

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 環境學科

佳作

052609

水生植物對 Acetaminophen 去除之效果探討

學校名稱：高雄市立高雄高級中學

作者： 高二 陳宥澐 高二 賴岷芝 高二 林宸鴻	指導老師： 李靜怡
---	------------------

關鍵詞：Acetaminophen、金魚藻、水蘊草

摘要

藥物與個人保健用品（PPCPs）為新興污染物的主要來源之一，本研究選用 PPCPs 之一的 acetaminophen（普拿疼主要成分），此類物質使用化學處理法雖能快速且有效的去除，卻可能造成環境的二次傷害。因此，本研究主題將規劃以自然整治技術處理水體環境中的新興污染物。

本研究使用兩種易取得、易養殖、表面積大且吸附重金屬效能佳之植物如金魚藻及水蘊草，並透過高效液相層析儀（HPLC）結合 UV 偵測器偵測濃度變化，以探討水生植物於水溶液中 Acetaminophen 之移除效果。

本次實驗結果顯示金魚藻及水蘊草皆有去除 Acetaminophen 的效果，於四日左右即能達百分之百的清除率。而加入自然水體後，推測環境基質會影響水生植物，造成對清除 Acetaminophen 效率的影響，但仍能有效去除。

壹、研究動機

新興污染物（Emerging contaminants）為法規尚未規範或規範不全、傳統都市污水處理廠無法處理、對人體健康與生態之潛在危害性既深且遠的化學物質。由於傳統生物處理程序無法有效分解去除「新興污染物」，是故其會穿透都市污水處理廠這道污水處理防線而進入水環境體系，再經由生物累積效應擴大至整體之生態圈。

在新興污染物中，藥物與個人保健用品（pharmaceuticals and personal care products, PPCPs）為近十年來受到關注的環境問題；此類污染物普遍出現於日常生活各種環境介質中，為假性持久性有機污染物。PPCPs 可能的污染來源為：個人不當的棄置藥物（e.g.將藥物丟至馬桶、藥品空罐任意丟棄）、醫療廢水及工廠排放廢水等。而在 PPCPs 中，acetaminophen（乙醯氨基酚，普拿疼常用成分）為廣泛使用的藥物之一，其為非類固醇消炎藥（Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs, NSAIDs）的一種。

近期的研究中指出高雄河川檢測到相對高濃度的 acetaminophen 殘留，對於此類藥品的管制及污染處理尚須多加關注，更有相關文獻指出高濃度 acetaminophen 會對人體的肝臟及海洋生物造成病變及危害，嚴重衝擊臺灣生態。

而目前相關對於處理 acetaminophen 的研究多採用化學處理技術，但卻有可能會對環境造成二次傷害。而自然處理技術被認為可以有效降低化學藥劑的使用量、廢棄物產生量及能源的使用，以達環境之永續發展。另外濕地淨化水質的效能眾所皆知，在高雄許多醫院放流水會進入濕地淨化後再排出，加上高雄市已推動濕地生態廊道計劃多年，期望能透過市內親水公園及濕地的整合，達到淨化水質的效果。

因此，本研究欲以濕地常見水生植物去除污染物。然而，水生植物處理水體中新興污染物之研究較為缺乏且尚在萌芽階段，目前尚未有文獻指出水生植物對去除此類污染物之效率及機制。因此，希冀透過本研究收集水生植物處理水中 acetaminophen 之數據，探討其在有無光照的環境下，移除 acetaminophen 的能力，並以重複添加污染物實驗探討該系統連續處理之可行性；最後以自然水體作為溶液基底，希望能更貼近真實情形，找出對環境友善性且具有實際應用潛力之乙醯氨酚處理方法。

貳、研究目的

(流程圖詳見附錄)

- 一. 探討黑暗中兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之效果。
- 二. 探討有無光照對兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之效果。
- 三. 探討全日照下，微生物對於兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之影響。
- 四. 探討全日照下，二次添加對於兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之影響。
- 五. 探討全日照下，兩種水生植物在自然水體中去除 Acetaminophen 之效果。

參、研究設備及器材

一、實驗設備

- (一)、High Performance Liquid Chromatography (HPLC)，型號：HITACHI L-2130。
- (二)、UV detector，型號：HITACHI 5410。
- (三)、生長箱，購自 Yun Chuen Chiou Industry L.T.D

二、實驗藥品

- (一)、Acetaminophen，選用粉末 (A7085 Sigma-Aldrich)，購自 Sigma 公司。
- (二)、疊氮化鈉 (化學式： NaN_3)，購自 Merck 公司。

三、實驗植物

- (一)、金魚藻 (學名：*Ceratophyllum demersum*)。
- (二)、水蘊草 (學名：*Egeria densa*)。

四、自然水體取樣



圖 1. 採樣地點示意圖

本次實驗自然水體取樣自高雄市中都愛河濕地公園（如上圖所示），取樣時間為西元 2018 年 6 月 11 日，以下是取樣水體之相關資料（參考自高雄市政府環境保護局監測站）。

表 1. 取樣水體相關性質

H ⁺ 濃度	溶氧量	生化需氧量	化學需氧量	懸浮固體	氨氮	氯鹽	導電度	大腸桿菌群
pH 值	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	μ mho/cm25°C	CFU/100mL
7.6	1.7	12.9	38.5	6.9	5.37	6030	19300	4.0E+05

肆、研究過程及方法

一. 實驗前置準備

（一）、儲備溶液製作

1. 精秤 0.1g Acetaminophen 粉末，放入定量瓶中。
2. 加水稀釋至 1L，配置成 100ppm Acetaminophen 水溶液。

（二）、檢量線製作

1. 取 1mL 的 100ppm 水溶液，加水稀釋成 5mL 的 20ppm 水溶液。
2. 採兩倍序列稀釋，依序配置成 4mL 的 10、5、2.5、1.25ppm 水溶液。
3. 將此 5 種濃度上機，以線性回歸的方式配成檢量線。

（三）、實驗溶液製作

1. 取 20mL 的 100ppm 水溶液，加水稀釋成 1L 的 2ppm 水溶液。
2. 同步驟 1，依序稀釋成 1L 的 4、6、8ppm 水溶液。

二. HPLC/UV 及其檢測的相關原理

HPLC 是利用溶液中物質與固定相親和力和檢測物與移動相親和力不同的特性分離出單一檢測物，再利用 UV 偵測器偵測其積分面積（圖中縱軸），經由檢量線換算成實驗樣本之濃度（圖中橫軸），本次實驗設定每個樣本偵測時間為 2.5 分鐘，並確保每次檢量線之 R^2 值介於 0.9995~1 之間。

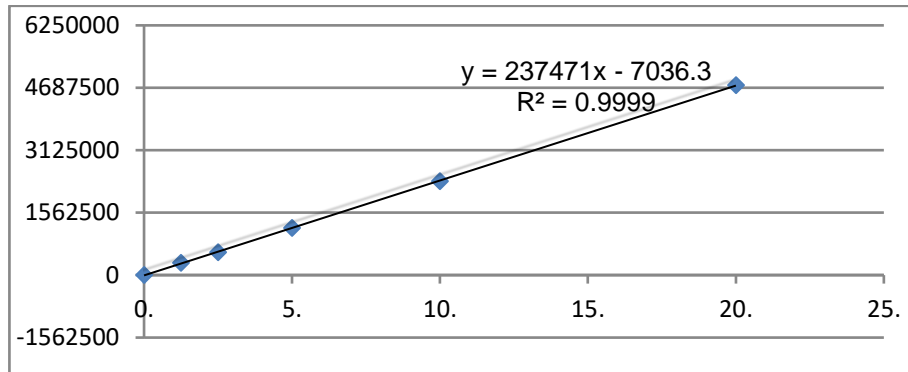


圖 2. 檢量線示意圖

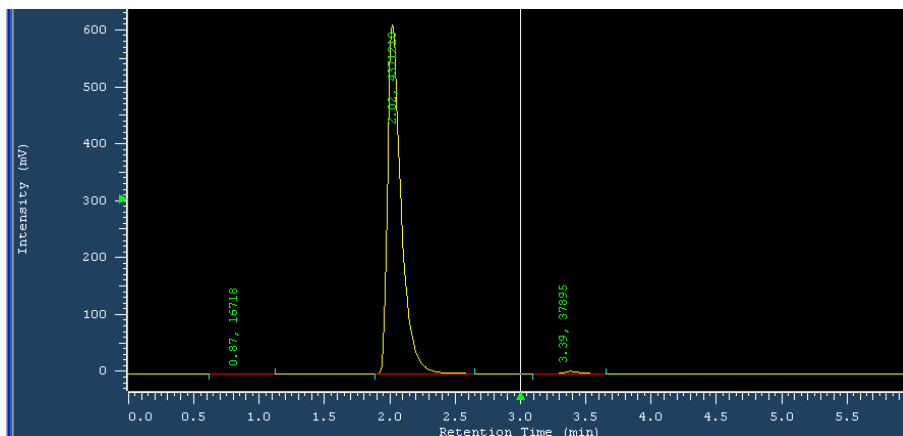


圖 3. AcetaminophenHPLC/UV 層析圖譜

如上圖，橫軸為滯留時間，縱軸為吸光度，本次實驗的固定相為層析管柱 XBridge™ C18 5 μ m 4.6*150mm Column，移動相為水和甲醇比例 3：1 之溶液，經 UV detector 分析出來的圖中，Acetaminophen 所形成的波峰峰高時間為 2.00 ± 0.05 （單位：min），積分面積由系統自動運算，無人為操作誤差，記錄每個數據之積分面積作為濃度依據。

三. 實驗步驟

（一）、探討黑暗中兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之效果。

- 1.以量筒量取 75mL 的 2ppm 水溶液，倒入 100mL 棕色瓶，重複 2 次。
- 2.重複步驟 1，依序放入 6、10ppm 水溶液。
- 3.重複步驟 1到 2，並精秤 1g 金魚藻之重量，再放入水溶液中。
- 4.重複步驟 1到 3，改為放入 1g 水蘊草。

- 5.放入震盪箱中，以 50rpm 的環境調控。
- 6.再將整部裝置放入生長箱中，以全黑暗、25°C 的環境調控。
- 7.每隔 24 小時取 250 μ L 溶液上機，觀察其結果。

(二)、探討有無光照對兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之效果。

- 1.以量筒量取 100mL 的 2ppm 水溶液，重複 2 次。
- 2.重複步驟 1，依序放入 6、10ppm 水溶液。
- 3.重複步驟 1到 2，並精秤一株金魚藻之重量並記錄，再放入水溶液中。
- 4.重複步驟 1到 3，改為放入一株水蘊草。
- 5.放入震盪箱中，以 50rpm 的環境調控。
- 6.再將整部裝置放入生長箱中，以全日照、25°C 的環境調控。
- 7.每隔 24 小時取 250 μ L 溶液上機，觀察其結果。

(三)、探討全日照下，微生物對於兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之影響

- 1.以量筒量取 100mL 的 2ppm 水溶液，再滴入 1mL 之 3M NaN_3 (aq)，重複 2 次。
- 2.重複步驟 1，依序放入 4、6、8、10ppm 水溶液。
- 3.精秤一株金魚藻之重量並記錄，再放入水溶液中。
- 4.重複步驟 1到 3，改為放入一株水蘊草。
- 5.放入震盪箱中，以 50rpm 的環境調控。
- 6.再將整部裝置放入生長箱中，以全日照、25°C 的環境調控。
- 7.每隔 24 小時取 250 μ L 溶液上機，觀察其結果。

(五)、探討全日照下，二次添加對於兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之影響

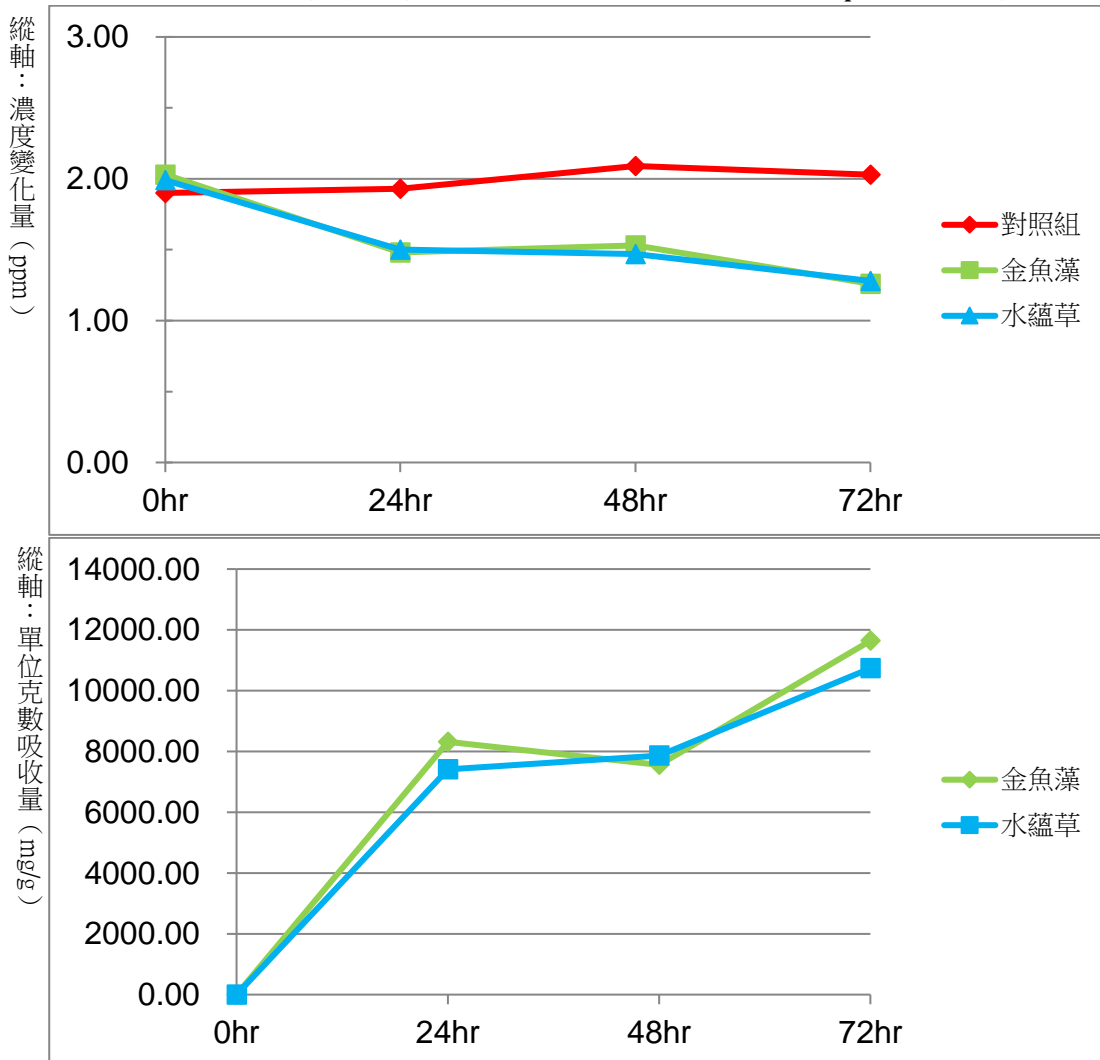
- 1.以量筒量取 100mL 的 2ppm 水溶液，重複 2 次。
- 2.重複步驟 1，依序放入 4、6、8、10ppm 水溶液。
- 3.重複步驟 1到 2，並精秤一株金魚藻之重量並記錄，再放入水溶液中。
- 4.重複步驟 1到 3，改為放入一株水蘊草。
- 5.放入震盪箱中，以 50rpm 的環境調控。
- 6.再將整部裝置放入生長箱中，以全日照、25°C 的環境調控。
- 7.每隔 24 小時取 250 μ L 溶液上機，觀察其結果。
- 8.於 144 小時後重複步驟 1到 7，將原植物放入與原初始濃度相同的溶液中。

(六)、探討全日照下，兩種水生植物在自然水體中去除 Acetaminophen 之效果

- 1.將配置實驗溶液之 DI 水溶液換為以自然水體配製
- 2.以量筒量取 100mL 的 2ppm 水溶液，重複 2 次。
- 3.重複步驟 2.，依序放入 4、6、8、10ppm 水溶液。
- 4.精秤一株金魚藻之重量並記錄，再放入水溶液中。
- 5.重複步驟 2.到 4.，改為放入一株水蘊草。
- 6.放入震盪箱中，以 50rpm 的環境調控。
- 7.再將整部裝置放入生長箱中，以全日照、25°C 的環境調控。
- 8.每隔 24 小時取 250 μ L 溶液上機，觀察其結果。

伍、研究結果

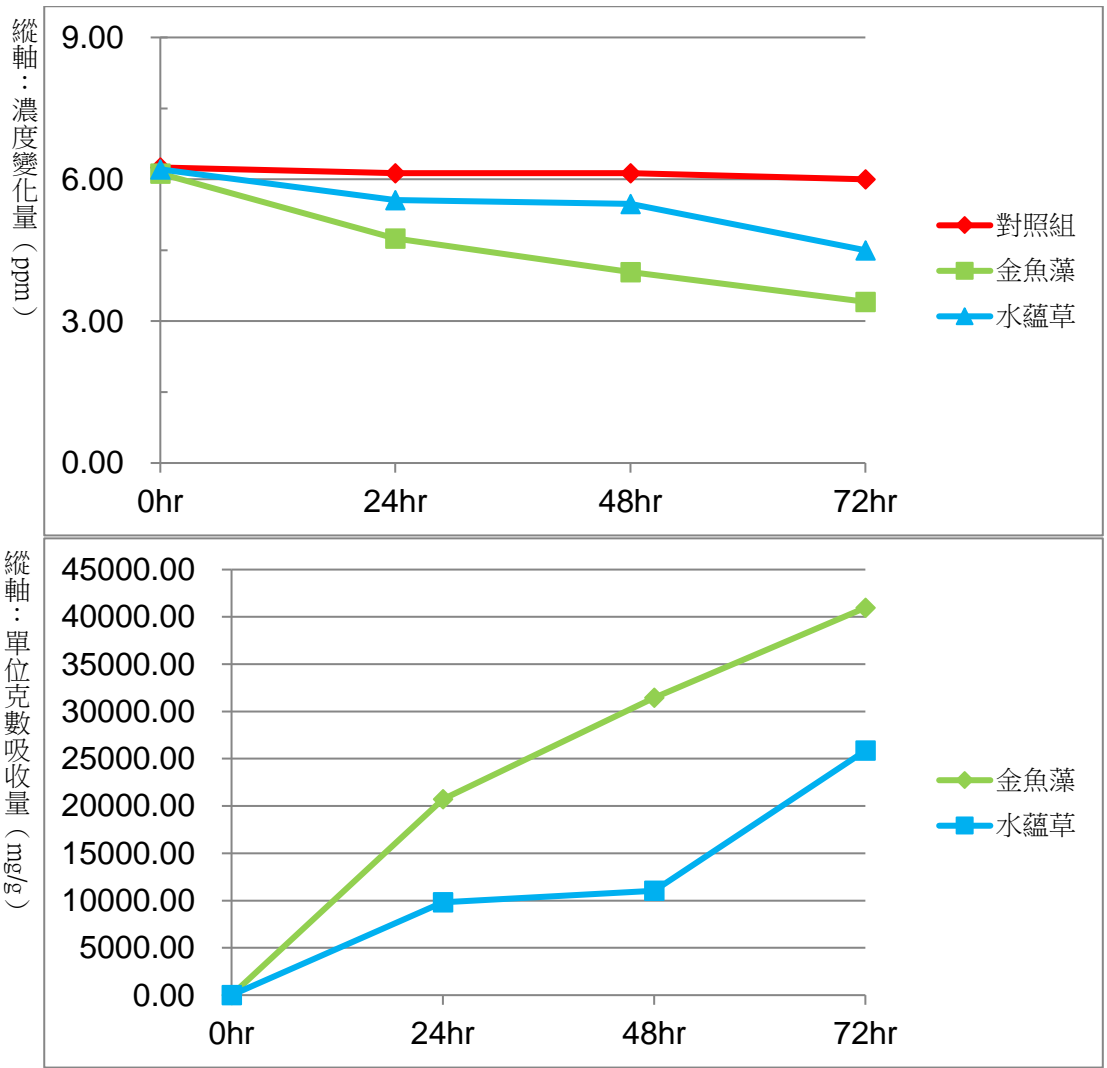
一、探討黑暗中兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之效果。



[圖說]

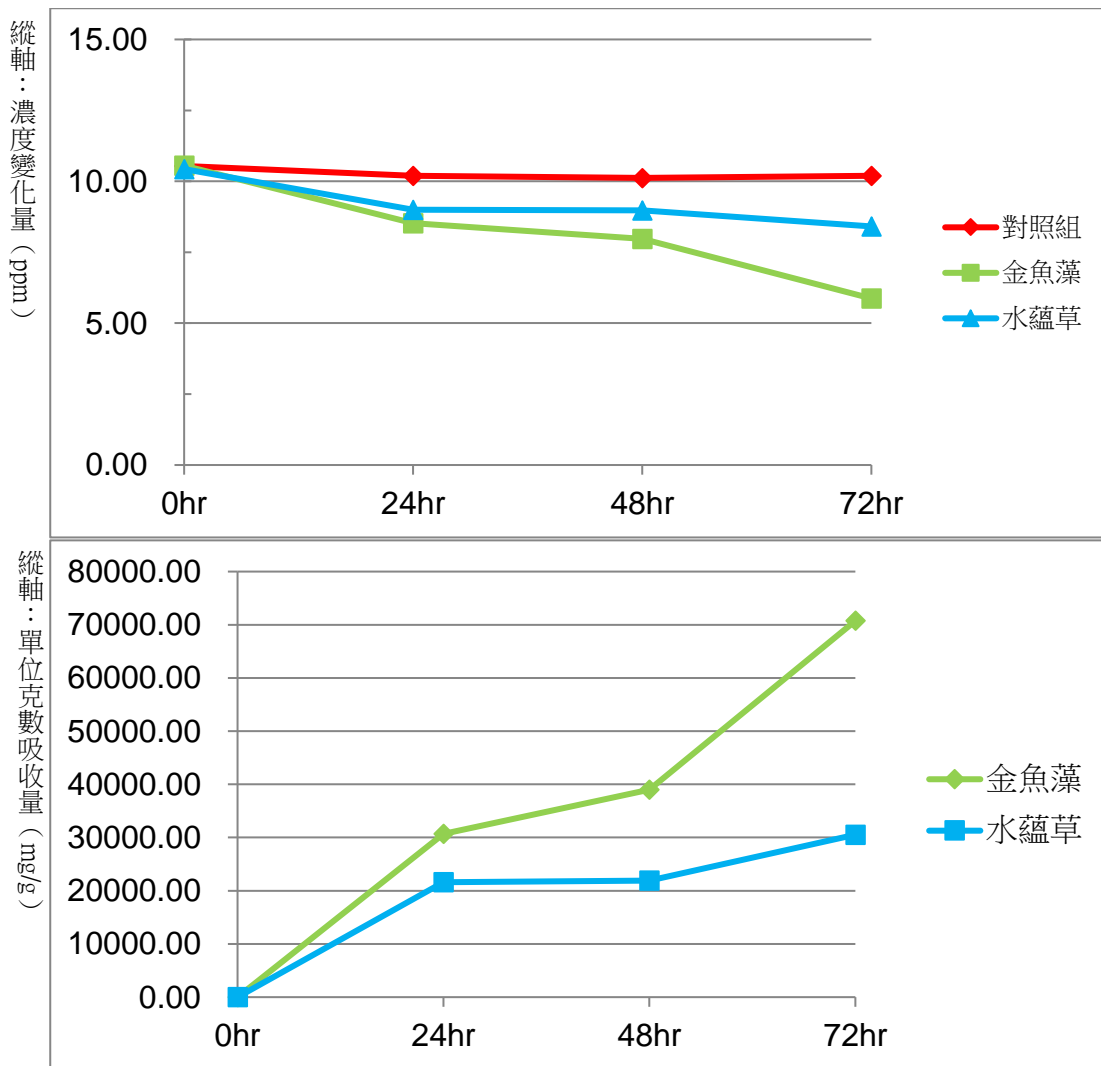
初始濃度為 2ppm 之對照組經 72 小時後，濃度大約維持在 2ppm 左右，無明顯起伏，濃度誤差在正負 0.05ppm 之間。而置入金魚藻和水蘊草所造成的濃度下降趨勢大致相同，最終 (72hr) 皆降至約 1.27ppm 左右，約有 38% 去除率。金魚藻和水蘊草之每單位吸附 Acetaminophen 分別為 11639.32、10732.36mg/g。

圖 4. 黑暗下兩種水生植物在水溶液中去除 2ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸附線(b)



[圖說]
 當初始濃度增加至 6ppm，其對照組在 72 小時之濃度亦無明顯起伏，大約維持在 6±0.1ppm 左右。最終去除率以金魚藻 (43%) 高於水蘊草 (25%)。金魚藻和水蘊草之每單位吸附 Acetaminophen 分別為 40964.36、10732.36mg/g

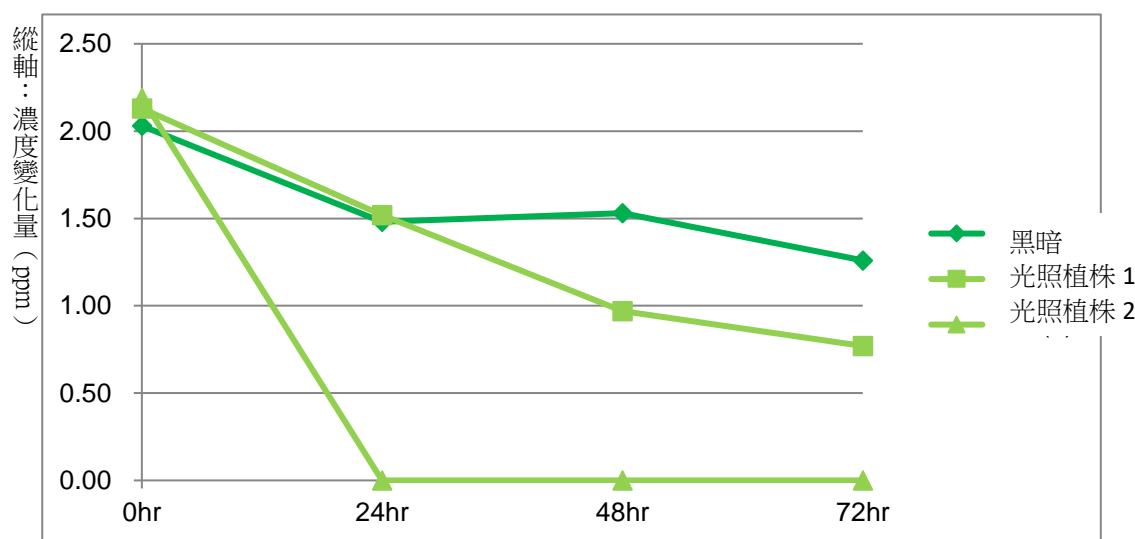
圖 5. 黑暗下兩種水生植物在水溶液中去除 6ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
 初始濃度為 10ppm 之對照組濃度大約維持在 10ppm 左右，無明顯起伏，濃度誤差在正負 0.2ppm 之間。金魚藻和水蘊草組溶液濃度皆下降，最終清除率以金魚藻 (42%) 高於水蘊草 (17%)。金魚藻和水蘊草之每單位吸附 Acetaminophen 分別為 70742.88、30534.32mg/g。

圖 6. 黑暗下兩種水生植物在水溶液中去除 10ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)

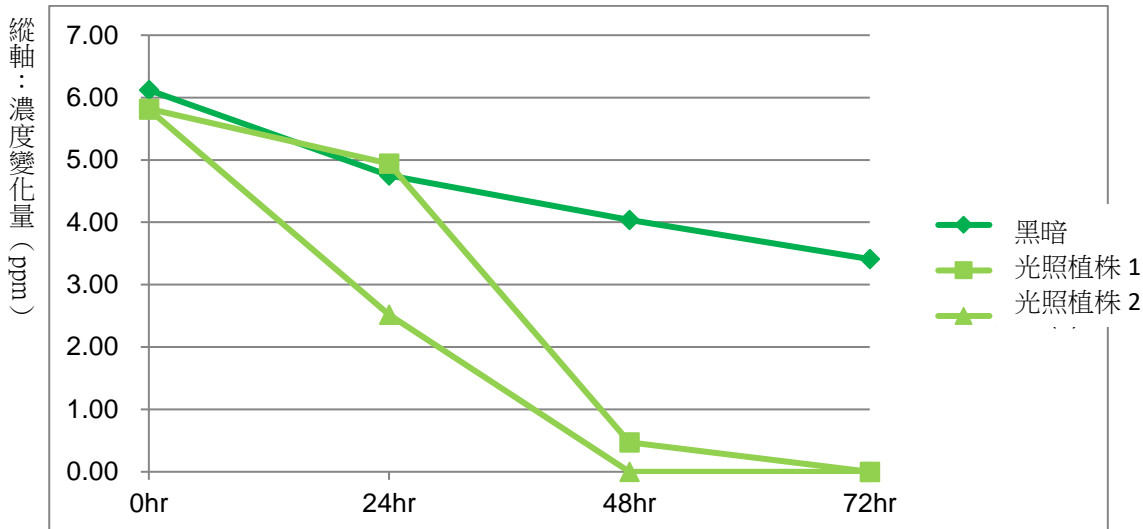
二、探討有無光照對兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之效果。



[圖說]
 加入光照後濃度下降較黑暗中的快，經 72 小時後濃度分別降至 0.77 及 0ppm，黑暗中的溶液濃度則降至 1.26。若比較吸收量，黑暗及光照下的單位重量吸收量分別為 11639.32 及 22870.91mg/g。



圖 7.金魚藻在水溶液中去除 2ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
 加入光照後濃度下降較黑暗中的快，經 72 小時後濃度降至 0ppm，黑暗中的溶液濃度則降至 3.41ppm。若比較吸收量，黑暗及光照下的單位重量吸收量分別為 40964.36 及 76261.62mg/g。

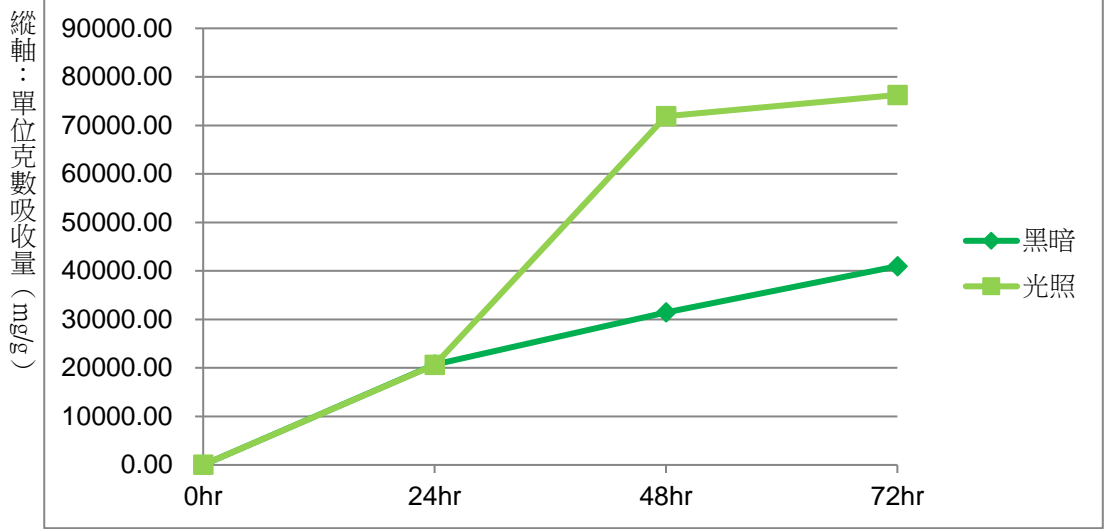
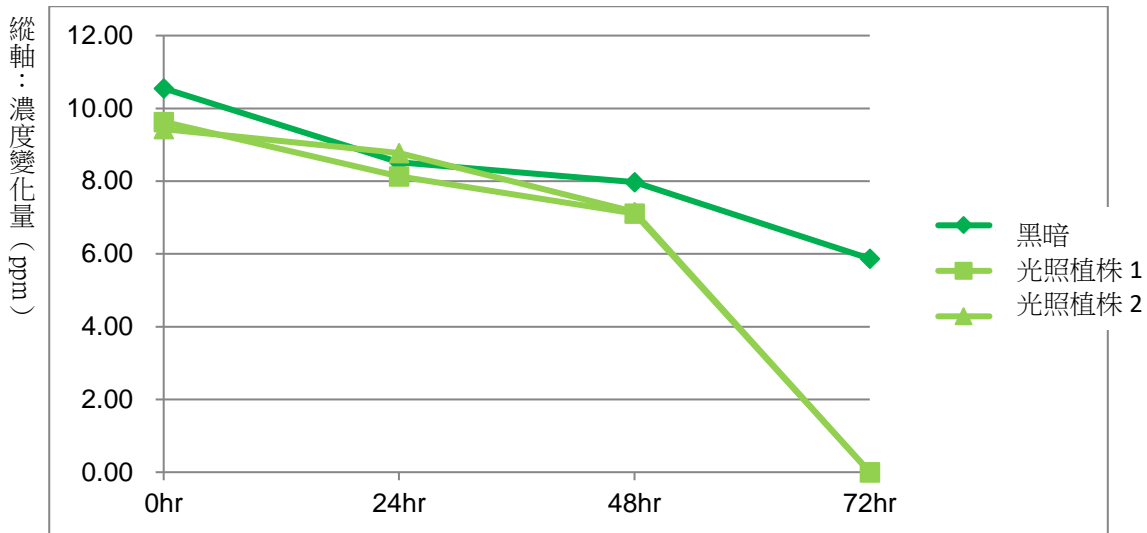


圖 8. 金魚藻在水溶液中去除 6ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
加入光照後濃度下降較黑暗中的快，經 72 小時後濃度降至 0ppm，黑暗中的溶液濃度則降至 5.87ppm。若比較吸收量，黑暗及光照下的單位重量吸收量分別為 70742.88 及 148304.99mg/g。

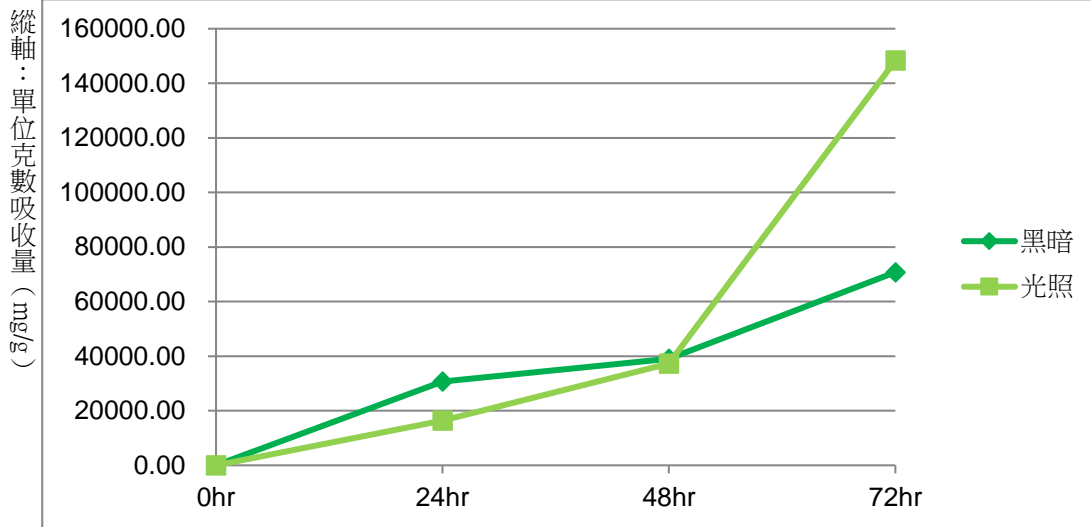
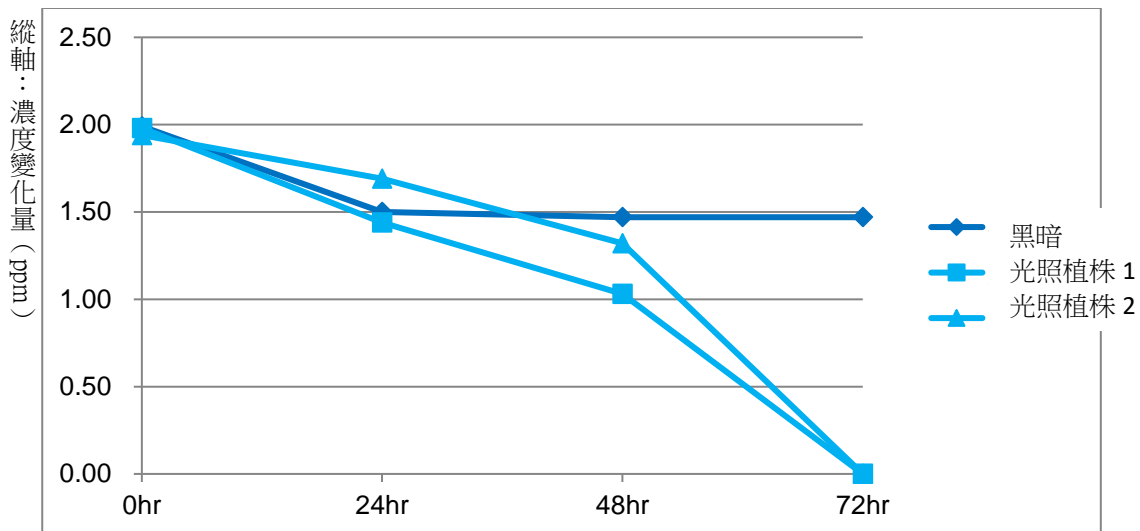


圖 9. 金魚藻在水溶液中去除 10ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
加入光照後濃度下降較黑暗中的快，經 72 小時後濃度降至 0ppm，黑暗中的溶液濃度則降至 1.47ppm。若比較吸收量，黑暗及光照下的單位重量吸收量分別為 10732.36 及 24134.72mg/g。

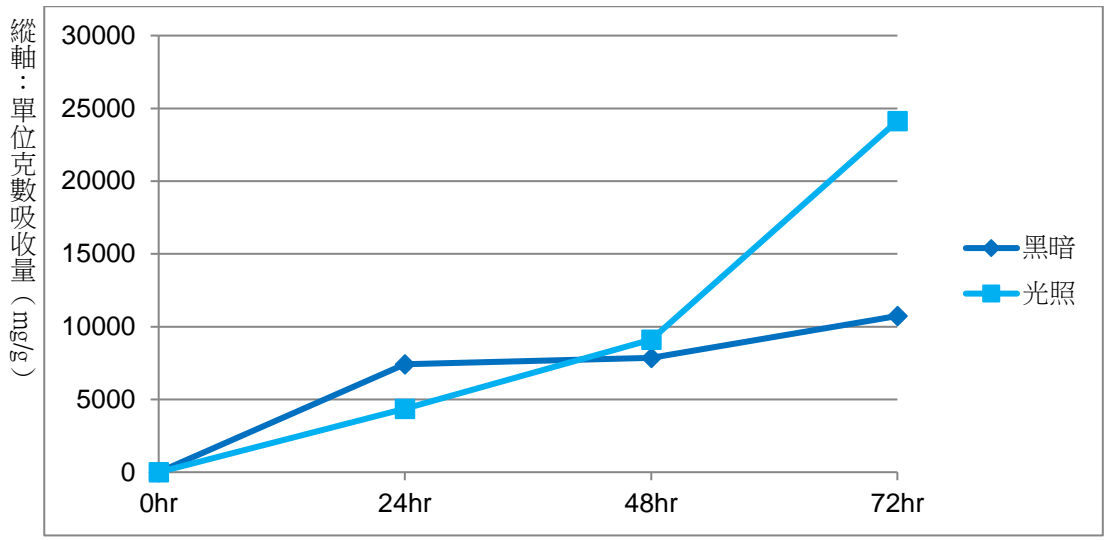
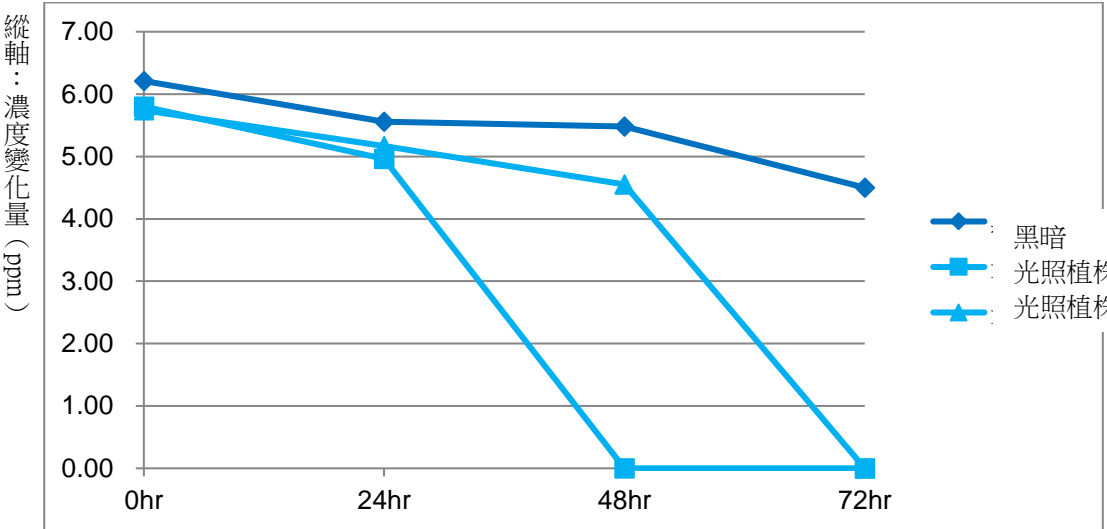


圖 10.水蘊草在水溶液中去除 2ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
 加入光照後濃度下降較黑暗中的快，分別經 48 及 72 小時後濃度降至 0ppm，黑暗中的溶液濃度則降至 4.50ppm。若比較吸收量，黑暗及光照下的單位重量吸收量分別為 25848.36 及 66902.30mg/g。

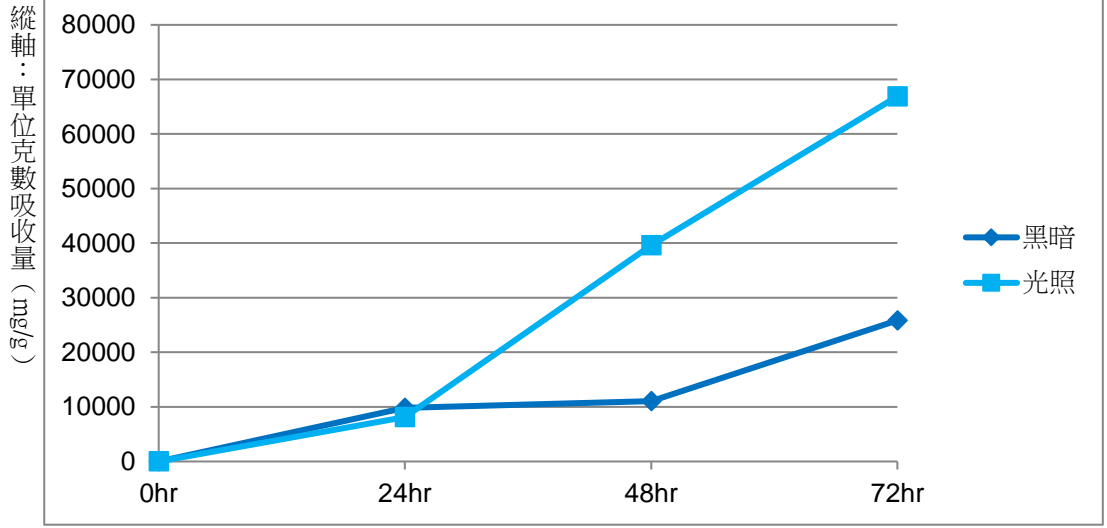
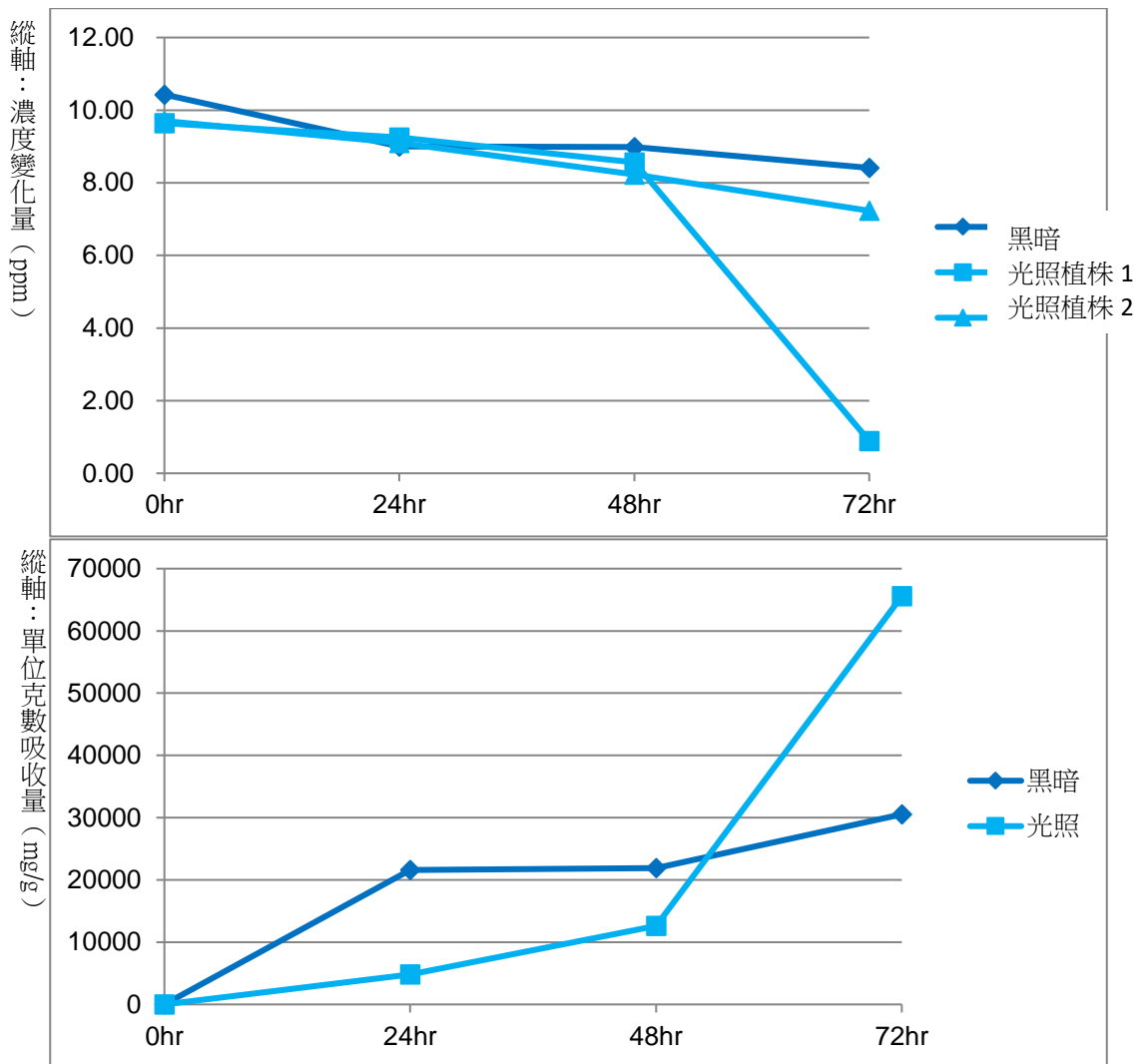


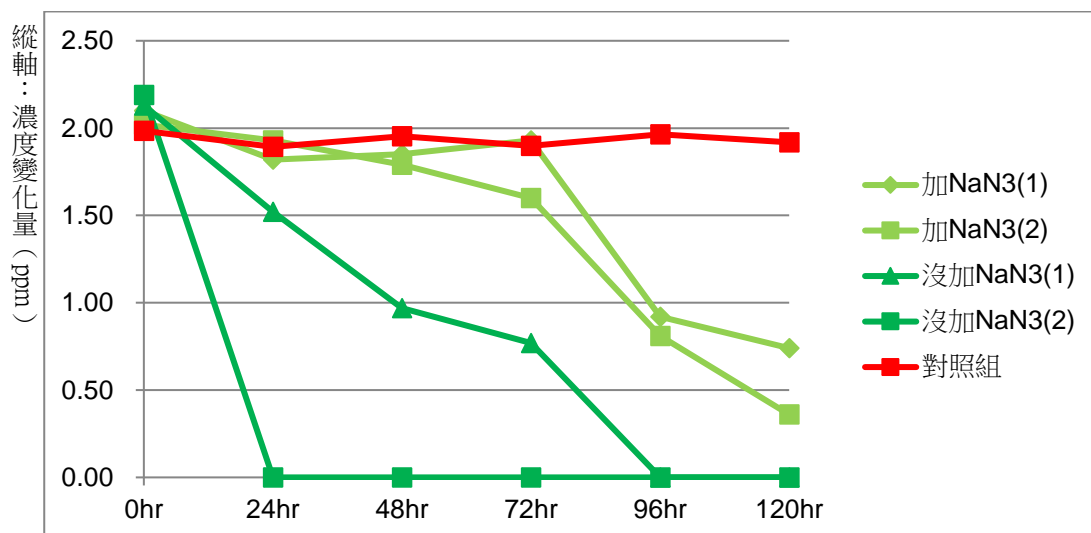
圖 11. 水蘊草在水溶液中去除 6ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
加入光照後濃度下降較黑暗中的快，經 72 小時後濃度分別降至 0.89 及 7.23ppm，黑暗中的溶液濃度則降至 8.41ppm。若比較吸收量，黑暗及光照下的單位重量吸收量分別為 30534.32 及 65569.11mg/g。

圖 12.水蘊草在水溶液中去除 10ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)

三、探討全日照下，微生物對於兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之影響



[圖說]
未知入疊氮化鈉的溶液濃度下降較快，分別經 24 及 96 小時後濃度已降為 0，加入疊氮化鈉的溶液則分別於實驗結束（120 小時）降至 0.74 及 0/36ppm。加入疊氮化鈉與未加入疊氮化鈉的植物吸收量則分別為 34782.22 及 27526.64mg/g

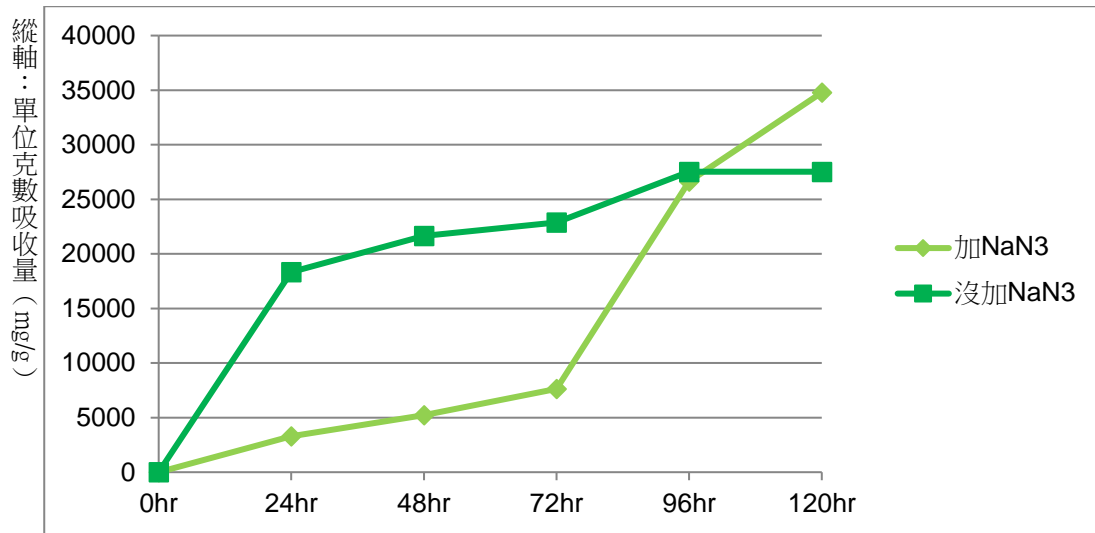
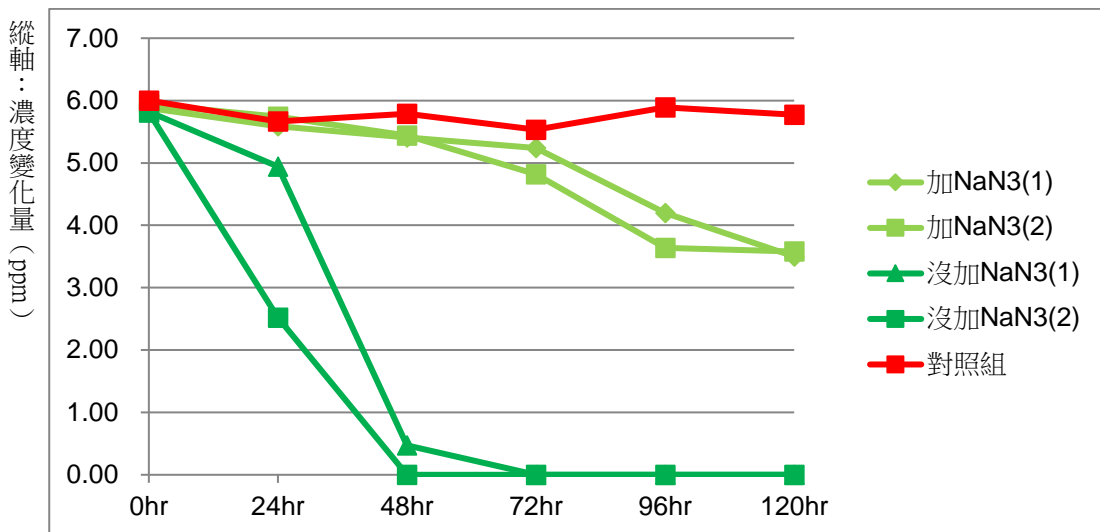


圖 13.光照下 3mM 疊氮化鈉_(aq) 中金魚藻去除 2ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]

未知入疊氮化鈉的溶液濃度亦下降較快，分別經 48 及 72 小時後濃度降為 0，加入疊氮化鈉的溶液則分別於實驗結束（120 小時）降至 3.50 及 3.58ppm。加入疊氮化鈉與未加入疊氮化鈉的植物吸收量則分別為 73148.84 及 76261.62mg/g。

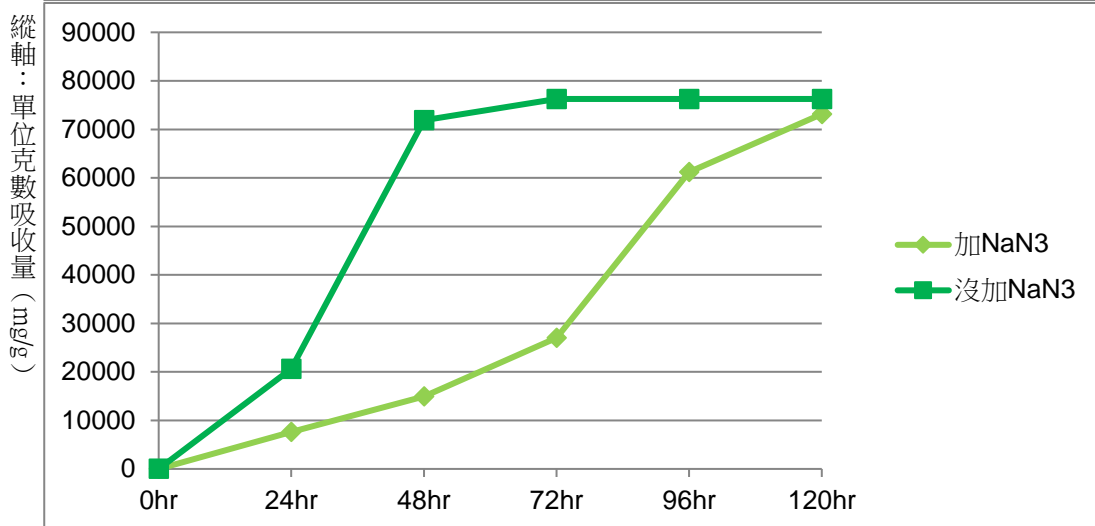
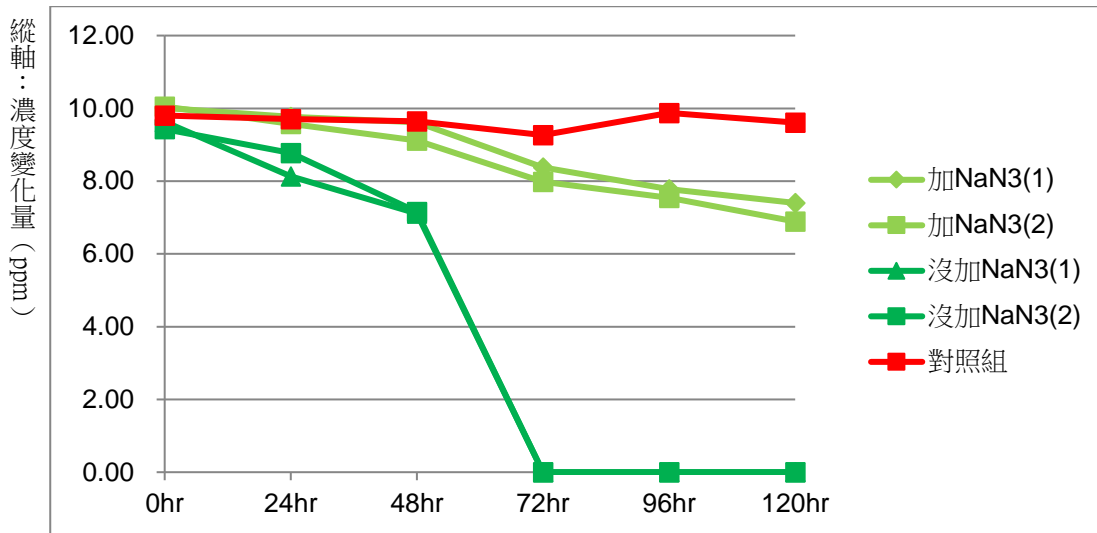


圖 14.光照下 3mM 疊氮化鈉_(aq) 中金魚藻去除 6ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]

未知入疊氮化鈉的溶液濃度亦下降較快，經 72 小時後濃度已降為 0，加入疊氮化鈉的溶液則分別於實驗結束（120 小時）降至 7.4 及 6.89ppm。加入疊氮化鈉與未加入疊氮化鈉的植物吸收量則分別為 97444.21 及 148304.99mg/g。

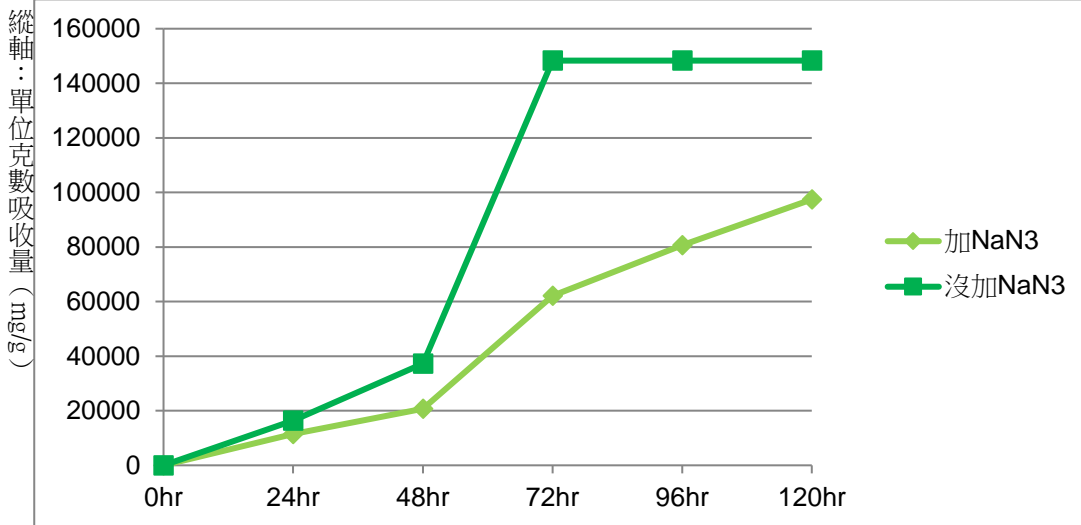
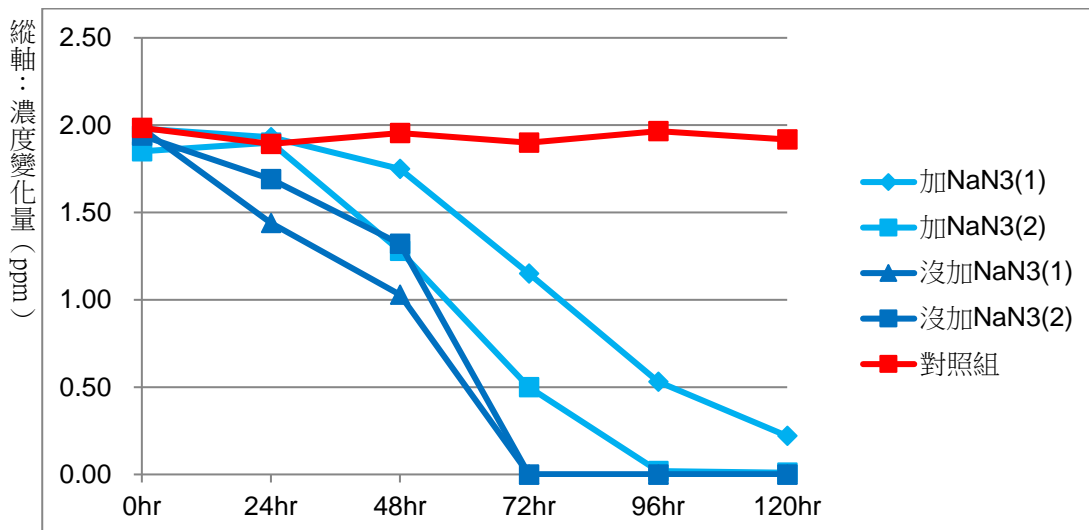


圖 15.光照下 3mM 疊氮化鈉_(aq) 中金魚藻去除 10ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]

未知入疊氮化鈉的溶液濃度下降較快，經 72 小時後濃度已降為 0，加入疊氮化鈉的溶液則經 96 小時後才降為 0，另一組則於實驗結束（120 小時）降至 0.22ppm。加入疊氮化鈉與未加入疊氮化鈉的植物吸收量分別為 24058.88 及 24134.72mg/g

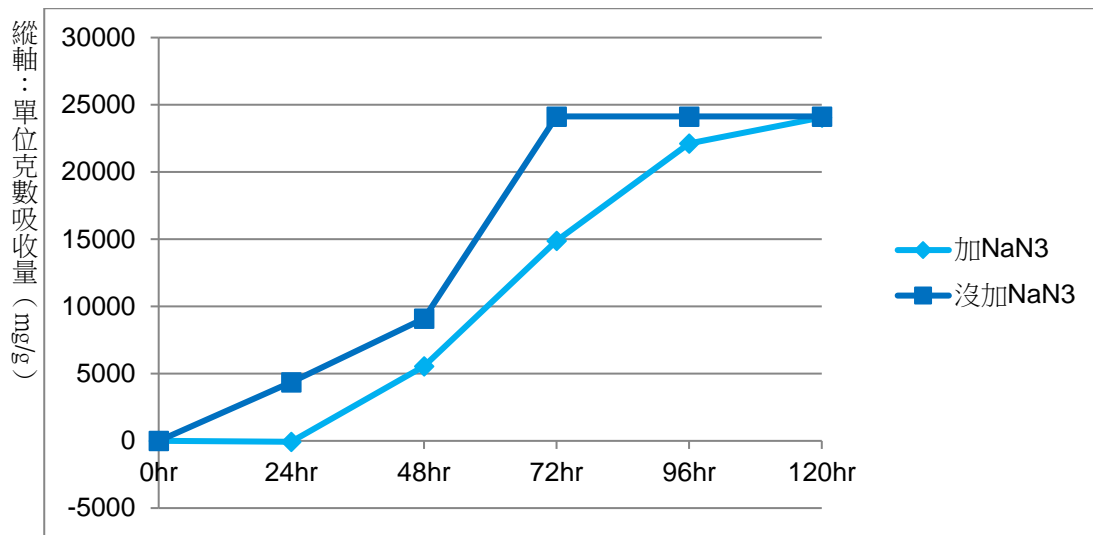
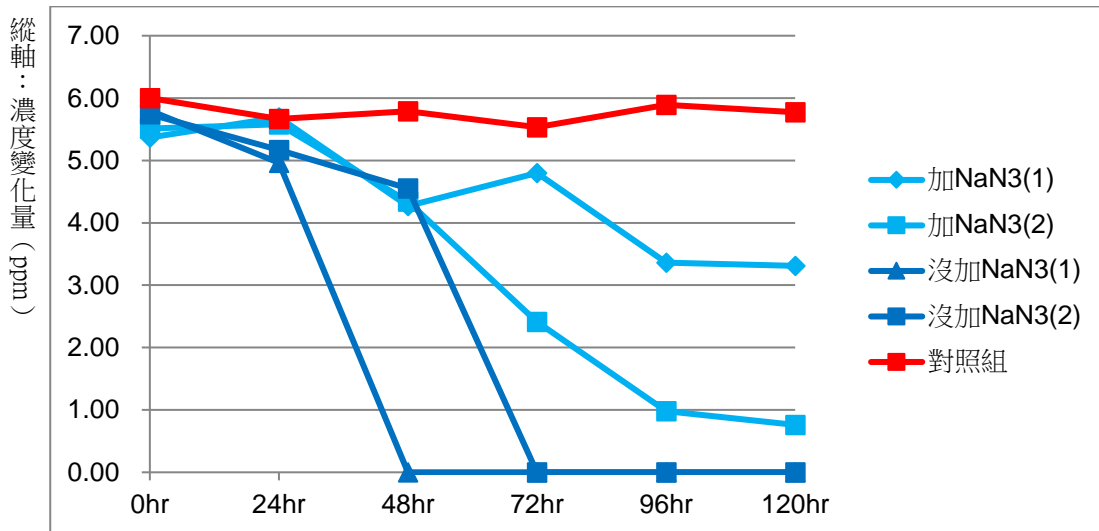


圖 16.光照下 3mM 疊氮化鈉_(aq) 中水蘊草去除 2ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]

由圖(a)可知，未知入疊氮化鈉的溶液濃度亦下降較快，分別經 48 及 72 小時後濃度降為 0，加入疊氮化鈉的溶液則於實驗結束（120 小時）降至 3.31 及 0.57ppm。加入疊氮化鈉與未加入疊氮化鈉的植物吸收量分別為 39361.16 及 66902.30mg/g。

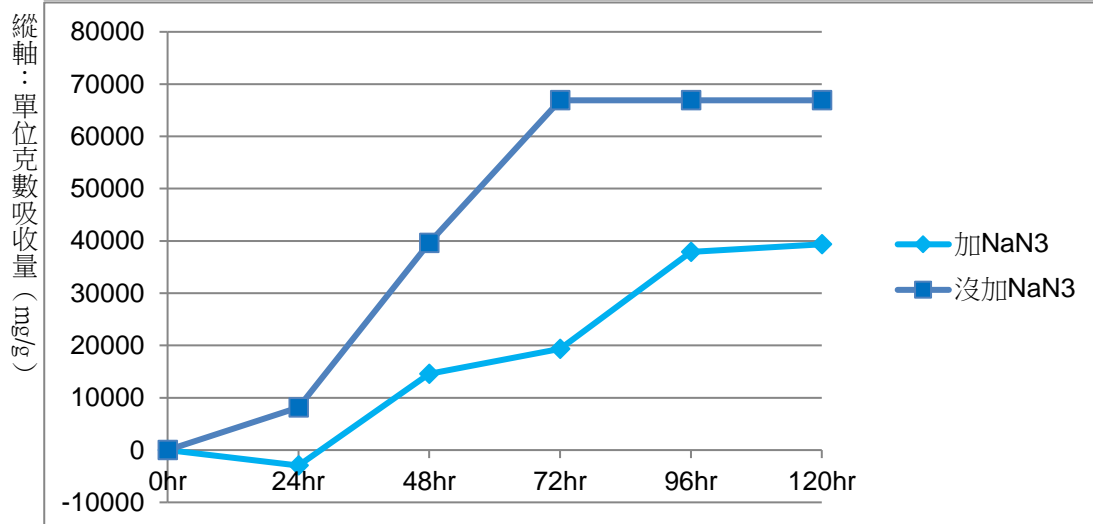
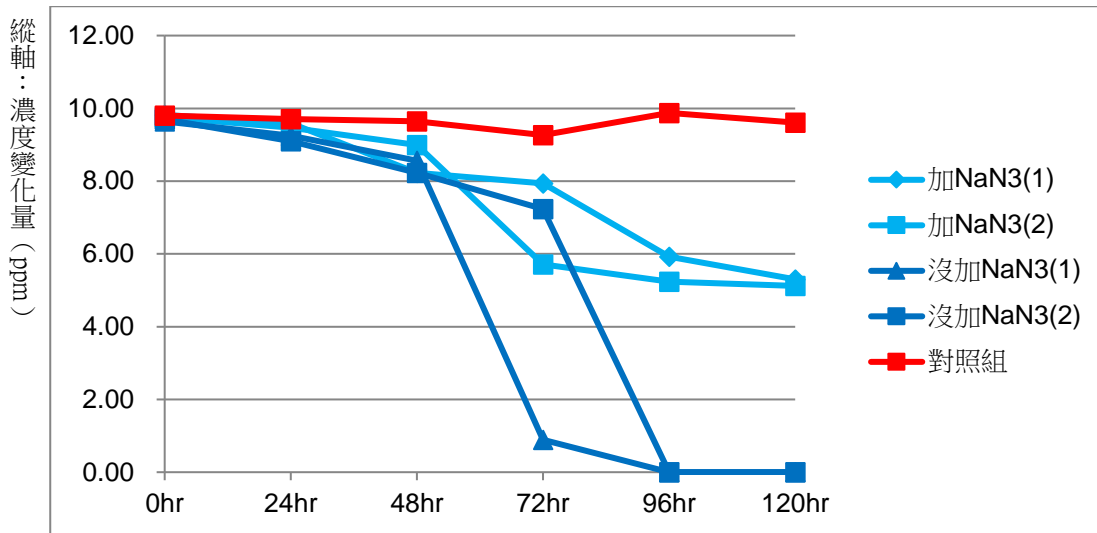


圖 17.光照下 3mM 疊氮化鈉_(aq) 中水蘊草去除 6ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
未知入疊氮化鈉的溶液濃度亦下降較快，經 96 小時後濃度已降為 0，加入疊氮化鈉的溶液則分別於實驗結束（120 小時）降至 5.30 及 5.12ppm。加入疊氮化鈉與未加入疊氮化鈉的植物吸收量則分別為 67526.99 及 99149.404mg/g。

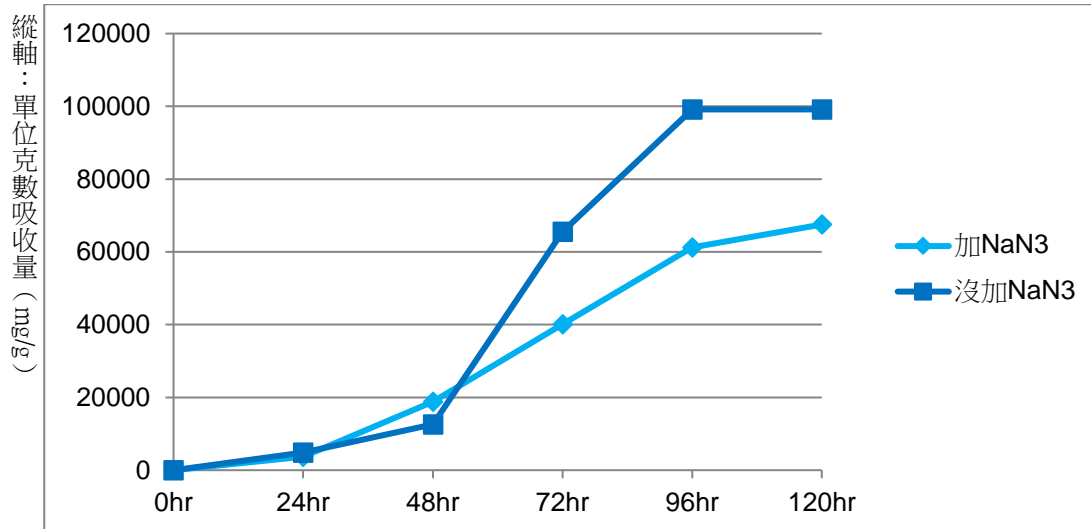
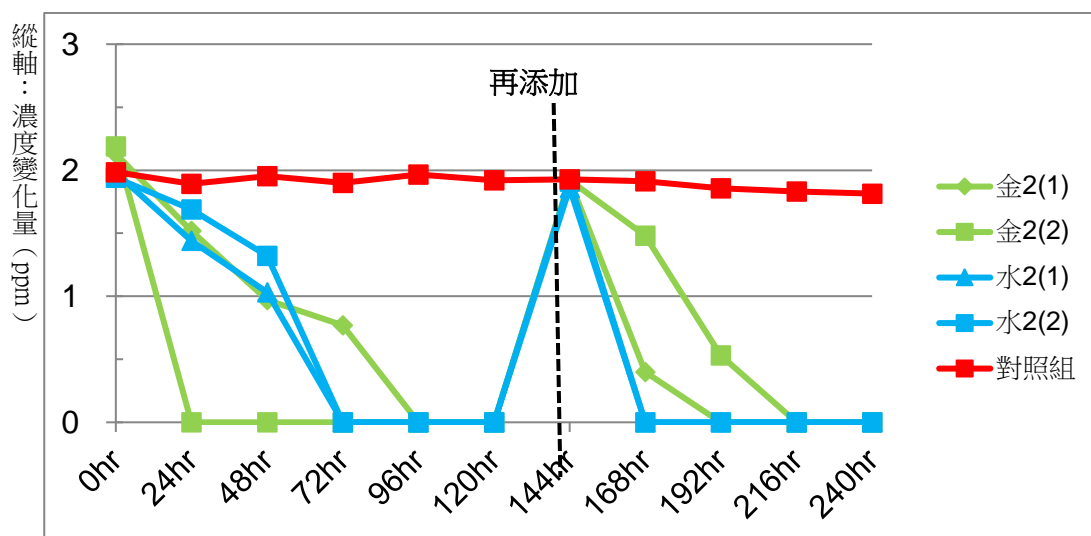
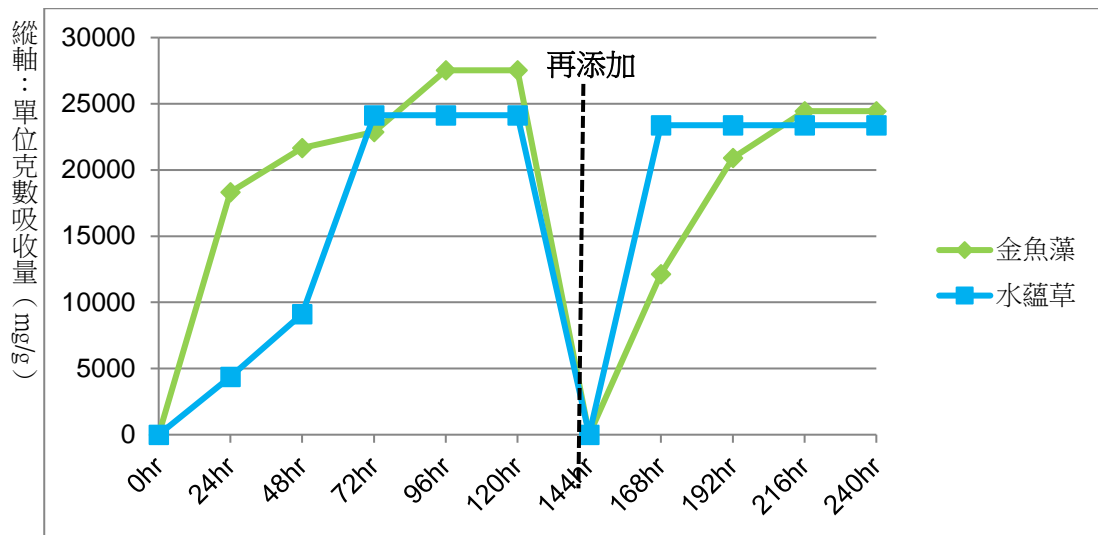


圖 18.光照下 3mM 疊氮化鈉_(aq) 中水蘊草去除 10ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)

四、探討全日照下，二次添加對於兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之影響

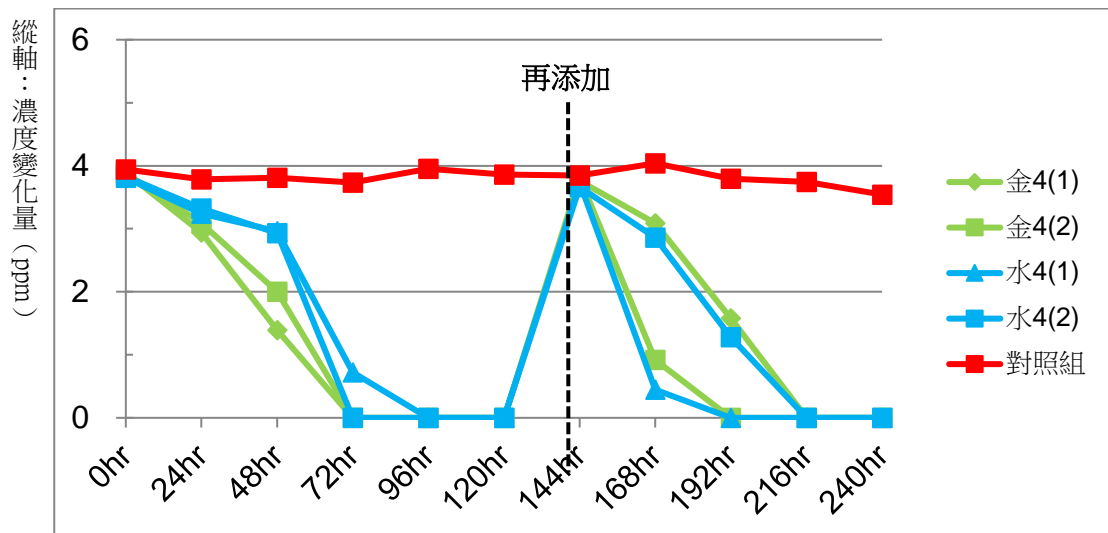


[圖說]
第一次添加中，置入金魚藻的溶液分別經 24 及 96 小時後濃度降為 0，置入水蘊草的溶液則是在 72 小時後濃度降為 0。金魚藻和水蘊草單位重量吸收量分別為 27526.64 及 24134.72mg/g。



第二次添加後，置入金魚藻的溶液分別經 48 及 72 小時後濃度降為 0，置入水蘊草的溶液則是在 24 小時後濃度降為 0。金魚藻和水蘊草單位重量吸收量分別為 24451.00 及 23368.74mg/g。兩次添加中金魚藻組和水蘊草組皆完全清除 acetaminophen。

圖 19.光照下二次添加對兩種水生植物去除 2ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



第一次添加中，置入金魚藻的溶液經 72 小時後濃度降為 0，置入水蘊草的溶液則是分別在 72 及 96 小時後濃度降為 0。金魚藻和水蘊草單位重量吸收量分別為 53187.18 及 43354.62mg/g。

第二次添加後，置入金魚藻的溶液分別經 48 及 72 小時後濃度降為 0，置入水蘊草的溶液則是分別經 48 及 72 小時後濃度降為 0。金魚藻和水蘊草單位重量吸收量分別為 51788.67 及 41828.79mg/g。兩次添加中皆完全清除 acetaminophen

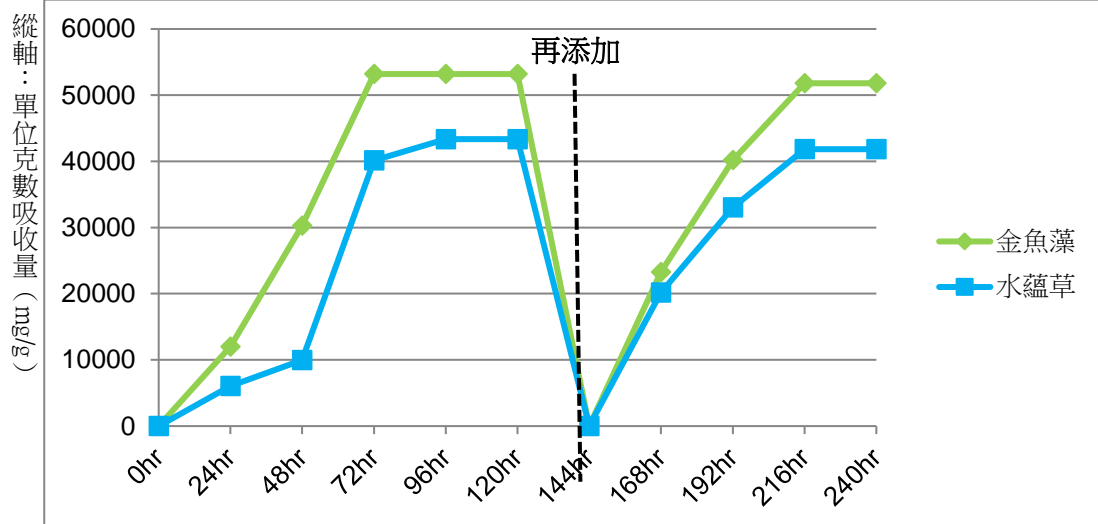
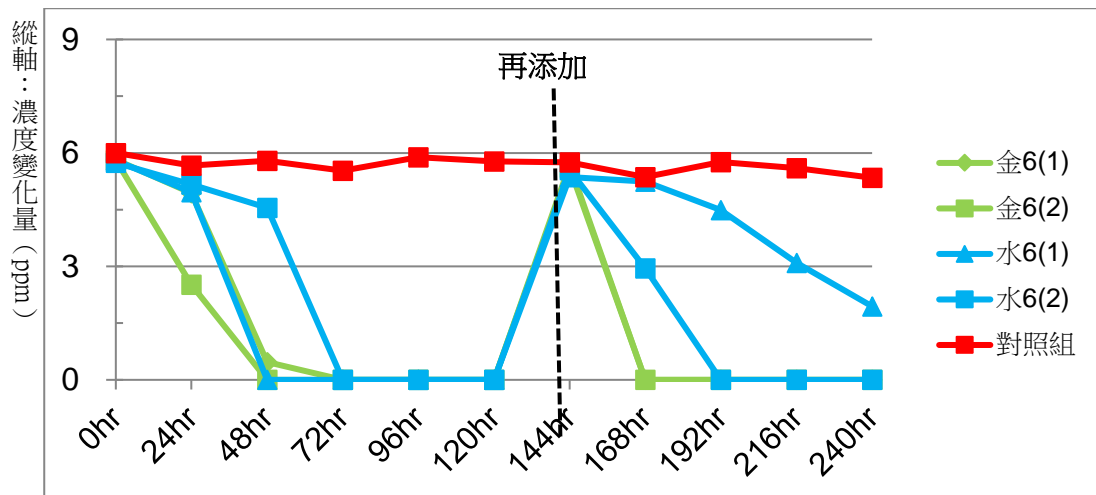
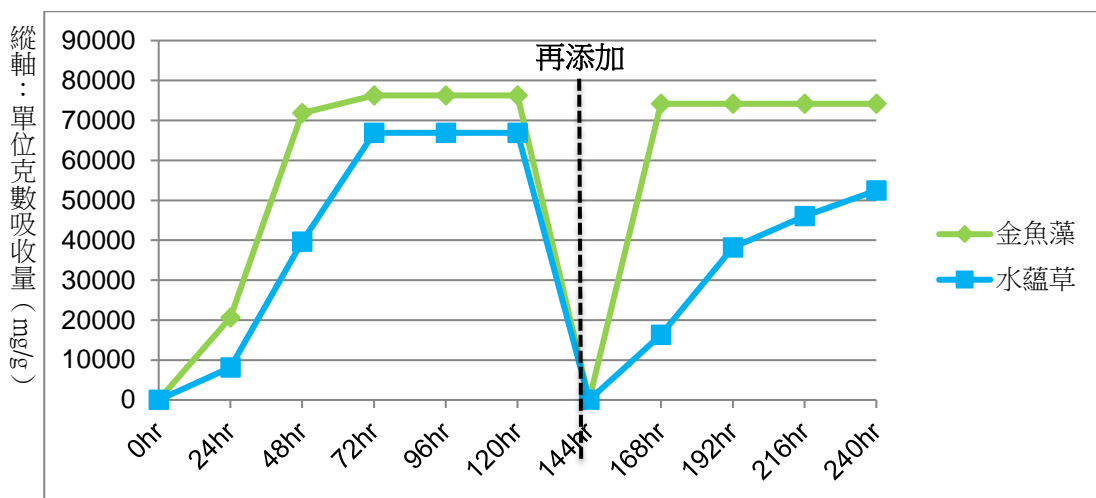


圖 20.光照下二次添加對兩種水生植物去除 4ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)

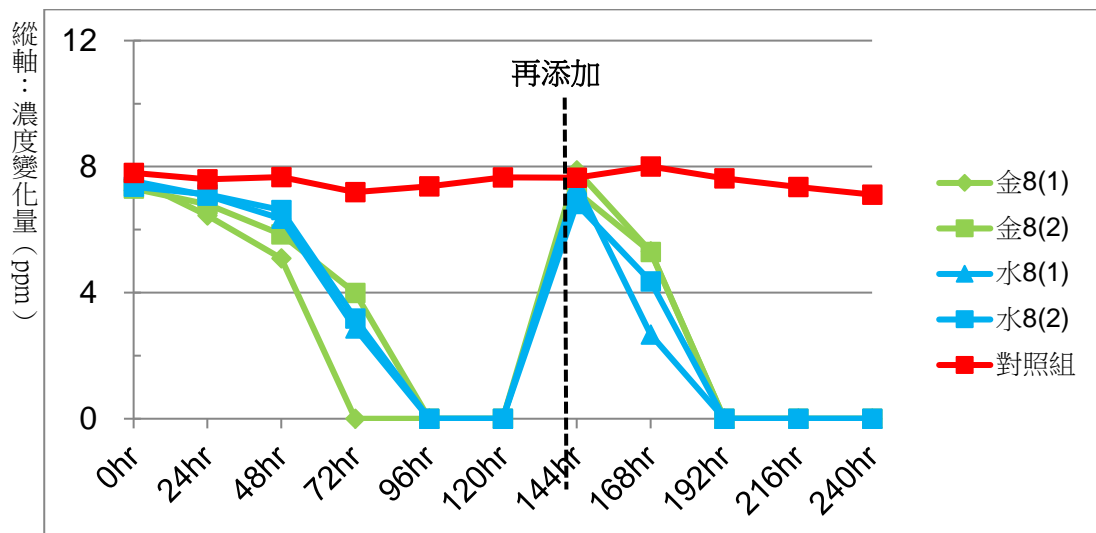


第一次添加中，置入金魚藻的溶液分別經 48 及 72 小時後濃度降為 0，置入水蘊草的溶液則是在 72 小時後濃度降為 0。金魚藻和水蘊草單位重量吸收量分別為 76261.62 及 66902.30mg/g。

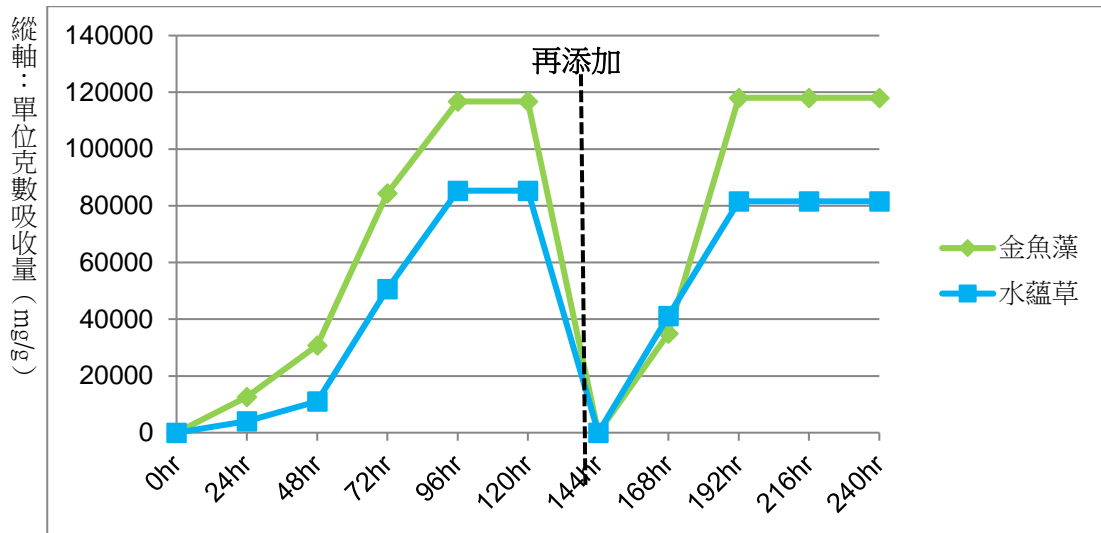


第二次添加後，置入金魚藻的溶液經 24 小時後濃度降為 0，置入水蘊草的溶液則是經 48 小時後濃度降為 0。金魚藻和水蘊草單位重量吸收量分別為 74199.50 及 52438.12mg/g。兩次添加中金魚藻組和水蘊草組皆完全清除 acetaminophen

圖 21.光照下二次添加對兩種水生植物去除 6ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)

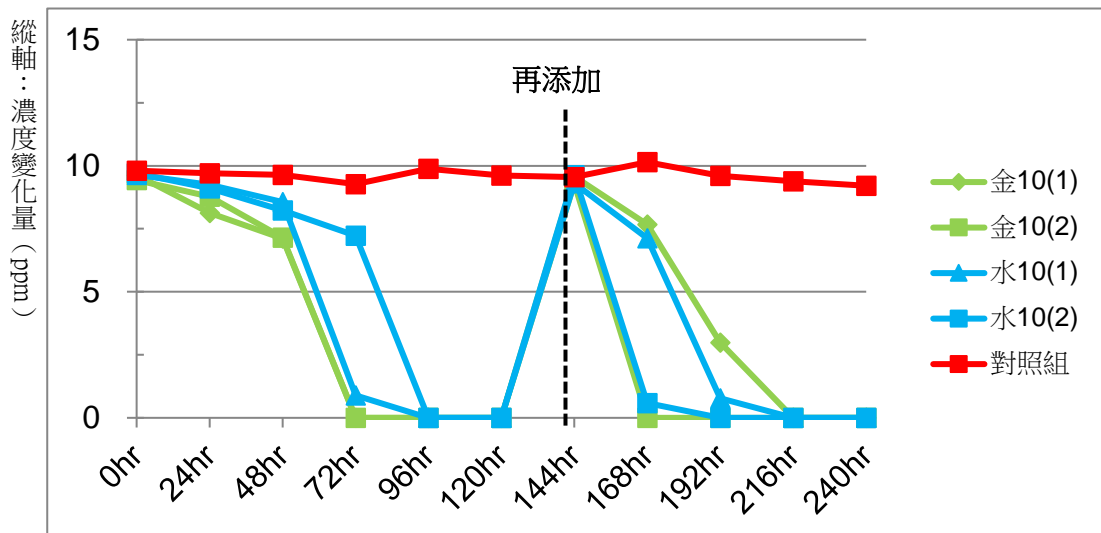


第一次添加中，置入金魚藻的溶液分別經 72 及 96 小時後濃度降為 0，置入水蘊草的溶液則是在 96 小時後濃度降為 0。金魚藻和水蘊草單位重量吸收量分別為 116767.04 及 85317.76mg/g。



第二次添加後，置入金魚藻及置入水蘊草的溶液皆經 4 小時後濃度降為 0。金魚藻和水蘊草單位重量吸收量分別為 118070.59 及 81614.25mg/g。兩次添加中金魚藻組和水蘊草組皆完全清除 acetaminophen。

圖 22.光照下二次添加對兩種水生植物去除 8ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



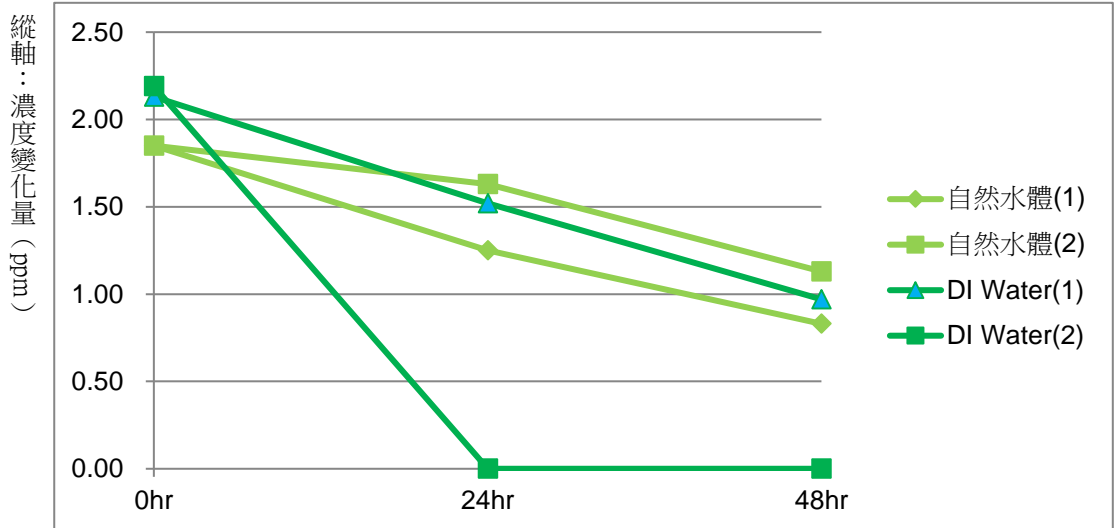
第一次添加中，置入金魚藻的溶液經 72 小時後濃度降為 0，置入水蘊草的溶液則是在 96 小時後濃度降為 0。金魚藻和水蘊草單位重量吸收量分別為 148304.99 及 99149.40mg/g。

第二次添加後，置入金魚藻的溶液經 24 小時後濃度降為 0，置入水蘊草的溶液則是分別經 48 及 72 小時後濃度降為 0。金魚藻和水蘊草單位重量吸收量分別為 146706.18 及 96727.24mg/g。兩次添加中金魚藻組和水蘊草組皆完全清除 acetaminophen。



圖 23.光照下二次添加對兩種水生植物去除 10ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)

五、探討全日照下，兩種水生植物在自然水體中去除 Acetaminophen 之效果



[圖說]
2ppm 溶液中，金魚藻在 DI Water 溶液中吸附能力較強，實驗結束（48 小時）吸收量為 21661.62mg/g，而在自然水體中實驗結束（48 小時）吸收量為 12663.22mg/g。

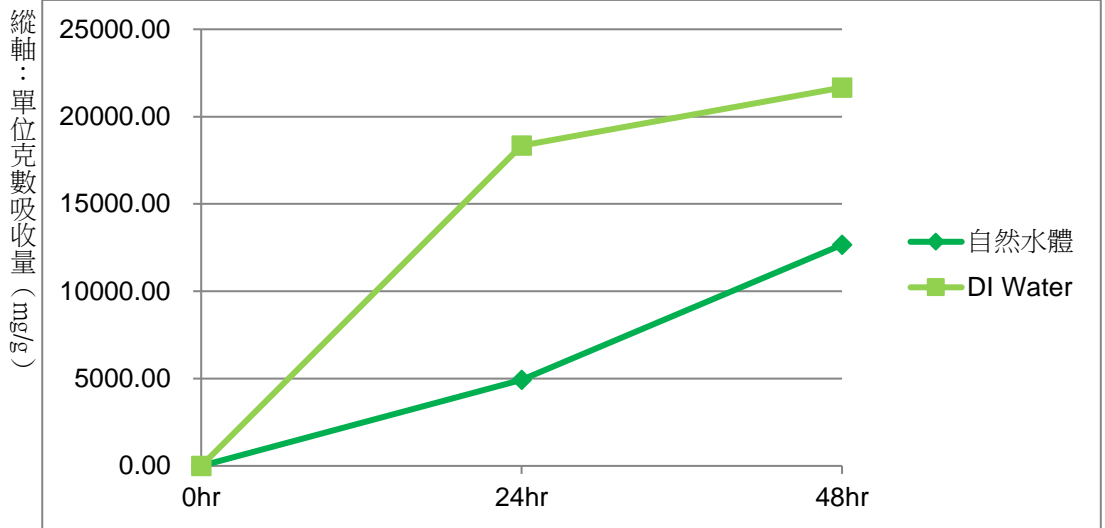
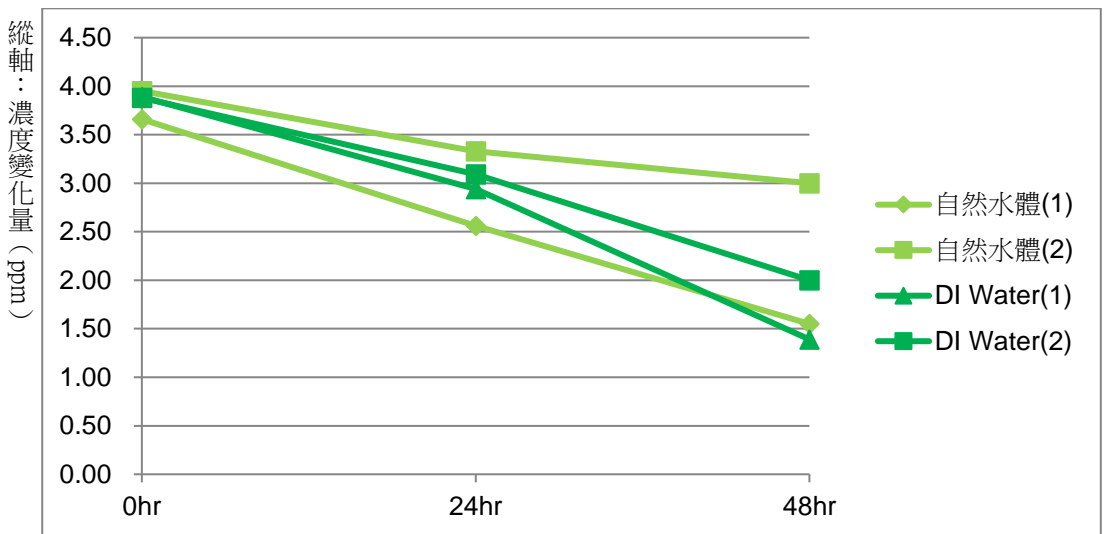


圖 24.光照下自然水體中金魚藻去除 2ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
4ppm 溶液中，金魚藻在 DI Water 溶液中吸附能力較強，實驗結束（48 小時）吸收量為 30285.02mg/g，而在自然水體中實驗結束（48 小時）吸收量為 25637.94 mg/g。

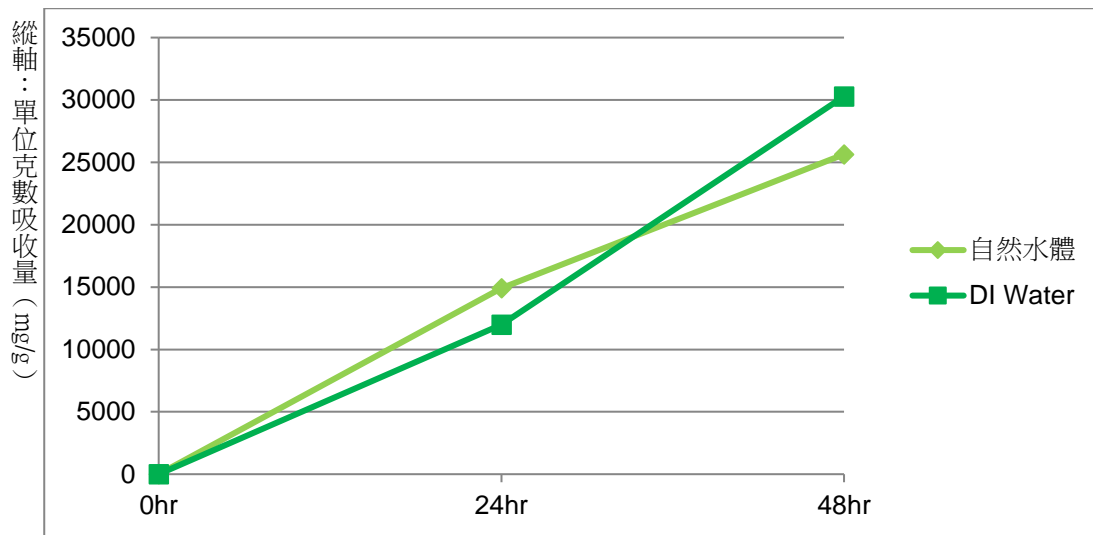
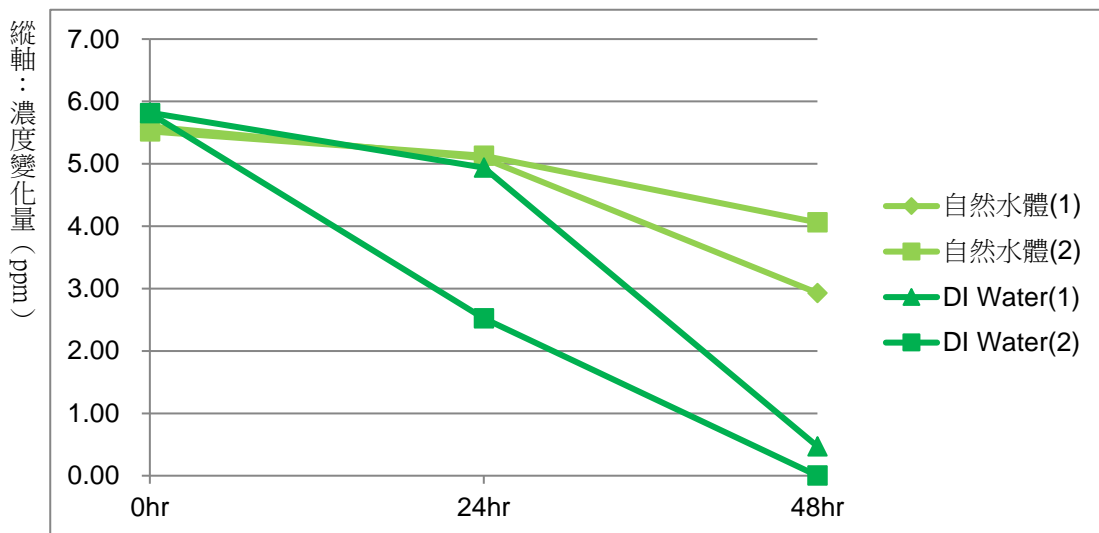


圖 25.光照下自然水體中金魚藻去除 4ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]

6ppm 溶液中，金魚藻在 DI Water 溶液中吸附能力較強，實驗結束（48 小時）吸收量為 71876.11mg/g，而在自然水體中實驗結束（48 小時）吸收量為 49309.22 mg/g。

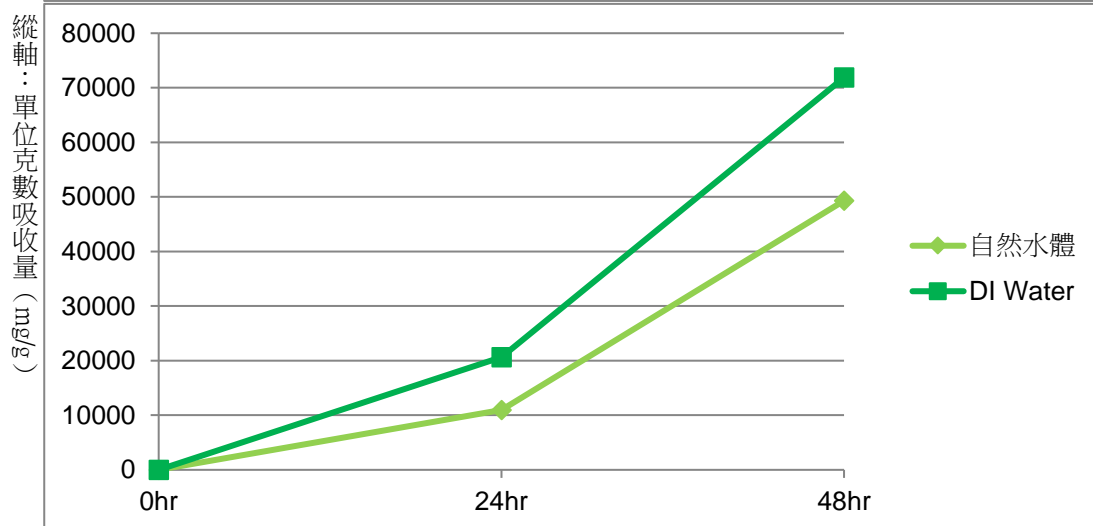
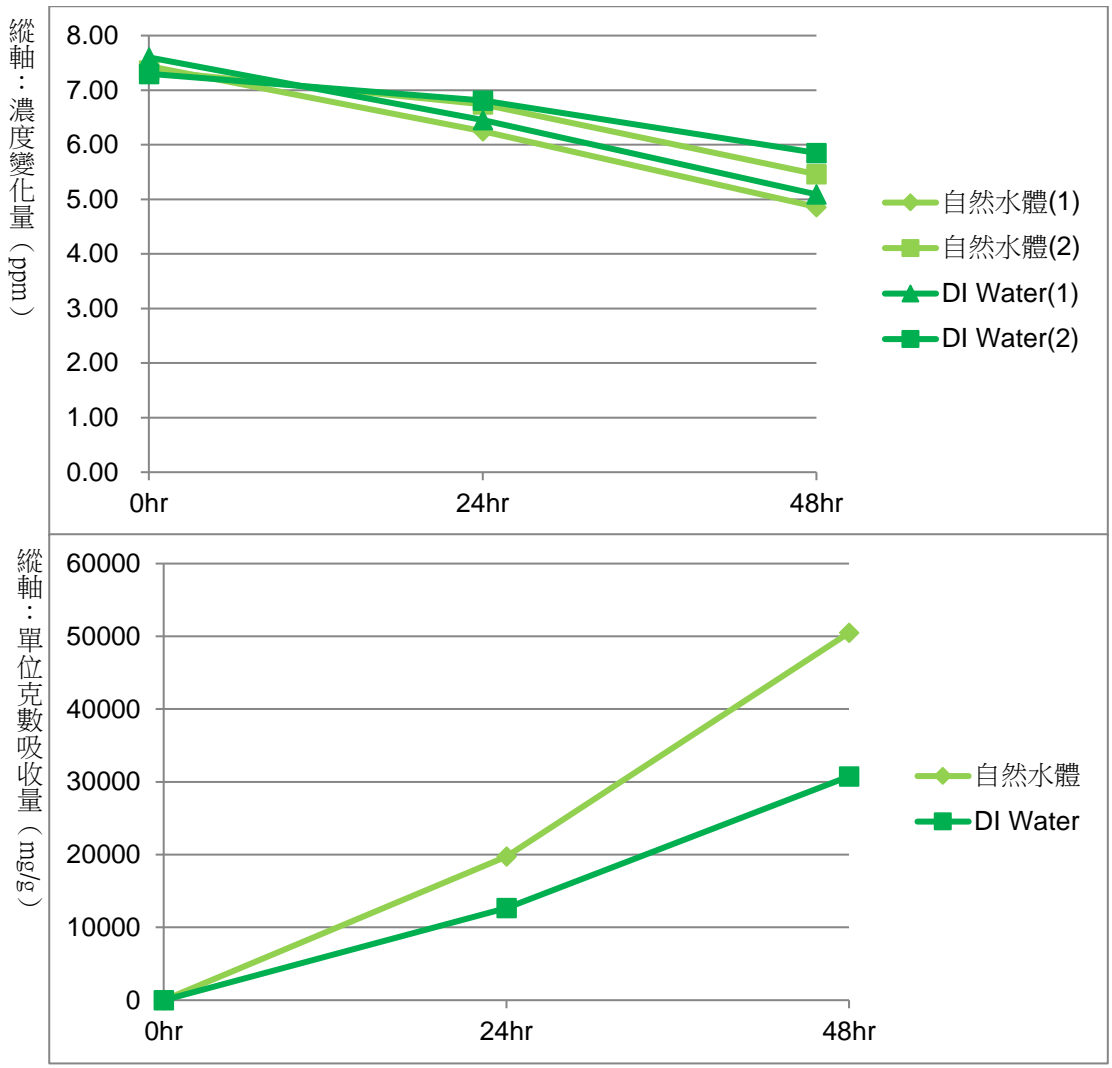
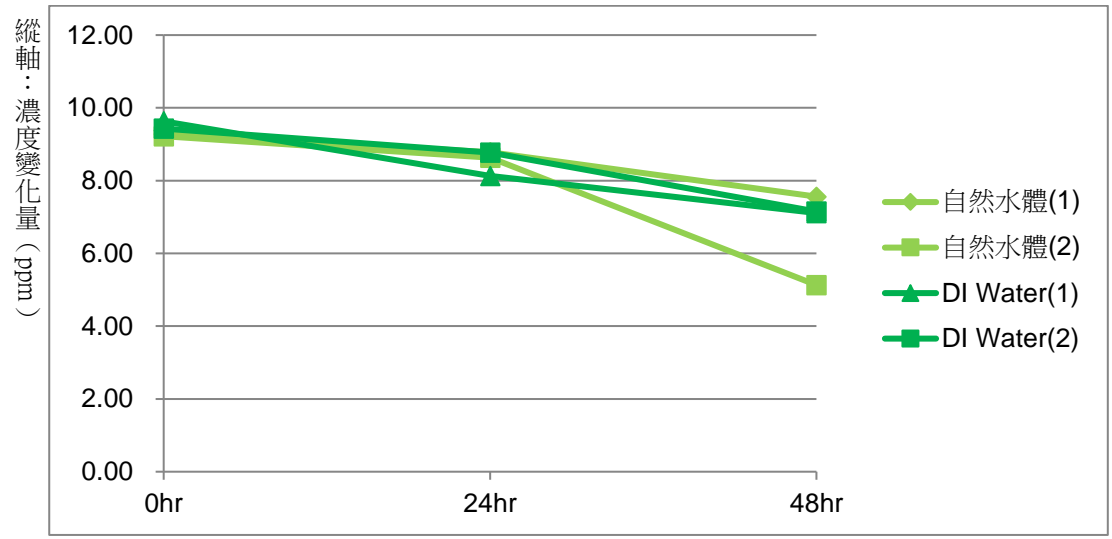


圖 26.光照下自然水體中金魚藻去除 6ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
8ppm 溶液中，金魚藻在自然水體溶液中吸附能力較強，實驗結束（48 小時）吸收量為 **50484.00mg/g**，而在 DI Water 中實驗結束（48 小時）吸收量為 **30754.55mg/g**。

圖 27.光照下自然水體中金魚藻去除 8ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
10ppm 溶液中，金魚藻在自然水體溶液中吸附能力較強，實驗結束（48 小時）吸收量為 **56949.79mg/g**，而在 DI Water 中實驗結束（48 小時）吸收量為 **37250.14mg/g**。

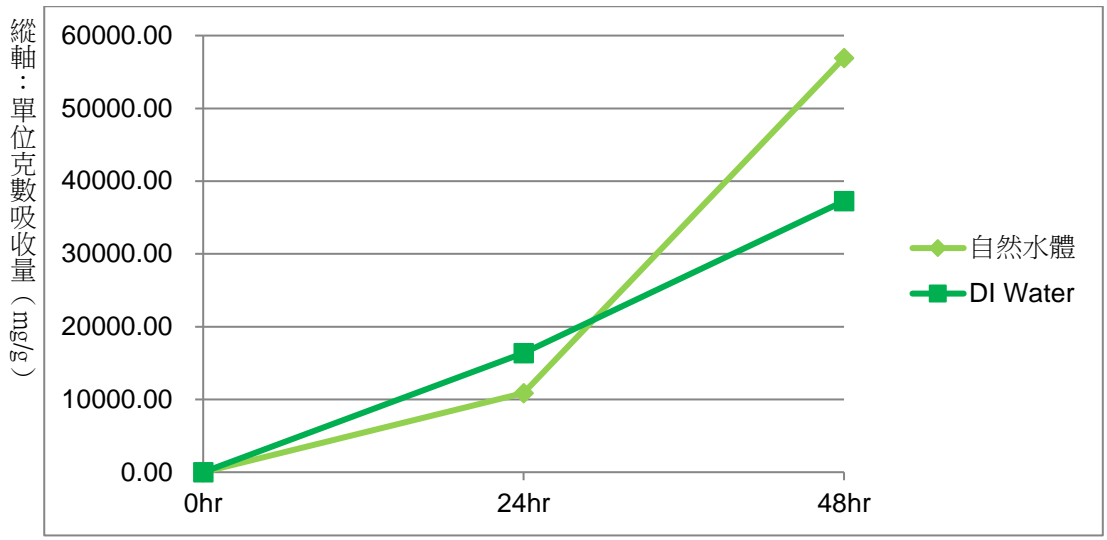
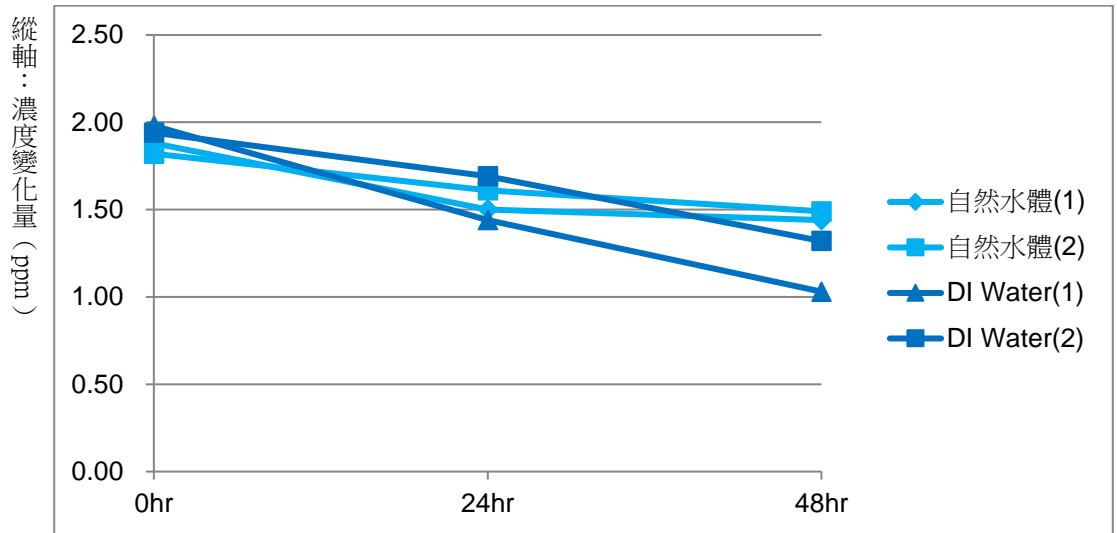


圖 28.光照下自然水體中金魚藻去除 10ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
 2ppm 溶液中，水蘊草在 DI Water 溶液中吸附能力較強，實驗結束（48 小時）吸收量為 9107.06mg/g，而在自然水體中實驗結束（48 小時）吸收量為 4238.40 mg/g。

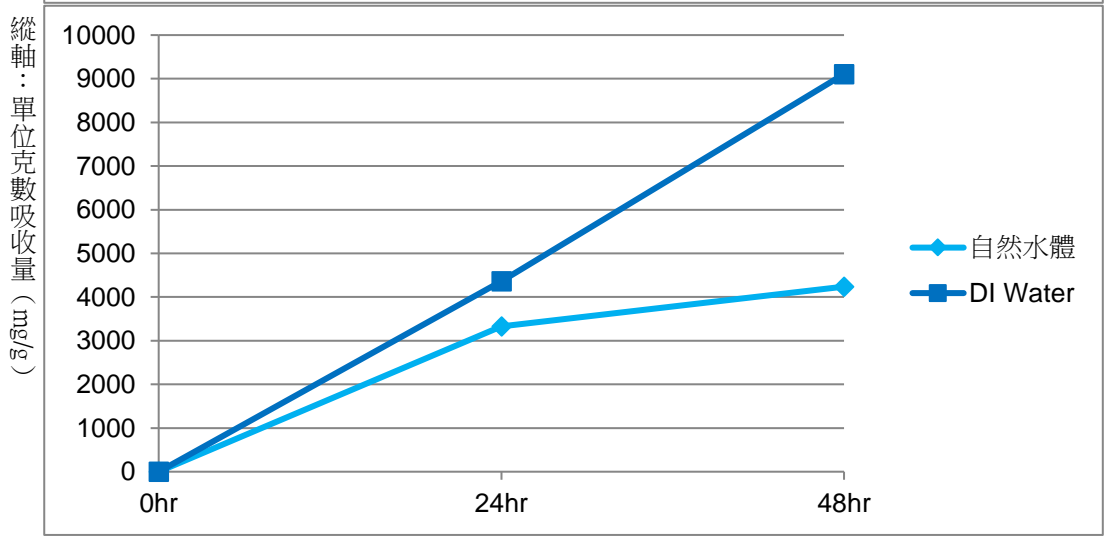
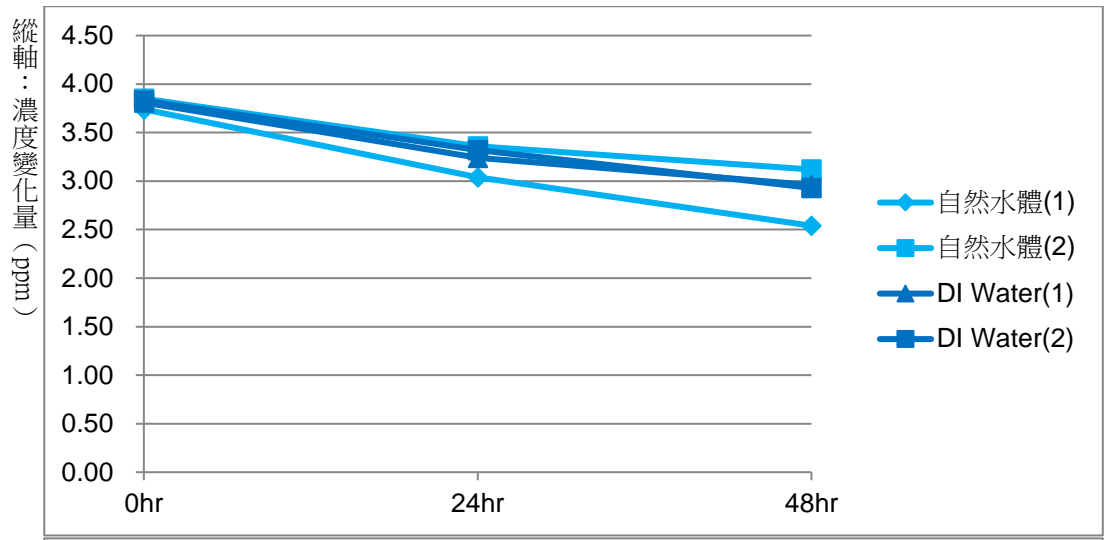


圖 29.光照下自然水體中水蘊草去除 2ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
 4ppm 溶液中，水蘊草在自然水體溶液中吸附能力較強，實驗結束（48 小時）吸收量為 31291.23mg/g，而在 DI Water 中實驗結束（48 小時）吸收量為 9985.17mg/g。

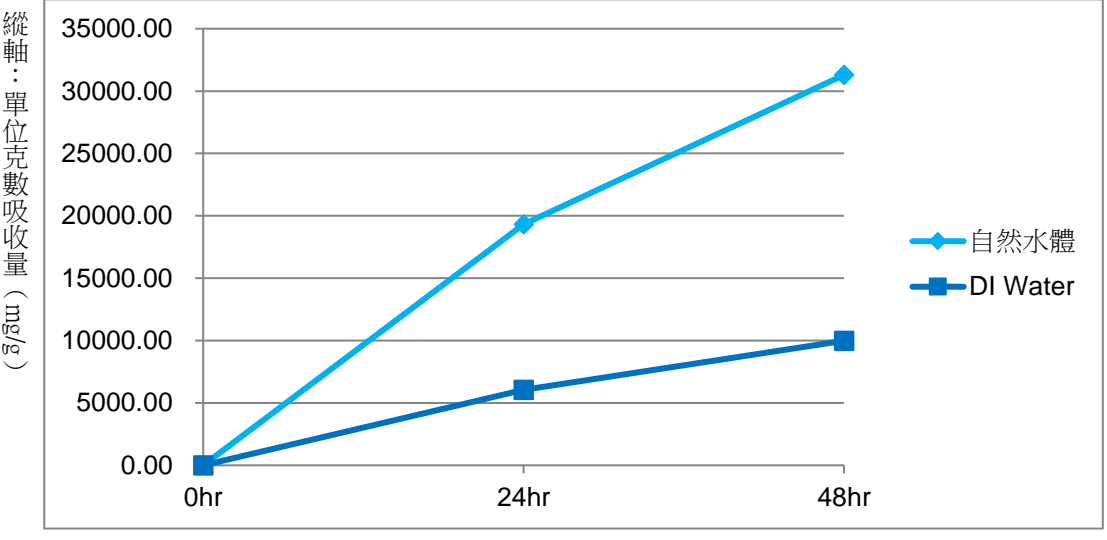
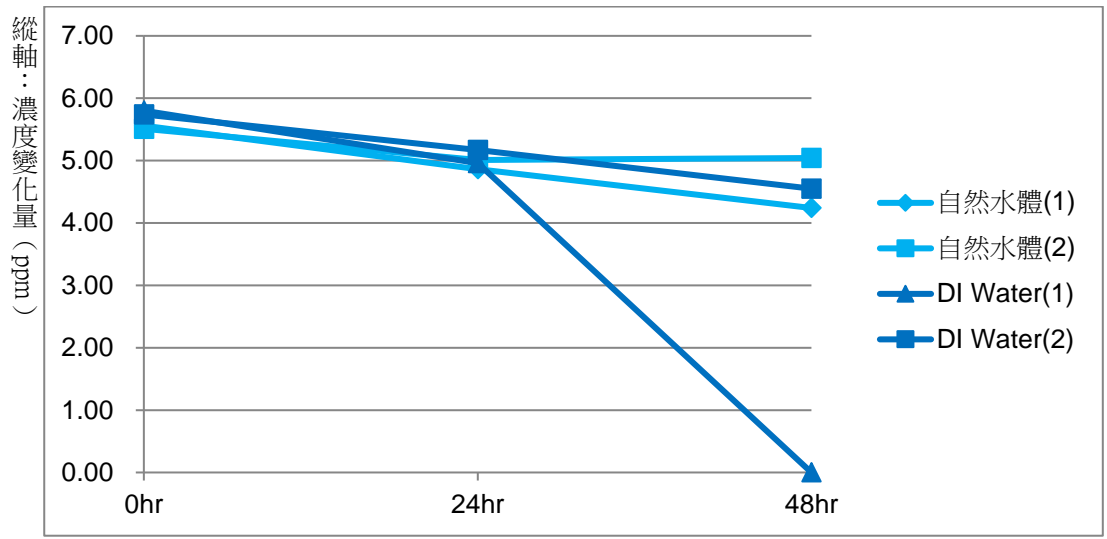


圖 30.光照下自然水體中水蘊草去除 4ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
 6ppm 溶液中，水蘊草在 DI Water 溶液中吸附能力較強，實驗結束（48 小時）吸收量為 39609.51mg/g，而在自然水體中實驗結束（48 小時）吸收量為 20813.00 mg/g。

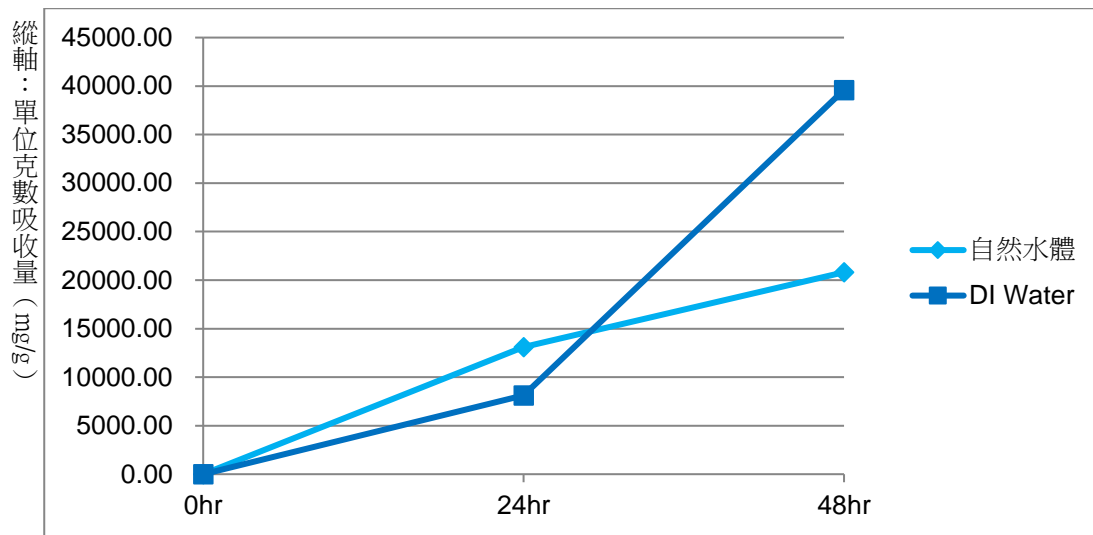
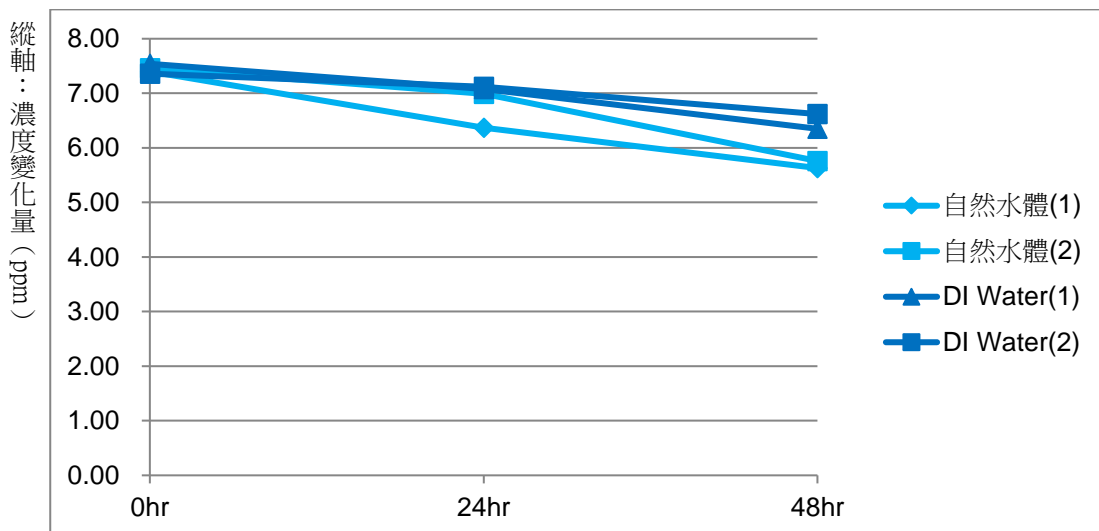


圖 31.光照下自然水體中水蘊草去除 6ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]

8ppm 溶液中，水蘊草在自然水體溶液中吸附能力較強，實驗結束（48 小時）吸收量為 32386.21mg/g，而在 DI Water 中實驗結束（48 小時）吸收量為 11014.20mg/g。

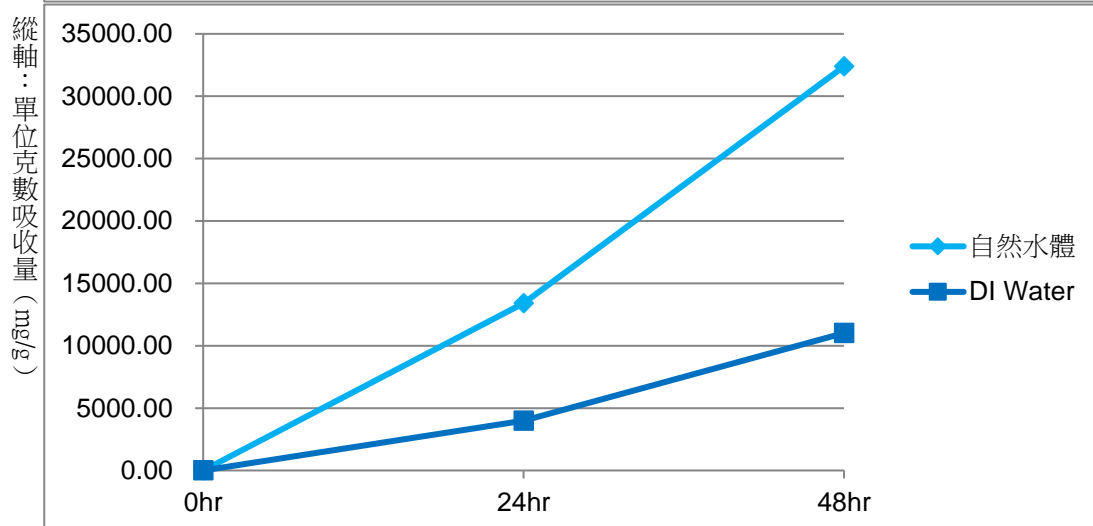
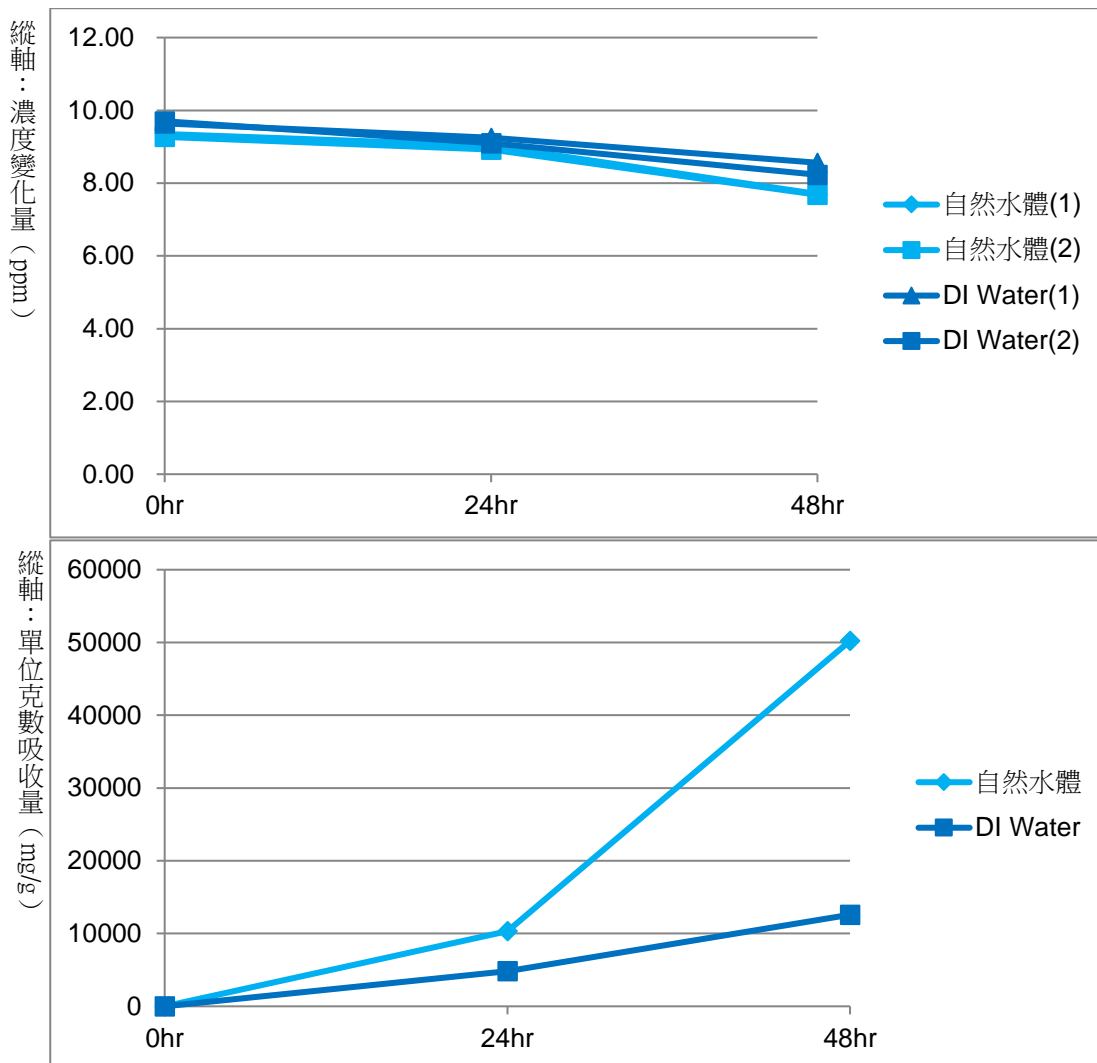


圖 32.光照下自然水體中水蘊草去除 8ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)



[圖說]
10ppm 溶液中，水蘊草在自然水體溶液中吸附能力較強，實驗結束（48 小時）吸收量為 50220.25mg/g，而在 DI Water 中實驗結束（48 小時）吸收量為 12585.99mg/g。

圖 37.光照下自然水體中水蘊草去除 10ppm Acetaminophen 之效果(a)及吸收曲線(b)

陸、討論

一、探討光照對兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之效果。

Acetaminophen 在光照及黑暗中 72 小時內清除率分別如下:

溶液濃度	2ppm		4ppm		6ppm		8ppm		10ppm	
	光照	黑暗	光照	黑暗	光照	黑暗	光照	黑暗	光照	黑暗
金魚藻	66%	38%	100%	X	100%	43%	74%	X	98%	42%
水蘊草	100%	37%	69%	X	100%	25%	43%	X	42%	18%

表中 X 為由於黑暗組只進行三種濃度實驗(2、6、10ppm)故 4ppm 與 8ppm 無數據呈現。

由表中可知，除 2ppm 水蘊草清除效果大於金魚藻外，其餘濃度水溶液中金魚藻清除效果皆比水蘊草佳。

而兩種水生植物在有光照條件下清除 Acetaminophen 效果皆遠高於無光照之黑暗組，可推知光照確實對植物清除 Acetaminophen 之能力有顯著影響。推測為植物在照光下能有更佳的生長背景，而黑暗時植物無法進行正常生理作用進而影響其清除 Acetaminophen 之效果。探討光照因素下，微生物對兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之影響。

由圖可得知，無微生物組(添加疊氮化鈉組)清除效果在各濃度皆比對照組(有微生物組)略差，但在數天後兩組溶液濃度皆降為 0，推測一為植物清除 Acetaminophen 之效果部分來自於微生物作用，主要仍為植物本身清除，推測二為加入藥品改變植物本身生長環境，實驗時觀察植物有變黃之情形，疊氮化鈉可能影響植物正常生理作用進而干擾其清除 Acetaminophen 之效果。

二、探討光照因素下，二次添加對於兩種水生植物在水溶液中去除 Acetaminophen 之影響。

由於水生植物清除 Acetaminophen 效果極佳，在 72 小時後，濃度皆降為 0，於是我們想進一步探討進行二次添加 Acetaminophen 後其是否仍具有良好之清除能力，作為進一步推測其清除機制之重要參考。

由圖中可知，在 2ppm 及 6ppm 水溶液中，金魚藻清除效果較水蘊草佳，且兩者二次添加之清除效果皆大於首次添加。

在 4ppm、8ppm 及 10ppm 水溶液中，金魚藻與水蘊草之清除效果大致相同，而兩者二次添加之清除效果仍大於首次添加。

而二次添加之清除效果大於首次添加，推測一為生長箱內環境較適合植物生長，同時增進其清除能力。二為首次添加時已開啟植物對 Acetaminophen 之代謝路徑所造成二次清除效果較好，三為一定量之 Acetaminophen 對植物所造成之逆境反應，強化植物清除 Acetaminophen 能力，詳細機制仍有待進一步研究。

柒、結論

經由這次的實驗結果，可以發現 Acetaminophen 水溶液在環境中會受光照降解，在自然水體中也會降解，但是兩者幅度皆不大，若以未經處理的方式排出將會對環境造成持續性的危害，而植物對於 Acetaminophen 水溶液確實有明顯的清除趨勢，金魚藻與水蘊草在有光照條件下對於 Acetaminophen 清除率均高達百分之百，其中又以金魚藻清除效率為高，經過二次添加溶液後兩者仍維持極佳的清除表現，值得一提的是二次清除之效率甚至比首次添加更好。從實驗結果可以發現生物清除的方式效果不比化學清除法差，卻是對環境更友善的處理方式。

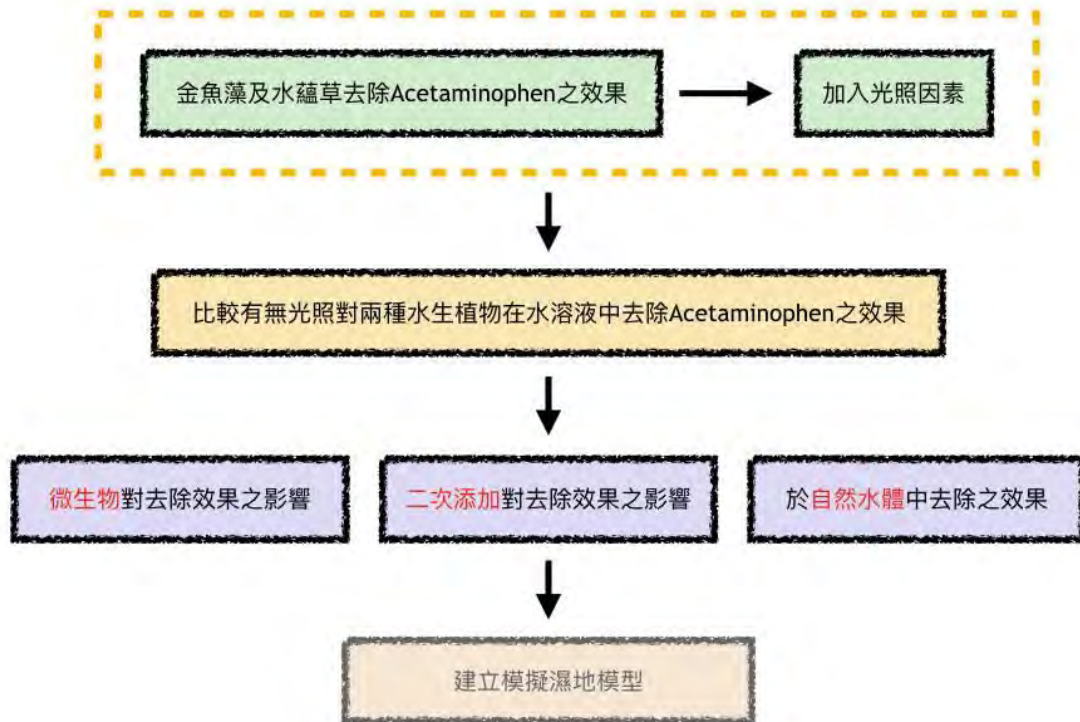
捌、未來展望

- 一、以較高濃度的溶液進行實驗，雖較不貼近實際情形，但可避免植物體短時間內吸收完 **Acetaminophen** 導致實驗結果無法比較清除率。
- 二、以較低濃度之疊氮化鈉溶液，或多次間隔、短時間的 UV 光照已建立無菌環境等，較不傷害植物體的方式去除其表面的微生物，以探討微生物對植物吸收 **Acetaminophen** 之影響。
- 三、進行三次以上重複添加，希望能找出植物於每次添加時完全清出 **Acetaminophen** 所需時間是否有逐漸減短之趨勢，並探究其可能原因。
- 四、深入研究植物去除 **Acetaminophen** 為物理性吸附或化學性吸附，並探討其機制。
- 五、建立濕地模型，觀察於長期滯留且表面積大之環境中，同時放入多株植物吸收 **Acetaminophen** 之效果為何。
- 六、以乾燥後植物去除溶液中 **Acetaminophen**，比較其清除率和健康植株之差別，並探討其作為淨化水質反應槽之可行性。

玖、參考資料及其他

- 一. 陳振正（2009）。高錳酸鉀前處理對綠藻之生物吸附重金屬研究。屏東：大仁科技大學環境資源管理系所。
- 二. 林志安（2009）。藥物化合物於河川水體自然降解之宿命與探討：吸附與生物轉化。臺北：臺灣大學環境工程學研究所。
- 三. 倪曉宇、吳涓（2008）。鉛離子的生物吸附動力學及吸附熱力學研究。安徽：安徽大學生命科學學院。
- 四. 江政傑（2015）。新興污染物於臺灣河川水體與海洋環境中殘留量分佈及來源特性探討之研究。高雄：國立中山大學海洋環境及工程學系研究所。
- 五. 許勝雄（2005）。利用金魚藻與陽明柳移除水中多環芳香烴（菲與芘）。高雄：國立中山大學海洋環境及工程學系研究所。
- 六. 李砧、胡濤、李艷暉、喬凱、王璐、石瑛（2013）。金魚藻對水中氟污染物去除作用的研究。山西：太原師範學院生物系。
- 七. 胡家朋、趙升云、林夏雨、賴文亮（2013）。茶葉渣對水溶液中 Cu^{2+} 的吸附研究。福建、屏東：武夷學院、武夷學院茶與食品學院、武夷學院生態與資源工程系、大仁科技大學環境資源管理研究所。
- 八. 胡家朋、吳代赦、饒瑞擘、陳喆、賴文亮（2015）。Mn-Al 雙金屬氫氧化物的製備及其除氟性能。江西、福建、屏東：南昌大學環境與化學工程學院、武夷學院生態與資源工程系、武夷學院綠色化工技術福建省高等學校重點實驗室、大仁科技大學環境資源管理研究所。
- 九. 李玲、朱志良、仇雁翎、張華、趙建夫（2009）。缺鈣型羥基磷灰石對溶液中氟離子的吸附作用研究。上海：同濟大學污染控制與資源化研究國家重點實驗室、長江水環境教育部重點實驗室。
- 十. 嘉南藥理科技大學環境工程衛生系（2002）。溫度變化對不同本土水生植物在人工溼地系統中除磷之影響。臺南：嘉南藥理科技大學環境工程衛生系。

附錄



【評語】 052609

1. 本研究使用兩種易取得、易養殖、表面積大且吸附重金屬效能佳之植物如金魚藻及水蘊草，並透過高效液相層析儀結合UV偵測器偵測濃度變化，以探討水生植物於水溶液中乙醯氨基酚(Acetaminophen)之移除效果。實驗結果顯示金魚藻及水蘊草皆有去除 Acetaminophen 的效果，而加入自然水體後，仍能呈現有效之污染物去除率。
2. 建議實驗結果強化重複多次操作結果統計，實驗數據宜呈現誤差值，更能驗證實驗數據之再現性。
3. 光照下如何將不同種類之金魚藻及水蘊草的基本植株品質標準化，將有助於進一步釐清金魚藻及水蘊草對 Acetaminophen 移除效果之比較性。
4. 可進一步討論水草對 Acetaminophen 之移除機轉為吸收性或吸附性，將更具科學與應用性。

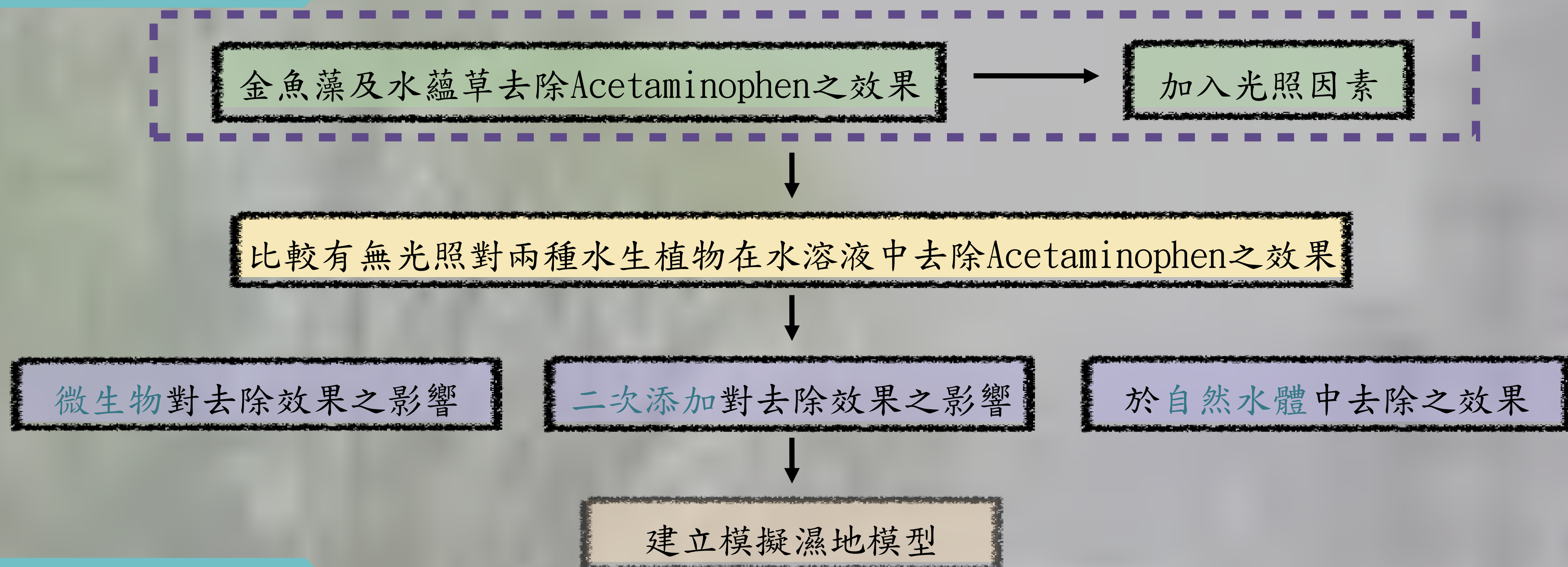
研究動機

新興污染物 (Emerging contaminants) 為法規尚未規範或規範不全、傳統都市污水處理廠無法處理、對人體健康與生態之潛在危害性深遠的化學物質。由於傳統生物處理法無法有效分解去除新興污染物，故其會穿透都市污水處理廠這道污水處理防線而進入水環境體系，再經由生物累積效應擴大至整體之生態圈。

新興污染物中，藥物與個人保健用品 (pharmaceuticals and personal care products, PPCPs) 為近年來受到關注的環境問題；此類污染物普遍出現於生活中，為假性持久性有機污染物。而在PPCPs中，acetaminophen (乙醯氨基酚，普拿疼常用成分) 為廣泛使用的藥物之一。近期研究指出高雄河川有相對高濃度的乙醯氨基酚殘留，更有相關文獻指出高濃度acetaminophen會對人體的肝臟及海洋生物造成病變及危害，嚴重衝擊臺灣生態。

目前處理乙醯氨基酚的研究多採化學處理，但卻會對環境造成二次傷害。因此本研究欲以濕地常見水生植物去除污染物。然而水生植物處理水中新興污染物之研究較為缺乏，尚在萌芽階段，也未有文獻指出水生植物清除此類污染物之效率及機制，因此希冀透過本研究結果，探討其在各環境下移除乙醯氨基酚的能力，並設計實驗探討該系統連續處理之可行性；最後找出對環境友善且具實際應用潛力之乙醯氨基酚處理方法

研究架構



研究目的

- 一. 探討黑暗中兩種水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之效果
- 二. 探討有無光照對兩種水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之效果。
- 三. 探討全日照下，添加NaN₃(降低微生物干擾)對兩水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之影響。
- 四. 探討全日照下，二次添加(增加環境負荷)對兩水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之影響。
- 五. 探討全日照下，兩種水生植物在自然水體中去除Acetaminophen之效果。

研究方法

實驗步驟

一、探討黑暗中水生植物在溶液中去除Acetaminophen之效果

1. 取75mL的2ppm水溶液，倒入100mL棕色瓶，重複2次。
2. 重複步驟1.，依序放入6、10ppm水溶液。
3. 重複步驟1.到2.，並精秤1g金魚藻，再放入水溶液中。
4. 重複步驟1.到3.，改為放入1g水蘊草。
5. 放入震盪箱中，以50rpm的環境調控。
6. 將整部裝置放入生長箱中，以全黑暗、25°C的環境調控。
7. 每隔24小時取250 μL溶液上機，觀察其結果。

二、探討有無光照對兩種水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之效果。

1. 以量筒量取100mL的2ppm水溶液，重複2次。
2. 重複步驟1.，依序放入4、6、8、10ppm水溶液。
3. 重複步驟1.到2.，精秤金魚藻重量並記錄再放入水溶液中。
4. 重複步驟1.到3.，改為放入一株水蘊草。
5. 放入震盪箱中，以50rpm的環境調控。
6. 再將整部裝置放入生長箱中，以全日照、25°C的環境調控。
7. 每隔24小時取250 μL溶液上機，觀察其結果。

三、探討全日照下，添加NaN₃(降低微生物干擾)對兩水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之影響。

1. 以量筒量取100mL的2ppm水溶液，再滴入1mL之3M NaN₃(aq)，重複2次。
2. 重複步驟二、1.至7.

四、探討全日照下，二次添加(增加環境負荷)對兩水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之影響。

1. 重複步驟二、2.至7.
2. 於144小時後重複步驟1.，將原植物放入與原初始濃度相同的溶液中。

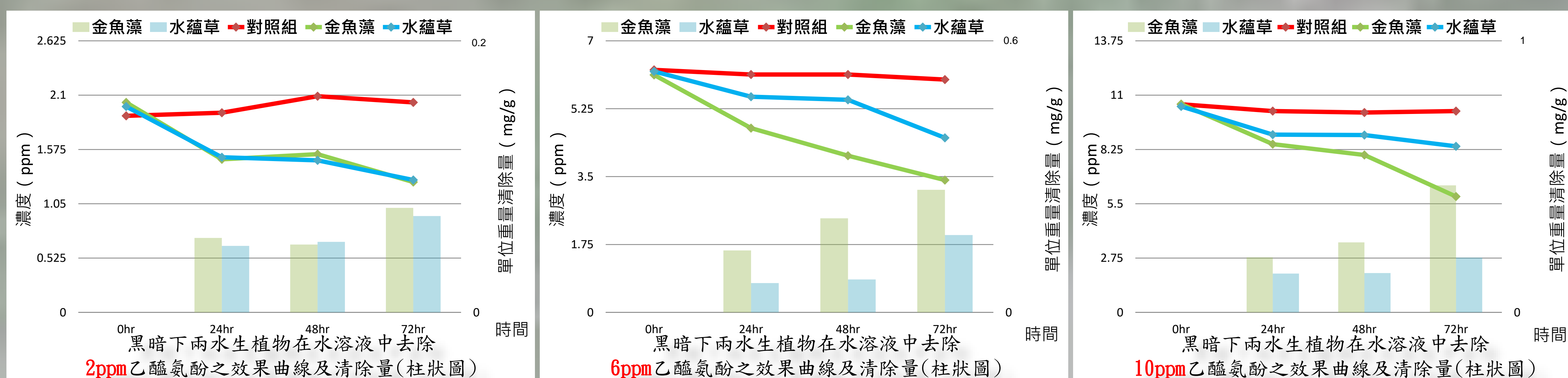
五、探討全日照下，兩種水生植物在自然水體中去除Acetaminophen之效果

1. 將配置實驗溶液之DI水溶液換為以自然水體配製
2. 重複步驟二、2.至7.

備註: 本次實驗自然水體取樣自高雄市中都愛河濕地公園，取樣時間為西元2018年6月11日，

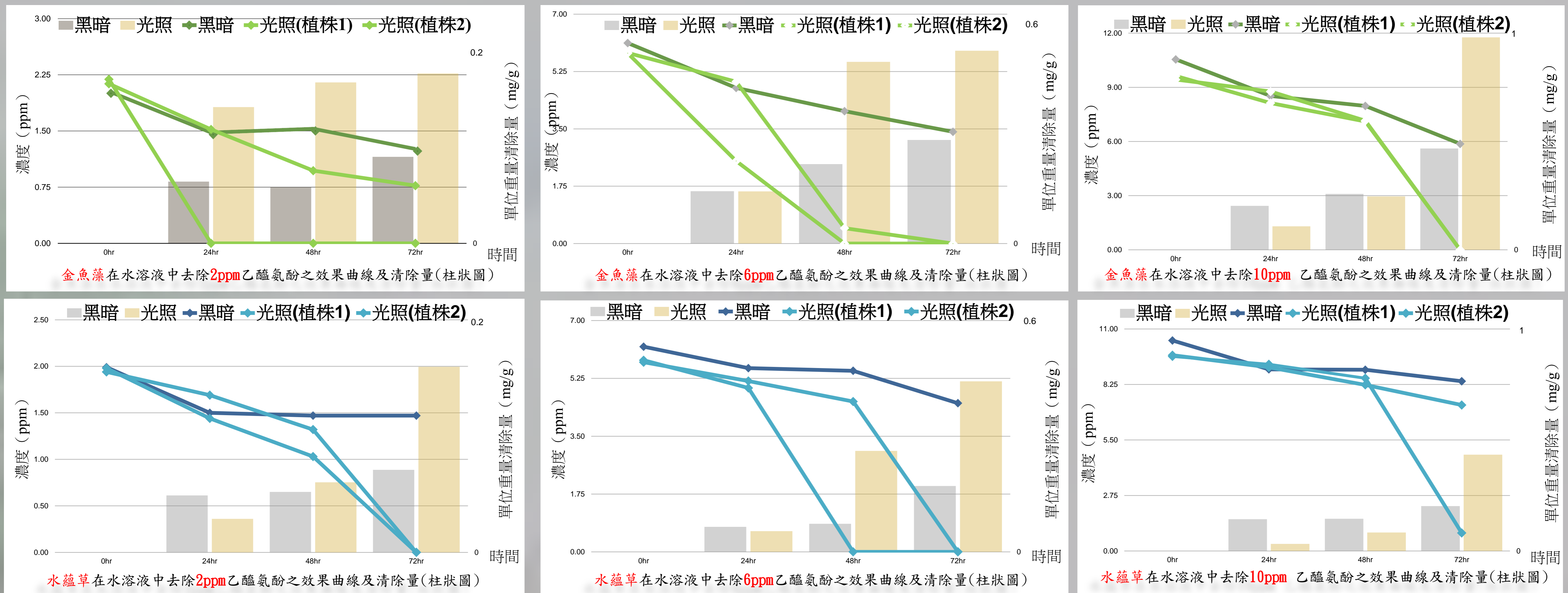
研究結果

一、探討黑暗中兩種水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之效果

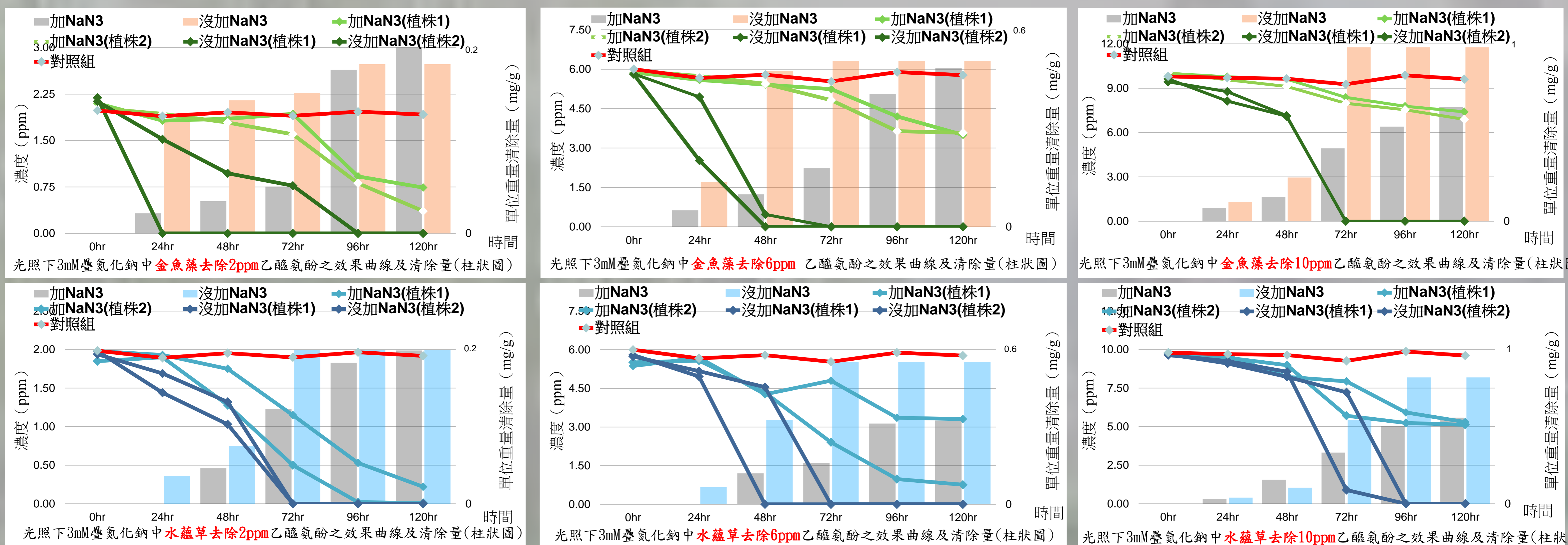


研究結果

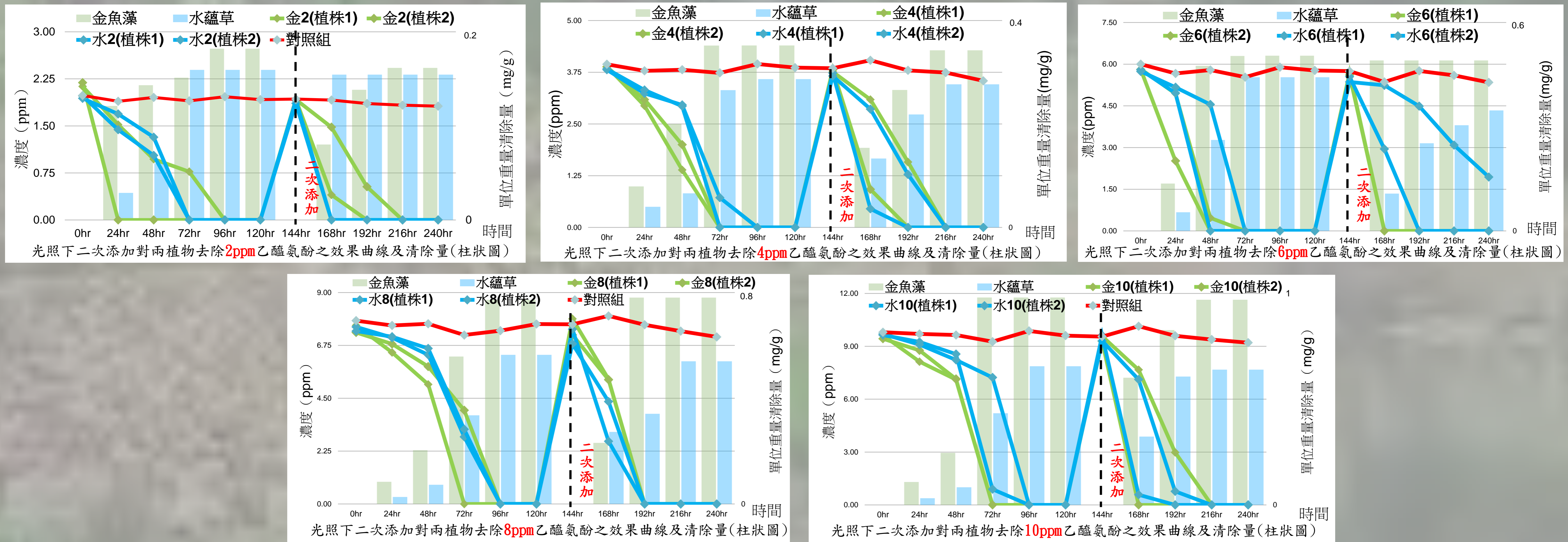
二、探討有無光照對兩種水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之效果



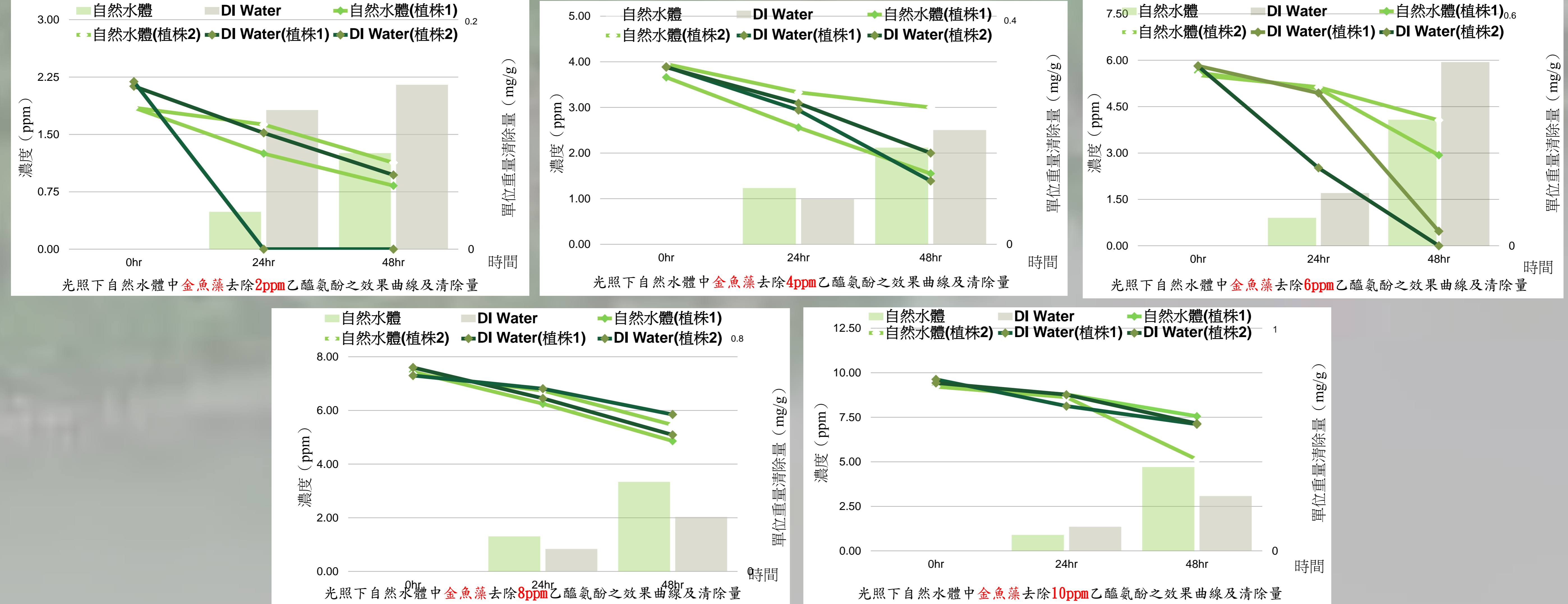
三、探討全日照下，添加NaN3(降低微生物干擾)對兩水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之影響。



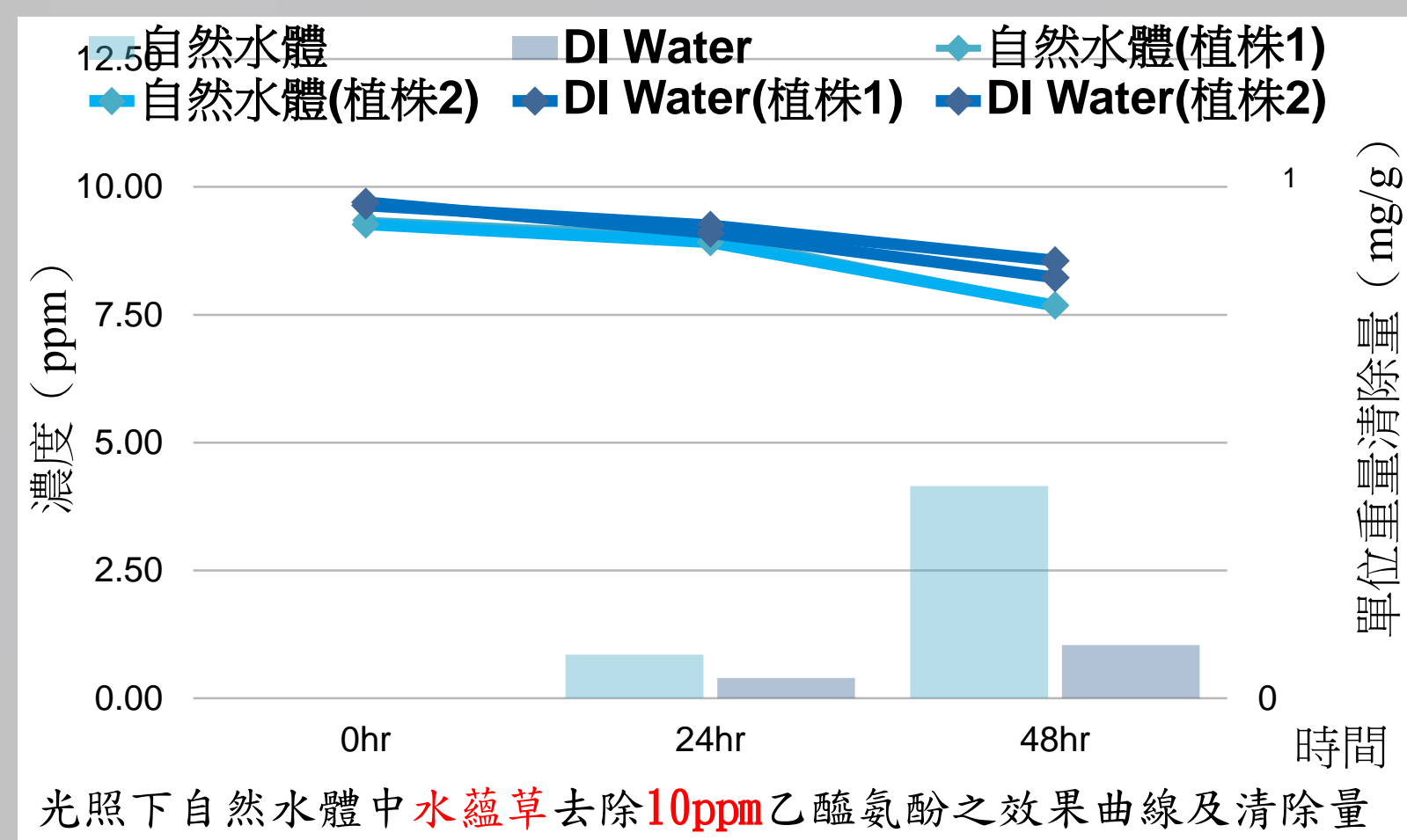
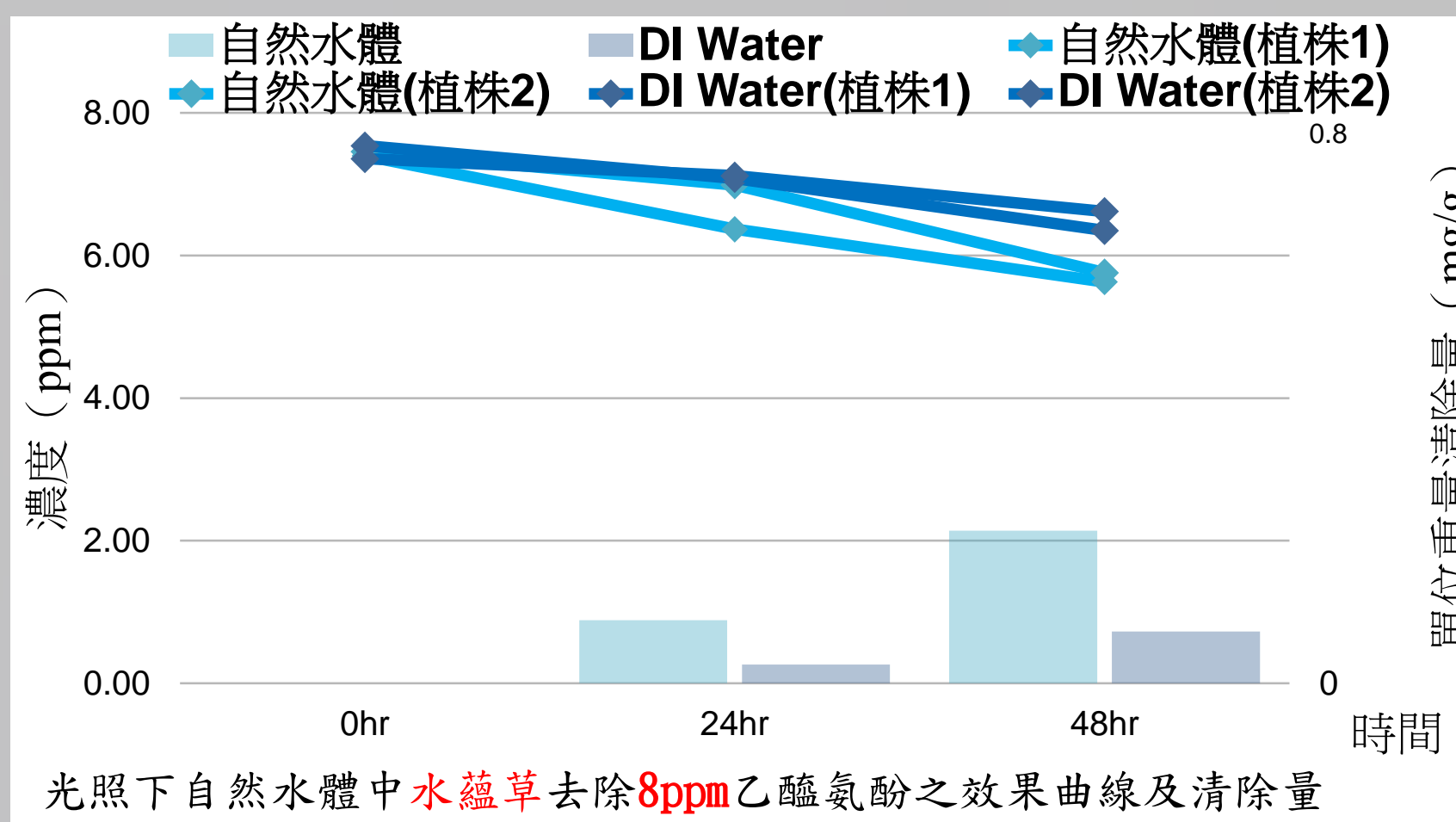
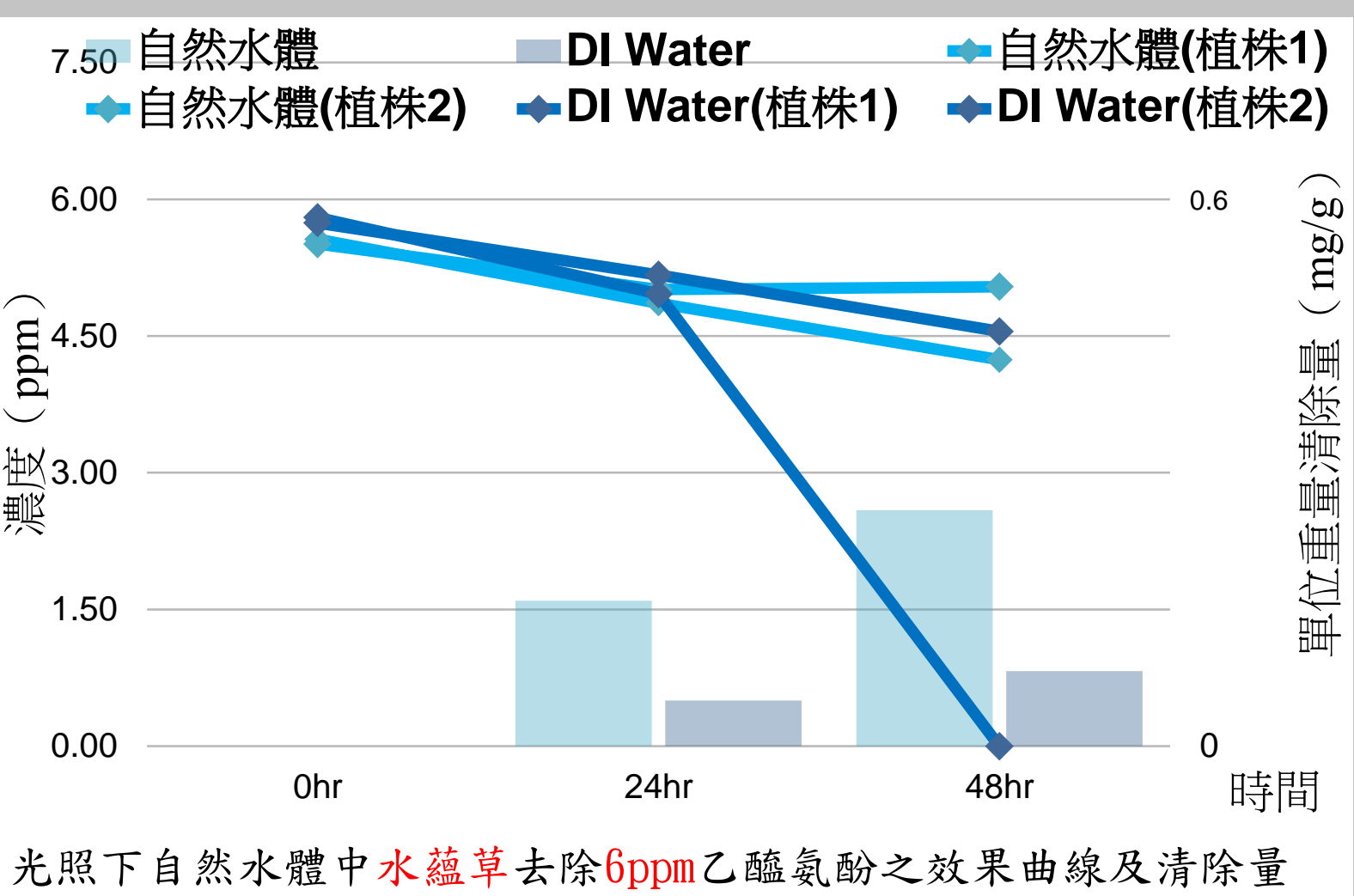
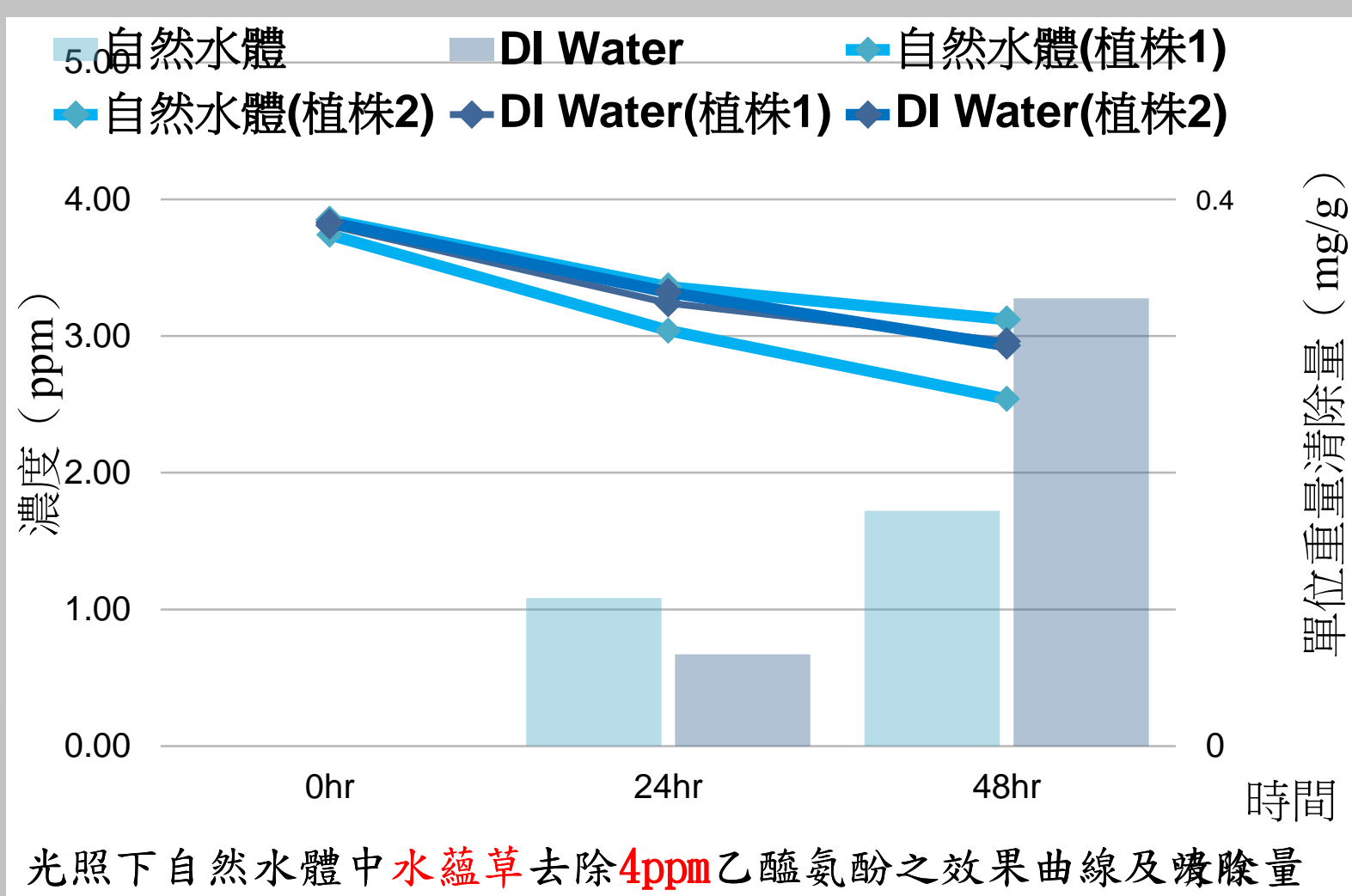
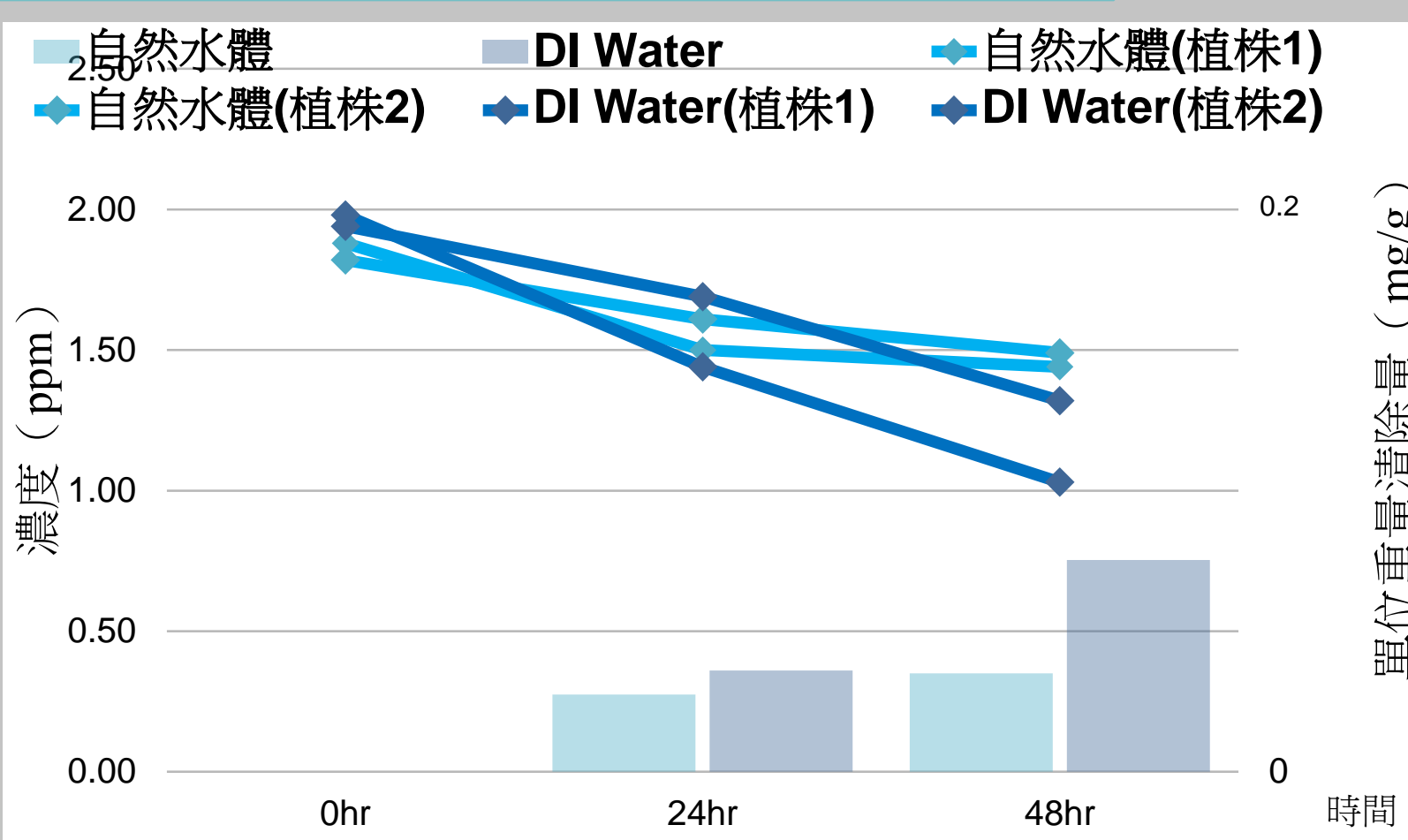
四、探討全日照下，二次添加(增加環境負荷)對兩水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之影響。



五、探討全日照下，兩種水生植物在自然水體中去除Acetaminophen之效果



研究結果



討論

一、探討黑暗中水生植物在溶液中去除Acetaminophen之效果。

在黑暗環境下，金魚藻清除效果皆比水蘊草佳，且濃度越高趨勢越明顯。

二、探討有無光照對兩種水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之效果。

兩種水生植物在有光照條件下清除Acetaminophen效果皆遠高於無光照之黑暗組，可推知光照確實對植物清除Acetaminophen之能力有明顯影響。

三、探討全日照下，添加Na₃N(降低微生物干擾)對兩水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之影響。

由圖可得知，無微生物組清除效果在各濃度皆比對照組(有微生物組)略差，但數天後兩組溶液濃度皆降為0，推測為植物清除Acetaminophen之效果部分來自於微生物作用，主要為植物本身清除。

四、探討全日照下，二次添加(增加環境負荷)對兩水生植物在水溶液中去除Acetaminophen之影響。

由於水生植物清除Acetaminophen效果極佳，72小時後，濃度皆降為0，於是想進一步探討二次添加Acetaminophen後其是否仍具有良好清除能力，作為進一步推測其清除機制之重要參考。

由圖中可知，在2ppm及6ppm水溶液中，金魚藻清除效果較水蘊草佳，在4ppm、8ppm及10ppm水溶液中，金魚藻與水蘊草之清除效果大致相同，兩者二次添加之清除效果皆大於首次添加。二次添加效果較好，推測一為首次添加時已開啟植物對Acetaminophen之代謝路徑所造成二次清除效果較好

五、探討全日照下，兩種水生植物在自然水體中去除乙醯氨基酚之效果

加入自然水體後，推測環境基質會影響水生植物，造成對清除效率的影響，但仍能有效去除。

結論

經由這次的實驗結果，可以發現乙醯氨基酚水溶液在環境中不易受光照降解，而在自然水體中降解幅度不大，若以未經處理的方式排出將會對環境造成持續性的危害，而**植物對於Acetaminophen水溶液確實有明顯的清除趨勢**，金魚藻與水蘊草在光照條件下對於Acetaminophen**清除率均高達百分之百**，其中又以金魚藻清除效率為高，經過二次添加溶液後兩者仍維持極佳的清除表現，值得一提的是二次清除之效率甚至比首次添加更好。從實驗結果可以發現**生物清除的方式不僅效果好，也是對環境更友善的處理方式。**

未來展望

一、以較高濃度的溶液進行實驗，雖較不貼近實際情形，但可避免植物體短時間內吸收完Acetaminophen導致實驗結果無法比較去除率。

二、以較低濃度之疊氮化鈉溶液，或多次間隔、短時間的UV光照已建立無菌環境等，較不傷害植物體的方式去除其表面的微生物，以探討微生物對植物吸收乙醯氨基酚之影響。

三、進行三次以上重複添加，希望能找出植物於每次添加時完全清除乙醯氨基酚所需時間是否有逐漸減短之趨勢，並探究其可能原因。

四、深入研究植物去除乙醯氨基酚為物理性吸附或化學性吸附，並探討其清除機制。

五、以上述之研究數據評估及**建立濕地模型**。

六、**以乾燥後植物去除溶液中Acetaminophen**，比較其清除率和健康植株之差別，並探討其作為淨化水質反應槽之可行性。

七、持續後續研究並進一步撰寫成學術期刊，以利該環境友善性工法推廣與利用。

參考資料

- 林志安 (2009)。藥物化合物於河川水體自然降解之宿命與探討：吸附與生物轉化。臺北：臺灣大學環境工程學研究所。
- 江政傑 (2015)。新興污染物於臺灣河川水體與海洋環境中殘留量分佈及來源特性探討之研究。高雄：國立中山大學海洋環境及工程學系研究所。
- 許勝雄 (2005)。利用金魚藻與陽明柳移除水中多環芳烴(菲與芘)。高雄：國立中山大學海洋環境及工程學系研究所。
- 嘉南藥理科技大學環境工程衛生系 (2002)。溫度變化對不同本土水生植物在人工溼地系統中除磷之影響。臺南：嘉南藥理科技大學環境工程衛生系。