

生物性凝聚劑在淨水處理之應用

*張嫻茹，**李篤中，***陳曼莉，****羅裕國

*國立臺灣大學 研究助理，

**國立臺灣大學 教授

***臺北自來水事業處 副處長

****臺北自來水事業 正工程司

摘要

近年由於環境荷爾蒙對人體健康的影響，環境荷爾蒙之相關議題受到愈來愈多之關注。環境荷爾蒙 (Environmental Hormones, EHs) 為來自體外進入生物體內的化學物質，干擾內分泌系統，又被稱為「內分泌干擾物質」 (Endocrine Disrupting Compounds, EDCs)。本研究取新店溪之原水做為背景水源，並於其中添加環境荷爾蒙雌酮及雌二醇，以加強添加混凝劑及活性炭劑量之方式，探討特定污染物之去除率，以了解粉狀活性炭對於特定污染物之吸附去除模式及效率等。在研究中發現只有混凝劑 (PACl) 對於雌酮及雌二醇移除效果有限，增加活性炭 (Activated carbon) 可以有效提高移除率，其中雌酮移除效果大於雌二醇 (75% > 51%)。而混凝劑與活性炭先後添加順序會影響環境賀爾蒙移除率，並於界達電位接近等電點時，雖有較多膠羽沉澱，但對於雌酮去除率會出現反折點，得到較低的移除率，需過量加藥翻轉電性，提高移除率。連續快混實驗模擬青潭取水口添加活性炭，至長興分水井即可有效的移除 E1, E2。

前言

直潭場的處理程序屬傳統淨水流程之混凝、沉澱、過濾及消毒，可有效去除水中污染物及雜質如濁度及微生物等，但在原水遭受化學性污染如新興污染物、環境荷爾蒙或內分泌干擾物質等溶解性及微量化學物質時，傳統水處理流程的去除率即受到嚴格之挑戰，此時，增建高級處理程序以針對特定污染物質進行處理即變得重要。然而建設非一朝一夕可以完成，特別是對直潭場這種大型水處理場而言，更非短期的因應方法，因此直潭場的原處理程序是否可以因操作方式的改進，如加強混凝或增加前加氣量等方式，甚至如先前對應藻毒之方式以短期但少量的於原水中添加粉狀活性炭，對污染物進行暫時性控制的可行性則變得重要。

研究內容

有鑑於以上研究背景之說明，本研究取新店溪之原水做為背景水源，並於其中添加環境荷爾蒙雌酮及雌二醇，以加強添加混凝劑及活性炭劑量之方式，探討特定污染物之去除率，以了解粉狀活性炭對於特定污染物之

吸附去除模式及效率等

工作方法及步驟

(一) 瓶杯試驗

實驗之方式採杯瓶試驗，攪拌用的混凝槽為邊長 11.5cm、高 21cm 的方形槽，攪拌器為長 7.5cm、寬 2.5cm 的片狀槳葉(LOCAL, JT)。為模擬粉狀活性炭(預設 10、30、50 ppm 之添加量)於淨水場上游取水口(直潭取水口及青潭堰)投放的吸附效果，及了解單位吸附量、吸附機制及動力學模式等資訊，將含有配置 E1 (2 ng/L), E2 (1 ng/L) 特定污染物之原水 2 公升置於六個方型攪拌槽內，以 120 rpm 之轉速持續攪拌，並於 0、20 (模擬直潭取水口至直潭場沉砂池之流程時間)、40、60、80、120 (模擬青潭堰至長興場分水井之流程時間) 分鐘之時間點取樣，分析樣品中特定污染物之濃度。

有關混凝劑(PACl)劑量之變化實驗分別分為混凝劑加於粉狀性碳加入前或加入後兩種，其目的為試驗混凝劑之操作是否對活性炭吸附造成影響。

(二) 粉狀活性炭

本計畫採用褐煤由臺北自來水事業處提供 (Hydroarco M, CABOT, U.S.A)，活性炭的特性如表 1。

表 1 活性炭特性表

	褐煤
BET 比表面積, m ² /g	464.25±3.62
微孔體積, cm ³ /g	0.1496
中、粗孔體積, cm ³ /g	0.4358
平均孔隙孔徑	46.29
碘值, mg/g	>550
價格, NTD/Kg	140

為方便模式應用，故將所有活性炭一律均先通過過篩程序使活性炭粒徑一致。方法為使用 200 mesh 之標準篩，手動過篩取其最後通過 200 mesh 篩網之樣品，粒徑大小約在 0.075mm 以下。

(三) 原水來源

原水的水源位在新店區青潭堰，由臺北市自來水事業處於 109 年 1 月 6 日提供，相關水質資料如表 2 所示。

表 2 原水水質數據

項目	數值
pH	7.5
濁度(NTU)	2.7
氯鹽(mg/L)	3.03
總溶解固體(mg/L)	58
大腸桿菌(CFU/100 mL)	240
總菌落數(CFU/100 mL)	1800
總有機碳(mg/L)	0.3
總鹼度(mg/L)	29.2
導電度(mg/L)	89
總硬度(mg/L)	36.3
鈣(mg/L)	10.3
鎂(mg/L)	2.6

結果與討論

(一) PACl 混凝去除

120 rpm 快混 3 分鐘加入 PACl → 30 rpm 慢混 10 分鐘 → 靜置 10 分鐘。

E1

隨著混凝劑 PACl 劑量增加，E1 移除率也增加，但在劑量 PAC 10ppm 後移除率增加幅度不大，故後續實驗以 PAC 10ppm 為最佳混凝劑劑量，搭配不同濃度活性炭，探討對於 E1 吸附效果。

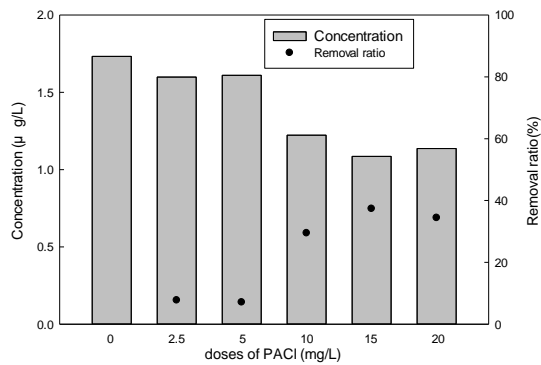


圖 1 E1 移除率 (PACI 快混 3 分鐘)

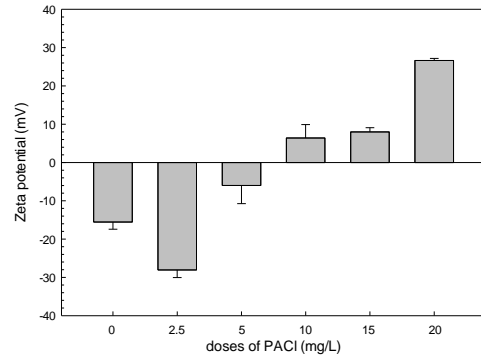


圖 4 E2 界達電位 (PACI 快混 3 分鐘)

(二) 快混條件 PACI/AC 去除效果
120 rpm 快混 3 分鐘(分 2 階段：先加入 PAC 快混 1.5 分鐘再加入活性炭 10ppm 快混 1.5 分鐘) → 30 rpm 慢混 10 分鐘 → 靜置 10 分鐘。

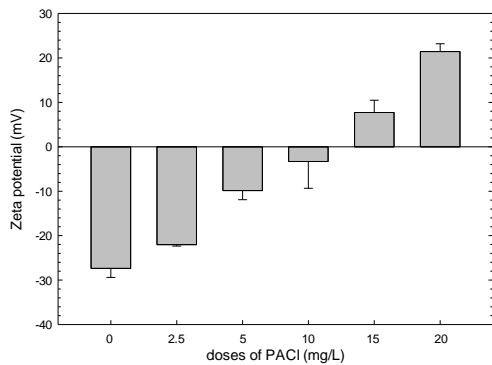


圖 2 E1 界達電位 (PACI 快混 3 分鐘)

E2

隨著混凝劑 PACI 劑量增加，E2 去除率也增加，但在劑量 PACI 10ppm 後去除率增加幅度不大，故後續實驗以 PAC 10ppm 為最佳混凝劑劑量，搭配不同濃度活性炭，探討對於 E2 吸附效果。

E1

圖 5 在 PACI 5ppm 條件下發生移除率反轉現象，搭配界達電位(圖 6)顯示在 PACI 5ppm 接近等電點，且產生大膠羽，導致降低 E1 去除率。若過量加藥翻轉電性，但不會降低去除率。

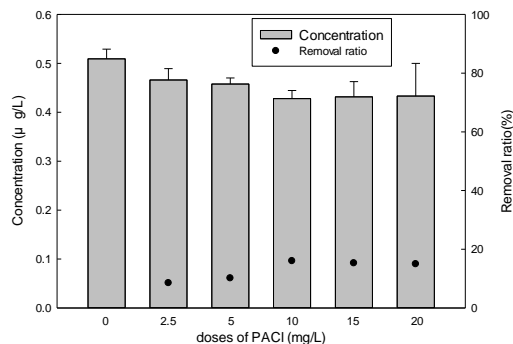


圖 3 E1 移除率 (PACI 快混 3 分鐘)

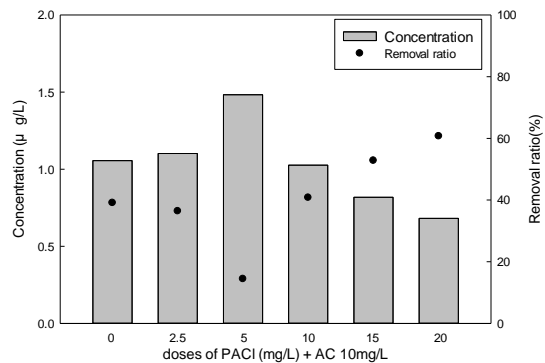


圖 5 E1 移除率(PACI+AC 快混 3 分鐘)

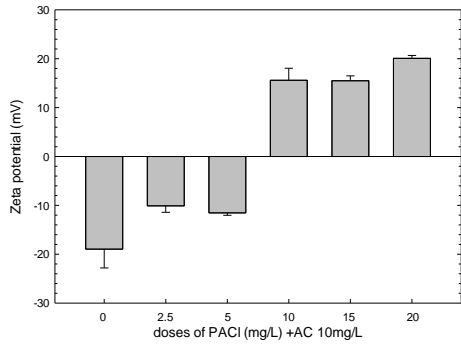


圖 6 E1 界達電位(PACI+AC 快混 3 分鐘)

為確認是否為凝膠顆粒影響 E1 移除率，先將原水經 $0.45 \mu\text{m}$ 過濾，將原水中的顆粒去除，再經由不同加藥量測量 E1 移除率，其加藥去除率反轉現象消失。

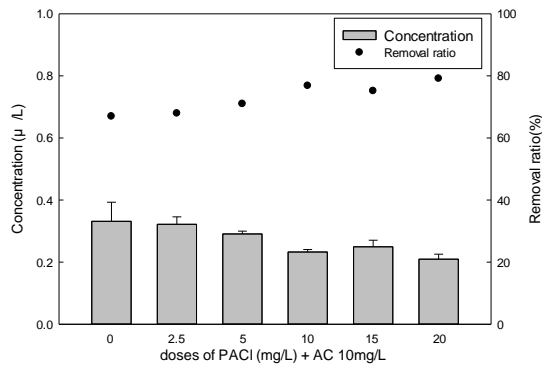


圖 7 無顆粒原水中 E1 移除率 (PACI+AC 快混 3 分鐘)

E2

圖 8 為不同 PACI 濃度後添加活性炭 10ppm，隨著 PACI 濃度增加可以有效的提高 E2 去除率。

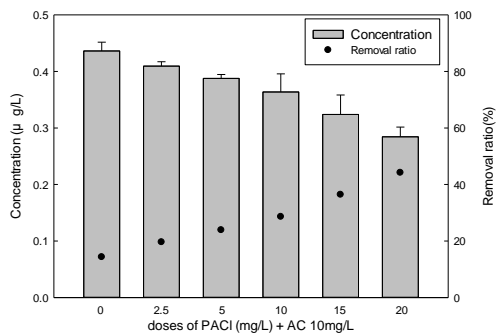


圖 8 E2 移除率(PACI+AC 快混 3 分鐘)

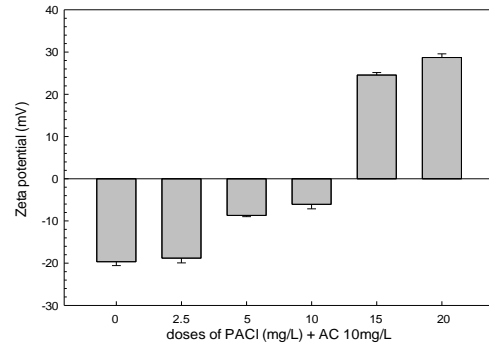


圖 9 E2 界達電位(PACI+AC 快混 3 分鐘)

(三) 快混條件 AC / PACI 去除效果
120 rpm 快混 3 分鐘(分 2 階段：先加入活性炭 10ppm 快混 1.5 分鐘 再加入 PACI 快混 1.5 分鐘) → 30 rpm 慢混 10 分鐘 → 靜置 10 分鐘

E1

PACI 與活性炭先後添加程序會影響 E1 去除效果，先加入活性炭再加入 PACI 可以提高約 20% 去除率。

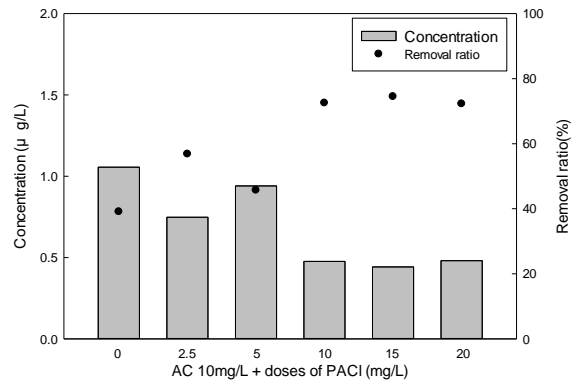


圖 10 E1 移除率(AC+PACI 快混 3 分鐘)

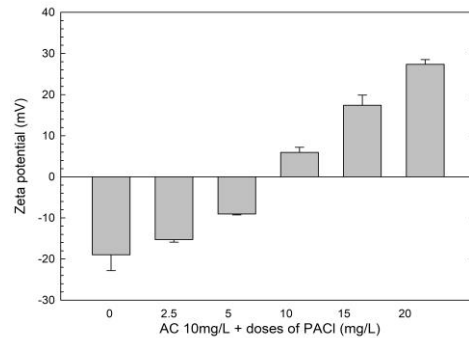


圖 11 E1 界達電位(AC+PACI 快混 3 分鐘)

E2

PACl 與活性碳先後添加程序會影響 E2 去除效果，在 PACl 劑量低(0~10ppm)的情況下，先添加活性碳再加入 PACl 混凝，對於有移除 E2 較佳效果。但在 PACl 劑量高(15~20ppm)，活性碳先後添加順序對於 E2 去除率影響不大。

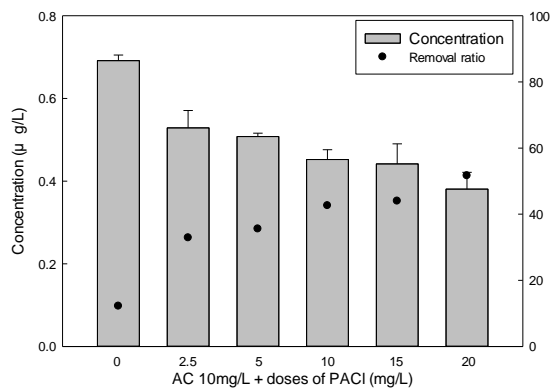


圖 12 E2 移除率(AC+PACl 快混 3 分鐘)

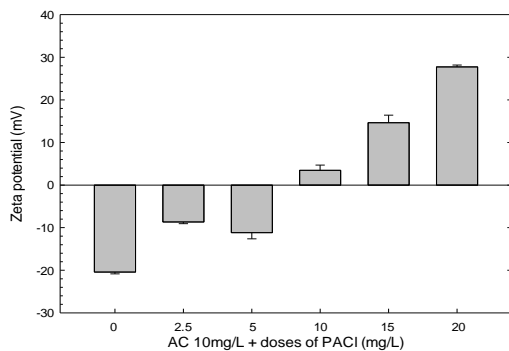


圖 13 E2 界達電位(AC+PACl 快混 3 分鐘)

(四) 快混條件 PACl 10ppm + AC 去除效果

120 rpm 快混 3 分鐘(分 2 階段：先加入 PAC 10ppm 快混 1.5 分鐘再加入活性碳 0~50ppm 快混 1.5 分鐘) → 30 rpm 慢混 10 分鐘 → 靜置 10 分鐘

E1

固定 PACl 劑量，隨著活性碳濃度越高，E1 移除效果越佳。

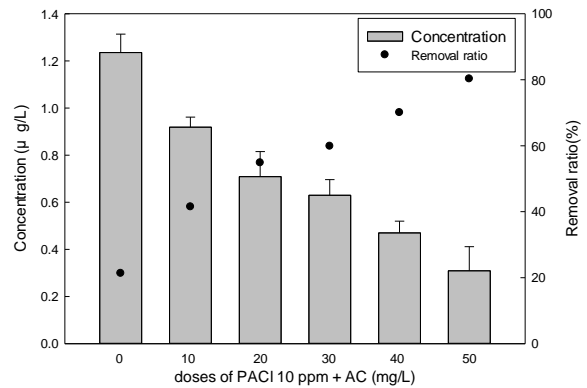


圖 14 E1 移除率 (PACl 10ppm +AC 快混 3 分鐘)

E2

固定 PACl 10ppm 劑量，活性碳濃度 20ppm 達到最佳的移除率 62%，活性碳濃度高於 20 mg/L，E2 移除效果趨近不變。

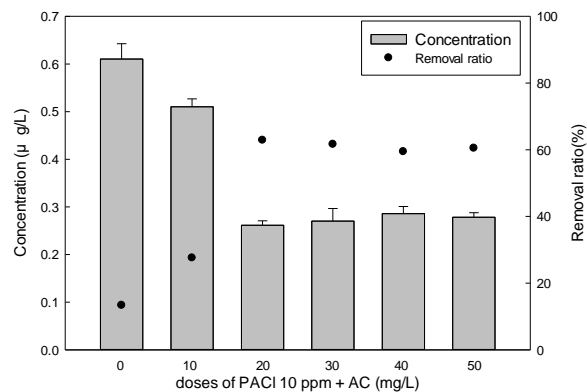


圖 15 E2 移除率 (PACl 10ppm +AC 快混 3 分鐘)

(五) 連續式實驗去除效果

連續實驗中，於快混 120rpm 先加入 PACl 再加入活性碳，並連續攪混 0、20 (模擬直潭取水口至直潭場沉砂池之流程時間)、40、60、80、120 (模擬青潭堰至長興場分水井之流程時間) 分鐘之時間點取樣。圖 16、圖 17 在無添加混凝劑狀況下，E1, E2 濃度不隨時間改變。在僅加 10mg/L PACl 有約 20% 移除效果，快混 1.5 分即達平衡。10mg/L PACl+20/50 mg/L 可在 60

分/40 分完全移除 E1, 10mg/L PACl+20 mg/L 可在 120 分移除 93%E2; +50 mg/L 可在 40 分完全移除 E2。

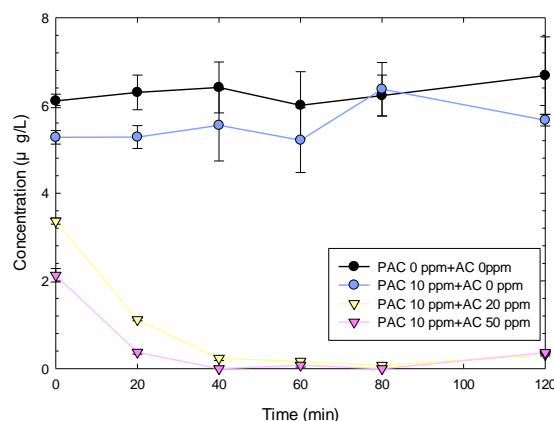


圖 16 連續快混 E1 移除率

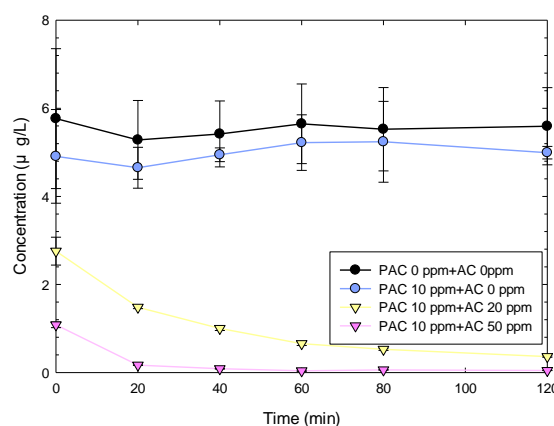
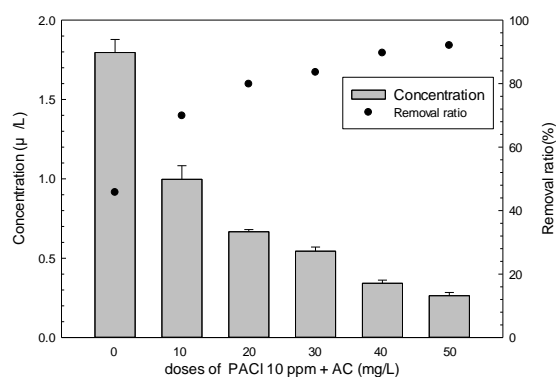


圖 17 連續快混 E2 移除率

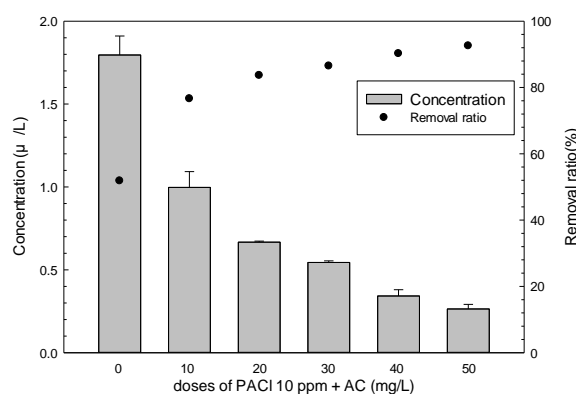
(六) 模擬青潭堰至長興場混凝
第一階段：120 rpm 快混 120 分鐘(先加入 PACl 10ppm 快混 1.5 分鐘再加入活性碳 0~50ppm) → 第二階段：30 rpm 慢混 10 分鐘 → 靜置 10 分。

E1

在圖 18 (a)第一階段僅快混 120 分鐘與圖 18 (b)增加慢混及靜置後取樣分析，一開始的快混即可有效的移除 E1，移除率隨著活性碳濃度增加。增加後續慢混+沉澱約可提高 1~7% 移除率。



(a) 第一階段

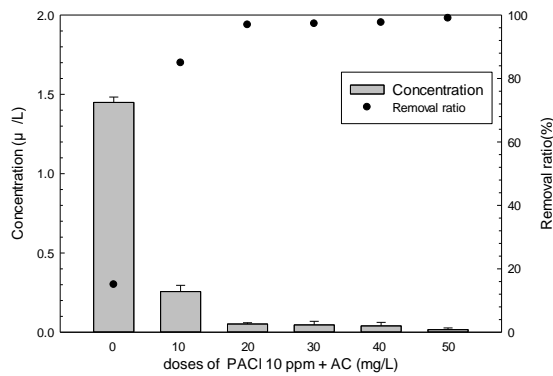


(b) 第二階段

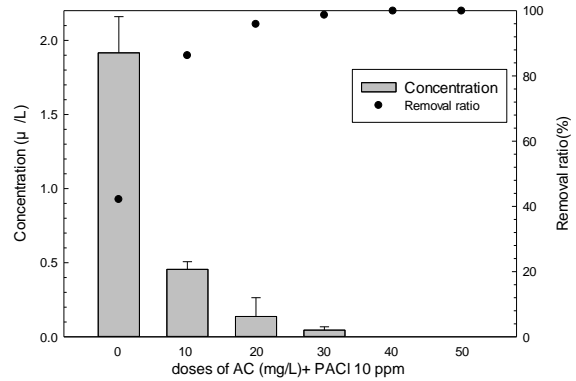
圖 18 模擬混凝 E1 移除率

E2

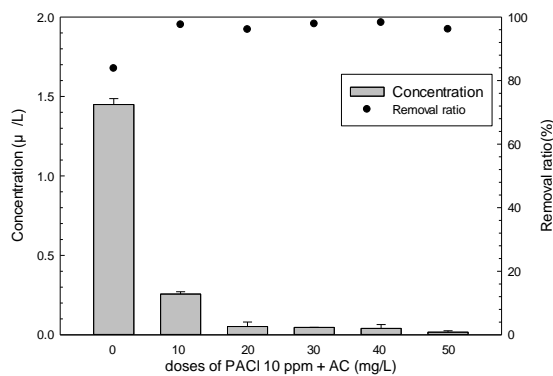
在圖 19 (a)第一階段僅快混 120 分鐘與圖 19 (b)增加慢混及靜置後取樣分析，一開始的快混有添加活性碳可有效的移除 E2，但若只有添加 PACl 移除率 15%，但經過後續慢混+沉澱可以提高移除率至 84%，代表 E2 需經過快混方式使混凝劑均勻分佈，增加粒子間之碰撞機會，破壞 E2 與粒子之間穩定性，之後可藉由慢混+沉澱移除 E2。



(a) 第一階段

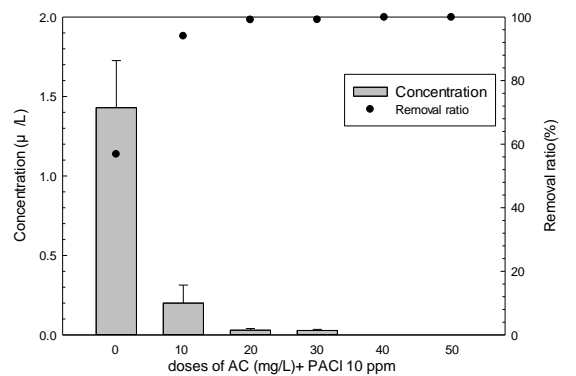


(a) 第一階段



(b) 第一階段

圖 19 模擬混凝 E2 移除率



(b) 第二階段

圖 20 模擬混凝 E1 移除率

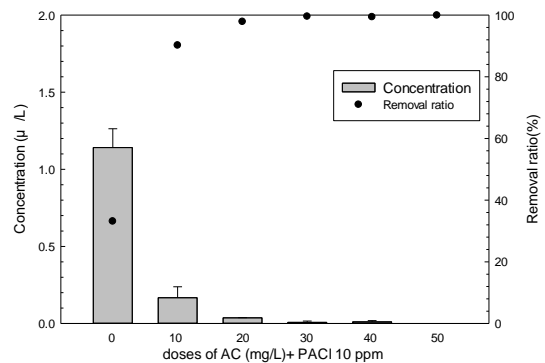
E2

在圖 21 (a) 第一階段僅快混 120 分鐘與圖 21 (b) 增加慢混及靜置後取樣分析，一開始的快混即可有效的移除 E2，移除率隨著活性碳濃度增加。後續慢混+沉澱無增加移除效果。

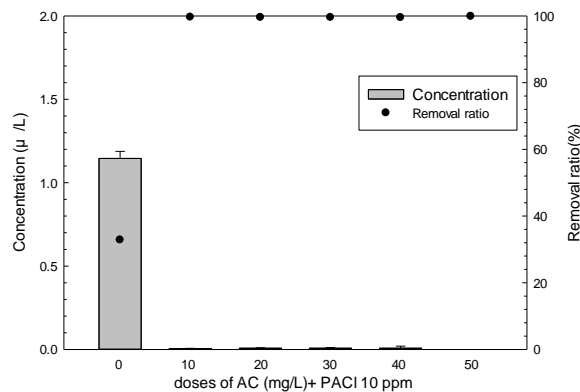
第一階段：120 rpm 快混 120 分鐘(先加入活性碳 0~50ppm 快混 1.5 分鐘再加入 PACI 10ppm) → 第二階段：30 rpm 慢混 10 分鐘 → 靜置 10 分。

E1

在圖 20 (a) 第一階段僅快混 120 分鐘與圖 20 (b) 增加慢混及靜置後取樣分析，一開始的快混即可有效的移除 E1，移除率隨著活性碳濃度增加。增加後續慢混+沉澱在低劑量的活性碳約可提高 30% 移除率。



(a) 第一階段



(b) 第二階段

圖 21 模擬混凝 E1 移除率

結論

- 混凝劑 PACl 對於 E1, E2 去除效果不顯著 (E1>E2, ca. 20-40%)。
- 先添加活性碳再添加混凝劑 PACl, 可得到較佳的 E1 及 E2 移除效果, E1>E2 (75%>51%)。
- 電性中和點產生大膠羽, 但可能降低 E1 去除率。過量加藥翻轉電性, 但不會降低去除率。
- 於青潭取水口添加活性碳, 至長興分水井即可有效的移除 E1, E2。

參考文獻

- Aris AZ, Shamsuddin AS, Praveena SM. 2014. Occurrence of 17 α -ethynylestradiol (EE2) in the environment and effect on exposed biota: a review. *Environment International* 69: 104-119.
- Adeel M., Song X., Wang Y., Francis D., Yang Y. 2017. Environmental impact of estrogens on human, animal and plant life: A critical review. *Environ. Int.* 99, 107–119.
- Bunmahotama W., Lin T.F., Yang X. 2020. Prediction of adsorption capacity for pharmaceuticals, personal care products and endocrine disrupting chemicals onto various adsorbent materials. *Chemosphere* 238, 124658.
- Conley J.M., Evans N., Cardon M.C., Rosenblum L., Iwanowicz L.R., Hartig P.C., Schenck K.M., Bradley P.M., Wilson V.S. 2017. Occurrence and in vitro bioactivity of estrogen, androgen, and glucocorticoid compounds in a nationwide screen of United States stream waters. *Environ. Sci. Technol.* 51, 4781–4791.
- Li Y., Han W, Lin C., Li W., Yang M., Zhang F. 2010. Excretion of estrogens in the livestock and poultry production and their environmental behaviors. *Acta Ecol. Sinica* 30, 1058–1065.
- Mina O., Gall H.E., Elliott H.A., Watson J.E., Mashtare M.L., Langkilde T., Harper J.P., Boyer E.W. 2018. Estrogen occurrence and persistence in vernal pools impacted by wastewater irrigation practices. *Agri. Ecosyst. Environ.* 257, 103–112.
- 陳鎧湧, 粉狀活性碳對水中微量有機物之研究, 國立成功大學環境工程系碩士論文. 1992。
- 淨水場水質異常應變輔導改善計畫, 經濟部水利署, 2013。