

美國人習慣在家庭後院露天燃燒廢棄物，使露天燃燒成為最大的PCDD/Fs排放源。這張照片是國內稻田露天燃燒的情況。

戴奧辛

■王琳麒

戴奧辛並非工業上製造的產品，
主要是經由燃燒生成的，
這也是戴奧辛無所不在的原因。
但在一般環境中，戴奧辛的含量相當微小，
並不至於影響身體健康，
然而民衆仍然對戴奧辛充滿疑惑及憂慮。

什麼是戴奧辛

俗稱的戴奧辛（dioxins），是以一個或兩個氧原子聯結一對苯環類化合物的統稱，包括75種多氯二聯苯戴奧辛（polychlorinated dibenzo-p-dioxins，簡稱PCDDs）及135種多氯二聯苯呋喃（polychlorinated dibenzofurans，簡稱PCDFs）。一般以PCDD/Fs表示，其中只有17種具有2,3,7,8取代位置的PCDD/Fs是有毒性的。

PCDD/Fs是非常穩定的化合物，具親脂性，極難溶於水。低氯（三氯以下）PCDD/Fs的揮發性較高，但揮發性隨鍵結的氯數增加而降低。由於PCDD/Fs具有高親脂性及抗代謝的性質，在中年人體內半衰期約為7~8年。也由於這些物質具持久性，進入生物體後就積存在脂肪中，因而在食物鏈中會有生物累積及生物擴大的效應。此外，也容易與泥土或其他顆粒物質結合，一旦造成污染，極不容易清除。

PCDD/Fs是已知毒性最強的化合物之一，其中又以稱為「世紀之毒」的2,3,7,8-TCDD毒性最強，國際癌症研究局已把它歸類為第一類的「已知





人類致癌物」。PCDD/Fs 對人體健康的影響包括四個方面。

在致癌毒性方面，流行病學的調查顯示 PCDD/Fs 與軟組織腫瘤及惡性淋巴腫瘤的發生有關。

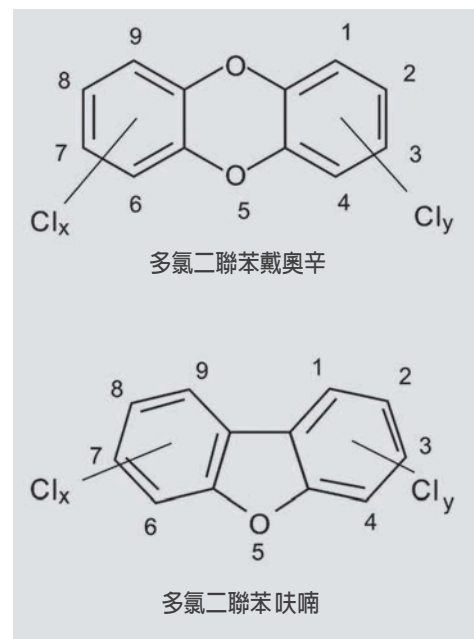
在皮膚毒性方面，若人體意外暴露於 PCDD/Fs，當血液中 PCDD/Fs 含量高於 160 pg TEQ/g lipid，在 1 周至 3 周之間會出現氯痤瘡。氯痤瘡主要發生在臉上，尤其是眼睛周圍、鼻子兩側、耳前、胸部、上背等部位。民國 68 年，台中、彰化一帶發生的遭多氯聯苯污染的米糠油事件，造成毒害（皮膚病症、神經智能發展障礙、畸型高發率等）的原因也與米糠油所含的 PCDD/Fs 有關。

在肝毒性方面，肝臟是動物體內對 PCDD/Fs 最為敏感的器官之一，在義大利 Seveso 意外事件發

生後，暴露於 PCDD/Fs 中的小孩有肝臟腫大現象。

在垂直傳染方面，PCDD/Fs 對酵素的誘導作用也可經由母體胎盤到達胎兒，進而使孕婦發生流產或畸胎。

一般表示 PCDD/Fs 的毒



PCDD/Fs 的化學結構

俗稱的戴奧辛，是以一個或兩個氧原子聯結一對苯環類化合物的統稱。由於這些物質具持久性，進入生物體後就積存在脂肪中，因而在食物鏈中會有生物累積及生物擴大的效應。

PCDD / Fs 毒性當量因子

化合物	I-TEF	WHO-TEF
2,3,7,8-TeCDD	1.0	1.0
1,2,3,7,8-PeCDD	0.5	1.0
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01
OCDD	0.001	0.0001
2,3,7,8-TeCDF	0.1	0.1
1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	0.05
2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	0.5
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01
OCDF	0.001	0.0001

註：表中符號說明：I-國際，TEF-毒性當量因子，WHO-世界衛生組織，Te、Pe、Hx、Hp、O-分別代表4、5、6、7、8氯取代。

性時經常引用毒性當量 (toxicity equivalency quantity, TEQ) 的觀念，毒性大小通常以毒性當量因子 (toxicity equivalency factor, TEF) 來表示，即把每一種 2,3,7,8-PCDD / Fs 毒性與 2,3,7,8-TeCDD 相比，得到的比值就是 TEF。

能控制戴奧辛排放嗎

大氣中的 PCDD / Fs 主要是人類活動所產生的，包括廢棄物焚化、發電或製造能源、其他高溫排放源、金屬冶煉與化學品製造。

大部分的燃燒源都會產生 PCDD / Fs，包含廢



垃圾的焚化會產生戴奧辛



鋼鐵的製造過程會產生戴奧辛

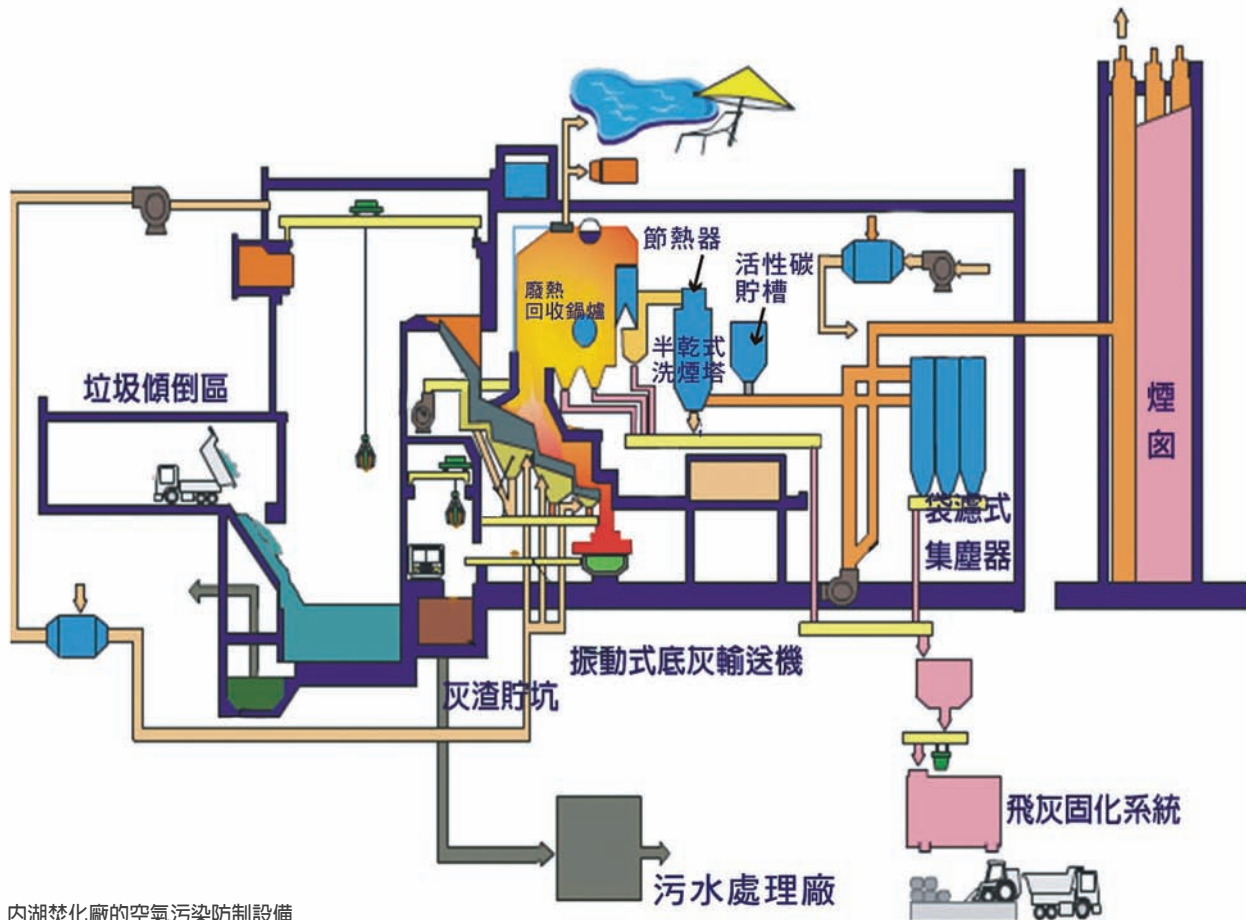
棄物焚化 (如都市垃圾、下水道污泥、醫療廢棄物與有害廢棄物)、燃料的燃燒 (煤、木柴與石油產品)、其他高溫排放源 (水泥窯) 與未受良好燃燒控制的排放源 (森林火災、住宅火災與露天燃燒)。在不同形式的一次與二次金屬製程中都會生成 PCDD / Fs，如鋼鐵製造的燒結爐及電弧爐與廢金屬二次精煉。PCDD / Fs 有時會在生產過程中以副產物的形式生成，如以氯漂白的木漿、氯酚與除草劑。

一般而言，欲控制 PCDD / Fs 的排放可以分為去除已生成的 PCDD / Fs，以及減少 PCDD / Fs 生成兩種方法。

戴奧辛進入生態食物鏈與人類飲食的兩個主要路徑，

是：空氣→植物→動物及水／底泥→魚。

雖然這兩個路徑是正常情況下主要進入食物的途徑，其他的情況也相當重要，例如受污染的動物飼料導致在美國家禽肉類、比利時牛奶製品的高戴奧辛含量。



內湖焚化廠的空氣污染防制設備

圖片來源：台北市政府環境保護局內湖焚化廠，2007

在去除煙道廢氣中PCDD/Fs的方法中，靜電集塵器、洗滌塔、袋式集塵器、吸附劑噴入，以及在不同情況下不同設備的組合都已測試過。其中半乾式洗滌塔、活性碳噴入，以及袋式集塵器的組合，對PCDD/Fs可達99%的去除率，可視為「去除PCDD/Fs的最佳可行控制技術」。另一種有效技術是使用氧化或還原觸媒的觸媒分解技術。

雖然可從管道廢氣中去除PCDD/Fs，但會增加設備與操作上的費用，且從管道廢氣所收集的飛灰也難以處理。因此維持良好的燃燒操作使燃燒完全與均勻，以避免PCDD/Fs在焚化爐之後的燃燒區生成，是控制PCDD/Fs生成的根本辦法。

戴奧辛的暴露來源

一旦進入之後，PCDD/Fs就會在環境中廣泛分布。在不同介質中（如空氣、土壤、水、食物等）都可偵測到PCDD/Fs的存在，尤其以肉、魚、奶、蛋類食品中最常發現。因此，一般人在日常生活中就會受到PCDD/Fs的暴露，稱為背景暴露。研究發現超過90%的背景暴露來自飲食，而其他較嚴重的PCDD/Fs暴露來源，包括職業暴露、工安意外導致的高劑量暴露、食品污染的暴露等。

職業暴露 焚化廠操作員工及相關維修人員在作業時，都有可能暴露到高濃度的PCDD/Fs，特別是清爐或與處理灰渣相關工作的員工。由於進入



目前已有各項技術可從管道廢氣中去除戴奧辛



空氣中戴奧辛的採樣

焚化爐維修的員工通常並不配戴完整的呼吸防護器具，作業時大幅增加暴露於 PCDD / Fs 的機會。

Menzel 等人在 1998 年發現，對金屬熱氧切割工人而言，工作年數與血液中 PCDD / Fs 毒性當量值有高度相關性。此外，在農藥製造的過程中，經常使用含有氯酚的化學物質做為原料，這些原料當中就可能含有 PCDD / Fs。

工安意外的高劑量暴露 1976 年義大利 Seveso 地區某農藥工廠事故，因以 1,2,4,5 - 四氯苯為原料製造 2,4,5 - 三氯酚的反應槽爆炸，造成 15 平方公里內約 37,000 人的污染，受污染民眾的血清中 2,3,7,8 - TeCDD 平均達 126 至 450 pg / g-lipid。這事件是現今世界上最為人所知、影響人數最多的 PCDD / Fs 污染事件。

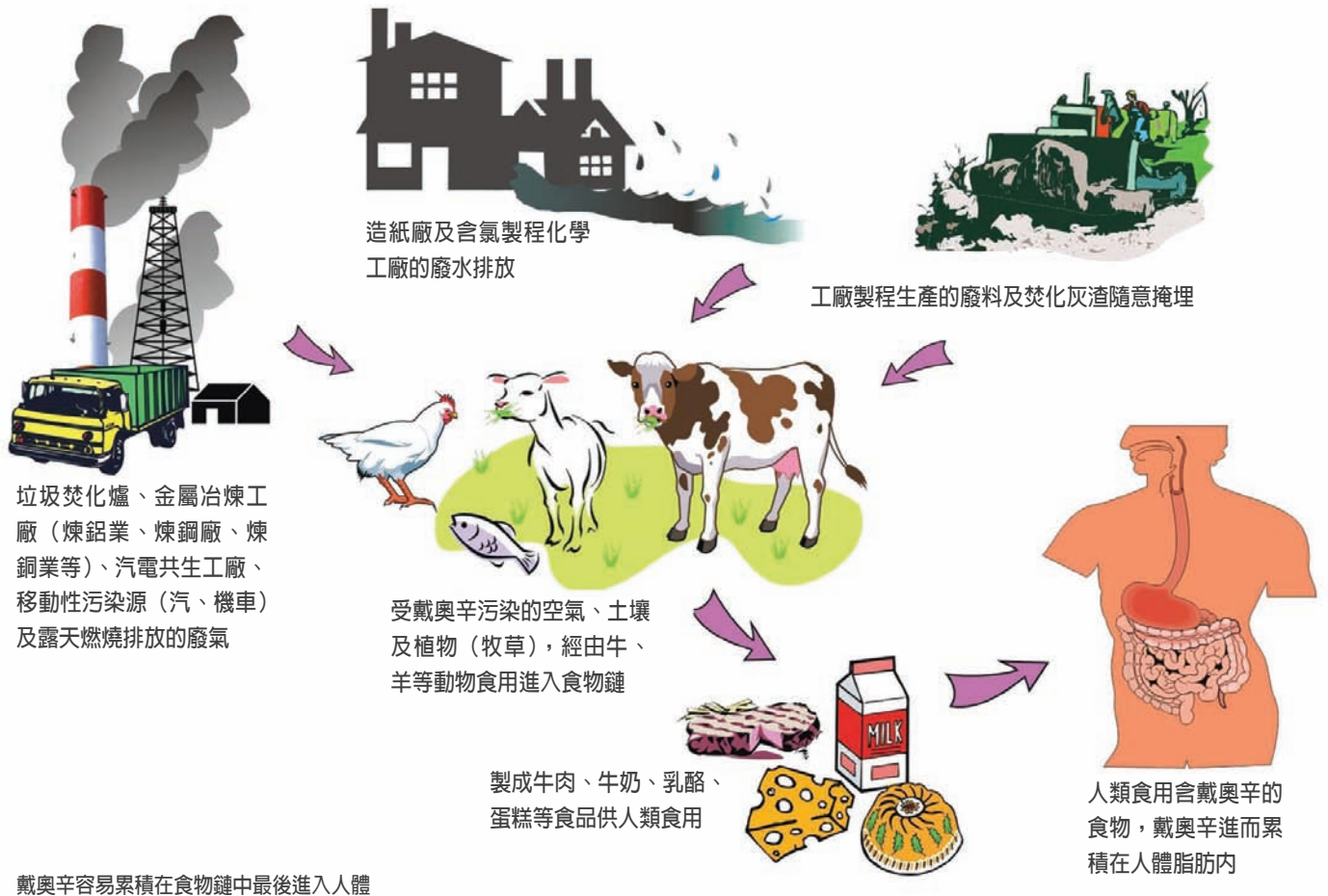
飼料或食品污染 近年來因飼料或食品受到 PCDD / Fs 污染而引起的恐慌及高 PCDD / Fs 暴露，越來越受到重視。在 1998 年，德國地區發現牛奶中的 PCDD / Fs 濃度持續增高，後來證實是飼料配方中來自巴西的柑橘漿，受到來自 PVC 工廠的石灰廢棄物污染。而這個事件導致荷蘭地區牛奶中 PCDD / Fs 濃度增加到原來 3 倍，影響相當大。



可以利用高解析度質譜儀分析樣品中的戴奧辛含量

在 1999 年，比利時一家專門生產動物油脂的工廠，把 8 噸受到廢棄機油（內含高量 PCDD / Fs）污染的動物脂肪賣給了 13 家歐洲飼料廠。這 13 家飼料廠用被污染的動物脂肪生產飼料，然後賣給了二千多家飼養場，導致雞肉及雞蛋中含有高量的 PCDD / Fs。

台灣台南的中石化安順廠 13.5 公頃的海水蓄水池中的魚產受到 PCDD / Fs 的污染，54 位民眾血液中 PCDD / Fs 平均濃度高達 81.5 pg WHO - TEQ / g-lipid，是全國平均值的 4 倍，最高的是 308 pg WHO - TEQ / g-lipid。研究也證實居民血液中的 PCDD



／Fs 濃度偏高，與食用水池中的海鮮有正相關。

一天吃進多少戴奧辛

PCDD / Fs 進入生態食物鏈與人類飲食的兩個主要路徑，是：空氣→植物→動物及水／底泥→魚。雖然這兩個路徑是正常情況下主要進入食物的途徑，其他的情況也相當重要，例如受污染的動物飼料導致在美國家禽肉類、德國牛奶與比利時牛奶製品的高 PCDD / Fs 含量。

近來國際上許多組織針對 PCDD / Fs 不良健康效應做評估，訂定可容許攝取量或指引值，例如 WHO 在 1998 年訂定每日容許攝取量是 1 ~ 4 pg WHO - TEQ / kg bw / day。

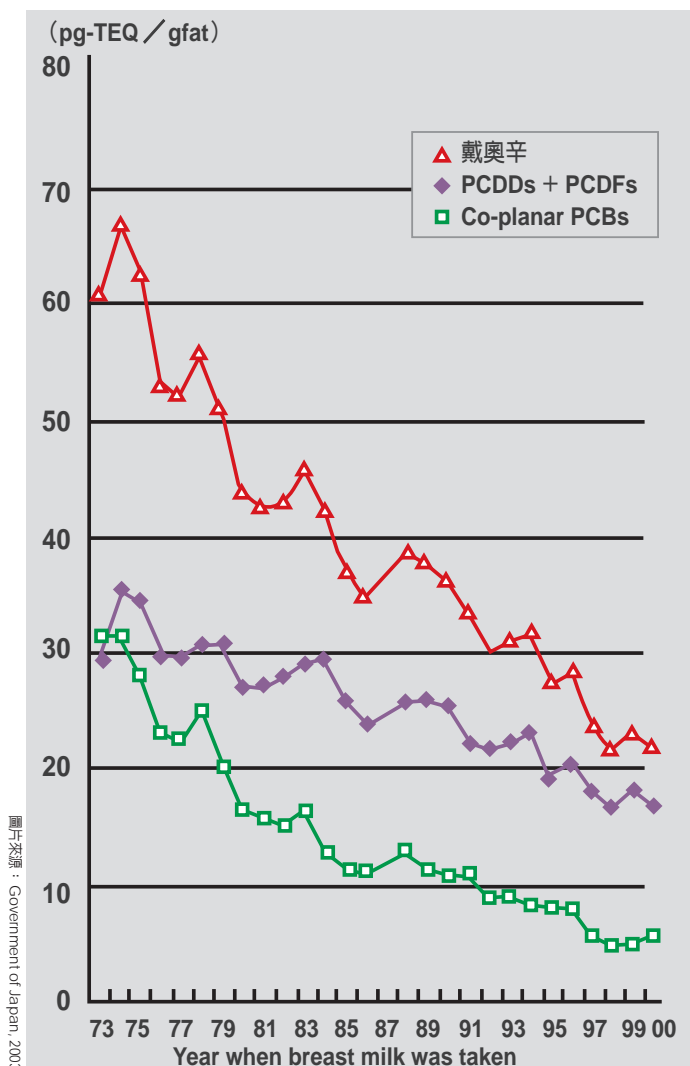
世界各國的研究都指出食物是人體內 PCDD /

Fs 的主要來源，所占比率約 90 ~ 98%，在幾個國家不同食物種類所占人體 PCDD / Fs 攝入量的比率，其中脂肪與油脂類（3 ~ 11%）和蛋類（4 ~ 5%）

不同食物種類占人體 PCDD / Fs 攝入量的比率

飲食	法國	荷蘭	英國	美國
植物類	24	28	31	28
脂肪與油脂	4	11	6	3
魚類	19	7	16	6
蛋類	5	4	4	5
乳製品	21	35	26	26
肉類	28	15	16	32

資料來源：WHO 2003



圖片來源：Government of Japan, 2003

由於日本致力於降低戴奧辛的排放，使得其國人母乳中戴奧辛含量有逐年顯著下降的趨勢。

的PCDD/Fs貢獻量相對較少，應與其總攝入食物中所占比率較低有關。



植物中戴奧辛的採樣

至於植物類食物的PCDD/Fs貢獻量（24~31%），若以PCDD/Fs在這些食物的含量而言，則比預期占了較高的比率，其原因主要是蔬菜類、穀類、水果類占了攝入食物重量的40~50%。其他食物的PCDD/Fs貢獻比率，分別是乳製品21~35%、肉類15~32%、魚類6~19%。每個國家飲食習慣對不同食物種類PCDD/Fs貢獻比率所造成的影響也有不同，例如在法國，肉類與魚類就有較大的貢獻量，荷蘭是乳製品，英國則是魚類和乳製品。

王琳麒

正修科技大學化工與材料工程系

深度閱讀資料

Bueno de M. H., Doombos G., Van der K. D., Kogevinas M., Winkelmann R. (1993) Occupational exposure to phenoxy herbicides and chlorophenols and cancer mortality in the Netherlands. *American Journal of Industrial Medicine*, 23(2), 289-300.

Government of Japan (2003) Dioxins.

Menzel H. M., Bolm-Audorf U., Turcer E., Bienfait H. G., Albracht G., Walter D., Emmel C., Knecht U., Pöpke O. (1998) Occupational exposure to dioxins by thermal oxygen cutting, welding, and soldering of metals. *Environmental Health Perspectives Supplements*, 106(2), 715-22.

US EPA (2005) *The Inventory of Sources and Environmental Releases of Dioxin-Like Compounds in the United States: The Year 2000 Update*, EPA/600/P-03/002A.

World Health Organization (WHO) (2003) *Safety Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants Polychlorinated Dibenzodioxins, Polychlorinated Dibenzofurans, and Coplanar Polychlorinated Biphenyls*.

台北市政府環境保護局內湖焚化廠，<http://www.nhrp.taipei.gov.tw/>，11/22/2007