

農藥對非目標生物之影響

水生生物

孫 斐

農業藥物毒物試驗所 殘毒管制組

- 一、前言
- 二、影響農藥對水生生物毒性的因素
- 三、農藥對水生生物的影響
- 四、農藥對水生生物的安全評估
- 五、結論

一、前言

水域即使不是農藥施用的第一現場，也往往因農藥的殘效性及在環境中的轉移，而成為殘留農藥的接受者，使得水生生物受到影響。影響水生生物的農藥來源主要有二：(一)為直接施用於水域或水域作物的藥劑，例如為防治虱目魚塢中的紅筋蟲所施用的藥劑和為防治為害水稻秧苗的福壽螺所施用的藥劑，以及刻意或意外傾入水體中者；(二)為非以水域或水域作物為標的，但在藥劑施用過程中經由大氣飄散並降沉於水域中、或藥劑施用於標的作物後經由淋洗或逕流作用而進入水體中者。

二、影響農藥對水生生物毒性的因素

在正常情況下，生物體內的酵素對外來的毒性物質會加以代謝分解，但不同生物種類由於體內酵素種類或活性的差異，對同一種藥劑的代謝能力是有差異的，故呈現出不同生物種類對藥劑的敏感性不同；即使是同種生物，由於生物體性別及年齡的不同，對藥劑的感受性也有差異。以魚類為例，稚魚對藥劑的感受性較成魚為高、處於生殖期的成魚由於肝臟蓄積大量的能量使得肝功能增加故又較一般成魚對藥劑的耐受性高；在甲殼類，剛蛻

完皮的個體由於體內能量消耗怠盡又缺少幾丁質的保護，正處於代謝能力最弱、藥劑容易穿透時期，故對藥劑的感受性亦高。

受藥劑理化特性的影響，在自然界中，多種外在的環境因子也會影響農藥對水生生物的毒性：

(一)水溫

水溫升高時促使生物體的擴散作用及主動運輸加快，使得水生生物處於濃度相對較高的毒性物質中，但由於溫度升高也使得生物體內新陳代謝速率加快，故對水生生物的毒性未必相對增加，而是與生物種類及藥劑結構有關。例如，在低溫時百滅寧對虹鱒的毒性較高溫時為高，而大利松則是在高溫下對虹鱒的毒性較高。

(二)水中 pH 值

許多農藥會受水域中 pH 值高低的影響發生水解作用(hydrolysis)而分解，例如 malathion 在 pH 小於 7 以下時對水生生物具毒性、pH 7 時發生水解作用而分解，故在鹼性環境中不具毒性。

(三)水的混濁度

水中的懸浮物質，無論是生物性或非生物性的，均會影響農藥的生物活性，尤其是不溶於水的藥劑，可能因吸附於懸浮顆粒上而使毒性降低，例如合成除蟲菊類藥劑對魚類的毒性，室內實驗的結果往往較田間實際環境下高估。

(四)其他影響農藥毒性的環境因子

如水的鹽度、溶氧量等。

此外，據美國魚類和野生動物部門(U.S. Fish and Wildlife Service)針對161種水生物急毒性試驗研究結果顯示，同一主成份藥劑，原體和成品藥劑對水生物毒性的比值間有很大的變異。許多報告也指出乳劑成品對各種溫水魚類的毒性高於原體藥劑，造成這種現象的原因，主要在於原體農藥為提高在水中的溶劑度、分佈均勻性及在標的作物上的附著性，在製劑過程中往往藉助輔助劑，這些輔助劑常改變了主成份對水生生物的毒性。據本所的研究調查顯示，相同主成份及劑型的藥劑，由於製劑過程的不同(即廠牌不同)，對水生生物的毒性也有差異。

三、農藥對水生生物的影響

水域中因農藥的污染或蓄意危害造成水生生物中毒或死亡的現象時有所聞，但事實上農藥對水生生物的影響，除了較引人注意的急性中毒死亡外現象外，尚包括潛在的影響，例如干擾水生生物的生長、發育、行為表現以及生殖作用等，這些現象由於水生生物種類繁多、且多數生物種類的族群龐大，因此並不容易被查覺。有些殘留藥劑甚至會經由食物鏈在水生生物體內蓄積、放大進而影響到整個生態系。

以魚類為例，很早就有學者經由室內實驗發現，部份藥劑在低於致死亡濃度(即不會導致魚隻

急性中毒死亡的濃度)下，會造成魚體形態-解剖上的改變、行為上的改變、體內生化上的改變、血液學上的改變、組織上的改變等。近年經由生態學者的野外觀察記錄，以及在室內以模式動物進行的實驗，已經證實某些在環境中不易分解的藥劑(例如有機氯烴劑DDT)，會干擾魚體維持體內恆定及調節發育過程的自然荷爾蒙的生產、釋放、運輸、代謝、結合、活動及排除等的功能，瓦解了魚體內正常的內分泌運作(即內分泌干擾作用)，例如棲息於美國河岸的雄魚及英國海岸的雄魚體內可測到卵黃生成素(一種屬於成熟雌魚特有的生殖激素)、生活於紙漿廠排放水河川中的雌性大肚魚擁有雄性交接刺，某些魚種被發現有性別成熟遲緩、睪丸生長降低、類固醇生成能力改變的現象，均對魚群種族的繁衍造成不利的影響，雖然這些現象的產生與水生生物本身接觸殘留農藥的時間點有關、有些現象並非單一藥劑殘留所造成，但已對水生生態環境造成衝擊。

四、農藥對水生生物的安全評估

評估農藥對水生環境的衝擊，一系列的序列實驗，包括室內的化學和毒性試驗、預估化學物質在環境中存在的量等，都是必要的工作。國內外有許多權責機關決定或建議農藥的使用及管

理方式，但是在評估農藥對水生生物的毒性時，基於管理策略的一致性，無法顧及不同藥劑在不同國家使用時地理環境與使用方式的差異。

(一)指標生物的選擇

地球表面70%為水覆蓋，其間涵養水生生物種類無數，每種水生生物均有其生態地位，評估農藥對水生生物的毒性及安全時，指標生物的選擇迄今仍為水生毒理學家及生態學者爭議不休的課題，但咸認為針對水域中所有物種均進行農藥安全評估是不必要也無意義的工作。早期各國站在保護國內生態環境的立場，對指標生物的選擇有很大的差異，在試驗生物的齡期及試驗方法上也有很大的不同，近年為節省藥劑研發過程的投資成本並配合不同國家農藥登記時的資料須求，有異中求同的趨勢。

針對農藥上市前對水生生物的毒性評估，主要農藥發展國家如歐美等國均以魚類及甲殼類中的水蚤分別為水中脊椎動物及無脊椎動物的代表。在魚種上，歐洲經濟合作共同組織(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)共推薦了6種魚供評估化學物質毒性實驗用。具體而言，指標生物的選擇除了要考慮生物對藥劑的敏感性外，為了符合經濟效益，不外乎幾個原則：1.試驗生物的區域代表性；2.試驗過程養殖的方便性；3.試驗數據的流通性及比較性。

(二)毒性分類標準

為利於行政管理，無論開發中國家或已開發國家，均訂有農藥對水生生物毒性分類的準則。我國最早的「農藥對水生生物毒性分類及管理之規定」是於民國83年10月由農藥主管單位行政院農業委員會公告(農糧字第3020604號函)、後於87年7月修正(農糧字第87020490號函)。將農藥依其對指標生物(包括淡水脊椎動物的代表 - 魚類，及淡水無脊椎動物的代表 - 水蚤)的急性毒性分為四類，並訂有審核及管理規定(如附件一)。

我國的管理及分類標準，基本上是建構在對指標生物的急性毒性上，對於對水生生物具劇毒性的藥劑，施與較嚴格的使用限制及規範，對於相對毒性較低的藥劑的管理及限制，則須考量藥劑的理化特性及在水域中的命運，如藥劑的水溶性、在水中的半生期及生物蓄積性等。而這些管理及分類標準值的訂定，因國情固然有所不同，但均須顧及生態保育的要求及農業的經濟效益。

但是，無論國內外現行的農藥對水生生物毒性分類值是否過於嚴謹，由生態學者於野外觀察及室內模式動物實驗所獲得的少數證據，已經足以突顯出現行的評估模式是不足的，這也已經成為水生毒理學者近年努力的目標。

(三)生物累積現象

受到藥劑理化特性、藥劑使用環境、水生生物在不同年齡層

及季節時對藥劑代謝能力的影響，部份藥劑已經被證實會經由水生生物生活的水域及食物鏈蓄積在生物體內。由於對生物體內殘存的藥劑是否會於生物體生長或發育的關鍵時刻造成重要影響(即扮演內分泌干擾素的角色)受到質疑，使得農藥在生物體內的累積現象，備受注目。而農藥在水生生物體內的累積(bioconcentration)途徑，與陸生生物相較，除了經由食物鏈所造成的累積外，還有來自環境介質(水)的蓄積(bioaccumulation)作用。

土壤中沉積的殘留藥劑是否會經由淋洗或逕流作用而進入水體中、藥劑在水中溶解及降解情形，以及水生生物體內對藥劑的分解能力，為蓄積作用提供了最大變數，但是卻與藥劑的脂溶性有密切關係，由藥劑的理化性質來看，辛醇/水分佈係數高(> 1000)的藥劑脂溶性高，在水中的溶解度通常亦較低。由於有生物放大現象(biomagnification)，故一般以水生生物體內蓄積的藥劑濃度，與生活水域水中的藥劑濃度比

值，評估藥劑在水生生物體內的累積性，即生物濃縮係數(bioconcentration factor, BCF)。同樣地，各國為了管理比較的方便並考量生物體對化學物質的代謝能力及與外界環境的平衡，BCF值也被付予人為的定義值，即BCF值<100者視為累積性低。

五、結論

農藥基本上就是為了要殺除生物而設計的，水域又是各種污染物質的最終點，所以即使要避免水生生物不受藥劑的間接影響，也不容易。站在保護水生生物、維護生物多樣性的立場，更周全的農藥對水生生物安全評估系統是有必要的，但從藥劑研發過程中的經濟投資、動物保護層面觀之，試驗階段的適可性也很重要。安全評估系統在於提供預警作用，也對安全評比佐以科學數據，其目的在將農藥對水生生物的衝擊降至最低。

附件一

農藥對水生物毒性分類及其審核管理規定

一、農藥對水生物毒性分類

水生物毒性類	淡水魚類急毒性 LC ₅₀ (96hr)	淡水無脊椎生物急毒性 EC ₅₀ (48hr)
劇毒 I	1 mg/l	1 mg/l
中等毒性 II	>1 - 10 mg/l	>1 - 10 mg/l
輕毒 III	>10 - 100 mg/l	>10 - 100 mg/l
低毒 IV	> 100 mg/l	> 100 mg/l

註：淡水魚類：以虹鱒(Rainbow trout)，藍鰻(Bluegill)或鯉魚(carp)為主。

淡水無脊椎生物：以 Daphnidae 科之水蚤為主。

二、農藥對水生物毒性之審核及管理規定

- (一)農藥對水生物毒性屬劇毒性者及中等毒者，標示應加註「魚毒警告標誌」。
- (二)農藥符合下列條件者，不接受登記使用於水生作物及空中施藥。如登記使用於其它作物者，標示應加註勿使用於「飲用水水源水質保護區」或「飲用水取水口一定距離內之地區」。
 - 1.對水生物毒性屬劇毒者。
 - 2.對水生物毒性屬中等毒性者，且其具生物蓄積性或具水中持續性者。(Kow 1000 或 BCF>100 或水中溶解度<0.5 mg/l 或水中半生期>4 天者)
 - 3.對水生物毒性屬輕毒者，且其具生物蓄積性及水中持續性者。(Kow 1,000 且 BCF>100 且水中半生期>4 天且水中溶解度<0.5 mg/l 者)
- (三)上述農藥如提供水生物生活周期試驗(Fish or aquatic invertebrate life cycle study)及水生物蓄積試驗(aquatic organism accumulation study)等報告，證實在實際使用時不會造成水生物危害者，另以個案處理。

註：水生作物包括水稻、芋頭、茭白筍、蓮藕、水蘗菜、菱角及荸薺等。