol.57, No. 9, P 1149, 1965.
 14. Weber, W.J " Physicochemical Processes for Water Quality Control " Chapter 2 " Coagulation and Flocculation " , P 61-109, John Wiley & Sons, Inc. 1972.
 15. Edwards C.A " Environmental Pollution by Pesticide " Chapter 11, " Pesticides Residues in Soil and Water " , Environmental Science Research Series, 1973.
 16. Huang J.C " Organic Pesticides in the Aquatic Environment " Water & Sewage Works, Vol. 118, No.5, P 139-144, 1971.
 17. Liao, M.Y " Removing Soluble Organic Contaminants from Water Supplies by Lime Softening " PHD Thesis, P 24-28, University of Illinois, 1984.
 18. Karickhoff, S.W " Organic Pollutant Sorption in Aqueous Systems " ASCE, Hydraulic Division, Vol 110, No.6, P 707-733, 1984.
 19. " U.S. Federal Register " Vol.45, No.231, November 28, 1980.

七、誌 謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會提供研究經費，使本文得以順利完成，謹此由衷致謝。

表一 洗砂廢水及明礬污泥之水質概況表

水質分析項目		洗砂廢水 (快濾池)	明礬污泥 (沉澱池)
PH 值		7.02	6.62
濁度 (NTU)		170	—
S · S (mg/l)		2,795	115,870
含水率 (%)		99.73	89.43
乾固體物百分率 (%)		0.27	10.57
COD (mg/l) *		22	124
TOC (mg/l) *		6.4	48
* 金 屬 類	Ca (mg/l)	9.0	46
	Mg (mg/l)	3.1	18
	Fe (mg/l)	N · D	N · D
	Mn (mg/l)	0.1	15
	Al (mg/l)	N · D	N · D
	Zn (mg/l)	0.07	0.12
	Cu (mg/l)	N · D	N · D
	Pb (mg/l)	N · D	N · D
	Cr (mg/l)	N · D	N · D

* : 金屬類 (採用A·A) 及COD、TOC 之測定值, 係以通過0.45 μm濾紙之濾液為依據。(74.4.1採樣)

表二 洗砂廢水及明礬污泥對農藥吸附平衡式之比較

被 吸 附 劑	有 機 氣 殺 蟲 劑	
	阿 特 靈 (Aldrin)	P, P' DDE
洗砂廢水	$\frac{X}{M} = 10^{-5.12} \times Ce^{0.244}$	$\frac{X}{M} = 10^{-6.33} \times Ce^{0.217}$
明礬污泥	$\frac{X}{M} = 10^{-1.79} \times Ce^{0.178}$	$\frac{X}{M} = 10^{-2.42} \times Ce^{0.172}$
備 註	上述方程式為 Freundlich 吸附平衡式, 式中 $\frac{X}{M} = \mu\text{g 農藥} / \text{mg 吸附劑 (乾固體物重)}$ Ce = 農藥之吸附平衡濃度 (ppb)	

表三 不同聚合物併用硫酸鋁之混凝改善法試驗

原水 濁度 NTU	混凝劑 及加藥量 (mg/ℓ)	助凝劑 (polymer) 及加藥量 (mg/ℓ)	高濃度農藥原水		低濃度農藥原水	
			[Aldrin(ppb)] (%去除率)	[P,P'DDE (ppb)] (%去除率)	[Aldrin(ppb)] (%去除率)	[P,P'DDE (ppb)] (%去除率)
20	PAC 10 mg/ℓ	—	[13.417] (86.58)	[13.239] (86.76)	[2.821] (71.79)	[2.137] (78.63)
20	Alum 6 mg/ℓ	—	[14.275] (85.73)	[12.416] (87.58)	[3.029] (69.71)	[2.517] (74.83)
20	Alum 6 mg/ℓ	陽性 0.1 mg/ℓ	[20.955] (79.05)	[19.203] (80.80)	[2.589] (74.11)	[1.919] (80.81)
20	Alum 6 mg/ℓ	中性 0.1 mg/ℓ	[16.803] (83.20)	[24.899] (75.10)	[2.286] (77.14)	[1.485] (85.15)
20	Alum 6 mg/ℓ	陰性 0.1 mg/ℓ	[19.729] (80.27)	[22.237] (77.76)	[2.411] (75.89)	[1.702] (82.98)
100	PAC 24 mg/ℓ	—	[6.674] (93.33)	[4.000] (96.00)	[1.328] (86.72)	[2.148] (78.52)
100	Alum 15 mg/ℓ	—	[8.529] (91.47)	[5.792] (94.21)	[1.541] (84.59)	[1.810] (81.90)
100	Alum 15 mg/ℓ	陽性 0.5 mg/ℓ	[10.812] (89.19)	[6.386] (93.61)	[1.727] (82.73)	[0.789] (92.11)
100	Alum 15 mg/ℓ	中性 0.5 mg/ℓ	[12.130] (87.87)	[9.852] (90.15)	[1.727] (82.73)	[1.000] (90.00)
100	Alum 15 mg/ℓ	陰性 0.5 mg/ℓ	[15.034] (84.97)	[16.039] (83.69)	[1.587] (84.13)	[1.139] (88.86)
備註	農藥原水: PH=7.60, 高濃度農藥: Aldrin=100ppb, P,P'DDE=100ppb。 低濃度農藥: Aldrin=10ppb, P,P'DDE=10ppb。 (%去除率): 代表農藥之總去除率(%), [(ppb)]: 代表上澄液之農藥濃度(ppb)					

表四 添加洗砂廢水對農藥原水之混凝改善

瓶	杯	編號	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	
混凝 條件		硫酸鋁加藥量(mg/ℓ)	6	6	6	6	6	6	
		洗砂廢水添加量 佔原水之百分率	0	1	2	3	5	10	
上 澄 液 分 析		濁度(NTU)	2.6	2.2	1.6	2.1	1.9	3.4	
		濁度去除率(%)	87.0	89.0	92.0	89.5	90.5	83.0	
		PH 值	7.28	7.28	7.26	7.18	7.15	7.14	
	有機 氯 殺 蟲 劑		Aldrin (ppb)	1.250	1.068	0.750	0.373	0.323	0.300
			相對去除率(%)	0	14.56	40.00	70.16	74.16	76.00
			總去除率(%)	87.50	89.32	92.50	96.27	96.77	97.00
			P,P'DDE (ppb)	1.477	1.182	1.046	0.810	0.619	0.524
		相對去除率(%)	0	19.97	29.18	45.16	58.09	64.52	
	總去除率(%)	85.23	88.18	89.54	91.90	93.81	94.76		
備註	原水: PH=7.60, 濁度=20NTU, T=17°C。農藥: Aldrin 10ppb, P,P'DDE=10ppb 相對去除率: 相對於Blank之去除率。 總去除率: 相對於原先添加濃度之去除率。								

表五 添加明礬污泥對農藥原水之混凝改善

瓶 杯 編 號		# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
混凝條件	硫酸鋁加藥量 (mg/l)	6	6	6	6	6	6
	明礬污泥添加量佔原水之百分率 (%)	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5
上澄液分析	濁度 (NTU)	2.7	2.5	3.4	4.0	4.4	6.3
	濁度去除率 (%)	86.5	87.5	83.0	80.0	78.0	68.5
	P.H 值	6.99	6.94	6.94	7.00	6.94	6.95
有機氯殺蟲劑	Aldrin (ppb)	2,035	1,990	1,364	1,125	0,391	0,336
	相對去除率 (%)	0	2.21	32.97	44.72	80.79	83.49
	總去除率 (%)	79.65	80.10	86.36	88.75	96.09	96.64
	P,P'DDE (ppb)	2,636	1,737	1,553	1,227	0,833	0,810
	相對去除率 (%)	0	34.10	41.08	53.45	68.40	69.27
總去除率 (%)	73.64	82.63	84.47	87.73	91.67	91.90	
備註	原水: PH=7.60, 濁度=20NTU, T=19.5°C。農藥: Aldrin=10ppb, P,P'DDE=10ppb。 相對去除率: 相對於Blank之去除率。 總去除率: 相對於原先添加濃度之去除率。						

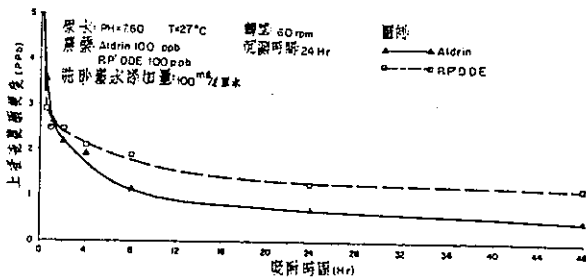


圖 1 洗砂廢水對有機氯殺蟲劑之吸附速率

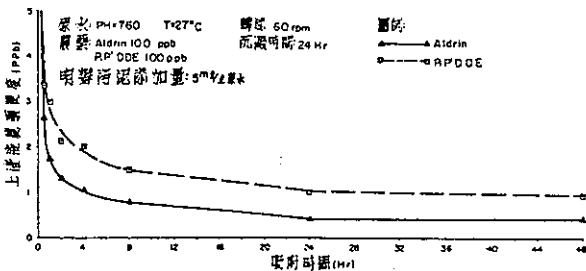


圖 2 明礬污泥對有機氯殺蟲劑之吸附速率

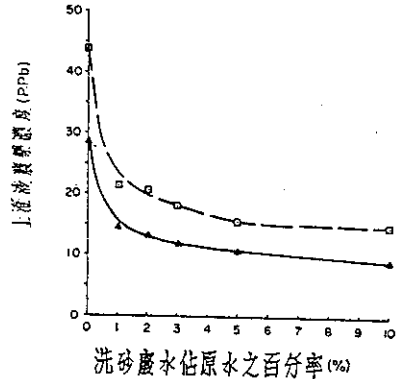
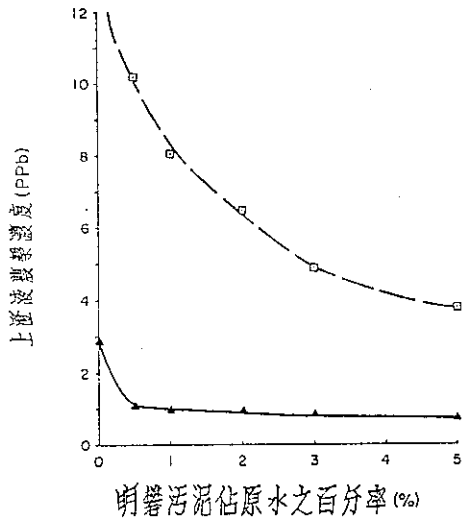


圖 3 不同洗砂廢水添加量對農藥之吸附



原水: PH=7.60 T=22°C
 農藥: Aldrin=10 PPb PP'DDE=100 PPb
 吸附時間: 24 Hr 轉速: 130 rPM

圖例: —▲— Aldrin -□- PP'DDE

圖 4 不同明礬污泥添加量對農藥之吸附

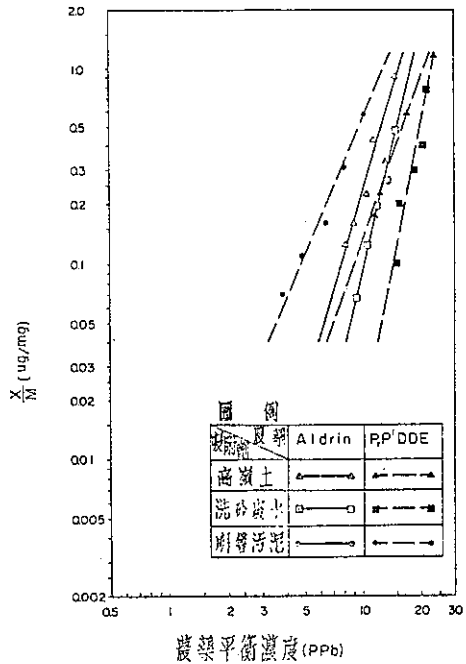
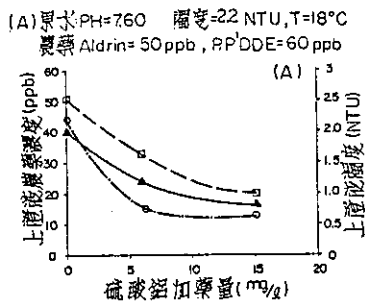
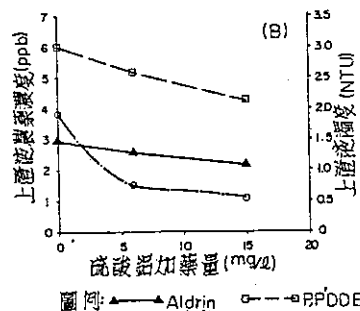


圖 5 農藥與固相等濃度之比較

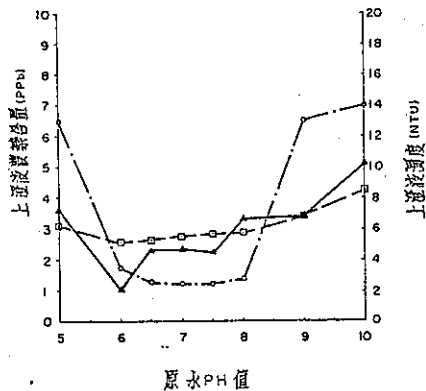


(A) 原水 PH=7.60 濁度=22 NTU, T=18°C
 農藥 Aldrin=50 ppb, PP'DDE=60 ppb



(B) 原水 PH=7.60 濁度=1.9 NTU, T=16°C
 農藥 Aldrin=4 ppb PP'DDE=7.5 ppb

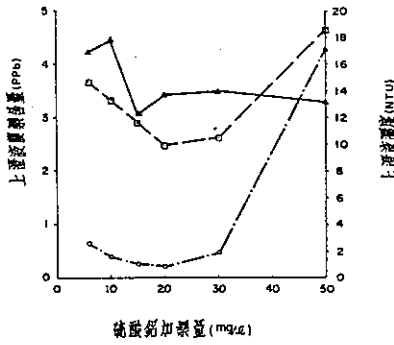
圖 6 不同明礬污泥添加量對低濃度農藥之吸附及原水之濁度影響



原水: PH=7.6 濁度=20 NTU, T=27°C
 農藥 ALDRIN=10 ppb PP'DDE=10 ppb
 明礬添加量=5 mg/l

圖例: ○—○— 濁度 (NTU)
 ▲—▲— ALDRIN
 □—□— PP'DDE

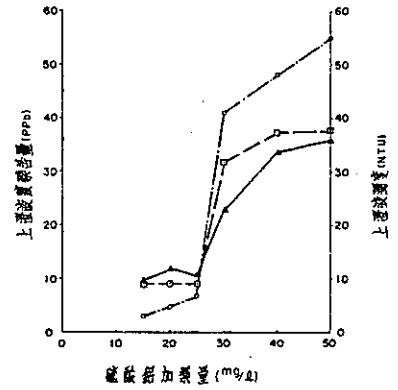
圖 7 不同 pH 值對於低濁度低濃度農藥原水之混濁沉澱



原水: PH=7.6, 濁度: 20NTU, T=19°C
 農藥 ALDRIN=10ppb, P,P'DDE=10ppb

圖例: ○—○ 濁度 (NTU)
 ▲—▲ ALDRIN
 □—□ P,P'DDE

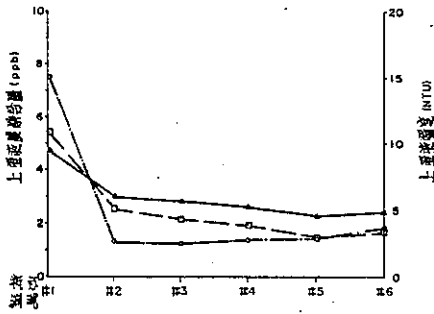
圖8 不同硫酸鋁加藥量對低濁度低濃度農藥原水之混凝沉澱



原水: PH=7.6, 濁度: 100NTU, T=17.5°C
 農藥 ALDRIN=100ppb, P,P'DDE=100ppb

圖例: ○—○ 濁度 (NTU)
 ▲—▲ ALDRIN
 □—□ P,P'DDE

圖9 不同硫酸鋁加藥量對高濁度高濃度農藥原水之混凝沉澱



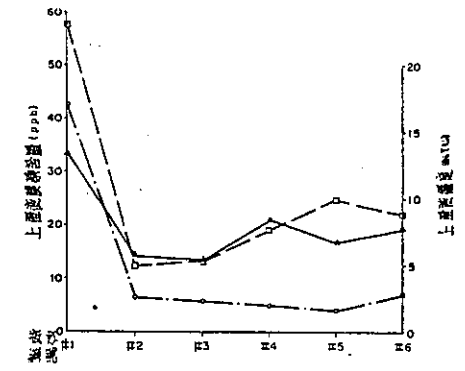
混凝劑	ALUM	PAC	ALUM	ALUM	ALUM
加藥量	6 mg/L	10 mg/L	6 mg/L	6 mg/L	6 mg/L
助凝劑	—	—	陽性 POLYMER 0.1 mg/L	中性 POLYMER 0.1 mg/L	陰性 POLYMER 0.1 mg/L
加藥量	—	—	—	—	—

原水 PH=7.60, 濁度: 20NTU, T=20°C

農藥 ALDRIN=10ppb, P,P'DDE=10ppb

圖例: ○—○ 濁度
 ▲—▲ ALDRIN
 □—□ P,P'DDE

圖10 低濁度低濃度農藥之混凝沉澱



混凝劑	ALUM	PAC	ALUM	ALUM	ALUM
加藥量	6 mg/L	10 mg/L	6 mg/L	6 mg/L	6 mg/L
助凝劑	—	—	陽性 POLYMER 0.1 mg/L	中性 POLYMER 0.1 mg/L	陰性 POLYMER 0.1 mg/L
加藥量	—	—	—	—	—

原水 PH=7.60, 濁度: 20NTU, T=18°C

農藥 ALDRIN=100ppb, P,P'DDE=100ppb

圖例: ○—○ 濁度
 ▲—▲ ALDRIN
 □—□ P,P'DDE

圖11 低濁度高濃度農藥之混凝沉澱

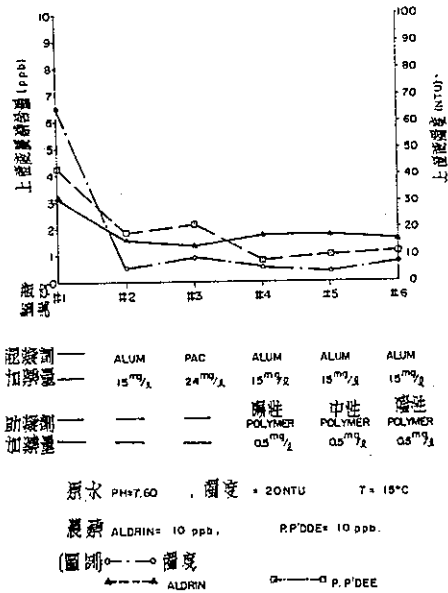


圖12 添加砂改善河流水質之濃藥改善

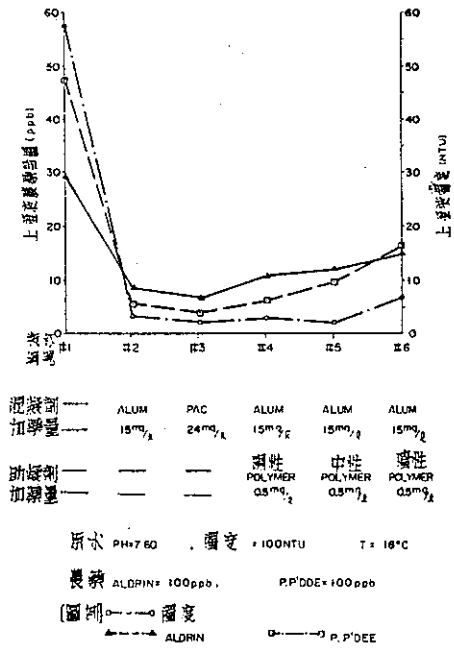


圖13 添加高分子藥酸改善河流水質之濃藥改善

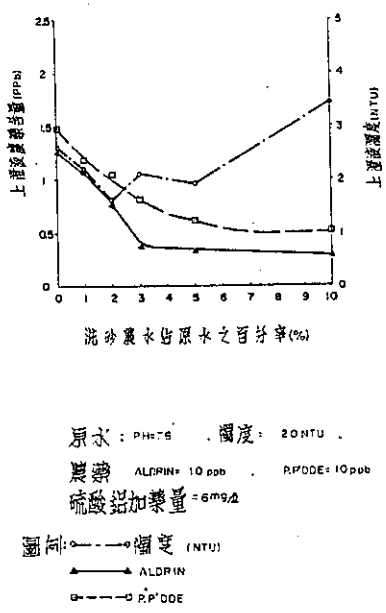


圖14 添加砂改善河流水質之濃藥改善

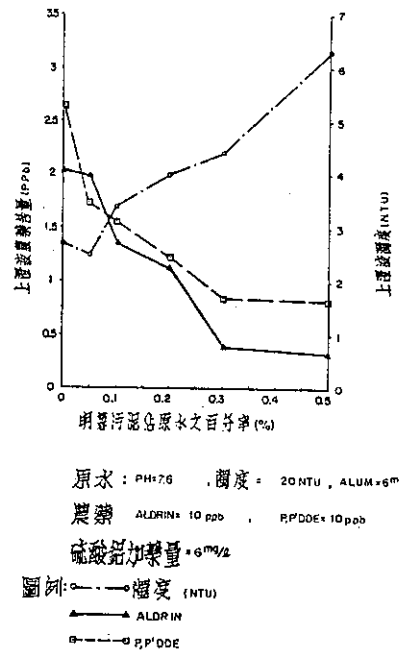


圖15 添加高分子藥酸改善河流水質之濃藥改善