

毒 性 物 質

環境毒理學簡介

序 論

王文振 *

環境毒理學，是一門比較新的科學。國內環保工作人員可能對此比較陌生，本文的目的是作簡單入門介紹。

環境毒理學，英文稱 Environmental Toxicology。因為它與生物生態有關，所以又稱生態毒理，Ecotoxicology。它是傳統上有關人類健康的毒理學（Toxicology）的分支，所以多少受了毒理學的影響。最近它長足進步，已經可以和毒理學分庭抗禮，成為獨立系統。例如美國環保署，把人體健康與環境保護雙題並重，不分軒輊。又例如最近廿多年來，環境毒理科學期刊，林林總總，不下 50 多種，本科學隨着漸趨成熟。關於這一門比較常見的第一類期刊，介紹如下：

Aquatic Toxicology

Archives of Environmental Contamination and Toxicology

Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology

Environmental Monitoring and Assessment

Ecotoxicology and Environmental Safety

Environmental Pollution

Environmental Research

Environmental Toxicology and Chemistry

Science of the Total Environment

Water Research

Water, Air, Soil Pollution

一個研究人員，不可能把所有的時間都灌注在這些期刊，同時也不可能興趣廣泛到參閱所有的論文，所以另有期刊發佈論文標題，摘要，或綜合評論等，這些可稱為第二類文獻，最主

*現任美國萍類毒理試驗標準法主席及美國環保署顧問

要的如下：

Biological Abstracts
Ecological Abstracts
Critical Reviews on Aquatic Toxicology
Current Contents
Residue Review
Science Citation Index

現在市上比較重要的書籍如下：

Aquatic Toxicology (Nriagu 編， John Wiley 出版， 1983)
Ecotoxicology (Moriarty 著， Academic Press 出版， 1983)
Fundamentals of Aquatic Toxicology (Rand and Petrocelli 合編， Hemisphere 出版， 1985)
Principles of Ecotoxicology (Butler 編， Wiley 出版， 1978)
Principles for Evaluating Chemicals in the Environment (National Academy of Sciences 出版， 1975)

美國比較大的綜合大學，都有機構組織從事環境毒理研究。像威斯康辛大學，有一個毒理研究組 (Toxicology Program)；在伊里諾大學，成立環境科學研究所 (Institute of Environmental Studies)；在維琴尼亞工科州立大學，則設有環境研究中心 (Center for Environmental Studies)，形形色色，不一而同。既使一所大學內沒有專科性的環境毒理的學術機構，幾乎可說各方面都有人在從事這方面的工作，散佈於動物系，植物系，農藝系、畜牧、或森林系。

美國環境毒理研究人員分佈於各政府單位 (環保署、局，漁類野生生物署，農林機構)，各工商業，及顧問實驗室。最近廿多年來諸多環保法律的實施，使得對這方面人才特別感到迫切需要。舉例來說，廢水的排放標準，過去以化學測定為準，現在則以化學測定與生物測驗並重，使得顧問實驗室從事生物試驗的如雨後春筍，紛紛努力進行，現在至少有 28 家實驗室可承擔全國性的生物測驗工作，另有三家實驗室可接受大規模的基因突變 (Ames Tests) 的工作。其他像各工業，各級政府，在在需要環境毒理人員，可以想像的是這方面人才需求孔急。

常用名辭

在環境毒理科學中，有些名辭比較常見，有些定義含糊不清，也有些被誤用，這裡簡單介紹如下：

1. Acute Standard (急性毒量標準)——一個化學物品在短暫期間（生物壽命期內的一小部分，如魚類，無脊椎動物一般為96小時）造成急性毒害（通常指死亡），這個毒量，稱急性標準，例如砷的標準為0.36毫克／升。
2. Bioaccumulation (生物累積)——一個化學物品聚集於生物體組織。
3. Bioassay (生物測驗)——利用生物進行種種試驗，包括毒性，促進性，或生物積聚性測驗，皆泛稱生物測驗。
4. Bioconcentration (生物濃聚)——一個化學物品在生物體內的濃度比較該化學物品在水中的濃度的高低。
5. Biomagnification (生物顯聚)——一個化學物品從一個生物營養層次 (Trophic Level) 轉移到上一個生物營養層次所造成的聚積，如毒物由小蝦，至大魚，以至食魚鳥累積下來，這個現象叫生物顯聚。
6. Biomonitoring (生物監測)——利用生物體、細胞、組織、或生化作用來監測環境污染的手段。
7. Biosurvey (生物調查)——調查河川、湖、海中生物種類與數目來評估環境污染。
8. Chronic Standard (慢性毒量標準)——一個化學物品在長期間（生物一代生命或數代生命），雖不致死亡，但可造成慢性毒害，影響生長、發育、生殖等，這個毒量，稱慢性標準。魚類及無脊椎動物以28天為準，例如砷的慢性標準為0.19毫克／升。
9. EC₅₀, 50% Effect Concentration——毒物造成生物試樣 50% 效果發生（如防礙生長、行爲、生殖等）之濃度。一般用於藻類，高等植物試驗。
10. IC₅₀, 50% Inhibitory Concentration——毒物造成生物試樣 50% 效果發生（特別指生長抑制作用）之濃度，一般用於藻類，高等植物試驗。
11. LC₅₀, 50% Lethal Concentration——毒物造成試驗生物數目 50% 死亡之濃度，用於動物試驗。
12. Lethal (死亡)——特指急性毒物作用於魚類，無脊椎動物等。如果這些動物用試桿挑動而無反應，即可認為死亡。
13. LOEL, Least Observed Effect Level (最低觀察效果水平)——可觀察毒性之最低量。通常指生物試樣在這處理群與控制群有統計上的顯著差異。
14. MATC, Maximum Acceptable Toxicant Concentration (最高毒物容許量)——由慢性毒量的上限和下限取幾何平均。慢性毒量下限是毒量不造成顯著的毒害（即與控制群無顯著差異，亦即NOEL）。上限是毒量造成顯著毒害的最低量（即LOEL）。
15. Narrative Standard (解說標準)——水質標準以生物測驗結果，並以解說方式作準繩的標準。例如規定採取廢水流標準為50%魚類或其他測驗生物可生存量的十分之一。最近的動向是採取急性和慢性雙重標準。

16. NOEL, NO Observed Effect Level(無觀察效果水平)——毒量不造成顯著性傷害，即處理試驗結果與控制群無顯著差異。
17. Octanol/Water Partition Coefficient, 簡稱Kow(辛醇／水分離係數)——有機物在辛醇與水混合液中，分佈於此二種液體中的百分比。通常愈是油脂性有機物，此係數愈高。此係數被發現與毒性有極大關連。由此係數，可以推測某化學物品的潛在毒性。此種關係，稱化學構造—毒性數量關係。
(Quantitative Structure-Activity Relationship, QSAR)。
18. Sublethal(亞死亡)——測驗生物在此情況下，不致死亡。但長期接觸，可造成慢性毒害，像生長抑制，異常行爲，繁殖阻害等。
19. Toxicant, 或Toxics(毒物)——凡化學物品可造成急性或慢性的毒害，而使處理群有異於控制群的，都可稱為毒物。至於何物為毒物，詳見下文。
20. Toxicity Test, 或Environmental Toxicity Test(環境毒性測驗)——以環保為目的，測驗可能造成環境中動植物毒害為主的毒理試驗，典型的例子是魚類，無脊椎動物，高低等植物等。
21. Toxicology(毒理學)——有關人體健康或生理行為為主的毒理試驗，通常用哺乳類鼠、兔、狗為試樣。
22. Water Quality Criteria(水質基準)——以化學物品濃度測定為手段所達成的準繩。

生物測驗與化學測定之差異

生物測驗與化學測定的目的，都以環保為主，手段則異。這兩種方法可以說相輔相成，不互相排斥。差異解釋如下：

(1)生物測驗是以生物為試樣來偵測毒性存在與否，化學測定則以化學手段來測定毒物的質與量。化學方法日新月異，機器的改進，使得測定的毒物量愈來愈低，百萬分之一濃度，至十億分之一濃度，已經常見。雖然毒物微量存在，但它並不代表毒性也存在。至於生物測驗，雖然顯示毒性，但需配合化學測定以偵測毒物的質和量。

(2)生物測驗的特性是綜合性，而化學測定的特性是特殊性。生物對毒物的反應是綜合各種各樣的因素，而結果表達於死亡或其他。例如一個樣品中含有兩種毒物，生物的反應是綜合這兩種毒物毒性而顯現結果，這兩種毒物可能相互促進毒性，也可能相互抵消毒性，也有可能相互無干擾，這種毒害綜合性是生物測驗的一大特色。化學測定則不然，它是目的是定性和定量，所以生物測驗是以毒性存在與否為主，化學測定則以毒物存在與否為主。

(3)生物測驗是累積性，而化學測定是瞬間性。生物測驗必須經一段曝露時間，使生物有機會接觸吸入毒物。一般而言，一個毒物在一定濃度下，接觸時間愈長，則毒害愈大。標準試驗法一般以96小時為急性毒理試驗基準，以28天為慢性毒理試驗基準。時間愈長，試驗結果可提供愈多資料，可是費用也相對提高。因為生物體具有累積性，生物可投放在實地，經

過累積，加以生體分析，可以作為毒物監測之用。例如少量金屬對水草類毒害輕微，則分析水草中金屬含量可作為過去污染的總結，歐洲植物學家在這方面較進步，已經到達實用階段，如英國的 Brian Whitton，加拿大也有人用水藻類來測定工業廢水廢氣的環境污染，如 Pamela Stokes。其他如樹、草、蘚類都有人試驗。這種毒物累積性的應用，特別在低濃度，長期曝露情況下有效，可謂環境的哨兵（Sentinel）。化學測定通常是分析一個代表樣品的定性定量，與時間無關。

(4)生物測驗結果因測驗生物而異。環境中生物種類繁多，有動物、植物之分，有高等、低等生物之分，又有淡水、海水之分，也有水生物、非水生物之分。美國生物測驗標準法，僅魚類就有六十多種，可以使用。其他如藻類、昆蟲、珊瑚、底土動物等，測驗法各有不同。生物測驗雖然繁複，可是也有優點。例如測驗殺蟲劑毒性，則以昆蟲類為主；而測驗除草劑毒性，則以植物為主，比較靈活多變。化學測定則以物理化學方法來估量，方法劃一。

(5)生物測驗受到許多因素影響。這些因素可分生體性和非生體性。生體性的因素，例如品種、健康狀態，培育過程，幼小與成長上的差異，都會影響到生物測驗結果。一般而言，生物體健康、長大、曾經曝露低濃度毒物者，較弱小及未曝露者，對毒物抵抗性強。環境影響因素更複雜，各種因素都可減少或增加毒物毒性，像 pH、溫度，數種毒物共存，硬度、鹼度、懸浮物或底土，有機物、日照、溶氧量等。雖然這方面的研究很多，結果迄無定論。例如鎘和鋅離子共存，其綜合毒性的結果，有的報告表示為促進性，有的報告結論為對抗性。又如有機物對金屬離子的毒性，有的說它是促進性，也有結果表示是對抗性。關於這方面的文獻，可參考下面綜合評論：

H. Babich and G. Stotzky (1985). Heavy metal toxicity to microbe-mediated ecologic processes: a review and potential application to regulatory policies. Environ. Res. 36, 111-137.

W. Wang (1987). Factors affecting metal toxicity to (and accumulate by) aquatic organisms - Overview. Environ. Internat. 13, 437-457.

生物測驗固然受到許多因素影響，但也因此能選擇使用不同的方法來測驗各種不同的環境，如軟硬水差異，夏冬溫度差異，日夜差異。化學測定則不受環境因素影響。

(6)化學測定的費用，一般而言，比較昂貴，特別是現代科學精密儀器，價值不菲，十萬美元以上，乃是常見。生物測驗的費用，則伸縮性較大，長期毒理試驗可在美元萬元至十萬元之間，但一般短期生物測驗，則在千百元之間。

(7)以化學手段取得的水質標準，稱為水質基準（Water Quality Criteria），又稱數目標準（numerical standards）。以生物測驗手段取得的水質標準，稱解說標準（Narrative Standards）。

毒 物

凡化學物品可妨害人體生理和行為，或妨害環境中的動植物者，皆泛稱毒物。又在許多法案中被指名的化學物品，皆可認為毒物。法案如下列：

- 1.空氣清潔法 Clean Air Act (378 種毒物)。
- 2.綜合環境對策，賠償和責任法 Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (100 種毒物)。
- 3.水清潔法 Clean Water Act, 又稱聯邦水污染防治法，Federal Water Pollution Control Act (129 種毒物)。
- 4.職業安全健康法 Occupational Safety and Health Act (558 種毒物)。
- 5.資源保持及回收法 Resource Conservation and Recovery Act (375 種)。
- 6.飲水安全法 Safe Drinking Water Act (72 種毒物)。
- 7.毒物管制法 Toxic Substance Control Act (383 種毒物)。
- 8.全國毒理機構致癌年報 National Toxicological Program Annual Report on Carcinogen (220 種毒物)。
- 9.國際癌研究協會，法國里昂。 International Association for Research on Cancer, Lyon, France (171 種毒物)。
- 10.州(如伊利諾州)化學安全法， Illinois Chemical Safety Act。

水 質 標 準

早期的水質標準，偏重於化學測定結果，如表一詳列各污染物質與量。隨着環境毒理科學的進步，這標準明顯的出現兩大缺點。第一，毒性與時間有重大關連。長期和短期曝露，毒性確然不同。急性標準是用來規劃一次大量污染造成的毒害；慢性則用來規劃長期的，低濃度而不致死亡的污染。所以必須訂定急性和慢性雙重標準。第二，毒物毒性受到環境因子很大的影響。最好的例子是水硬度與金屬離子的毒害，水質愈硬，一般金屬毒害愈小，所以不能用單一標準來規劃全國水質，或者全州水質，最近釐定中的水質標準如表二。

除了這種以化學測定為主的水質標準外，另外還有解說標準，即“排水毒量以96小時內不造成測驗生物50%死亡的十分之一為準繩”。這個標準，可望進一步嚴格化。這是考慮到測驗生物對毒物有敏感與不敏感之別。又成長的測驗生物與弱小生物對毒物敏感度也有差異。這些因素，使人覺得十分之一這常數不足以保護環境中生物的福祉。

生物測驗的標準法（美國環保署）

訂立標準法的最大目的在於規劃統一方法，使得結果能達到相當的品質管制，以致結果能互相比較。如果廢水源（工業），管制機關，和測試機構，三方面都採用統一方法，則糾紛必可減少。

以管制為職責的聯邦環保署，到目前為止，收集發刊三部重要的生物測驗標準法。

(1) Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents to Freshwater and Marine Organisms. 採用淡、海水生物來測定廢水的急性毒量。1988 出版。

(2) Short-Term Methods for Estimating the Chronic Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater Organisms. 採用淡水生物來測定廢水和河水的慢性毒害——短期估測法，1985 出版。

(3) Short-Term Methods for Estimating the Chronic Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Marine and Estuarine Organisms. 採用海水生物來測定廢水和海水的慢性毒害——短期估測法。1988 出版。

這三部標準法都是為了保障河川環境有關法令（即水清潔法）而訂立的。

一般而言，環保署以三套生物測驗法為綱，稱為基本測驗法（Base-set tests），以應用於水清潔法。這三套是：

魚 Fathead minnow

無脊椎動物 Daphnia magna (or pulex)

藻 Selenastrum capricornutum

代表性的測驗法如表三。其他法令。其他法令，另有標準法的制訂。例如毒物管制法，聯邦殺蟲劑、殺菌劑、羅藤劑法，規定各有不同。在毒物管制法中，為了顧及毒物對環境中植物界的可能毒害，另行規定水萍，種子發芽，根促進，種子早期成長，及植物吸入及移動等等試驗。僅在陸地植物界，環保署共推舉了十種植物：白菜、蘿蔔、葱、玉米、黃瓜、萵苣、燕麥、毒麥草（Ryegrass），黃豆和番茄，其中又特別指定萵苣為代表性測驗生物。

為了進一步嚴格化，生物測驗已推進到下列這些試驗：

魚類（兩種）

無脊椎動物

水底無脊椎動物

藻

高等植物

有關萍類及高等植物測驗方法，簡單介紹於表四。

生物測驗的標準法（美國糧藥署）

糧藥署根據國會授與的職責，1969 國家環境政策法（National Environmental Policy Act），也訂立一套標準法稱 Environmental Assessment Technical Handbook，由 Center for Food Safety and Applied Nutrition 和 Center for Veterinary Medicine 發表（1987年）。凡人民團體，意欲申請食物添加劑或動物藥劑許可，必須申附充分資

料評估這些藥劑對環境的可能影響。這標準法內容包括物品特性及環境毒理方面。在環境毒理標準法內，含有藻類、微生物生長，萌芽及根促進，早期生長，無脊椎動物急性及慢性，魚類、及蚯蚓等標準試驗。

生物測驗的標準法（同意法 Consensus Methods）

環保署和糧藥署之各種標準法固然經過多方專家協同研討製訂，但這些方法主旨以達成管制機關法令為目的，並非經過公眾投票同意制訂，所以另有公眾同意標準法，共有兩套，都有很高的權威性。一套是美國試驗及材料協會（American Society for Testing and Materials），這個協會每年發表修正環境毒理試驗法，稱Annual Book of ASTM Standards。Vol. 11. 04中收集了下面一些標準法：

- 無脊椎動物的廢水急性毒理試驗
- 干貝類的急性毒理試驗
- 魚類、無脊椎動物、爬蟲類急性毒理試驗
- 海水糠蝦（saltwater Mysids）一生代毒理試驗
- 無脊椎動物一生代毒理試驗

現在正在研討投票的方法有：

- 綠藻
- 微生圈（Microcosm）
- 蚊
- Echinoderm Sperm
- 小海蝦（Artemia）
- 水萍
- 鱸（Striped Bass）
- 鮭（Salmoid Smolt）

另一套標準法是美國公共衛生協會，美國給水協會，和水污染防治聯盟三個協會的聯合會所主持的，通稱標準法（Standard Methods, 或 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater）。它的修訂期不定，第十七版已於1989出刊。關於毒理試驗，包括了下面一些：

- 藻
- 浮遊動物 Zooplankton, 包括 Protozoa, Daphnia, Copepod
- 珊瑚
- Annelids
- 甲殼類 Crustaceans
- 昆蟲

貝殼類

魚，淡水41種、海水21種

其他正在開發的包括

基因突變 (Ames Test)

水萍

其　他　標　準　法

除上述諸標準法，另有其他標準法被各國或國際組織採用。例如英國、澳大利亞、共同市，經合組織，各有不同規定。以植物測驗法為例，各國規定各有不同，如表五。其中以美國規定最嚴格，共分三級測試階段，初級以篩選 (Screening) 為主，目的在初步探測物品的潛在毒性。如果有毒，則進一步測驗吸着轉運，以及實地試驗，方法漸趨繁複，試驗經費相對提高。共同市和經合組織都相當重視，僅陸地植物就推薦十六種之多。英國則認為不需要。

生物測驗法的應用

生物測驗法的應用，至為廣泛，凡河川、湖泊、雨露、廢水、空氣，固體廢物，土壤等，各種各樣的樣品，必須測驗毒性毒量者，都可用生物測驗法。下面舉三個例子。

全美國中小型工業廢水，一般都依賴廢水處理廠來處理。這些工業廢水，須經前處理達到前處理標準。這標準因工業而異。表六舉兩種工業的標準。有些廢水，雖然通過了這些標準，植物測驗的結果，表明了這些廢水仍然含有毒性，可造成水萍 100% 死亡，種子 100% 不萌芽的現象。工業廢水前處理標準，如能採取化學測定與生物測驗相配合，對環保有莫大的益處。

配合化學測定與生物測驗來評估工業廢水的研究，最近已有相當的進步。工業廢水一般都含有複雜成份，其評估的步驟，第一是用生物測驗法，來測驗廢水是否有毒。如果確定有毒，第二步則用物理化學方法分離成不同的成分，這些成分經第三步用生物測驗法測驗那一成分含毒。這方面代表性的研究報告如下：

J. Doi and D. Grothe (1988). Use of fractionation and Chemical analysis schemes for plant effluent toxicity evaluations. ASTM STP 1007, Amer. Soc. Testing and Materials 123-138.

W. Wang (In Press). Characterization of phytotoxicity of metal engraving effluent samples. Environ. Monit. Assess.

空氣污染，對人體健康，環境生態，建築物等損害性非常大，可導致降低生活品質。以植物監測手段來探測空氣污染，是一種經濟、方便、靈敏，可以廣泛使用的方法。消極的方

面，植物可做為環保的哨兵，積極的方面，還可利用植物來達成淨化空氣的結果。

結 語

由於深切的認識了環境污染可造成生物界的危害，美國有識人士組成了一個專門學會，稱 Society of Environmental Toxicology and Chemistry (環境毒理與化學學會) ，簡稱 SETAC，成立於 1979 年。成員遍佈於政府機構，學術界，與工業界。這個學會發行月刊及不定期專題書籍，還集中專家對環保署建言。同時也被授權（授權單位為美國空軍部及工業界）賦予博士前及博士後研究獎學金。美國各地紛紛成立分會，進行學術性活動。現在正在促行 SETAC 國際化，在世界各主要地區成立分會。

台灣環保有識人士，可以嘗試進行組織同樣的社團，或組織 SETAC 的分支，以便與國際性機構結合，取得國際先進環保經驗，共同為台灣環保與生活品質努力。

表一 一般用水的水質基準 (1987)

物質		濃度，毫克 / 升 (mg / L)
砷	Arsenic	1.0
銀	Barium	5.0
硼	Boron	1.0
鎘	Cadmium	0.05
氯	Chloride	500
鉻(六價)	Chromium	0.05
鉻(三價)	Chromium	1.0
銅	Copper	0.02
氟	Cyanide	0.025
氟	Fluoride	1.4
鐵	Iron	1.0
鉛	Lead	0.1
錳	Manganese	1.0
汞	Mercury	0.0005
鎳	Nickel	1.0
酚	Phenols	0.1
硒	Selenium	1.0
銀	Silver	0.005
硫酸鹽	Sulfate	500
全溶固體	Total dissolved solids	1000
鋅	Zinc	1.0

表二 修正水質標準(聯邦)

物 質	急性 毫克 / 升	慢性 毫克 / 升	水質影響因子
氫 砷	0.36 $e(1.128[\ln(\text{硬度})]-3.828)$	0.19 $e(0.7852[\ln(\text{硬度})]-3.490)$	
鎘	0.019	0.011	硬度
氯			
鉻 六價	0.016	0.011	
三價	$e(0.819[\ln(\text{硬度})]+3.688)$	$e(0.819[\ln(\text{硬度})]+1.561)$	硬度
銅	$e(0.9422[\ln(\text{硬度})]-1.464)$	$e(0.8545[\ln(\text{硬度})]-1.465)$	硬度
氟	0.022	0.0052	
鉛	$e(1.273[\ln(\text{硬度})]-1.460)$	$e(1.273[\ln(\text{硬度})]-4.705)$	硬度
汞	0.0024	0.000012	

表三 生物測驗條件(基本測驗法)

	藻	無脊椎動物	魚類
品種	<i>Selenastrum capricornutum</i>	<i>Daphnia magna</i>	<i>Pimephales Promelas</i>
試驗時間	96 小時	48 小時	96 小時
稀釋水	水藻培養液(參考標準法)	自然水	自然水
溫度	24 ± 2 °C	20 ± 1 °C	20 ± 1 °C
光照	24 小時	16 光 8 暗	16 光 8 暗
光強	4300 ± 430 lux	2000 ± 300 lux	400 lux
試驗皿	125 Erlenmger flask	250 beaker	12 L 靜態或 7 L 流態
試樣量	50 mL	200 mL	10 L 靜態或 5 L 流態
觀察終點	細胞數 細胞數	溶氧, pH, 溫度 死亡、亞死亡	溶氧, pH, 溫度 死亡、亞死亡

表四 生物測驗條件(高等植物)

	水萍	萵苣
品種	<i>Lemna minor</i>	<i>Lactuca sativa</i> (品種 Buttercrunch)
試驗方式	靜態	靜態
試驗時間	120小時	120小時
稀釋水	10倍水藻培養液	硬質標準水(參考標準法)
溫度	27-28°C	25-25.5°C
光照	24小時光	暗
光強	4000 ± 400 lux	無
試驗皿	60 × 15mm Petri dish	100 × 15mm Petri dish 加 Whatman #1 濾紙
試樣量	15mL	5mL
生物量	20葉	15種子
重複	4	4
終點	葉增加量/皿	乾根重/皿

表五 非對象性植物受害試驗

	美國環保署						
	初級	二級	三級	經合組織	英國	澳	共同市
種子萌芽 / 發育	+	+	0	+	0	+	+
藻類	+	+	0	+	0	+	+
水生植物成長	+	+	0	+	0	+	+
陸地實地試驗：	0	0	+	+	0	+	0
萌芽、成長							
水實地試驗：	0	0	+	+	0	+	0
高等植物、藻							

++需要

+ 可能需要

0 不需要

表六 工業廢水前處理標準

物質		金屬處理工業	電鍍工業
氰	Cyanide	1.2 毫克/升	1.9 毫克/升
氰(可溶性)	Cyanide	0.86	—
銅	Copper	14.91	19.9
鎘	Cadmium	0.69	1.2
鎳	Nickel	6.47	6.7
鉻(全)	Chromium	12.00	30.3
鋅	Zinc	1.195	19.2
鉛	Lead	1.85	1.6
銀	Silver	0.43	—

作者簡介：王文振，台灣台中人。台灣大學農化系（1958）及農化研究所（1961）畢業，美國威斯康辛麥迪遜校區環境（水）化學博士（1967）。在伊利諾州水調查所（Illinois State Water Survey）研究廿多年。曾任國際植物毒理研討會主席及主編，現任美國萍類毒理試驗標準法主席及美國環保署顧問。發表論文 60 篇。