

以水蚤毒性試驗評估不同氨氮、TMAH 濃度與環境因子之相關性研究

彭淑惠，工業技術研究院 材料化工研究所副工程師
游舒媛，工業技術研究院 材料化工研究所研究助理
張婷婷，工業技術研究院 材料化工研究所副研究員

近年來環保意識高漲，各事業單位製程與生活廢水需經過處理後，符合放流水水質標準，方能排放至承受水體。而我國目前放流水管制項目，雖可有效控管污染物排放的濃度與水量，但無法充分反映放流水對於承受水體中生物之危害，造成水中存在具生物毒性之微量毒性物質。因此為了彌補水質化學分析不足之處，建立生物毒性測試方法為勢在必行的趨勢。由於水蚤生物敏感性高，近來廣泛應用於評估水質污染狀況，而其馴養及操作雖較其他生物簡便，然從開始的實驗室建立仍為一個重點課題。本研究欲提供水蚤實驗室建立時相關生物特性及品質管制參數，再藉由不同濃度之氨氮與 TMAH 污染物試驗水蚤與其環境因子的相關性。而水蚤急毒性 TU_a 值與不同氨氮與 TMAH 濃度的線性回歸 R² 值分別為 0.903 與 0.799，代表隨著氨氮與 TMAH 濃度提升其水蚤急毒性愈高。此外，環境控制因子也是影響水蚤急毒性重要的指標之一，由實驗結果得到 pH 與導電度各別線性回歸 R² 為 0.937 及 0.899，表示其對於生物急毒性影響甚大。綜上所述，氨氮與 TMAH 濃度對於水蚤生物急毒性影響顯著，可提供未來管制標準的依據之一，但同時亦需考慮環境因子之影響，方可更完整的評估不同廢水性質對於水體生物危害的影響性。

關鍵字：水蚤、相關性、氨氮、TMAH

一、前言

水蚤是小型甲殼類水生動物，對於水中化學物質或重金屬等污染物有高度敏感性，可在有加以控制環境條件下的實驗室大量培養，生物體容易觀察，實驗用水量較為簡便，因此目前被廣泛用來作為評估水體污染程度的生物指標之一。而生物試驗不外乎需先建立穩定的生物品質系統，才能順利地進行各項毒物的測試實驗，方可得到符合統計標準的毒性致死濃度或急毒性參數。因此藉由水蚤的生命週期及生殖概況，來評估實驗室所建立的馴養環境是否完善，再由相關的品質管制實驗來確認馴養水蚤的穩定性，期以提供相關研究者實驗室水蚤馴養的參考資訊。

而目前國內尚未針對生物急毒性訂定出明確的管制規範，僅將其納入水污染防治措施及檢測申報管理辦法中，讓業者作為自主管理的依據，實因生物急毒性易受到眾多不確定因子來影響試驗結果，且如需達到規範標準 TU_a 值小於 1.43，對於業者處理設施及管線維護上不僅增加成本，亦有設備場地不足問題，然僅以現有的放流水標準來管制規範又會疏忽了其他可能導致生物毒性反應的污染物質。因此行政院國家科學委員會科學工業園區管理局委請國立清華大學

針對廠區內 30 家廠商進行放流水檢測調查，結果發現各廠的生物急毒性及水質成份差異性甚大（凌永健，2012），故不適合僅以相同的傳統水質參數，作為法定管制的標準，建議應盡快建立一套完整、可靠的毒性資料庫，提供各行業及廠商參考，以作為遵循的標準及依據。又文獻中提出生物急毒性主要貢獻來源為廠區內的酸鹼廢水，需以改善製程源頭並削減氨氮與 TMAH 作為優先考量（凌永健，2012）。因此本實驗規劃了不同氨氮與 TMAH 濃度下水蚤對環境因子的相關性分析，冀以供給相關研究者一參考依據。

二、材料與方法

1. 實驗材料與設備

- (1) 試驗生物：所選用的 *Daphnia magna* 水蚤參照環檢所公告方法飼養（行政院環境檢驗所，2011），控制水溫在 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，維持光照時間 16 ± 1 hr/day，以裝有 1.5 L 稀釋水之 2 L 玻璃燒杯馴養，隨著每 2 天換水一次控制每個燒杯內水蚤數約為 100 隻，並將出生小水蚤挑起另外飼養，於此穩定環境下馴養 3 週以上。試驗水蚤則於換水後隔天挑起 24 小時內出生小水蚤為之。
- (2) 馴養稀釋水：取 3.84 g NaHCO_3 、4.92 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 及 0.16 g KCl 至 18 L RO 水中，曝氣隔夜使藥劑溶解完全，再將 2.4g $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 置於 2 L RO 水中，攪拌均勻充分溶解後加入前述液體，並施以曝氣，維持稀釋水充足之溶氧量 ($\text{DO} > 5 \text{ mg/L}$)。
- (3) 水蚤飼料：取 6.3 g 魚飼料、2.6 g 烘焙用乾酵母粉及 0.5 g 小麥草葉粉以調理機高速分段攪打至粉體碎勻，加入 500 mL 馴養稀釋水中，攪拌均勻後冷藏靜置 1 小時，取其上澄液製作成冰塊冷凍保存，餵食量約為 1 mL/L。並額外搭配綠藻餵食來增加水蚤生殖與存活率，秤取 7.5 g 綠藻片而後配置方法與餵食量同前述。
- (4) 實驗用藥劑：試藥級以上之 NaCl（生物初始毒性與參考毒物試驗藥劑）、 NH_4Cl （氨氮試驗溶液）及 TMAH 試驗溶液。配置用水皆為馴養稀釋水。
- (5) 分析儀器與設備：pH 計、導電度計、溶氧分析儀、離子層析儀。

2. 實驗方法與規劃

水蚤實驗方法將水樣以稀釋水稀釋為相鄰濃度不超過 2 倍的試驗水樣（如 20 %、40 %、60 %、80 % 及 100 %），每一試驗濃度水樣總體積為 150 mL，為易於觀察水蚤活動，每一濃度使用 4 個 100 mL 玻璃燒杯，分別裝入 30 mL 試驗水樣，再以廣口滴管各放入 5 隻時齡不超過 24 小時之水蚤。試驗前 2 小時餵食水蚤，而後試驗期間則不需餵食，水溫與光照條件如同馴養環境，並以稀釋水進行空白試驗，如死亡百分率超過 10 %，該次毒性試驗結果則不可採信。試驗 48 小時後輕擾搖動試驗水樣觀察水蚤存活數，再利用環檢所公告方法計算出 48 小時之半數致死濃度 (lethal concentration 50 %, LC_{50}) 與急毒性單位 (acute toxic unit,

TUa)。TUa 為 LC_{50} 之倒數， LC_{50} 愈低表示生物急毒性愈強，TUa 則相反。為瞭解本實驗室馴養水蚤的基本特性，除進行生命週期實驗外，亦以氯化鈉(NaCl)來執行生物初始毒性與參考毒物試驗，再由不同濃度的氨氮與 TMAH 來觀察水蚤生物急毒性反應，以及其對環境因子 (pH、溶氧與導電度) 的相關性分析，故將實驗規劃如下所示：

- (1) 水蚤生命週期：參考環檢所公告方法中 4000 mL 玻璃燒杯盛裝 3000 mL 稀釋水，其內水蚤數控制在 200 隻以下，此實驗以 500 mL 燒杯進行，故於等比例環境下，設計 30 隻為起始水蚤數量，分別取 3 次不同日期當天出生之水蚤來進行實驗，先於每週記錄一次水蚤存活數以及水蚤生殖數，而後水蚤開始大幅死亡改以 2-3 天記錄一次，直到水蚤全數死亡為止，期間馴養方式完全比照環檢所公告方法。
- (2) 初始毒性與參考毒物試驗：為確認實驗室馴養水蚤之穩定性先進行初始毒性試驗，以 NaCl 進行至少 5 次毒性試驗，求取其 LC_{50} 平均值及變異係數(coefficient of variation, CV)，生物試驗之 CV 值不得超過 50 %。而後每月至少執行 1 次參考毒物試驗，試驗濃度與初始毒性試驗一致，試驗結果(LC_{50})需建立品質管制圖，管制上下限為 $\pm 2SD$ ，若最近 20 次試驗結果有 2 次以上超過管制上下限，則須檢討誤差來源、執行矯正措施並重新進行參考毒物試驗（行政院環境檢驗所，2005）。參考文獻中 *Daphnia magna* 水蚤對於 NaCl 的 48 小時 LC_{50} 為 5.48 g/L(Jeronimo et al., 2007)，藉由此結果來設計本實驗的 NaCl 配置濃度，再觀察各試驗結果，以確認水蚤馴養環境與生物穩定性。
- (3) 不同氨氮濃度下水蚤對環境因子的相關性分析：依據 *Daphnia magna* NH_4^+ 的 LC_{50} 為 222 mg/L (Osada et al., 2011)；又 Ammonium chloride MSDS 中同以 *Daphnia magna* 試驗，48 小時 LC_{50} 為 161 mg/L (MSDS, 2010)，因此可知不同實驗室馴養的水蚤生物對於氨氮的耐受性亦有不同，故為瞭解本實驗室水蚤對於氨氮的半致死濃度，利用 NH_4Cl 與稀釋水配置 100、200、300、400 及 500 mg/L 五種試驗濃度，由每個濃度進行水蚤毒性實驗，除可得到各濃度的生物急毒性反應外，再由試驗期間後的 pH、溶氧(DO)與導電度(Conductivity)變化來進行線性回歸分析，探討其相關性。
- (4) 不同 TMAH 濃度下水蚤對環境因子的相關性分析：參考 TMAH 25 % MSDS 指出 *Daphnia magna* 48 小時 EC_{50} 為 3 mg/L；*Ceriodaphnia dubia* 48 小時 LC_{50} 為 1.3~1.5 mg/L (MSDS, 2010)，因此設計 TMAH 試驗溶液為 1、2、3、4 及 5 mg/L 五種濃度，以 TMAH 標準溶液與稀釋水配置，由每個濃度進行水蚤毒性實驗，得到各濃度的生物急毒性反應。再由試驗期間後的 pH、溶氧(DO)與導電度(Conductivity)變化來進行線性回歸分析，探討其相關性。

三、 結果與討論

1. 水蚤生命週期：藉由時齡24小時內的小水蚤觀察其生長週期與期間的生殖情形，將實驗結果分為水蚤生命週期、生殖概況及生殖累加數來進行說明。

- (1) 本實驗所飼養之水蚤生命週期為 69 天、70 天及 73 天，介於文獻中提及之水蚤生命週期為 9-12 週間（63-84 天）（趙淑如，2011）。由圖 1 所示，水蚤出生 30 天間數量較為穩定，從 35 天後開始多數死亡，其中第一批次存活 69 天之實驗組，在 35 天至 55 天間大幅死亡，相較下水蚤數量變動大，因此週期性較快就結束，而水蚤生命週期 73 天水蚤死亡情形較為平緩，故存活天數較長，70 天則介於兩者之間。

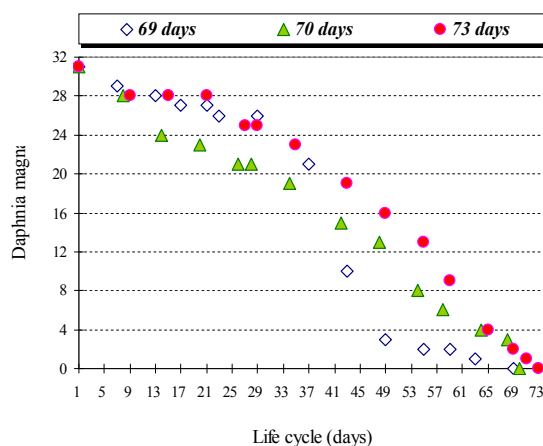


圖 1 水蚤生命週期圖

- (2) 水蚤生殖概況的統計配合 2 天換一次水，因此生殖數雖非記錄當天所生，但一定是 48 小時內出生的數量。由圖 2 左圖所示，水蚤約出生後 10 天開始有生殖情形，但生殖狀況並未有一定的趨勢，生命週期 69 天與 70 天兩批次的水蚤皆在穩定週期 30 天前有最高量的生殖數，分別為 82 隻與 63 隻，後續則跳動變化；生命週期 73 天最高生殖數為 49 天時 68 隻。因配合 2 天換一次水，但記錄時間卻約為每週一次，所以可能造成水蚤實際生殖數的低估，故再由圖 2 右圖來進行生殖數累加後的比對。
- (3) 水蚤生殖累加數可由圖 2 右圖瞭解生命週期 73 天的水蚤在生殖累加上的確幅度較另兩批實驗組成長，最終累加數為 461 隻；而生命週期 69 天在週期 45 天前生殖數較生命週期 70 天多，之後兩者則相反，最終累加結果仍以生命週期 70 天 373 隻較生命週期 69 天累加數 302 隻高。

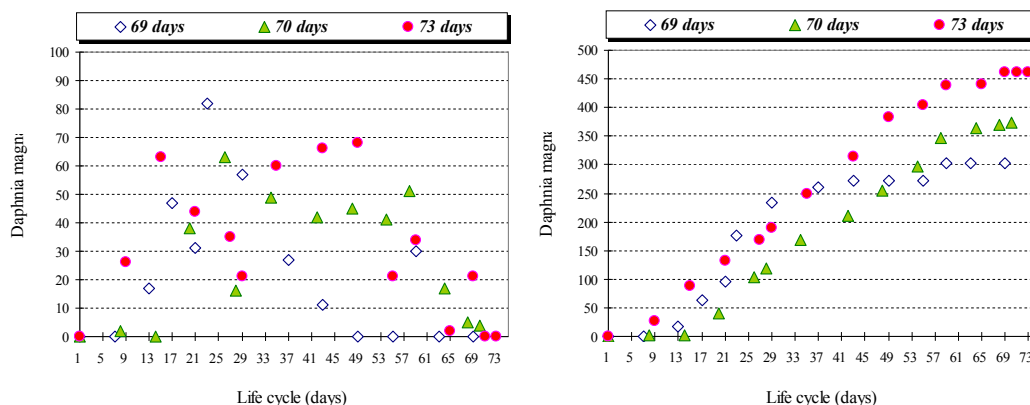


圖 2 水蚤生殖概況與水蚤生殖累加數圖

在進行水蚤生命週期間亦有同步實施 NaCl 參考毒物試驗，發現第一批次生命週期 69 天的水蚤對於 NaCl LC_{50} 為 4.99 g/L ~ 5.16 g/L，而生命週期 70 天及 73 天的水蚤 NaCl LC_{50} 為 5.60 g/L ~ 5.73 g/L，故可證實當水蚤對於環境水體等條件耐受性高時所能存活的期間也較為長久。水蚤生殖數的統計方式因應 2 天換水一次，造成數量有低估現象，改以累加方式表達，較能明顯看出隨著週期的增長水蚤生殖總數的變化。

2. 初始毒性與參考毒物試驗：為確認後續 NaCl 試驗濃度，由文獻結果（Osada et al., 2011）設計 5.5 g/L、8.0 g/L 及 10 g/L 三個濃度來進行水蚤毒性試驗，相關結果如表 1 所示。

表 1 NaCl 試驗濃度與水蚤生物急毒性結果

NaCl 試驗濃度	48 小時 LC_{50} (%) (95 %信賴區間)	換算後 LC_{50} (g/L)	TUa
5.5 g/L	89.541 (80.512-104.583)	4.92	1.12
8.0 g/L	56.855 (51.154-62.217)	4.55	1.76
10 g/L	48.321 (43.389-53.130)	4.83	2.07

由上表瞭解 NaCl 試驗濃度 10 g/L 時 95 %信賴區間差值較小(9.74)，另兩試驗濃度差值都大於 10 以上，5.5 g/L 時差值為 24.07；8.0 g/L 時差值為 11.06。而信賴區間範圍愈大，對檢定的準確性愈小。因此由表 1 實驗結果選用信賴區間差值小的 10 g/L NaCl 作為後續初始毒性與參考毒物試驗濃度。

- (1) 初始毒性試驗：以 10 g/L NaCl 進行初始毒性試驗來確認實驗室馴養水蚤之穩定性，共取 5 次實驗結果加以計算其 LC_{50} 平均值及變異係數(coefficient of variation, CV)。5 次實驗結果分別得到換算後的 48 小時 LC_{50} 數值為 4.44、4.57、5.49、5.07 及 4.39 g/L，相關計算如下

所示：

$$\text{變異係數(CV)} = \text{標準差(S)} / \text{平均值}(\bar{X}) \times 100\%$$

由上述公式得到 LC_{50} 平均值為 4.79 g/L，變異係數（CV 值）為 8.85%，符合 CV 值未超過 50 % 之規範，且亦與環檢所公告中單一實驗室以 *Daphnia magna* 進行 NaCl 生物急毒性試驗，48 小時 LC_{50} 平均值為 4.11 g/L，變異係數(CV)為 12.6% (n=5) 結果相似，確認本實驗所選擇的 NaCl 試驗濃度與水蚤生物穩定性皆無虞。

- (2) 參考毒物試驗：確認初始毒性試驗後每月至少再執行 1 次參考毒物試驗，並依據環檢所公告 NIEA-PA105 方法建立品質管制圖。本實驗統計最近 20 次 10 g/L NaCl 試驗結果之 LC_{50} 平均值為 5.07 g/L，S 值為 0.39，管制上限值為 5.84 g/L，管制下限值為 4.29 g/L，並由圖 3 可知，試驗結果皆落在管制上下限中，證實水蚤生物品質管制符合規範。

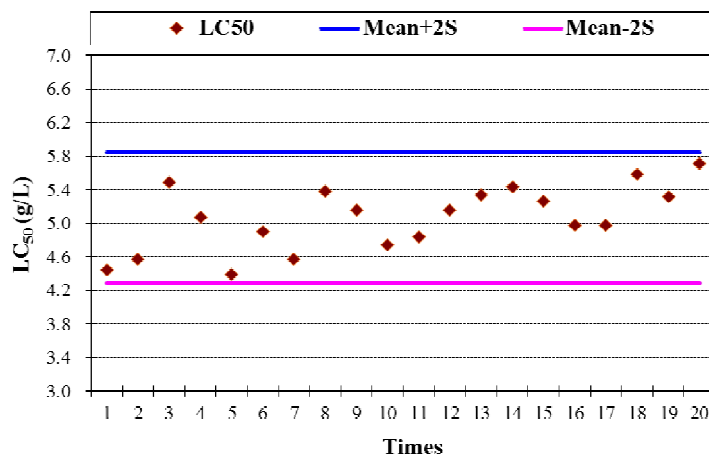


圖 3 水蚤參考毒物試驗品質管制圖

本實驗所馴養水蚤以 10 g/L NaCl 濃度來進行初始毒性與參考毒物試驗，實驗結果皆符合規範要求，確認了水蚤生物穩定性與品質管制建立無虞。

3. 不同氨氮濃度下水蚤對環境因子的相關性分析：設計 100、200、300、400 及 500 mg/L 五種試驗濃度，由每個濃度進行水蚤毒性實驗，將其生物急毒性及試驗期間的 pH、溶氧(DO)與導電度(Conductivity)變化來進行線性回歸分析，相關結果說明如下。

- (1) 水蚤生物急毒性與氨氮濃度的相關性分析：由 100 ~ 500 mg/L 各試驗濃度所得之生物急毒性反應以 TUa 表示，由圖 4 可知，水蚤與氨氮濃度經線性回歸之 R^2 值為 0.903，顯示氨氮濃度愈高時水蚤急毒性愈高，而經計算後所得之氨氮 LC_{50} 平均值為 98.79 mg/L。

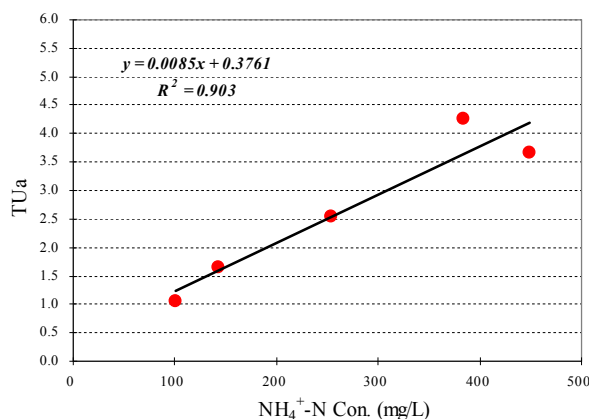


圖 4 水蚤生物急毒性與氨氮濃度 100 ~ 500 mg/L 的線性回歸圖

- (2) 不同氨氮濃度下水蚤對 pH 的相關性分析：由圖 5(a)~(e)結果所示，氨氮濃度與 pH 呈負相關，相關性高， R^2 平均值為 0.9374；再由圖 5(f)所示，以氨氮濃度 100 ~ 500 mg/L 試驗後所計算出之水蚤生物急毒性 TUa 值來與同為試驗後測量之 pH 進行線性回歸，亦為負相關，其 R^2 為 0.9367，與前述差異甚小，顯示水蚤生物用來測試氨氮污染物時 pH 為一重要之影響因子。即隨著氨氮濃度的增加，pH 會下降，導致水蚤死亡率上升，生物急毒性 TUa 值提高。而由圖 5(a)~(e)亦可瞭解水蚤 100 % 死亡率約發生在氨氮濃度為 185 mg/L 時，將其換算成半致死濃度為 92.5 mg/L，與上述氨氮 LC_{50} 平均值為 98.79 mg/L 結果相近。
- (3) 不同氨氮濃度下水蚤對溶氧(DO)的相關性分析：結果由表 2 所示，除氨氮濃度為 200 mg/L 時與 DO 線性回歸之 R^2 有 0.938，然整體平均來說 R^2 僅有 0.433，相關性較低；再由圖 6(a)所示，以氨氮濃度 100 ~ 500 mg/L 試驗後所計算出之水蚤生物急毒性 TUa 值來與同為試驗後測量之 DO 進行線性回歸，其 R^2 為 0.045，相關性更低，顯示水蚤生物用來測試氨氮污染物時 DO 影響力較小。

表 2 不同氨氮濃度下 DO 與生物急毒性線性回歸結果

氨氮 濃度	100mg/L	200mg/L	300mg/L	400mg/L	500mg/L	平均值
R^2	0.480	0.938	0.221	0.273	0.255	0.433

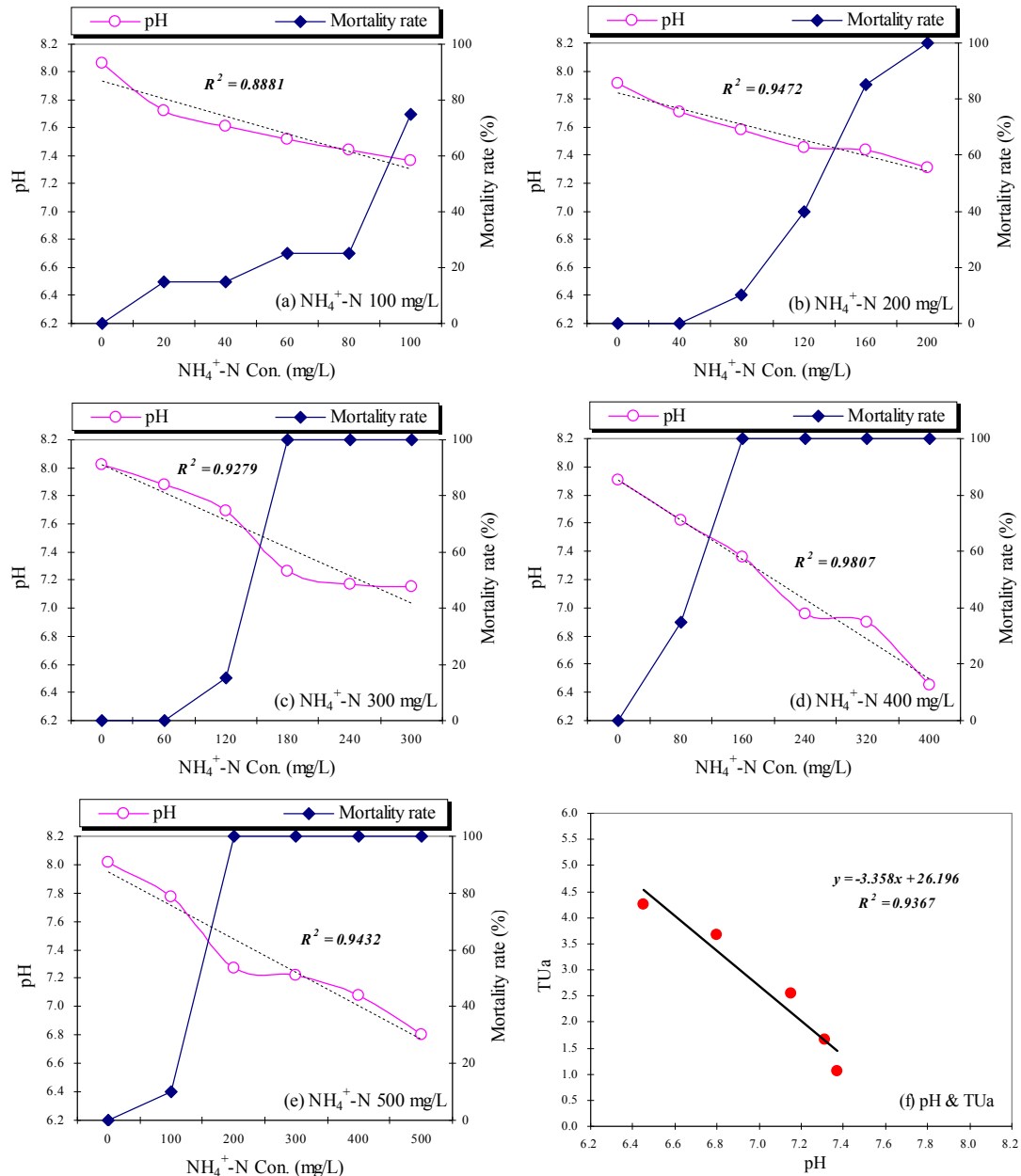


圖 5 不同氨氮濃度下 pH 及水蚤死亡率對照圖及生物急毒性線性回歸圖

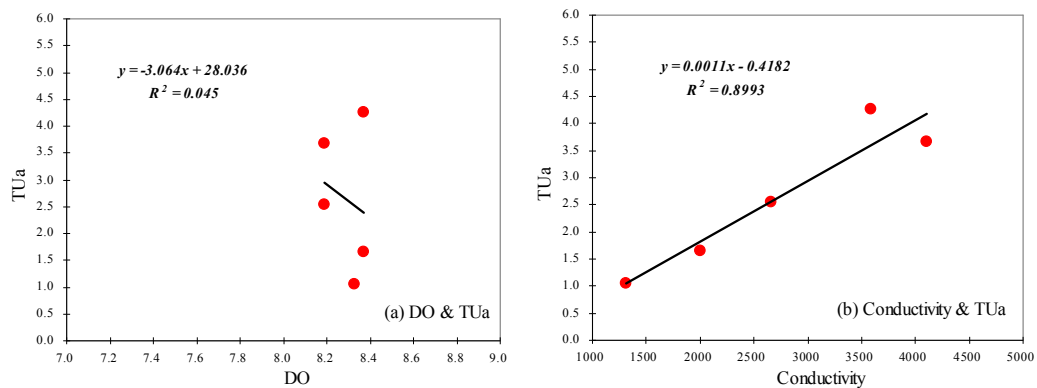


圖 6 不同氨氮濃度下溶氧及導電度之生物急毒性線性回歸圖

- (4) 不同氨氮濃度下水蚤對導電度(Conductivity)的相關性分析：結果由表 3 所示，氨氮濃度與導電度相關性非常高， R^2 平均值為 0.995；再由圖 6(b)所示，以氨氮濃度 100 ~ 500 mg/L 試驗後所計算出之水蚤生物急毒性 TUa 值來與同為試驗後測量之導電度進行線性回歸，呈現正相關，其 R^2 為 0.8993，雖與前述略有差異，仍顯示水蚤生物用來測試氨氮污染物時導電度亦為重要影響因子之一。即隨著氨氮濃度的增加，導電度會提高，水蚤死亡率跟著上升，導致生物急毒性 TUa 值高增。

表 3 不同氨氮濃度下導電度與生物急毒性線性回歸結果

氨氮 濃度	100mg/L	200mg/L	300mg/L	400mg/L	500mg/L	平均值
R^2	0.990	0.998	0.991	0.998	0.999	0.995

隨著氨氮濃度升高不僅水蚤急毒性愈高，其中亦影響 pH 與導電度變化，因此可瞭解以水蚤生物來試驗氨氮污染物時 pH 與導電度皆為重要影響因子。

4. 不同 TMAH 濃度下水蚤對環境因子的相關性分析：設計 1、2、3、4 及 5 mg/L 五種試驗濃度，由每個濃度進行水蚤毒性實驗，將其生物急毒性及試驗期間的 pH、溶氧(DO)與導電度(Conductivity)變化來進行線性回歸分析，相關結果說明如下。

- (1) 水蚤生物急毒性與 TMAH 濃度的相關性分析：由 1 ~ 5 mg/L 各試驗濃度所得之生物急毒性反應以 TUa 表示，由圖 7 可知，水蚤與 TMAH 濃度經線性回歸之 R^2 值為 0.799，相關性雖無氨氮高，仍顯示 TMAH 濃度愈高時水蚤急毒性愈高，而經計算後所得之 TMAH LC_{50} 平均值為 1.55 mg/L。

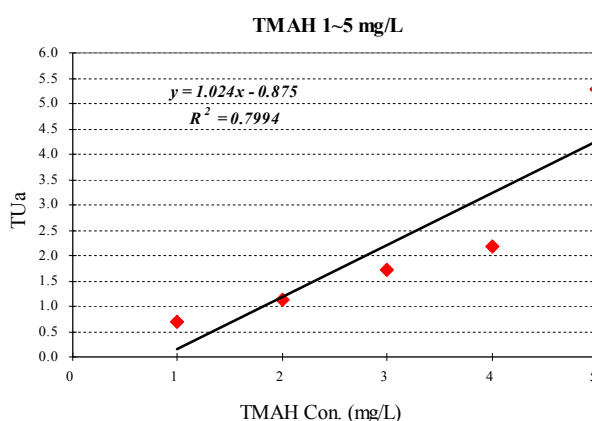


圖 7 水蚤生物急毒性與 TMAH 濃度 1 ~ 5 mg/L 的線性回歸圖

(2) 不同 TMAH 濃度下水蚤對 pH 的相關性分析：由圖 8(a)~(e)結果所示，TMAH 濃度與 pH，相關性較低， R^2 平均值為 0.288；再由圖 8(f)所示，以 TMAH 濃度 1 ~ 5 mg/L 試驗後所計算出之水蚤生物急毒性 TUa 值來與同為試驗後測量之 pH 進行線性回歸，其 R^2 為 0.290，與前述差異小，顯示水蚤生物用來測試此濃度 TMAH 時 pH 影響較小。

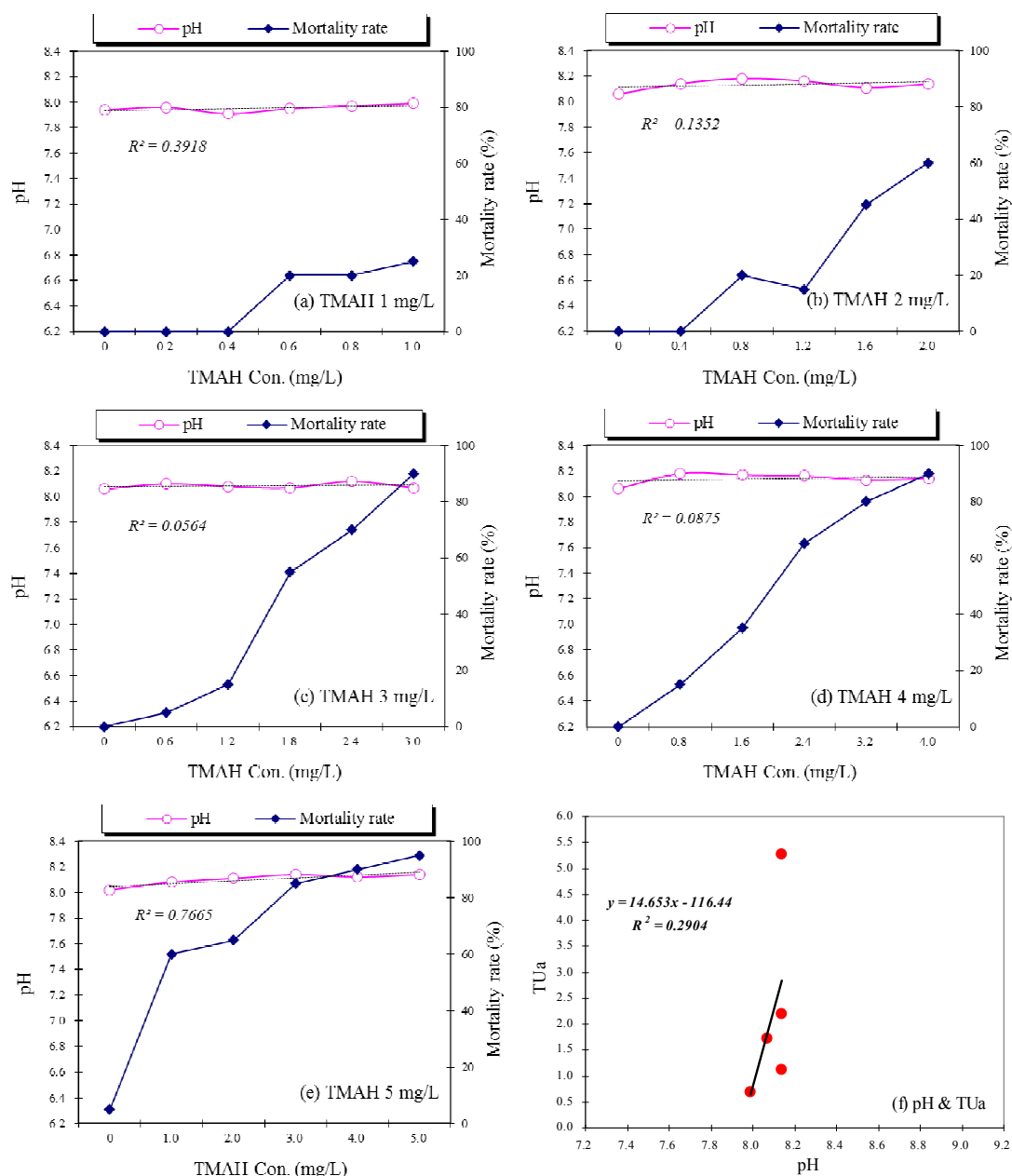


圖 8 不同 TMAH 濃度下 pH 及水蚤死亡率對照圖及生物急毒性線性回歸圖

(3) 不同 TMAH 濃度下水蚤對溶氧(DO)的相關性分析：結果由表 4 所示，除 TMAH 濃度為 1 mg/L 時與 DO 線性回歸之 R^2 有 0.826，然整體平均來說 R^2 僅有 0.423，相關性較低；再由圖 9(a)所示，以 TMAH 濃度 1 ~ 5 mg/L 試驗後所計算出之水蚤生物急毒性 TUa 值來與同為試驗後

測量之 DO 進行線性回歸，其 R^2 為 0.021，相關性更低，顯示水蚤生物用來測試 TMAH 污染物時 DO 影響力較小。

表 4 不同 TMAH 濃度下 DO 與生物急毒性線性回歸結果

TMAH 濃度	1 mg/L	2 mg/L	3 mg/L	4 mg/L	5 mg/L	平均值
R^2	0.826	0.7408	0.3936	0.0178	0.1378	0.423

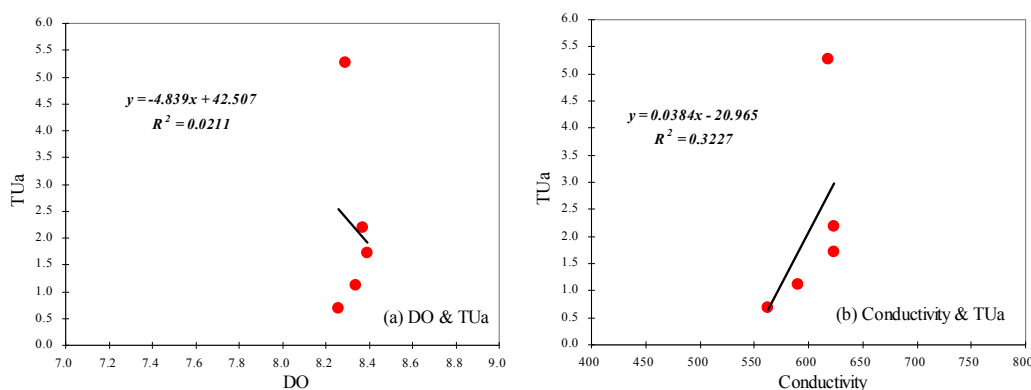


圖 9 不同 TMAH 濃度下溶氧及導電度之生物急毒性線性回歸圖

- (4) 不同 TMAH 濃度下水蚤對導電度(Conductivity)的相關性分析：導電度並非實驗的控制參數，因此藉由水蚤生物的試驗反應，可直接瞭解其經過 48 小時後於不同 TMAH 濃度下之變化，進而加以探討兩者線性回歸的相關性。結果由表 5 所示，除 TMAH 濃度為 5 mg/L 時與導電度線性回歸之 R^2 有 0.917，然整體平均來說 R^2 僅有 0.379，相關性較低；再由圖 9(b)所示，以 TMAH 濃度 1~5 mg/L 試驗後所計算出之水蚤生物急毒性 TUa 值來與同為試驗後測量之導電度進行線性回歸，其 R^2 為 0.323，相關性亦低，顯示水蚤生物用來測試此濃度 TMAH 污染物時導電度影響力較小。

表 5 不同 TMAH 濃度下導電度與生物急毒性線性回歸結果

TMAH 濃度	1 mg/L	2 mg/L	3 mg/L	4 mg/L	5 mg/L	平均值
R^2	0.322	0.420	0.176	0.058	0.917	0.379

由於 TMAH 對水蚤的急毒性較高，實驗時除參考文獻 (MSDS, 2010) 亦為配合水蚤死亡率而設計 1~5 mg/L，因此利用了稀釋水進行大幅濃度調配，故造成上述環境因子相關性較為不高，然如運用在實廠廢水處理時，將可能受到高濃度 TMAH 或其他衍生物的影響而有不同。

四、 結論與建議

1. 本實驗所馴養水蚤之生命週期平均約為70天，水蚤生殖數因配合2天換水一次造成數量統計上的低估。而藉由 NaCl 參考毒物試驗發現水蚤對於環境水體等條件耐受性高時所能存活的期間也較為長久。
2. 以10 g/L NaCl 濃度來進行水蚤初始毒性與參考毒物試驗，實驗結果皆符合規範要求，確認了本實驗水蚤生物的穩定性與品質管制建立無虞。
3. 而隨著氨氮濃度升高不僅水蚤急毒性愈高（ R^2 值為0.903），其中亦影響 pH 與導電度變化，因此可瞭解以水蚤生物來試驗氨氮污染物時 pH 與導電度皆為重要影響因子，而經計算後所得本實驗室馴養水蚤之氨氮 LC_{50} 平均值為98.79 mg/L。
4. 水蚤生物急毒性 TU_a 值與 TMAH 濃度經線性回歸 R^2 值為0.799，相關性雖無氨氮高，仍顯示 TMAH 濃度愈高時水蚤急毒性愈高，經計算後所得本實驗室馴養水蚤之 TMAH LC_{50} 平均值為1.55 mg/L。而其他環境因子影響則因利用了稀釋水進行大幅濃度調配，造成相關性較為不高，然如運用在實廠廢水處理時，將可能受到高濃度 TMAH 或其他衍生物的影響而有不同，需另以考量。
5. 因水蚤生物易受到馴養環境、控制條件及人員操作習慣等而有所不同，本研究主要欲提供水蚤實驗室建立時相關生物特性及品質管制參數，再藉由不同濃度之氨氮與 TMAH 污染物來試驗水蚤與其環境因子的相關性，冀以供給相關研究者一參考依據。

五、 參考文獻

1. 凌永健，科學工業園區污水下水道可容納排入之水質標準暨污水下水道使用費計價基準修訂計畫期末報告，國立清華大學化學系(2012)。
2. 凌永健，力晶 P3廠生物急毒性輔導工作，國立清華大學化學系(2012)。
3. 行政院環境檢驗所，“生物急毒性檢測方法－水蚤靜水式法”，NIEA B901.13B(2011)。
4. 行政院環境檢驗所，“環境檢驗品質管制圖建立指引”，NIEA-PA105 (2005)。
5. Jeronimo, F. M. and Jeronimo, L. M., “Chronic Effect of NaCl Salinity on a Freshwater Strain of *Daphnia Magna* Straus (Crustacea: Cladocera): A Demographic Study”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol.67, pp.411-416(2007).
6. Osada, T., Nemoto, K., Nakanishi, H., Hatano, A., Shoji, R., Naruoka, T., and Yamada, M., “Analysis of Ammonia Toxicity in Landfill Leachates”, International Scholarly Research Network, ISRN Toxicology(2011).
7. MSDS, Ammonium Chloride Material Safety Data Sheet(2010).
8. MSDS, TMAH 25 % Material Safety Data Sheet(2010).
9. 趙淑如，“太陽能光電廢水急毒性及遺傳毒性分析研究”，國立交通大學，環境工程系所碩士論文(2011)。