

科技部補助

大專學生研究計畫研究成果報告

* *****
* 計 畫
* : 初步建立海水急毒性模式生物及參考毒物
* 名 稱
* *****

執行計畫學生： 黃一喜
學生計畫編號： MOST 103-2815-C-041-002-E
研究期間： 103年07月01日至104年02月28日止，計8個月
指導教授： 黃大駿

處理方式： 本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

執行單位： 嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學環境資源管理系(含碩士班)

中華民國

104年03月20日

初步建立海水急毒性模式生物及參考毒物

(一)摘要

環境保護署已經於 102 年公告淡水的急毒性之模式生物和參考毒物，但是海水急毒性這個部分目前尚未建立。許多的廢水除了直接排入淡水水域外，亦有可能直接或間接進入海水中，對水生生物造成影響。本研究擬找尋可以應用於海水急毒性試驗的模式生物和參考毒物。試驗中，以脊椎動物的海水青鱗魚 (*Oryzias latipes*) 與海水吳郭魚 (*Oreochromis* sp.)，無脊椎動物的虎斑猛水蚤 (*Tigriopus japonicus*)、豐年蝦 (*Artemia salina* L.) 及南美白蝦 (*Penaeus vannamei*)，分別進行 SDS (sodium dodecyl sulfate)、CdCl₂、chlordane 與 lindane 的 48 小時的急毒性試驗。經由試驗結果顯示，海水青鱗魚暴露在 SDS 及 CdCl₂ 中，其變異係數值 (coefficient of variation, CV) 分別為 1.44% 及 0.90%，海水吳郭魚暴露在 SDS 及 CdCl₂ 中，其 CV 值分別為 13.06% 及 19.96%；虎斑猛水蚤暴露在 SDS、CdCl₂、chlordane 與 lindane 中，其 CV 值分別為 10.90%、50.73%、15.10% 與 12.74%。豐年蝦暴露在 SDS、CdCl₂、chlordane 與 lindane 中，其 CV 值分別為 0.50%、3.79%、0.27% 與 5.34%。南美白蝦暴露在 SDS、CdCl₂、chlordane 與 lindane 中，其 CV 值分別為 3.91%、0.94%、30.20% 與 1.48%。CV 值最小之藥物為適合的參考毒物，試驗藥物中以 SDS 及 CdCl₂ 藥性穩定，且對環境威脅小；lindane 及 chlordane，易對環境造成汙染。試驗結果顯示，海水急毒性之模式生物以海水青鱗魚及虎斑猛水蚤為佳，SDS 及 CdCl₂ 為建議之參考毒物。

關鍵字： 海水急毒性、模式生物、參考毒物

(二)研究動機與研究問題

由於經濟發展快速以及工、商業發達，提高造成水體汙染的機率，若其產生的汙染物質未經妥善的處理，或是目前技術無法處理的汙染物便有可能進入到周圍的水環境中，最終可能會直接或間接的進入到海洋¹。這些汙染物若排入水體中，除了會造成水質的改變以外，還會對水中的生態系統造成威脅。因此除了對水質做監測之外，評估汙染物質對於水生生物的毒性影響與安全性也是很很重要的一環²。利用水生生物變化來評估水中毒性物質，為許多國家評估

水體綜合性影響最常應用於推斷排放水或是化學物質是否會對於生態系統造成傷害的參考依據³。在水生生物變化來評估水中毒性物質的方式中又以生物急毒性試驗為最簡單又最常被使用的方式¹。國內有關單位針對生物評估水體毒性狀況的方法，已公告淡水水生生物進行毒性試驗的標準方式，並針對淡水毒性試驗提出明確的參考毒物及進行試驗的模式生物。但是，對於海水的毒性試驗的標準方式、模式生物及參考毒物並沒有明確的標準。因此，建立海水生物急毒性試驗的標準模式為當前評估化學物質進入海水，對海水生態系統造成影響的重要工作。然而，建立海水生物急毒性試驗的標準模式，以模式生物及參考毒物進行選擇為其首要步驟。本研究主要初步建立海水生物急毒性試驗的模式生物及參考毒物為其主要工作。

(三)文獻回顧與探討

利用生物進行毒性試驗決定一個物質是否安全。毒性試驗中，以毒性對生物作用時間的長短分成急毒性試驗及慢毒性試驗兩種^{4,5}。急毒性試驗主要是評估一次大量或高濃度的污染物質所造成的毒害。LC₅₀ (median lethal concentration)為評估急毒性最重要的數值，利用 LC₅₀ 乘以一個應用因子，可作為訂定安全濃度之參考或慢毒性試驗中的亞致死濃度(sublethal concentration)⁵。慢毒性試驗主要是評估低濃度毒害於長時間下對生物體的影響，從水質保護及生態觀點來討論，更嚴謹的水質標準應經由慢毒性試驗來進行評估。進行毒性試驗所使用的動物我們稱之為模式動物，這類的動物往往具有易於實驗室畜養及控制、對毒性物質反應敏感性迅速、對生態環境有重大意義及具代表性等特性⁶。除此之外，為了有效評估污染物質可能對水域生態環境的影響，模式生物亦需選擇食物鏈中較簡單的無脊椎動物及食物鏈頂端的脊椎動物共同研判¹。另一方面，為了瞭解模式生物的生理狀況是否穩定外，亦需建立評估模式生物狀態之參考毒物^{1,7}。參考毒物選擇之考量主要以化學性質穩定與化學物質對環

境安全作為主要的評估結果⁶。因此，為了建立海水生物急毒性檢測方法，我們首要找尋易於實驗室畜養及控制的模式生物及測定模式生物穩定狀態的參考毒物⁸。

目前環境保護署已於102年公告數種淡水急毒性之模式生物和參考毒物，測試生物包括小球藻、水蚤、米蝦、鯉魚、羅漢魚、粗首鱲等⁹⁻¹²。在淡水的生物急毒性檢測方法中，主要的參考毒物則是建議以氯化鈉為主。許多的廢水除了直接排入淡水水域外，有可能直接或間接進入海水對水生生物造成影響。在海洋污染物當中以持久性、高生物累積性、致癌、致畸性等污染物較受到關注，當中包括重金屬、有機氯殺蟲劑，或是直接來自於工業廢水與非法任意傾倒的有害事業廢棄物。這些污染物若進入到海洋環境中，會經年累月的存在於在水體之中，或是藉由生物累積作用對海洋生態造成影響，因此毒物管制為保護海洋環境的首要重點，如果一旦讓這些污染物進入環境之中，不論是進入大氣、河水、地下水等，最終都會進入到海洋環境中對海洋造成污染的問題。如同六輕廠區屬於填海造陸之工業區，環評規劃廢水放流於海洋，所排放的汙水經過汙水廠處理之後，最終都排放到海洋之中¹³。但是，目前臺灣只有公告淡水急毒性的部分，對於的海水急毒性的部分目前尚未明確建立，因此確實有必要建立海水急毒性試驗的模式生物和參考毒物。

因此，本研究為建立海水急毒性試驗的模式生物和參考毒物，選擇脊椎動物的海水青鱗魚與海水吳郭魚，以及無脊椎動物的虎斑猛水蚤、豐年蝦及南美白蝦，分別進行 SDS、CdCl₂、chlordan 與 lindane 的 48 小時的急毒性試驗，並以試驗結果選定穩定的海水模式生物和參考毒物。

(四) 研究方法及步驟

為了建立海水急毒性試驗的模式生物和參考毒物，選擇脊椎動物的海水青鱗魚與海水吳郭魚，以及無脊椎動物的虎斑猛水蚤、豐年蝦及南美白蝦，分別進行 SDS、CdCl₂、chlordan 與 lindane 的 48 小時的急毒性試驗。試驗期間，

試驗生物均放置試劑水中做為控制組，試驗期間生物死亡率不得超過 10%，否則此試驗將判定為無效試驗。各試驗生物 48 小時的死亡率再以 Probit 計算 48h-LC₅₀。並以 4 至 5 次試驗結果找尋海水急毒性試驗的模式生物和參考毒物。各細部試驗方式分述如下：

1. 實驗器材準備：

實驗之容器均依環檢所⁹⁻¹²『水樣急毒性檢測方法中之玻璃器皿清洗法』清洗。步驟如下：(1)以自來水浸泡 15 分鐘後，用清潔劑清洗內壁，(2)以自來水沖洗二次，(3)以 10% 硝酸清洗容器內部一次，(4)以去離子水沖洗二次，(5)以丙酮沖洗一次，(6)以去離子水沖洗三次。做毒性試驗前，測試容器需要以去離子水再次沖洗。

2. 實驗動物準備

本研究為建立海水急毒性試驗的模式生物和參考毒物，應用脊椎動物的海水青鱗魚與海水吳郭魚，以及無脊椎動物的虎斑猛水蚤、豐年蝦及南美白蝦進行試驗各項生物準備方式分述如下：

2-1. 海水青鱗魚由嘉義大學賴弘智教授所提供已馴養至鹽度 30‰ 之青鱗魚。取回後，放入內盛馴養水之馴養容器，於研究室馴養時間至少 7 天，缸內以通氣設備曝氣，待其穩定後進行後續試驗，試驗用海水青鱗魚全長應為 1.3 至 1.5 公分。

2-2. 海水吳郭魚由學甲邱益華吳郭魚單性魚苗繁殖場取得。取回後，放入內盛馴養水之馴養容器，由淡水慢慢馴化至鹽度 30‰ 之後，待其穩定後進行後續試驗，試驗用海水吳郭魚全長應為 1.3 至 1.5 公分。

2-3. 虎斑猛水蚤由基隆市和平島潮間帶採集。取回後，放入內盛馴養水之馴養容器，慢慢提高鹽度純化物種，待其穩定後，將鹽度調整至 30‰ 後進行後續試驗，急毒性試驗主要使用第七期浮游期

為亞成體階段之虎斑猛水蚤進行試驗。

2-4. 豐年蝦卵由邵港科技股份有限公司購得，於鹽度30‰下進行孵化，於孵化後2~3日進行後續的急毒性試驗。

2-5. 南美白蝦由宜蘭繁殖場取得，取回後，放入內盛馴養水之馴養容器，於研究室馴養7天，試驗生物大小為0.5至0.6公分，毒性試驗開始前7天內，期間蝦苗死亡率不得超過10%，缸內以通氣設備曝氣，待其穩定後進行後續試驗。

3. 馴養水及試劑水配製

馴養水以曝氣設備曝氣，使溶氧維持在5 mg/L以上。馴養之水溫必須與毒性試驗溫度一致，即 $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，光照時間應維持在每天 16 ± 1 小時。

試劑水配製，使用Red Sea Salt (26.726g NaCl、2.260g MgCl₂、3.248g MgSO₄、1.153g CaCl₂、0.198g NaHCO₃、0.721g KCl、0.058g NaBr、0.058g H₃BO₃、0.0024g Na₂SiO₃、0.0015g Na₂Si₄O₉、0.002g H₃PO₄、0.013g Al₂Cl₆、0.002g NH₃、0.0013g LiNO₃)的海水素33.3g，加至1L的馴養水中，攪拌均勻後配製成30‰的試劑水。試劑水保存時使用通氣設備曝氣，使溶氧維持在5 mg/L以上。

4. 試驗藥品儲存溶液配製

4-1 SDS 儲備溶液配製：取1g的十二烷基硫酸鈉 (Sodium dodecyl sulfate, SDS)，利用100ml的去離子水為溶劑配置成10000mg/L。

4-2 CdCl₂ 儲備溶液配製：取10ml CdCl₂，利用90ml的去離子水為溶劑配置成1000mg/L。

4-3 chlordane 儲備溶液配製：取10ml chlordane，利用90ml的二甲基亞砜(Dimethyl sulfoxide或DMSO)為溶劑配置成1000μg/L。

4-4 lindane 儲備溶液配製：取10ml lindane，利用90ml的二甲基亞砜(Dimethyl sulfoxide或DMSO)為溶劑配置成10000 μ g/L。

5. 試驗動物穩定狀態試驗

為了尋找適合海水生物急毒之模式生物，試驗條件包括飼養容易性及控制生物之大小等。將馴養穩定後的試驗生物放置試劑水中進行3~4天的靜置試驗。前3~4天內，試驗動物之死亡率不得超過10%。如果超過10%，重新選定試驗生物大小。

6. 模式生物和參考毒物試驗

以脊椎動物的海水青鱗魚與海水吳郭魚，以及無脊椎動物的虎斑猛水蚤、豐年蝦及南美白蝦為試驗生物，分別進行SDS、CdCl₂、chlordane與lindane的48小時的急毒性試驗。試驗期間水溫應控制在25 \pm 2 $^{\circ}$ C，光照時間應維持每天16 \pm 1小時、人工海水的鹽度30 \pm 0.5‰、pH值為7.9~8.0。試驗期間試驗濃度、脊椎動物及無脊椎動物的48小時的急毒性試驗分述如下：

6-1 試驗濃度

試驗使用之試驗濃度來自於先前的範圍尋找試驗 (range-finding test) 中所找尋到的海水急毒性之濃度分述如下(表一)：

海水青鱗魚急毒性試驗中 SDS 及 CdCl₂ 實驗濃度分別為，SDS 濃度為 3、5、7、10、15mg/L；CdCl₂ 濃度為 1、5、10、20、30mg/L。

海水吳郭魚急毒性試驗中 SDS 及 CdCl₂ 實驗濃度分別為，SDS 濃度為 3、5、7、10、15mg/L；CdCl₂ 濃度為 0.1、0.5、1.0、2.0、5.0mg/L。

虎斑猛水蚤急毒性試驗中 SDS、CdCl₂、chlordane 與 lindane 實驗濃度分別為，SDS 濃度 3、5、7、10、20mg/L；CdCl₂ 濃度

為 1.5、2.5、3.5、5.0、7.5mg/L；chlordanone 濃度為 0.025、0.05、0.15、0.25、0.50 μ g/L；lindane 濃度為 0.2、0.5、1.0、1.5、2.0 μ g/L。豐年蝦急毒性試驗中 SDS、CdCl₂、chlordanone 與 lindane 實驗濃度分別為，SDS 濃度 0.03、0.05、0.07、0.1、0.2mg/L；CdCl₂ 濃度為 0.3、0.5、0.7、1.0、1.5mg/L；chlordanone 濃度為 0.05、0.1、0.3、0.5、1.0 μ g/L；lindane 濃度為 0.2、0.5、1.0、1.5、2.0 μ g/L。南美白蝦急毒性試驗中 SDS、CdCl₂、chlordanone 與 lindane 實驗濃度分別為，SDS 濃度 0.03、0.05、0.07、0.1、0.2mg/L；CdCl₂ 濃度為 0.3、0.5、0.7、1.0、1.5mg/L；chlordanone 濃度為 0.025、0.05、0.15、0.25、0.50 μ g/L；lindane 濃度為 0.2、0.5、1.0、1.5、2.0 μ g/L（表一）。

6-2 試驗方法

毒性試驗開始前 7 天內，生物死亡率不得超過 10%。脊椎動物試驗前須取 5 隻以上試驗用生物量測並計算其平均體重，以估算試驗水樣所須體積（每公升試驗水樣承受之試驗生物總重不得超過 2.0g）。試驗期間為 96 小時，水溫應控制在 $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，光照時間應維持每天 16 ± 1 小時。毒性試驗開始前 24 小時停止餵食，試驗期間試驗生物不得餵食。開始試驗後，至少於第 2、24、48、72 及 96 小時，觀察及移出死亡之試驗生物並記錄死亡數量。

6-3 統計方法

急毒性試驗，試驗結果使用 Probit 計算 LC₅₀。選擇模式生物和參考毒物的主要要點為模式生物及參考毒物需要在 4~5 次的試驗中為最穩定的組合。兩種試驗生物在相同的試驗藥物預計進行 4~5 次重複實驗，再計算各試驗 LC₅₀ 之 CV 值。通常不同批次試驗計算出的 CV 值需小於 15%~25%。

(五) 結果

脊椎動物中應用海水青鱗魚與海水吳郭魚，依試驗動物狀況共進行 1~4 次的急毒性試驗；在無脊椎動物中應用豐年蝦、南美白蝦及虎斑猛水蚤共依試驗動物狀況進行 1~4 次的急毒性試驗（表二）。由於 chlordane 與 lindane 在 2014 年被列為管制藥物，藥物的取得不易，因此脊椎動物缺乏這部分的試驗數據，後續文中將以相關文獻代替。

試驗結果顯示，脊椎動物之海水青鱗魚與海水吳郭魚，以及無脊椎動物之虎斑猛水蚤試驗成功率皆為 100%（表二）。豐年蝦之試驗成功率為 32%；南美白蝦之飼養成功率為 40%，都有偏低的情況，因此較不適合做為模式生物（圖一）。

五種試驗生物暴露在四種參考毒物中之 48h-LC₅₀ 結果顯示，SDS 對於豐年蝦毒性最高為 0.50 mg/L，其次是南美白蝦為 3.91 mg/L；CdCl₂ 對於南美白蝦毒性最高為 0.94 mg/L，其次是虎斑猛水蚤為 3.42 mg/L；lindane 及 chlordane 對於虎斑猛水蚤毒性最高分別為 0.91 µg/L、0.10 µg/L。

五種試驗生物之 CV 值結果顯示，南美白蝦試驗的 CV 值皆大於 100%，呈現不穩定的狀態，其他試驗生物對於 SDS 的 CV 值都小於 25%（表三）。

因此綜合結果顯示，海水急毒性之模式生物建議以海水青鱗魚以及虎斑猛水蚤為佳。而 SDS 為首要建議參考毒物，其次為毒性較低之 CdCl₂。

(六) 討論

本次試驗結果顯示，試驗藥物對於對脊椎動物之海水青鱗魚 48h-LC₅₀ 的毒性為 SDS 大於 CdCl₂，這與之前對脊椎動物之吳郭魚的研究結果大致符合（表四）。四種參考毒物對於虎斑猛水蚤的毒性依序為 chlordane、lindane、CdCl₂ 及 SDS，這部分的研究與以往文獻亦為雷同（表四）。經文獻於本試驗

比對臺灣地區海水青鱈魚、吳郭魚及虎斑猛水蚤的耐受性並無明顯差異。

試驗進行中發現海水青鱈魚比海水吳郭魚更適合做為模式生物，主要原因為台灣吳郭魚品系繁多，且魚苗繁殖受季節限制¹⁴。因此，若以吳郭魚為爾後的試驗生物，可能因為品系混亂，造成試驗較大的誤差。另一方面，海水青鱈魚(體長約 2~3 公分長)體積較於其他魚種小，進行大量毒性測試時空間需求及分析器材經費的需求較少，且生長快、成熟期短且繁殖力強，魚種取得容易，魚種養殖環境與照護流程皆已標準化，在實驗室內便可完全培育¹⁵。因此在海水脊椎動物的模式生物中首要推選海水青鱈魚。海水無脊椎動物的模式生物方面，虎斑猛水蚤相較於豐年蝦及南美白蝦更適合做為模式生物。主要原因為虎斑猛水蚤為台灣沿海的廣佈種，無論是試驗生物純化、馴養及試驗穩定度均較其他兩種生物佳。另一方面，廣佈台灣沿海的虎斑猛水蚤種，用來評估臺灣海洋污染的影響，為最適合的海洋模式生物¹⁶。

lindane、chlordane、 CdCl_2 及 SDS 為本次試驗參考毒物的候選化學物質。五種試驗生物之 CV 值結果顯示，參考藥物對於海水青鱈魚及海水吳郭魚之試驗穩定度皆為 SDS 大於 CdCl_2 。參考藥物對於虎斑猛水蚤之試驗穩定度由高至低分別為 SDS、lindane、chlordane 及 CdCl_2 ；對於豐年蝦之試驗穩定度由高至低分別為 SDS、chlordane 及 lindane，可以看出 SDS 之試驗穩定度最好，最適合做為海水急毒性之參考毒物。然而，chlordane 及 lindane 目前已被列為環境持久性有機污染物，對環境影響較大。依據參考毒物之綠色化學選擇精神，以環境較友善的化學物質為選擇之依據¹⁷。因此，chlordane 及 lindane 試驗後雖然有較高的穩定試驗性，但是仍較不推薦。

(六)參考文獻

1. USEPA. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and Marine organisms (EPA-821-R-02-012). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; 2002.
2. Bernanke J, Kohler HR. The impact of environmental chemicals on wildlife vertebrates. *Rev Environ Contam Toxicol.* 2009;198:1-47.
3. Al-Ahmad A, Daschner FD, Kummerer K. *Arch Environ Contam Toxicol.* 1999;37:158.
4. Abou-Arab AAK. Degradation of organochlorine pesticides by meat starter in liquid media and fermented sausage. *Food Chem Toxicol.* 2002;40:33-41.
5. Sprague JB. Measurement of pollutant toxicity to fish. III. Sublethal effects and "safe" concentration. *Water Research.* 1971;5:245-66.
6. Schweer LG. Draft detailed review paper on mysid life cycle toxicity test. (68-W-01-023). Washington, D.C.: U.S. Environmental protection agency; 2002.
7. APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater (18th ed.). Washington, D.C., U.S.A.: American Public Health Association; 1992.
8. 許濤. 生物急毒性標準試驗法建立之研究(EPA-154810225). 臺北市: 行政院環境保護署; 1992.
9. 行政院環境保護署環境檢驗所. 生物急毒性檢測方法—米蝦靜水式法 (NIEA B905.13B). 臺北市: 行政院環境保護署; 2013.
10. 行政院環境保護署環境檢驗所. 生物急毒性檢測方法—水蚤靜水式法 (NIEA B901.14B). 臺北市: 行政院環境保護署; 2013.
11. 行政院環境保護署環境檢驗所. 生物急毒性檢測方法—羅漢魚靜水式法 (NIEA B902.13B). 臺北市: 行政院環境保護署; 2013.
12. 行政院環境保護署環境檢驗所. 生物急毒性檢測方法—鯉魚靜水式法 (NIEA B904.13B). 臺北市: 行政院環境保護署; 2013.
13. 王秉凡. 六輕工業區前後期對雲林海域的影響分析評估. 國立雲林科技大學 環境與安全衛生工程系碩士論文; 2008.
14. 行政院農業委員會水產試驗所. 吳郭魚 168(水產試驗特刊 10). 行政院農業委員會水產試驗所; 2008.
15. 行政院環境保護署環境檢驗所. 生物慢毒性方法驗證及在污染調查上之應用 (EPA-101-E3S5-02-01). 臺北市: 行政院環境保護署; 2012.
16. Sheikh Raisuddin , Kevin W.H. Kwok , Kenneth M.Y. Leung , Daniel Schlenk , Jae-Seong Lee. The copepod Tigriopus: A promising marine model organism for ecotoxicology and environmental genomics. *Aquatic Toxicology* 83 (2007) 161-173.

17. Roger B. Yeardley Jr, James M. Lazorchak, Michael A. Pence. Evaluation of alternative reference toxicants for use in the earthworm toxicity test. *Environmental Toxicology and Chemistry* ; Volume 14, Issue 7, pages 1189–1194, July;1995.
18. Sanders HO. Toxicity of pesticides to the crustacean *Gammarus lacustris*. Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, Technical Paper 25, Government Printing Office, Washington, DC; 1969
19. Verschueren K. Handbook of environmental data on organic chemicals, 2nd edn. New York, NY, 1310 pp;1983
20. M. T. Moore, D. B. Huggett, W. B. Gillespie, Jr., J. H. Rodgers, Jr., C. M. Cooper. Comparative Toxicity of Chlordane, Chlorpyrifos, and Aldicarb to Four Aquatic Testing Organisms. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 34, 152–157 ;1998
21. Chuang, Lun-Kang. Toxic Effect of the Lindane, Chlordane, Super Diesel Oil and Waste Engine Oil on the Marine Copepod *Tigriopus japonicas*. National Taiwan University Master Thesis Institute of Fisheries Science College of Life Science;2008
22. M. Oliva, C. Garrido, D. Sales, M.L.G. de Canales, A Lindane toxicity on early life stages of gilthead seabream (*Sparus aurata*) with a note on its histopathological manifestations, *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 25 (2008) 94–102.
23. B.O. Omitoyin, E.K. Ajani, B.T. Adesina, C.N.F. Okuagu. Toxicity of Lindane (Gamma Hexachloro -CycloHexane) to *Clarias gariepinus* (Burchell), *World J. Zool.* 1 (2006) (1822) 57–63.
24. Roberts MH, Warinner JE, Tsai CF, Wright D. 1982. Comparison estuarine species sensitivities to three toxicants. *Arch Environ Contam Toxicol* 11:681–692.
25. Gelli F, Cicero AM, Melotti P, Roncarati A, Pregnolato L, Savorelli F, Palazzi D, Mariani L, Casazza G. 2003. Impiego di stadi larvali e giovanili di *D. labrax* (L.) in saggi biologici: Valutazione della qualita` di acque marine, salmastre e di sedimenti attraverso test acuti. *Biol Mar Medit* 10:137–200.
26. C M Chen, S C Yu, M C Liu. Use of Japanese medaka (*Oryzias latipes*) and Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) in toxicity tests on different industrial effluents in Taiwan. *Arch Environ Contam Toxicol* ;2001.
27. Emanuela Cristina Freitas • Odete Rocha. Acute and chronic effects of atrazine and sodium dodecyl sulfate on the tropical freshwater cladoceran *Pseudosida ramosa*. *Ecotoxicology* ;2012.
28. Nipper MG, Badaro-Pedroso C, Jose VF, Melo SL. Toxicity testing with coastal species of Southeastern Brazil. Mysids and Copepods. *Bull Environ Contam*

Toxicol 51:99–106;1993.

29. Mehmet Yılmaz , Ali Gul, Erhan Karakose. Investigation of acute toxicity and the effect of cadmium chloride ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) metal salt on behavior of the guppy (*Poecilia reticulata*). Chemosphere 56 (2004) 375–380.

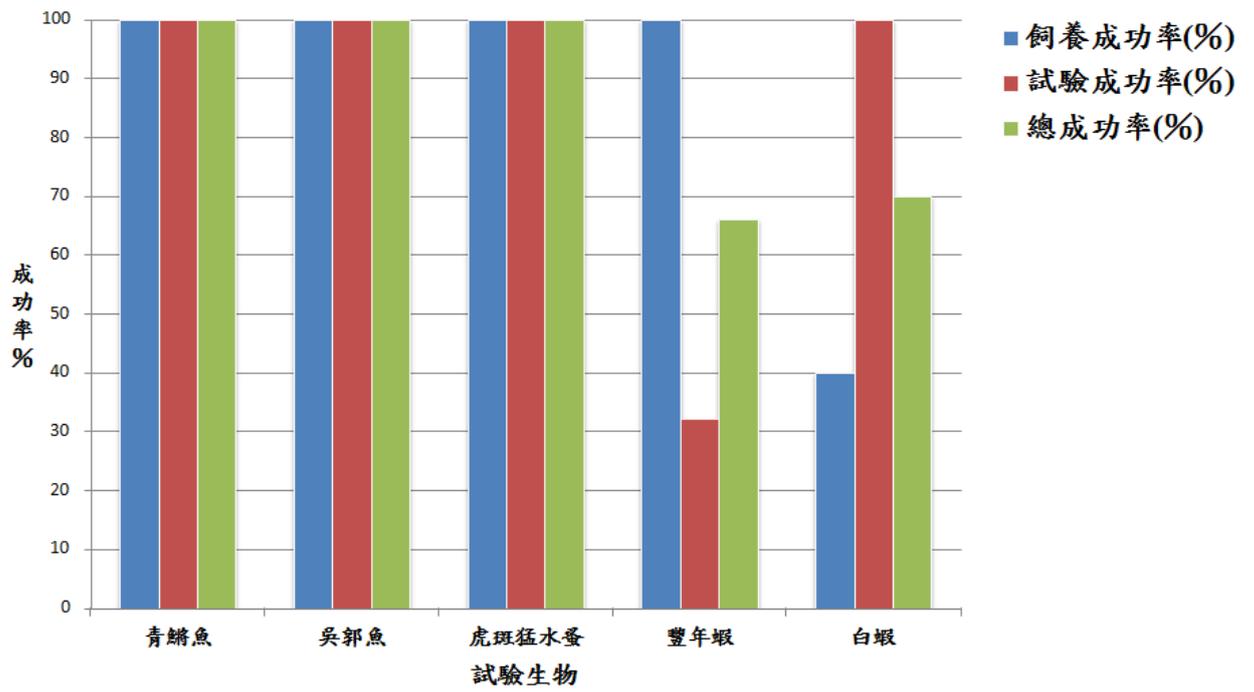
表一.海水急毒性之試驗濃度表

物種	藥物	試驗濃度				
海水青鱗魚	SDS	3	5	7	10	15
	CdCl ₂	1	5	10	20	30
海水吳郭魚	SDS	3	5	7	10	15
	CdCl ₂	0.1	0.5	1	2	5
虎斑猛水蚤	SDS	3	5	7	10	20
	CdCl ₂	1.5	2.5	3.5	5	7.5
	chlordanes	0.025	0.05	0.15	0.25	0.5
	lindane	0.2	0.5	1	1.5	2
豐年蝦	SDS	0.03	0.05	0.07	0.1	0.2
	CdCl ₂	0.3	0.5	0.7	1	1.5
	chlordanes	0.05	0.1	0.3	0.5	1
	lindane	0.2	0.5	1	1.5	2
南美白蝦	SDS	0.03	0.05	0.07	0.1	0.2
	CdCl ₂	0.3	0.5	0.7	1	1.5
	chlordanes	0.025	0.05	0.15	0.25	0.5
	lindane	0.2	0.5	1	1.5	2

※註：濃度單位：SDS、CdCl₂ 為(mg/L)；chlordanes、lindane 為(μg/L)

表二、五種試驗生物之實驗次數整理表

物種	藥物	準備畜養次數	試驗次數	成功次數
海水青鱗魚	SDS	4	4	4
	CdCl ₂	3	3	3
	chlordan	—	—	—
	lindane	1	1	1
海水吳郭魚	SDS	2	2	2
	CdCl ₂	2	2	2
	chlordan	—	—	—
	lindane	—	—	—
虎斑猛水蚤	SDS	4	4	4
	CdCl ₂	4	4	4
	chlordan	4	4	4
	lindane	4	4	4
豐年蝦	SDS	7	7	2
	CdCl ₂	7	7	1
	chlordan	7	7	4
	lindane	7	7	2
南美白蝦	SDS	5	2	2
	CdCl ₂	5	2	2
	chlordan	5	2	2
	lindane	5	2	2



圖一、五種試驗生物之實驗次數直方圖

表三、五種試驗生物之 48h-LC₅₀

物種	藥物	LC ₅₀	95%CI	CV%	N
海水青鱗魚	SDS	6.40	(4.23~8.57)	21.3	4
	CdCl ₂	27.99	(10.52~45.45)	25.1	3
	lindane	31.54	(26.81~38.28)	—	1
海水吳郭魚	SDS	13.06	(10.86~16.17)	1.8	2
	CdCl ₂	19.96	(13.16~34.87)	23.8	2
虎斑猛水蚤	SDS	5.79	(4.79~6.80)	10.9	4
	CdCl ₂	3.42	(1.04~5.80)	43.8	4
	lindane	0.91	(0.73~1.10)	12.7	4
	chlordan	0.10	(0.08~0.13)	15.1	4
豐年蝦	SDS	0.50	*	21.2	2
	CdCl ₂	3.79	*	—	1
	lindane	5.34	*	81.8	2
	chlordan	0.27	(0.08~0.47)	44.4	4
南美白蝦	SDS	3.91	*	138.3	2
	CdCl ₂	0.94	*	135.1	2
	lindane	1.48	*	130.9	2
	chlordan	30.20	*	141.4	2

※註：濃度單位：SDS、CdCl₂ 為(mg/L)；chlordan、lindane 為(μg/L)；由 SPSS

的 Probit 計算出 LC₅₀。

表四、四種試驗藥物之 LC₅₀

藥物	物種	endpoint	
chlordanne	<i>Gammarus lacustris</i> ¹⁸	96-h LC ₅₀	40 µg/L
	<i>Pimephales promelas</i> ¹⁹	96-h LC ₅₀	36.9 µg/L
	<i>Tigriopus japonicus</i> ²¹	96-h LC ₅₀	0.71mg/L
	<i>Camptochironomus tentans</i> ²⁰	48-h LC ₅₀	5.8 µg/L
	<i>T. Japonicus</i> ²¹	48-h LC ₅₀	2.46mg/L
lindane	<i>Sparus aurata</i> ²²	48-h LC ₅₀	0.122mg/L
	<i>Clarias gariepinus</i> ²³	96-h LC ₅₀	0.38mg/L
	<i>T. Japonicus</i> ²¹	48-h LC ₅₀	2.56mg/L
	<i>T. japonicus</i> ²¹	96-h LC ₅₀	1.19mg/L
SDS	<i>Mysidopsis bahia</i> ²⁴	96-h LC ₅₀	6.6mg/L
	<i>Dicentrarchus labrax</i> ²⁵	96-h LC ₅₀	7.28mg/L
	tilapia ²⁶	LC _{50s}	19.7mg/L
	medaka juveniles ²⁶	LC _{50s}	12.5mg/L
	<i>Pseudosida ramosa</i> ²⁷	48-h LC ₅₀	11.1 mg/L
	<i>Acartia lillgeborgi</i> ²⁸	48-h LC ₅₀	2.6mg/L
	<i>Temora stylifera</i> ²⁸	48-h LC ₅₀	3.0mg/L
CdCl ₂	<i>Poecilia reticulata</i> ²⁹	96-h LC ₅₀	30.4 mg/L
	tilapia ²⁶	LC _{50s}	29.6 mg/L
	medaka juveniles ²⁶	LC _{50s}	2.2 mg/L