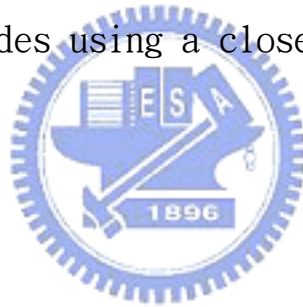


國立交通大學  
環境工程研究所  
碩士論文

以密閉式藻類毒性試驗評估丙烯腈及其衍生物之個別毒性  
及與醛類之混合毒性效應

The individual toxicity of acrylonitriles and the combined  
effects with aldehydes using a closed-system algal test.



研究生：龔俊竹  
指導教授：陳重元教授

中華民國九十七年十一月

以密閉式藻類毒性試驗評估丙烯腈及其衍生物之個別毒性  
及與醛類之混合毒性效應

學生:龔俊竹

指導教授:陳重元

國立交通大學環境工程研究所

摘要

本研究以藻類(*Pseudokirchneriella subcapitata*)利用 BOD 瓶進行密閉式藻類毒性試驗，使用溶氧變化、藻類生物質量以及生長率作為實驗終點，評估丙烯腈及其衍生物之毒性，同時將其與甲醛、戊二醛及三氫基苯甲醛等全類進行混合毒性試驗研究。

於單一試驗結果顯示，2-Chloroacrylonitrile 最具毒性，Methacrylonitrile 則毒性最低。取代基較雜的丙烯腈衍生物(3-Methoxyacrylonitrile、3-Ethoxyacrylonitrile、3-Dimethylaminoacrylonitrile)，其 $EC_{50}$ 值會有較大的變動，而在低濃度的部分，NOEC較 $EC_{10}$ 更可提供完善的保護。

在混合毒性的部分，小斜率與小斜率相混合時，皆以協同效應為主，若斜率變大，則效應則以加成或拮抗為主。在非交互作用模式預測方面，協同效應之實際觀察值皆比模式預測值更為強烈，經過 HPLC 分析，並未明顯觀察到兩種化合物間交互作用的變化。

而在 Isobologram 分析中，協同組 (Glutaraldehyde+Methacrylonitrile)無論在何種混合比例下，皆呈現協同之現象，而在拮抗組中 (3-Hydroxybenzaldehyde+2-Chloroacrylonitrile)，以溶氧變化作為實驗終點時，在不同混合比例下會發現加成的效應，而在生物質量及生長率方面則發現有 Complex joint action 的現象。



The individual toxicity of acrylonitriles and the combined effects  
With aldehydes using a closed-system algal test.

Student: Jiun-Ju Gung

Advisor: Chung-Yuan Chen

Institute of Environmental Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

The purpose of the present study is to evaluate the toxicity of acrylonitrile and its derivatives, and their combined effects with aldehydes, using a closed-system algal toxicity test technique.

Among all the acrylonitrile derivatives, 2-chloroacrylonitrile was found to be the most toxic compounds, while methacrylonitrile was the least toxic one. For the low-toxic-effect concentrations, NOEC values were generally lower than the EC10 values and, therefore, were considered as being able to provide better protection to the aquatic environment than the EC10 values.

For the combined-effect studies, synergistic effects were consistently observed when both toxicants depict flat dose-response curves. Though the observed synergistic effects were stronger than that predicted by the non-interactive multiple toxicity model, the applied model did provide satisfactory predictions for the joint action modes for binary mixtures of

toxics. On the other hand, less-than-additive effects were observed for two toxics associated with steep dose-response curves.



## 誌 謝

在交大就讀的這段時間裡，終於完成了碩士論文，首要感謝的是恩師 陳重元教授在這段時間裡給予嚴格的指導與鼓勵，讓我除了在專業的領域受益良多之外，也學到了努力不懈的態度。也很感謝交大環工所 林志高教授、中山醫大職安系 趙木榮副教授在論文計畫書的審核以及口試期間提供許多寶貴的意見，得以讓學生的論文更臻完善。

而在這段時間，也相當感謝裕勝學長、柏毅學長及詔棠學姊在研究上所給予的指導，而另外兩位同學冠良及哲偉也陪著我一起度過許多難關，新進的學妹及學弟，也因為他們認真學習的態度讓實驗室得以運作順暢，這都是幫助我完成論文的重要的動力，特別感謝學弟 聖然，在我通車這段時間義無反顧的接送，十分感謝。也謝謝其他研究室的同学 品涵、璧如、暉霖、嘉玲、奕甫、勁逸、清榮、維斯，以及學長 文賓及育俊，有你們的幫助讓我解決了許多問題，清大的同學 忠霖，也感謝你在重要時刻的義氣相挺。

最重要的，我要謝謝我的家人，這段時間多虧你們的關心及鼓勵，讓我可以走過這段路，順利的完成學業，謝謝你們，我愛你們。

# 目錄

## 第一章 緒論

|          |   |
|----------|---|
| 1.1 研究緣起 | 1 |
| 1.2 研究目的 | 3 |
| 1.3 研究架構 | 3 |

## 第二章 文獻回顧

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 2.1 藻類毒性試驗            | 5  |
| 2.2 常用之毒性試驗物種         | 6  |
| 2.3 有機化學毒物            |    |
| 2.3.1 丙烯晴化合物介紹及來源     | 9  |
| 2.3.2 丙烯晴化合物的應用       | 10 |
| 2.3.3 丙烯晴化合物之物化特性     | 11 |
| 2.3.4 丙烯晴之毒理特性及對人體的危害 | 13 |
| 2.4 混合毒性試驗介紹          | 14 |
| 2.4.1 晴類與醛類化合物之混合毒性   | 16 |

## 第三章 基本理論

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 3.1 毒性物質劑量-反應模式                      | 17 |
| 3.2 混合毒性理論                           | 18 |
| 3.2.1 非交互作用混合毒性理論                    | 18 |
| 3.2.2 交互作用混合毒性理論                     | 19 |
| 3.2.3 混合毒性效應與 $\rho$ 、 $\lambda$ 的關係 | 20 |
| 3.2.4 毒性單位                           | 21 |
| 3.2.5 Isobologram                    | 21 |

## 第四章 實驗流程及設備

|          |    |
|----------|----|
| 4.1 實驗設備 | 23 |
|----------|----|

|        |              |    |
|--------|--------------|----|
| 4.2    | 實驗藥品         | 23 |
| 4.3    | 試驗藻種         | 24 |
| 4.4    | 培養基質配製       | 24 |
| 4.5    | 電子顆粒計數器之操作原理 | 26 |
| 4.6    | 溶氧測定儀之校正     | 27 |
| 4.7    | 實驗條件之控制      | 28 |
| 4.8    | 儲備溶液         | 28 |
| 4.9    | 總有機碳分析儀      | 28 |
| 4.10   | 高效率液相層析儀     | 29 |
| 4.11   | 實驗步驟         | 29 |
| 4.11.1 | 連續試母槽之培養     | 29 |
| 4.11.2 | 批次試藻類毒性試驗    | 30 |
| 4.11.3 | 混合毒性試驗       | 32 |
| 第五章    | 結果與討論        | 34 |
| 第六章    | 結論與建議        | 63 |
| 參考文獻   |              | 66 |

# 圖目錄

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 圖 1.3.1 研究架構流程圖-----                                   | 4  |
| 圖 2.3.1 丙烯晴之化學結構式-----                                 | 9  |
| 圖 3.2.5 Isobologram 示意圖-----                           | 22 |
| 圖 4.11 藻類毒性試驗流程圖-----                                  | 32 |
| 圖 5.1.1 三種試驗終點下 Acrylonitrile 之劑量反應曲線-----             | 38 |
| 圖 5.1.2 三種試驗終點下 2-Chloroacrylonitrile 之劑量反應曲線--        | 38 |
| 圖 5.1.3 三種試驗終點下 methacrylonitrile 之劑量反應曲線-----         | 39 |
| 圖 5.1.4 三種試驗終點下 3-methoxyacrylonitrile 之劑量反應曲線--       | 39 |
| 圖 5.1.5 三種試驗終點下 3-Ethoxyacrylonitrile 之劑量反應曲線--        | 40 |
| 圖 5.1.6 三種試驗終點下 3-Dimethylaminoacrylonitrile 之劑量反應曲線-- | 40 |
| 圖 5.3.1 不同混合效應與斜率之關係-----                              | 50 |
| 圖 5.3.2 不同實驗終點之混合毒性效應-----                             | 50 |
| 圖 5.4.1 甲基丙烯腈之 HPLC 分析結果-----                          | 55 |
| 圖 5.4.2 戊二醛之 HPLC 之分析結果-----                           | 55 |
| 圖 5.4.3 混合液之 HPLC 分析結果-----                            | 55 |
| 圖 5.4.4 Methacrylonitrile 之吸收波長分析 -----                | 56 |
| 圖 5.4.5 戊二醛之吸收波長分析-----                                | 56 |
| 圖 5.4.6 混合液之吸收波長分析-----                                | 57 |
| 圖 5.5.1 以溶氧為實驗終點之 Isobologram-----                     | 59 |
| 圖 5.5.2 以生物質量為實驗終點之 Isobologram-----                   | 59 |
| 圖 5.5.3 以生長率為實驗終點之 Isobologram-----                    | 60 |
| 圖 5.5.4 以溶氧為實驗終點之 Isobologram-----                     | 61 |
| 圖 5.5.5 以生物質量為實驗終點之 Isobologram-----                   | 61 |
| 圖 5.5.6 以生長率為實驗終點之 Isobologram-----                    | 62 |

# 表目錄

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 表 2.1.1 批次式及連續試藻類毒性試驗之優缺點比較-----                  | 6  |
| 表 2.3.1 丙烯腈之毒理數據整理-----                           | 10 |
| 表 2.3.3 丙烯腈及其衍生物之重要物理特性-----                      | 12 |
| 表 2.3.4 各國法定之丙烯腈暴露極限-----                         | 13 |
| 表 3.2.1 Definitions of basic modes of action----- | 20 |
| 表 4.4.1 微量營養基質之成分-----                            | 25 |
| 表 4.4.2 巨量營養基質之成分-----                            | 25 |
| 表 4.5.1 電子計數器設定之條件-----                           | 27 |
| 表 5.1.1 不同測試物種對丙烯腈之毒性數據-----                      | 36 |
| 表 5.1.2 丙烯腈化合物及醛類之單一毒性試驗結果-----                   | 37 |
| 表 5.2.1 NOEC、LOEC、EC10-----                       | 43 |
| 表 5.2.2 Sw、Fratio 及 Cut-off value-----            | 44 |
| 表 5.3.1 以溶氧為終點之混合毒性效應-----                        | 47 |
| 表 5.3.2 以生物質量為終點之混合毒性效應-----                      | 48 |
| 表 5.3.3 以生長率為終點之混合毒性效應-----                       | 49 |
| 表 5.3.4 斜率與混合效應關係 (Base on DO) -----              | 51 |
| 表 5.3.5 斜率與混合效應關係 (Base on BIOMASS) -----         | 51 |
| 表 5.3.6 斜率與混合效應關係 (Base on GROWTHRATE) -----      | 52 |