

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

□國中組 ☒普高組 □技高組 成果報告表單

題目名稱：矛盾大對決！誰才能討伐永久化學物質 PFAS？

一、摘要

全氟/多氟烷基物質(PFAS)，亦稱「永久性化學物質」，是近年來美國及歐洲各國都特別關注的化學物質，因為其具有耐熱、耐酸鹼、抗腐蝕、抗污等特性，廣泛用於食品包裝、化妝品、紡織品（如防水衣物）、不沾鍋塗層、消防泡沫等生活用品，可以在環境中永久存在，且極難自然分解，可於自來水、地下水、河川湖泊等檢出 PFAS 濃度，使得飲用水安全備受關注。由於 PFAS 具有生物累積性，可能透過飲用水、食物鏈及空氣長期累積於人體，影響內分泌系統、免疫功能、肝腎健康，甚至可能與癌症相關。

我們希望透過實地訪查採樣及分析檢測實作，檢測不同圖書館飲用水中的 PFAS 濃度，以了解背景含量情況，並進一步探討可能的降低策略，希望能提升大眾對水資源安全的重視，並作為未來水質管理之參考。

我們採集台南 32 間圖書館淨水前及淨水後水質樣本，經由固相萃取、淨化及濃縮後，以超高效層析液相串聯式質譜儀進行分析，所有水質樣本皆符合環境部訂定飲用水 PFAS 指引值，可確保一般民眾及認真備考的學生們於圖書館飲用水安全及品質。

二、探究題目與動機

水是人們日常生活中不可或缺的重要資源，但若水中含有 PFAS，則可能對人體健康造成負面影響。由於學生經常在圖書館長時間學習，為確保飲用水的安全與健康，我們希望調查圖書館飲用水中 PFAS 的含量，藉此避免攝取過量的有害物質，保障使用者的健康。

三、探究目的與假設

(一) 研究目的:

透過將淨水前和飲水機淨水後的樣本利用固相萃取技術 (Solid Phase Extraction, SPE) 萃取出水中 PFAS，比對圖書館中各大品牌飲水機的淨水效果。

(二) 假設：

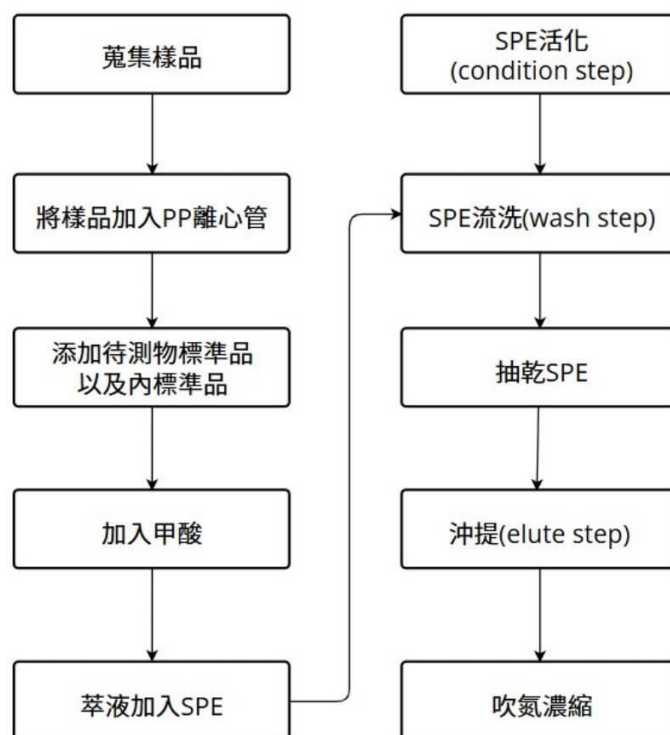
- 1.淨水前和淨水後有明顯差異(有淨水效果)
- 2.淨水後比淨水前 PFAS 含量少
- 3.淨水前超過法規標準，淨水後未超過法規標準

四、探究方法與驗證步驟

(一) 實驗材料與器具:

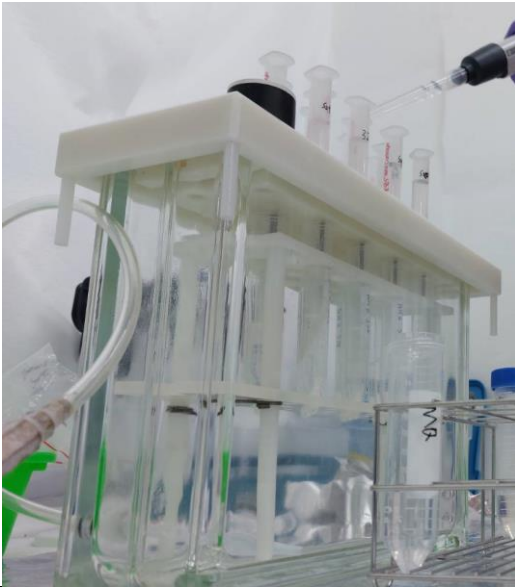
1. 材料：水樣品、50 μ L 甲酸、12mL 含 2%氨水之甲醇溶液、13mL 甲醇、8mL 試劑水(MQ)、3mL 之 0.1%甲酸水溶液、10 μ L 待測物標準品(MS)(10ng/mL)、30 μ L 待測物標準品。(MS)(30ng/mL)、30 μ L 內標準品(IS)(30ng/mL)。
2. 器具：PP 瓶、滴管、PP 離心管、固相萃取儀、吹氮濃縮儀、超高效液相層析串聯式質譜儀。

(二) 研究流程

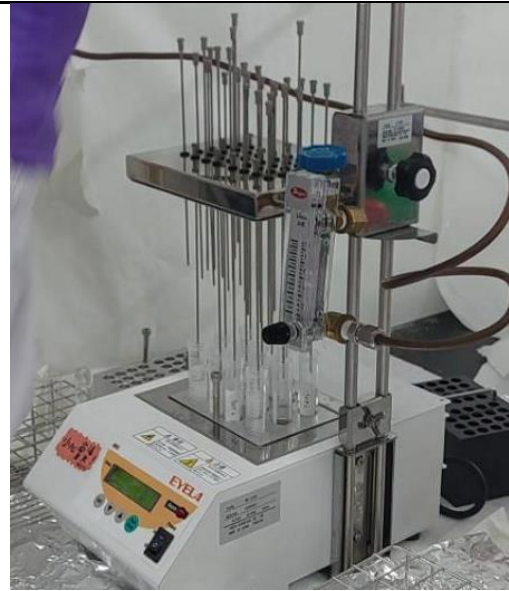


圖一、研究流程圖

1. 樣品收集
2. 取 10mL 飲用水樣品至 PP 材質離心管
3. 添加 10 μ L MS (10 ng/mL)及 30 μ L IS MS (30 ng/mL)
4. 加入 50 μ L 甲酸(pH=3)
5. 全部萃液加入 SPE (OASIS WAX 150 mg/6mL)
6. SPE 流洗(wash step)
7. 抽乾 SPE 約 15 分鐘
8. SPE 沖提(elute step)
9. 吹氮濃縮至近乾,加入 1mL 甲醇
10. 分析實驗結果



圖二、固相萃取儀



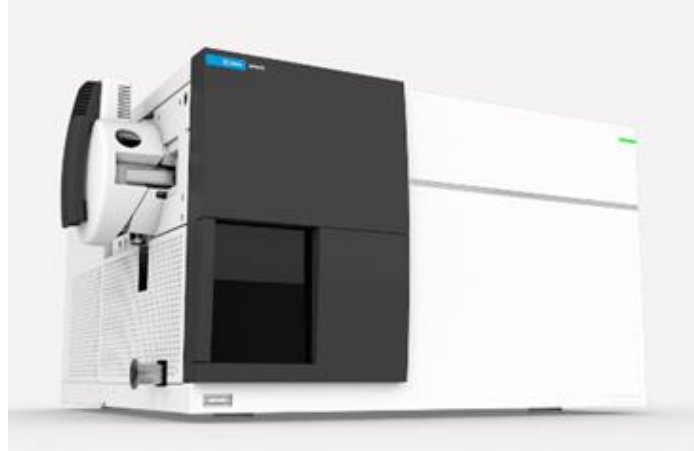
圖三、吹氮濃縮儀



圖四、超高效液相層析儀



圖五、控溫自動進樣(內部)



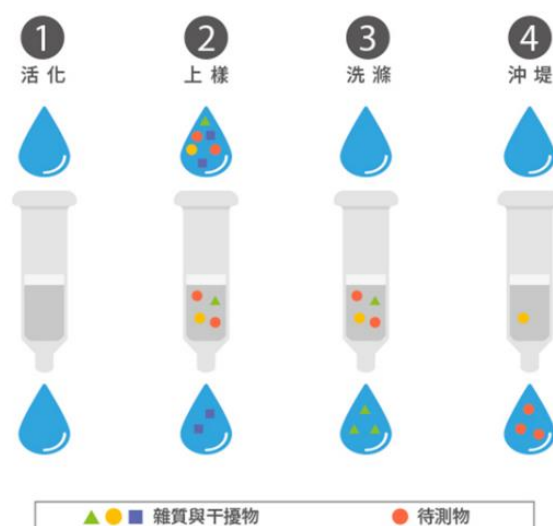
圖六、串聯式質譜儀

(三) 實驗原理

(一) 標準品:

加入內標準品進行前處理流程中樣本實際濃度之校正算出濃度（前處理及儀器分析皆有可能存在不確定性）與品管，另外加入標的待測物標準品進行回收率確認品保管制。

(二) 固相萃取技術:



圖七、固相萃取步驟

1. 管柱活化(Conditioning): 使用合適的溶劑預先潤濕吸附劑，此步驟可活化吸附劑表面的配位基、提高後續針對標的待測物之吸附能力。活化步驟至萃取完成前，請避免讓吸附劑呈乾燥狀態，以確保其吸附能力。
2. 上樣 (Loading): 以合適的流速將樣品導入流經吸附劑，並選擇性地將樣品中的標的待測物 (及些許雜質)保留於吸附劑上。
3. 洗滌 (Washing): 以溶劑(流動相, mobile phase) 清洗固定相，選擇性地去除結合強度較低的雜質及干擾物。可依實驗進行多次洗滌，並逐漸增加溶劑濃度，而達成更完全的分離。
4. 沖提 (Eluting): 以特定溶劑破壞待測物與吸附劑的結合，將標的待測物從吸附劑上移除並收集萃液。若需高濃度的待測物，則可用小體積的溶劑進行沖提。

(三) 吹氮濃縮:

以吹氮機將氮氣導入萃液，加強周圍空氣中流動及升高溫度，可使萃液中溶劑加速蒸發，達到標的待測物濃縮效果。

(四) 超高效液相層析串聯式質譜儀 (UHPLC-MS/MS):

利用高壓幫浦加壓來產生動力進而使液體移動相流動，在此過程中移動相會帶動分析物流經 LC 管柱中的固定相，由於不同的分析物與固定相之間的作用力會不同，藉由不同的滯留時間，而達到分離的目的。後續樣品再經離子源離子化之後，經過第一個質譜儀分離，進入含碰撞氣體之碰撞室，使離子產生斷裂，再利用第二個質譜儀依各個離子之質荷比不同分離，形成第二次質譜，可達到同時辨識多個以上的標的待測物，進行多重物質微量檢測分析。

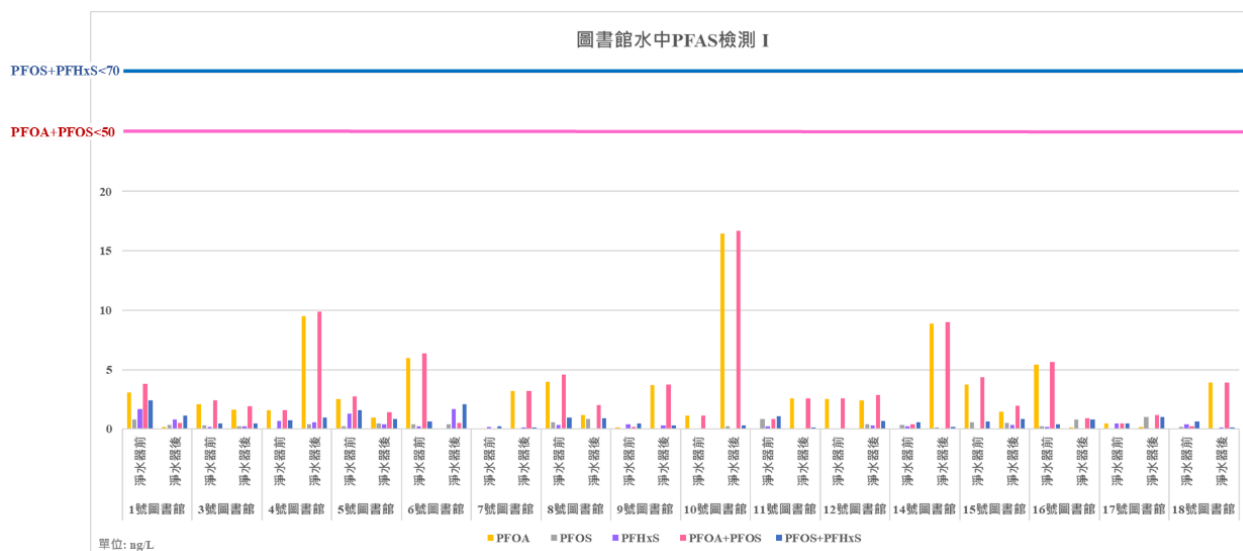
五、結論與生活應用

(一) 結論

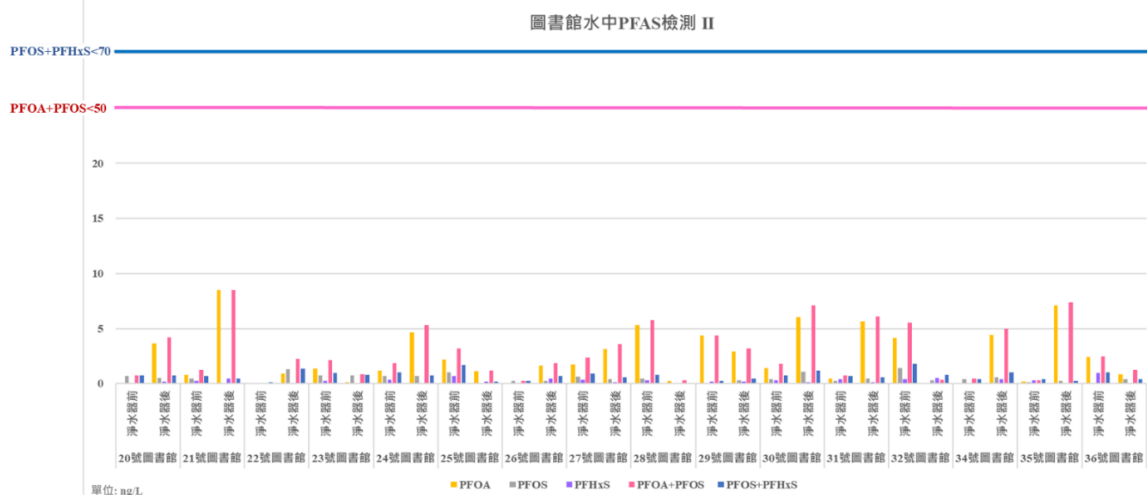
我們採集台南市 32 間圖書館 (如圖八) 淨水前及淨水後水質樣本，參考環境部訂定「飲用水水質新興關注項目檢測管理及篩選作業指引」之指引值，「全氟辛酸 (Perfluorooctanoic acid , PFOA) + 全氟辛烷磺酸 (Perfluorooctane sulfonic acid , PFOS) 為 50 奈克 / 公升」、「全氟辛烷磺酸 (Perfluorooctane sulfonic acid , PFOS) + 全氟己烷磺酸 (Perfluorohexanesulfonic acid , PFHxS) 為 70 奈克 / 公升」，所有水質樣本皆符合水質標準 (如圖九及圖十)，可確保一般民眾及認真備考的學生們於圖書館飲用水安全及品質。



圖八、32 間圖書館分布圖

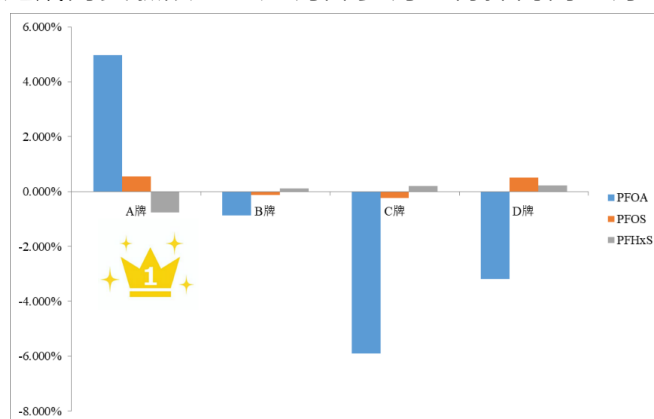


圖九、圖書館水中 PFAS 檢測I



圖十、圖書館水中 PFAS 檢測II

另外，我們再將圖書館中各飲水機品牌彙整為 A、B、C、D 四大品牌飲水機，其中以 PFOA、PFOS 及 PFHxS 濃度降低比例來看，綜合淨水效果最好的是 A 牌，最差是 C 牌，我們的成果值得進一部後續探討，當然，這只是一個參考，也有可能是每個品牌的樣本數目的較少或單一品牌中濾水膜不同的差異造成的實驗誤差，還有許多有值得探討的地方。



圖十一、飲水機 PFAS 含量品牌比較

(二) 生活應用

1. 預防及避免攝入過多 PFAS：透過比較，可以分散風險及選擇具較佳過濾效果的飲水機。
2. 強化飲水機過濾功能：參考實驗結果，不同飲水機品牌可以針對 PFAS 淨化效率，加以選擇及強化過濾膜及設備。

參考資料

- 一、如何進行固相萃取？SPE、LLE、SLE 差異為何- Rocker 洛科儀器:
https://www.rocker.com.tw/application/solid_phase_extraction/
- 二、國立成功大學 核心設施中心 液相層析串聯式質譜儀:
<https://cis-cfc.ncku.edu.tw/p/412-1209-4722.php?Lang=zh-tw>
- 三、6475 三重四極杆液質聯用系統智能工具| 安捷倫(質譜儀圖片)
<https://reurl.cc/OY4WRD>
- 四、消基會-飲用水中全氟烷基物質(PFAS)
https://drive.google.com/file/d/16Qw1GN-lsbItCR_0Jb82wjEwuCXE6Hd0/view?usp=drive_link