

多溴聯苯醚對於水生動物的影響

蕭玉晨

水產試驗所淡水繁養殖研究中心

何謂環境荷爾蒙

環境荷爾蒙 (environmental hormones) 又稱為內分泌干擾物 (endocrine disrupter substance)，美國環保署將其明確定義為「干擾內生荷爾蒙維持生物體內恆定、生殖、發育或行為之外來物質，影響荷爾蒙的合成、分泌、傳輸、結合、作用及排除」。由於環境荷爾蒙流布與水域環境息息相關，故水生生物容易暴露於環境荷爾蒙之中並顯著地受其影響，也因此在水體環境中魚類通常扮演評估污染的生物指標。

多溴聯苯醚之初步介紹

由於科技發達、工業需求等因素，這些人工合成的環境荷爾蒙被廣泛應用並散佈到環境中，最廣為人知造成負面影響的毒性化合物便是號稱世紀之毒的戴奧辛 (dioxin) 及多氯聯苯 (polychlorinated biphenyl, PCBs)。而多溴聯苯醚 (polybrominated diphenyl ethers, PBDEs) 為近年來的新興環境荷爾蒙之一，由於其化學結構與前兩者相似，恐引發類似的戴奧辛毒性，對生物產生負面作用，值得深入探討。多溴聯苯醚主要用途為纖維塑材用防火阻燃劑，廣泛添加於電器、塗料、泡棉傢俱填料、紡織品及石化產品等，自 1977 年開始廣泛應用，迄今二十

餘年，成功減少了全球火災損失傷亡。然而當這些傢俱廢棄、掩埋、銷毀的過程中，不同溴數的 PBDEs 混合物就有可能蒸散揮發而釋出環境中 (Darnerud et al., 2001)。

PBDEs 具有親脂性與高電阻，對水溶解度低，故在環境中相當穩定持久、不易分解。根據其攜帶溴數差異可分為十群同族物，高溴數的 PBDEs 揮發性較低，但可能在環境中透過光分解去溴化降解成低溴數的 PBDEs (Sellstrom et al., 1998a)，而生物對於低溴數 PBDEs 吸收效率超過 90%，容易形成生物累積及生物放大作用，例如美國五大湖區鱒魚體內檢測到的含量為 22 – 230 ng/g wet weight 不等 (Street et al., 2006)。

多溴聯苯醚對動物的影響

在過去的 10–15 年間，PBDEs 在環境及生物體內的濃度大幅提升，自 1972 年開始，也陸續被發現存在人類體內。由於 PBDEs 具親脂性質，多累積在脂肪組織與血液中。雖然彼時對於 PBDEs 的負面影響尚無直接證據，但其具有持久性、生物累積、生物放大及長途傳播等作用，包括水域、空氣及食物都可能是其累積來源，加上結構與 PCBs 相近，生物長期暴露恐產生不良影響。學者們針對此化合物進行許多研究，證實 PBDEs 具有內分泌干擾作用，可能利用競爭、拮抗、

抑制、改變各種生理機制造成生物毒性：包括肝毒性、胚胎發育異常、甲狀腺發育影響等，對生物生長發育各方面具有潛在性的危險 (Darnerud et al., 2001; Eriksson et al., 2001; Branchi et al., 2002; Zhou et al., 2002)。

由於 PBDEs 可能具有潛在性的危害，經高溫後也可能釋出戴奧辛毒性等負面作用 (McDonald, 2002)，歐盟於 2003 年 2 月通過了電子電機設備有害物質限用指令 (restriction of hazardous substances directive, RoHS)，自 2007 年 7 月 1 日開始施行，限制輸入歐盟產品內不得使用含有 PCBs 與 PBDEs，而我國也已經將五溴、八溴及十溴聯苯醚列管為毒性物質。然而在台灣河川多溴聯苯醚分布調查與魚體調查報告中已發現低溴數之四溴聯苯醚 (Chen, 2005; Peng et al., 2007)。一些研究顯示低溴數的多溴聯苯醚造成齧齒類生物甲狀腺素降低、影響甲狀腺荷爾蒙平衡 (Richardson et al., 2008)，並造成魚體胚胎發育缺陷、體側出現不正常彎曲現象，對於心臟發育也造成不良影響 (Lema et al., 2007)。

多溴聯苯醚對水產養殖業的影響

除了先前提到對於魚體生理及內分泌的干擾，此類的环境荷爾蒙也會影響到生態族群。在 2004—2005 年間，法國波爾多地區的歐洲鰻幼鰻體內檢測出 PBDEs 及 PCBs，這類持久性有機污染物也可能是鰻魚族群減少的原因之一 (Tapie et al., 2011)；而中國南方海水養殖的赤鯮笛鯛與布氏鯧鯵 (黃臘鯪) 體內驗出多種持久性有機污染物包括 PCBs

及 PBDEs (Yu et al., 2011)；且在義大利南部鄰近阿普利亞海岸的養殖紫貽貝中同樣檢測出 PBDEs (Bianco et al., 2010)。另外，研究發現低量的 PBDEs 暴露會提高鮭魚對於鰻弧菌 (*Vibrio anguillarum*) 的易感性，推測其可能透過影響魚體的免疫系統導致魚體更容易被病原體感染 (Arkoosh et al., 2010)。雖然 PBDEs 的毒性作用機制仍未完全釐清，但其對於生物本身的負面影響與污染問題會降低商品價值甚至影響出口，都可能影響到現有的養殖產業。

環境荷爾蒙是全球性的問題，即使人煙罕至的極區都無可避免，遑論人口稠密的台灣。而水產生物更是直接受到環境荷爾蒙威脅的對象。以 PBDEs 為例，即使禁用法令已執行數年，在行政院衛生署食品藥物管理局 2011 年進行食品監測及風險評估計畫中依舊發現市售水產生物含有 PBDEs，顯示環境中沉積污染情況仍有待改善。針對環境現存 PBDEs 的處理包括物理、化學及生物三方面，分別是透過光降解處理、利用氧化劑整治地下水與土壤的化學氧化處理及透過好氧/厭氧微生物進行生物復育 (bioremediation) 脫溴反應或將其降解轉化。雖然環境中的處理技術尚在發展階段，但以養殖產業而論，利用微生物處理 PBDEs 不僅有效減低環境污染，也較符合經濟效益，對養殖生物生理影響性較低，也可透過微生物維持水域生態並穩定水質。在防治方面，除了已規定較高溴數的禁用法令之外，未來可更深入研究其干擾機制，釐清 PBDEs 的負面影響並訂立確實的環境荷爾蒙控管規範，方能保障商品，擴大產業市場。