

火災後周邊植物多環芳香族碳氫化合物(PAHs)之累積

李貽華^{1,2*} 徐慈鴻¹ 李國欽¹ 陳明義²

¹ 台中縣霧峰鄉 行政院農委會農業藥物毒物試驗所

² 台中市 國立中興大學生命科學系

* 通訊作者 E-mail: yhl@tactri.gov.tw

摘要

多環芳香族碳氫化合物(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) 在環境中極普遍，是有機物或塑膠品燃燒不完全之副產物，家庭取暖、垃圾焚燒、引擎操作及工廠運作皆是 PAHs 之重要來源，本研究以植物為被動監測指標探討火災後 PAHs 之污染情形。植體中之 PAHs 含量以二氯甲烷萃取，經 aluminum oxide 分離管柱淨化，以高壓液態層析儀附紫外及螢光檢出器檢測。空氣樣品以 XAD-2 吸附，以 *n*-hexane 及 CH₃CN 萃取，以高壓液態層析儀附紫外及螢光檢出器檢測。比較火災後大火煙霧擴散區與對照區之植物 PAHs 累積量，大火確實造成 PAHs 污染，塑膠廢棄物處理廠及塑膠工廠火災後其周邊之植物確有 PAHs 之累積，塑膠廢物廠周邊之椪果、大花咸豐草及構樹葉片上 PAHs 累積提供污染物沉降之訊息，包括 PAHs 種類及污染範圍，是極佳之被動監測指標。植物葉片之 PAHs 會隨著時間而遞減，顯示葉片在空氣污染之淨化上應具重要功能。模擬煙氣所產生之 PAHs 有 12 種，顯示塑膠廢棄物燃燒後產生之 PAHs 種類極複雜，其中以 phenanthrene 含量最高(2,387.6 ng/m³)。煙氣試驗之大花咸豐草葉片以 3-4 環之 PAHs 類之含量較高，5-6 環之高分子量 PAHs 含量較低。

關鍵字：塑膠大火、多環芳香族碳氫化合物(PAHs)、累積、大花咸豐草、構樹

(Keyword: plastic fire; polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) ; accumulation; *Bidens pilosa* var. *radiata*; *Broussonetia papyrifera*)

一、前言

多環芳香族碳氫化合物(Polycyclic aromatic hydrocarbons, 簡稱 PAHs) 在環境中極普遍，是有機物或塑膠品燃燒不完全之副產物(Wheatley *et al.*, 1993)，家庭取暖、垃圾焚燒、引擎操作及工廠運作皆為 PAHs 之重要來源。許多報告指出部分 PAHs 類具致變性或致癌性 (IARC, 1983 ; Jacob, 1996)。許多已知具致癌性之 PAHs 已被證明會吸附在污染區域空氣中之粒狀物上(Helmes *et al.*, 1982)。PAHs 具脂溶性，會累積於植體中 (Wild & Jones, 1992)，經由食物鏈而影響其他生態系成員。

有機物火燒會產生複雜之半揮發性污染物，包括 PAHs 等 (Meharg *et al.*, 1998)。大

火產生之煙霧會造成有機污染物之擴散及沈降(Ghoniem *et al.*, 1993)。大面積化學品大火後周邊植物發現有 PAHs 之累積(Meharg, 1994)，大火煙霧範圍地區牧草上之 PAHs 累積量增加 70 倍，土壤增加 370 倍(Meharg *et al.*, 1998)。化學大火所沈降之污染物很複雜，因煙霧中各污染成份之物化性不同，其分佈狀況則有不同(Meharg & French, 1995)，隨著燃燒狀況不同其造成分佈之複雜性亦有差異(Meharg, 1994)。

有關塑膠廠火災造成之 PAHs 污染及其在周邊植物上之累積情形，在台灣尚未有相關之研究。本研究於塑膠廢棄物處理廠及塑膠工廠火災後至周邊採樣，檢測周邊植物受 PAHs 污染情況。並以燻氣室進行塑膠廢棄物燃燒之模擬燻氣試驗，探討塑膠廢棄物燃燒產生之 PAHs 種類及在大花咸豐草葉片上之累積情形。

二、材料與方法

1. 火災後周邊植物葉片中之 PAHs 累積量

採樣地點及日期

2002 年 12 月 7 日雲林縣元長鄉一塑膠廢棄物處理廠庫存之塑膠廢棄物發生大火，大火持續數天，煙霧沿意外工廠倉庫周邊迷漫，火災後第 6 天至周邊採樣，周邊植物未出現受害徵狀。沿下風處設採樣點共 11 處，相關位置見圖 1。2004 年 4 月 19 日桃園一塑膠工廠發生大火意外，火災後第 2 天至工廠周邊採樣，於火燒下風處採樣，包括：6 件大花咸豐草、1 件構樹、2 件昭和草及 1 件龍葵。所有葉片樣品送至實驗室後，先以流動水沖洗表面之塵土，切碎樣品裝罐，置於 -10°C 下冷凍保存，待分析。

植物樣品分析

萃取：取葉片樣品置於打碎瓶中，加二氯甲烷(CH₂Cl₂)以均質機打碎抽取，抽出液抽氣過濾除掉濾渣，濾液移入分液漏斗中，加 20mL 飽和食鹽水，搖盪 1 分鐘，取下層(二氯甲烷層)。萃取液脫水後以減壓濃縮法濃縮至乾，加 5mL 之正己烷(*n*-hexane)，待淨化。

淨化：淨化之玻璃管柱(直徑 2 公分)上、下層填充無水硫酸鈉，中層填充氧化鋁(aluminum oxide, 75~230mesh, 加水去活化)，淨化管以 10 mL 正己烷先潤濕，倒入萃取液，以正己烷淋洗，收集淋洗液，淋洗液以減壓濃縮法濃縮至乾，以氬甲烷定量至 1mL，以 0.45 μm 濾膜過濾，待 HPLC 儀器分析

高效能液態層析儀 (High-Performance Liquid Chromatography, HPLC) 分析

HPLC : 1100

Column : Vydac C₁₈ 5μm (4.6mm x 250mm)

Mobile phase :

Flow rate : 1.5 mL/min

Gradient : 60% → 100% CH₃CN (in H₂O)

Detector : UV(230nm), Fluorescence

2. 塑膠廢棄物火燒模擬燻氣試驗

測試植物：大花咸豐草(*Bidens pilosa* var. *radiata*)。

燻氣試驗：於本所利用小型閉密式燻氣室進行燻氣試驗，燻氣室為高 1.3m，直徑 1m 之圓形 PC 材質的透明箱體；塑膠廢棄物燃燒產生煙霧吹入燻氣室，將大花咸豐草移入燻氣室進行模擬燻氣試驗，3 小時後移出燻氣室置於自然環境

中，隔天將所有成熟葉片採下分析其 PAHs 含量。

空氣採樣：以攜帶式空氣採樣器(Gilian, Hi-flow sampler, Model NFS-513AUP)進行空氣採樣；以 ORBO 43 吸附管(50 mg XAD-2, Supel Co.)進行吸附。

空氣中 PAHs 含量分析：採樣後，將吸附管內 XAD-2 取出，分別以 5mL *n*-hexane 及 5mL CH₃CN 利用超音波水浴萃取，萃取液過濾後以氮氣吹乾，以 CH₃CN 定量至 1 mL，以 0.45 μm 濾膜過濾，以 HPLC 儀器分析

植體中 PAHs 含量分析：燻氣後隔天採全部葉片，經上述之萃取、淨化步驟後以 HPLC 分析。

三、結果與討論

1. 火災後周邊植物葉片中之 PAHs 累積量

塑膠廢棄物處理廠庫存待處理之塑膠廢棄物火災後第 6 天採樣，周邊之椪果、構樹及大花咸豐草葉片之 PAHs 總含量範圍分別介 940.3-2933.1 ng g⁻¹ f.w., 706.5-1158.1 ng g⁻¹ f.w. 及 2221.9-3281.5 ng g⁻¹ f.w. (表 1)，塑膠廠火災後第 6 天其周邊植物受 PAHs 污染明顯地較對照區植物為高。火災後約 2 個月再至現場採樣，3 種植物 PAHs 含量已減少，PAHs 含量隨時間而遞減，椪果葉片 PAHs 含量隨時間之遞減見圖 2。三種植物所檢測到之 PAHs 類多為 3-4 環之低分子量 PAHs，包括：naphthalene、fluorene、phenanthrene、anthracene、fluoranthene 及 pyrene 等。Kipopoulou 等(1999)在工業區周邊亦有相同之發現，低分子量 PAHs(naphthalene、fluorene、phenanthrene、anthracene、fluoranthene 及 pyrene) 濃度較高，5-6 環之高分子量 PAHs 濃度較低。由本研究顯示，phenanthrene 是塑膠廢物廠意外火災後最主要之 PAH 污染物。Meharg (1998)報告指出，聚丙烯化學大火後周邊牧草之 phenanthrene 累積量達 400-1500 ng g⁻¹，嚴重污染區之牧草 PAHs 總含量增加至 2365 ng g⁻¹。

植物種類不同其葉片所含之 Σ PAHs 量有所不同，同一樣點(SW4)之 PAHs 總含量為：大花咸豐草 > 椪果 > 構樹。樣點 SW4(距工廠西南方 400m)之大花咸豐草 PAHs 總含量為 2221.9 ng g⁻¹ f.w.，為椪果(940.3 ng g⁻¹ f.w.)之 2.4 倍，是構樹 (706.5 ng g⁻¹ f.w.) 的 3.1 倍。大花咸豐草對 PAHs 之累積能力強，且未呈現受害徵狀，它又是台灣地區普遍之菊科野草，應可選用為大氣中 PAHs 污染之被動監測(passive biomonitor)指標植物。

塑膠工廠火災後第 2 天於火災下風處採樣共採 10 件樣品，包括：6 件大花咸豐草、1 件構樹、2 件昭和草及 1 件龍葵。6 件大花咸豐草樣品均測得 PAHs，測得之 PAHs 有 7 種，PAHs 總含量範圍為 23.6- 395.5 ng/g，以採自距火災工廠東南方約 100m 之大花咸豐草 PAHs 總含量最高，其中以 phenanthrene 含量最高，其次為 fluorene，再其次為 pyrene。同地點(工廠東南方約 100m)之構樹測得 7 種 PAHs，其 PAHs 總含量為 123.0 ng/g。2 件昭和草及 1 件龍葵未測得 PAHs。火災後 3 周(21 天)再至現場採樣，大花咸豐草及構樹葉片上已偵測不到 PAHs 含量，顯示本區域受 PAHs 污染之大花咸豐草及構樹葉片其 PAHs 含量亦會隨時間而遞減。

2. 塑膠廢棄物火燒模擬燻氣試驗

模擬燻氣所檢測到之 PAHs 有：naphthalene、fluorene、phenanthrene、anthracene、fluoranthene、pyrene、benzo(*b*)fluoranthene、benzo(*k*)fluoranthene、benzo(*a*)pyrene、dibenzoanthracene、benzoperylene、indenopyrene 等 12 種 (表 2)，顯示塑膠廢棄物燃燒後產生之 PAHs 種類極複雜，其中以 phenanthrene 含量最高(2,387.6 ng/m³)。燻氣室內測得致癌物 benzo(*a*)pyrene，其濃度為 1,020 ng/m³，塑膠廢棄物燃燒後會產生致癌物，對人畜之危險性值得注意。

煙氣後大花咸豐草葉片外觀未出現受害徵狀，第 2 天採樣時葉片外觀亦無異常徵狀。葉片共檢測到 8 種 PAHs，其含量由高而低依序為：phenanthrene、fluorene、anthracene、pyrene、benzo(a)pyrene、naphthalene、benzo(b)fluoranthene、benzo(k)fluoranthene。phenanthrene 濃度為 5,014.3- 5,296.1 ng/g f.w.，fluorene 之濃度為 4,114.5- 4,472.8 ng/g f.w.，anthracene 之濃度為 1830.9- 1992.1 ng/g f.w.，pyrene 之濃度為 1,847.8- 18,97.7ng/g f.w.(表 2)，顯示 phenanthrene、fluorene、pyrene 與 anthracene 較易累積於葉片。

四、參考文獻

- Canadian Environmental Protection Act (CEPA). 1994. Priority Substances List Assessment Report. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Health Canada and Environment Canada. Ottawa, Ontario.
- Ghoniem, A., F. X. Xhang, O. Knio, H. R. Baum and R. Rehm. 1993. Dispersion and deposition of smoke plumes generated in massive fires. *J. Hazard. Mater.* 33: 275-293.
- Helmes, C. T., D. L. Atkinson, J. Jafer, C. C. Sigman, K. I. Thompson, M. I. Kelsey, H. F. Kraybilm and J. J. Munn. 1982. Evaluation and classification of the potential carcinogenicity of organic air pollutants. *J. Environ. Sci. Health* 17: 321-389.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). 1983. Polynuclear Aromatic Compound. Part 1. Chemicals, Environmental and Experimental Data. Working Group on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. IARC, Vol. 32, Lyon, France. (as cited in Jones et al., 1989)
- Jacob, J. 1996. The significance of polycyclic aromatic hydrocarbons as environmental carcinogens. *Pure and Appl. Chem.* 68:301-308.
- Kipopoulou, A.M., E. Manoli and C. Samara. 1999. Bioconcentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetables grown in an industrial area. *Environ. Pollut.* 106: 369-380.
- Meharg, A.A. 1994. Inputs of pollutants into the environment from large-scale plastics fires. *Toxicol. Ecotox. News* 1: 117-122.
- Meharg, A.A. and M. C. French. 1995. Heavy metals as markers for assessing environmental pollution from chemical warehouse and plastics fires. *Chemosphere* 30: 1987-1994.
- Meharg, A.A., J. Wright, H. Dyke and D. Osborn. 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) dispersion and deposition to vegetation and soil following a large scale chemical fire. *Environ. Pollut.* 99: 29-36.
- Niu, J., J. Chen, D. Martens, X. Quan, F. Yang, A. Kettrup, and K.W. Schramm. 2003. Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] needles under sunlight irradiation. *Environ. Pollut.* 123: 39-45.
- Simonich, S. L. and R. A. Hites 1994. Importance of vegetation in removing polycyclic

aromatic hydrocarbons from the atmosphere. *Nature* 370:49~51.

Simonich, S. L. and R. A. Hites. 1995. Organic pollutant accumulation in vegetation. *Environ. Sci. Technol.* 29:2905~2914.

Tremolada, P., V. Burnett., D. Calamari and K. C. Jones. 1996. Spatial distribution of PAHs in the U.K. atmosphere using pine needles. *Environ. Sci. Technol.* 30:3570-3577.

Wagrowski, D. M. and R. A. Hites. 1997. Polycyclic aromatic hydrocarbon accumulation in urban, suburban, and rural vegetation. *Environ. Sci. Technol.* 31: 279-282.

Wheatley, L., Y. A. Levendis and P. Vouros. 1993. Exploratory study on the combustion and PAH emissions of selected municipal waste plastics. *Environ. Sci. Technol.* 27: 2885-2895.

Wild, S.R. and K. C. Jones. 1995. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: A preliminary source inventory and budget. *Environ. Pollut.* 88: 91-108.