

第六章、 結論與建議

6.1 結論

經過本次實驗與分析探討後，大致可以歸納出下列幾點結論：

1. 在本實驗中的單一毒物實驗數據結果可觀察到，其中以 PCP 為毒性最強者，而最低則是 MCPA。而兩者之間的 EC50 差值可達到約 1000 倍以上；而在三種不同試驗參數裡，尤以生物質量 (Final Yield) 最為敏感，其次為溶氧變化量 (DO)，最後才是生長率 (Growth rate)。
2. 單一毒物實驗中，眾多物種比較上來看，整體上，與其他不同藻類物種資料的比較下，月芽藻明顯表現出較為靈敏的情況；這也證明了本實驗物種在對於水體毒性研究上，具有被選擇的優越性。其中除了在水中微生物與 Rainbow trout 的數據裡，有機磷農藥皆呈現出較月芽藻來的敏感外，其餘的如各式綠藻和剩下的魚種中，則沒有呈現較敏感的情況；類似的反應也完全相反的出現在除草劑與殺藻劑的資料中。但整體上，本實驗的數據結果仍呈現出較高的敏感度。
3. 此研究用文獻中同是月芽藻的資料數據與本實驗所得 EC50 之比值，和毒物的蒸氣壓 (Vapor pressure; V.P) 作線性迴歸，得到一迴歸值為 0.983。由此迴歸值證實過去的研究因為開放式系統設備之缺失的緣故，具揮發性的毒物在過程中揮發逸散，最後的結果因此而出現低估現象；而本研究所發展出的密閉式系統則可以改善此項缺失，讓實驗更具再現性與可信度，敏感度也隨之增加。
4. 在物種間的相關性分析上，本實驗系統與其他實驗物種之關聯度的分

析，顯示出與 feather minnow 和 *C. tentans* 兩物種所呈現的 R^2 最好，可達到 0.89~0.96 間。其中以 *D. magna* 為相關性最低的物種， R^2 只有 0.038（以 Final Yield 作為反應參數）。若考慮到之前所提到的，此類的物種對除草劑類的農藥反應並不如預期敏感，當去掉除草劑類農藥的部分作另一次的分析，則可得到 R^2 升高至 0.842；在溶氧部分也可由 0.063 升高至 0.129，有顯著的改變情形。同樣情形一樣的出現在以 Rainbow trout 為實驗物種的結果之中。

5. 研究使用 Dunnett's test 計算出實驗各毒物之 NOEC 值，但與 EC10 來比較，並無法辦定何者較為敏感。所以實驗中推導出中斷值的統計方式來作判別的工作。中斷值位於 NOEC 與 LOEC 之間，但高於 NOEC，故當中斷值大於 10% 時，生物受到 NOEC 的影響濃度會比 10% 的抑制濃度要低，換言之，此時則以 NOEC 能夠比 EC10 提供更加嚴謹的保護標準。此實驗若以溶氧量為反應終點時的中斷值大於 10% 的有五組，佔了全部的 71.42%；而以細胞密度為試驗終點的中斷值大於 10% 的僅有三組，佔約 42.85%，整體來看是佔了多數的情形。這樣的結果顯示出在毒性物質理想的濃度設定下，加上系統變異性小時，NOEC 值比 EC10 能提供更好的保護標準。而不同參數間所計算的中斷值，則以生物質量為反應終點時的值比溶氧小，表示在農藥毒性試驗中以生物質量所求得的 NOEC 能提供對生物較為嚴謹的保護。在資料收集的數據更顯示出本實驗比其他物種較為敏感，毒性評估更為準確。
6. QSAR 結果顯示出其毒性資料與 log P 的相關性較小，若以溶氧為試驗終點，則 R^2 為 0.2632；以生物質量作為試驗終點，則 R^2 為 0.3795，顯示出之間的相關性並不好；但若只以有機磷農藥來討論，則溶氧部份之 R^2 會降為 0.1107，而生物質量則升高至 0.9953，表現出很好的相關性，也表示這些農藥呈現出對生物體不一樣的生化機制。

7. 在混合毒性方面，主要以溶氧為反應終點，1 比 1 方式混合的組數約有 15 組。其中得到協同作用 (Synergistic)，約佔 46.7%，相加作用 (Additive effect)，26.7%，拮抗作用 (Antagonism)，26.65%，協同作用較為明顯，與過去文獻所顯示相呼應。
8. 在同組的混合下，以生物質量和生長率所分析出來的混合反應，跟之前溶氧以 1 比 1 混合顯現的並不一致。可能是在於以細胞密度為反應終點時所計算出的 TU 值，混合比例並無符合相加係數原理 (additive index)；對生物質量而言，協同作用急遽減少，只佔了約 13.3%，拮抗作用反而晉升至 50% 以上；生長率方面，更呈現出絕大部份為拮抗效應。
9. 製作 isobologram 圖讓混合反應更為明瞭清楚。可由圖中以 (1:1)，(1:3)，(3:1) 三種混合比例點，與 95% 信賴區間的描繪下，搭配前面所提之原理，讓反應清楚表現出來。
10. 混合實驗的數據皆是以 DO 為參數所做出來的結果；為了另外驗證其他參數在符合模式混合下的反應，另外也針對以 Final Yield 及 Growth rate 等參數，來製做另一部分的 isobolograms 來做比較討論。研究選擇 atrazine 與 parathion 作為混合的主體。呈現出的是拮抗作用，與以溶氧為參數時所得的效應 (相加作用) 不一樣。推論出農藥在藻類受體內作用機制有關，可能主要反應在光合作用系統中被抑制，而較強烈地表現在以 DO 作為實驗終點的反應上。

6.2 建議

1. 對於 NOEC 方面的分析顯示出整組實驗的變異性對結果有很大的影響，

而實驗濃度區間的選擇也是主要需注意的地方，這些因子皆可能造成 NOEC 值有高估的情況，而無法提供較為嚴格的評估結果。

2. 此實驗使用的農藥只為少數的幾種，且由收集的文獻可發現出本實驗所使用的月芽藻，在以往研究中對於農藥部分的資料並不多；但此次實驗在與過去比較下仍較為具有不錯的敏感性，可在將來針對此類的揮發性物質做多做討論。
3. 一般實驗大多還是針對單一毒物來進行，但由本實驗顯示出農藥在混合過程中出現許多協同作用，然而這類的化學物質在環境中又是常見的毒物，對無論是水體或陸地上的生物造成許多潛在的危險；所以像這類的毒物，即更需要做一整合性的彙集，提供日後環境評估方面的一個很好的參考。

