

葉片表面及不同來源粒狀物 之形態分類及成分分析

徐慈鴻 李貽華* 陳佩伶 蔣慕琰

台中縣霧峰鄉 行政院農委會農業藥物毒物試驗所 公害防治組

(接受日期：中華民國 92 年 10 月 22 日)

摘 要

徐慈鴻、李貽華*、陳佩伶、蔣慕琰 2003 葉片表面及不同來源粒狀物之形態分類及成分分析 植保會刊 45：305-320

本研究以光學顯微鏡、掃描式電子顯微鏡觀察工廠煙道、交通廢氣、土壤顆粒及植物表面粒狀物之形態，並以能量分散型 X 光微量分析儀 (Energy-dispersive X-ray microanalyzer, 簡稱 EDX) 進行成分分析，建立台灣地區主要粒狀污染物形態及成分資料，並觀察工廠周圍植物葉表粒狀物，比較粒狀污染物與污染源之相關性，以作為公害污染鑑定之參考。大多數工廠煙道樣品以因高溫燃燒產生的黑煙類及不規則屑塊比例較高，其元素成分以碳 (C)、矽 (Si) 元素為主，另包含硫 (S)、鋁 (Al) 及鈣 (Ca) 等元素；汽、機車排放之粒狀物，主成分亦以 C 元素為主，形態則屬於棉團狀之屑塊。鋼鐵、機械廠之煙道樣品所含有的粒狀物形態種類最多，出現比例較高的金屬礫塊是此類工廠煙道樣品特有的粒狀物，金屬礫塊多為含鐵之金屬氧化物，成分分析顯示含有高量的鐵 (Fe)、氧 (O) 等元素。彩色團粒在化學、焚化廠及鋼鐵廠可發現，主要元素成分為 C、S，另還有鈮 (V)、鈦 (Ti) 等元素。營建業、石油煉製廠及土壤顆粒的粒狀物以粉末晶塊狀為主，營建業及土壤顆粒成分主要包括 Si、Al、O 等元素，而石油煉製廠以 S 元素為主。就形態及元素成分而言，黑煙類及不規則屑塊不易分辨其來源，其餘不同性質之粒狀物則與鄰近工廠污染源有關，可利用 EDX 進行元素成分的比對分析，水泥廠周邊植物表面之粒狀物以 Ca 為主要元素之一，石化工業區周邊植物葉表面之粒狀物成分以 C、O 元素為主，電鍍及鋼鐵工廠周邊植物葉表皆有金屬礫塊粒狀物，但成分分析顯示電鍍工廠之礫塊另有銅 (Cu) 及鎳 (Ni) 等金屬元素存在。植物葉表藍色圓球形或不規則團塊的成分中皆測得 Ti 元素。對於鋼鐵機械、電鍍業、水泥業、噴漆業等工廠之粒狀物，由於其形態較易辨識且有特

* 通訊作者。E-mail: yhl@tactri.gov.tw

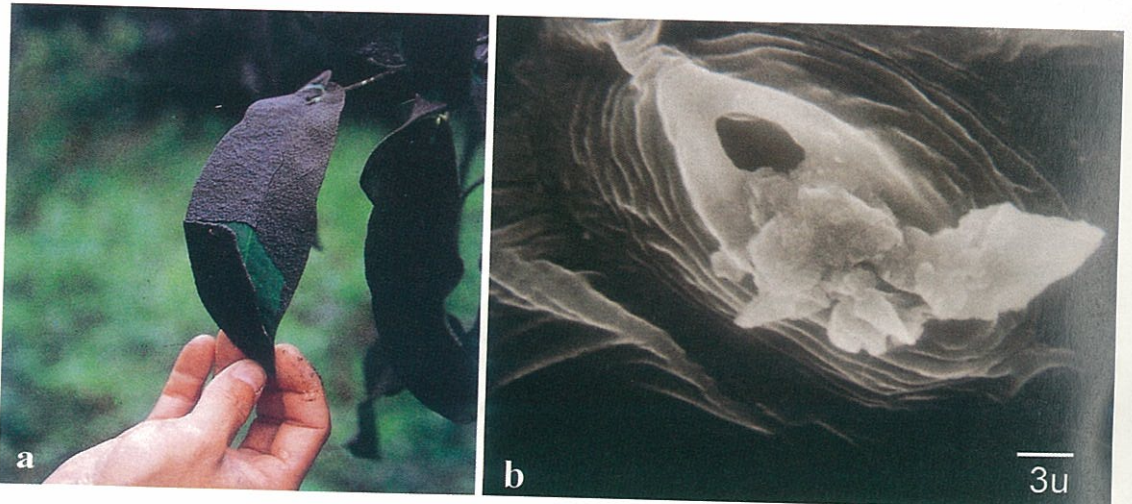
殊的元素成分存在，藉由顯微鏡觀察葉片表面粒狀物之形態並配合 EDX 的成分分析，可辨識粒狀物來源。

(關鍵詞：空氣污染、粒狀物、掃描式電子顯微鏡、能量分散型 X 微量分析、形態)

緒 言

空氣污染物依發生形態可分為氣態及固態污染物，固態污染物與其他化學空氣污染比較下其對植物之直接傷害較不嚴重；早期由於粒狀物污染事件多屬於區域性的問題，因此較不受重視，但隨著工業持續開發，工廠煙囪不斷加高，加上氣候及季風的影響，使污染物飄散範圍擴大，致使粒狀物污染事件演變成國際性的問題，而使粒狀物污染問題較受重視。空氣中之固態微粒以工業燃燒及交通運輸為主要來源，排放於大氣中會影響空氣品質，降低能見度，引起人類呼吸器官疾病，並干擾植物之生長⁽⁹⁾。不同來源及性質之落塵，對植物造成不同的影響。研究指出，營建工程使用之水泥灰覆蓋於葉面時，會

遮閉光線干擾光合作用及影響澱粉的合成⁽⁸⁾。在甘藷葉片上噴灑砂土、粉土、黏土及碳粉，結果顯示粒徑小之粉塵引起脫水、氣孔關閉及二氧化碳交換速率下降等現象⁽²⁾。粒狀物沉降於葉面，不一定會對植物葉片造成明顯的損傷，但可能影響作物生長，Shukla 等 (1990)⁽¹⁸⁾以水泥灰噴灑於油菜田，試驗結果並未對葉面造成傷害，但平均株高較對照組低約 15 cm，平均葉面積約減少 20%，產量也明顯降低。粒狀物除附著於葉面外⁽¹⁾ (見圖一 a)，也可能進入葉片內，或阻塞氣孔 (圖一 b)；一般禾本科作物的氣孔直徑約 8-12 μm ，因此顆粒小於 10 μm 的粒狀物則容易阻塞氣孔而影響氣體交換⁽⁹⁾。粒狀污染物除了會干擾作物生長，對作物品質之影響亦不容忽視，如發生於台北縣萬里鄉白色海芋及蔬



圖一、蓮霧葉片表面粒狀物覆蓋情形。a. 水泥工廠周邊植物葉片受粒狀物覆蓋的情形，b. 粒狀物阻塞植物氣孔的情形。

Fig. 1. The particulates on leaf surface. a. particulates from a cement factory cover waxapple leaf, b. particulate blocking the stomatal pore.

菜，受東方十公里外一座燃油的火力發電廠所排放的黑煙污染，海芋及蔬菜之生長雖未明顯受阻，但因白色花苞上附著黑色斑點，影響美觀而失去商品價值⁽⁴⁾。粒狀污染物長期沉降於土壤表面，會改變土壤性質而漸漸影響植物生長，如火力發電廠附近農地土壤中硫酸根、鉍及鈣離子濃度較對照區高，而硝酸根、鈉與氯離子濃度相對較低，可能影響植物對養分之吸收與利用^(6, 19)，粒狀污染物對作物及農業環境之影響是不可輕忽的。

不同來源之粒狀污染物因使用的燃料和製造過程的不同，產生不同特性之污染物，因此利用粒狀物之形態與化學組成可追蹤污染源⁽¹⁷⁾。Xie 等 (1994)⁽²¹⁾利用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 觀察空氣中粒狀物之形態種類及成分，區分為飛灰 (fly ash)、塵土 (clay)、含 Mg-Si (鎂-矽)、含 Pb (鉛) 及含 Ti (鈦) 等類，以分辨一般土壤顆粒與污染飛灰之差異。Stárková 等 (1989)⁽²⁰⁾利用粒狀物之成分及形態可辨別飛灰是由燃煤或燃油工廠所產生。Querol 等 (1996)⁽¹⁶⁾利用粒狀污染物之形態及礦物質特性作為鑑別之依據，如含硫飛灰、赤鐵礦及矽酸鋁，追蹤出污染者為燃煤電廠。Zhou 等 (1996)⁽²²⁾等利用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 及能量分散型 X 光微量分析儀 (EDX) 研究沙塵暴顆粒特性，經長程飄散後其表面附著海鹽或鋅 (Zn)、鐵 (Fe) 等人為污染物。孫 (1992)⁽⁴⁾利用顯微鏡、SEM 及 EDX 鑑定電廠周邊之海芋及蔬菜表面之黑煙微粒為火力發電廠所排放；唐等 (1995)⁽³⁾觀察工業區植物葉片上之微粒，利用 SEM 及 EDX 分析，依其主要成分歸為黑煙類、結晶類及塵土類；黑煙類為燃燒過程所產生，結晶類屬海濱地區特有之海鹽結晶，塵土類則來自工廠興建施工、土壤飛揚及海濱飛砂等，建立觀音工業區空氣中之污染微粒種類及成分資料。

陳等⁽⁵⁾ (2001) 利用光學顯微鏡觀察粒

狀物形態，藉由外觀形狀、大小、顏色、質感、表面結構等特徵，將粒狀物分為黑煙類 (black smoke)、不規則屑塊 (fluffy ash)、金屬礫塊 (metal gravel)、彩色團粒 (color granule cluster) 及粉末及晶塊 (powder) 等五類，惟因放大倍率與解析度不足，部分顆粒尚無法清楚辨識其表面結構。本研究以光學顯微鏡進行工廠煙道及植物表面粒狀物形態及相對含量之比較，並以掃描式電子顯微鏡進一步觀察特定粒狀物之微形態，建立電顯圖片資料，並利用 X 光微量分析儀測定其主要元素成分，加強污染鑑定之準確性，此外，特定來源粒狀物之形態特徵及元素成分資料之建立可提供農作物污染事件發生鑑定比對之用。

材料與方法

樣品來源

植物葉表附著之粒狀物其來源廣泛且成分複雜⁽¹⁴⁾，故取來源單一之固定污染源樣品進行觀察，建立基本資料，收集各類工廠煙道、汽、機車引擎排氣及台灣地區具代表性之土壤為觀察樣品；並於不同種類之獨立廠房周圍採集植物葉片進行葉表觀察。取樣方法分別如下：

煙道樣品

自工廠煙道所收集之樣品，因直接抽取自工廠煙囪煙道，尚未受外界環境其他物質之干擾，來源較為單純，有助於粒狀物之基本資料建立。自工廠煙道所收集之粒狀污染物是由環境工程公司自不同工廠煙囪煙道，依據環保署公告之煙道排氣中粒狀污染物採樣及其濃度之測定方法所收集之樣品，採集後提供分析。煙道樣品分別來自食品業 (food processing)、造紙業 (papermaking)、化學工業 (chemical industry)、橡膠業 (rubber)、鋼鐵和機械業 (steel & machinery industry)、營建業

(construction materials industry)、電子業 (electronic machinery)、菸廠 (tobacco manufacture)、水泥業 (cement industry)、製革工廠 (leather factory)、煉油廠 (oil-refinery) 及焚化廠 (garbage incinerator) 等。

引擎排氣

利用培養皿，直接收集引擎排氣管排放之粒狀物，包括使用柴油、高級汽油、92 及 95 無鉛汽油等，比較不同交通工具排放之黑煙與工廠排放之黑煙在形態上是否有差異。

土壤樣品

土壤為揚塵之主要粒狀物，收集台灣地區具代表性之土壤表土樣品包括：紅壤、紅黃壤、風積土、沖積土、黑色土及泥岩等。

植物葉片樣品

採集取水泥廠 (cement industry)、鋼鐵工廠 (steel factory)、噴漆工廠 (paint factory)、電鍍工廠 (electroplating factory)、石化工業區 (petrochemical industrial estate)、燃油火力發電廠 (power plant) 周邊及公路旁植物葉片，進行表面粒狀物之觀察。

樣品觀察及分析

以雙面膠布黏取樣品上之粒狀物固定於玻片或直接觀察葉片表面，利用光學顯微鏡 (Leica wild M3Z)，以 200 倍觀察粒狀物之形態並估算不同類粒狀物之相對含量。

取部份樣品固定於載物台上，經金離子覆膜後，以掃描式電子顯微鏡 (Cambridge stereoscan 360) 觀察，並利用能量分散型 X 光微量分析儀 (Oxford 7060) 分析具代表性樣品之元素成分。關於 EDX 微量分析儀的分析操作係委託工業技術研究院工業材料研究所進行，本研究中之 EDX 電子束掃

射方式採單點掃射方式，EDX 分析只能測出相對含量較多之元素，對波峰較小及未穩定出現之光譜則不予以採納。

結果與討論

工廠煙道粒狀物種類、相對含量及元素成分分析

陳等⁽⁵⁾ (2001) 報告中粒狀物的形態經光學顯微鏡觀察後，歸納為黑煙類、不規則屑塊、金屬礫塊、彩色團粒、粉末及晶塊等五類，本研究以相同之形態分類比較工廠煙道所含之粒狀物種類及相對含量比 (表一)，並進行特定工廠煙道粒狀物、引擎排氣及土壤顆粒之電子顯微鏡觀察及元素成分的分析 (表二)。

1. 黑煙類 (black smoke): 易飄散之黑色顆粒，粒徑範圍由數 μm 至數百 μm ，在大多數工廠煙道樣品中可觀察到，其含量佔觀察視野之比例達 40-70%，但在營建業、電子業及煉油廠的煙道樣品中黑煙類粒狀物所佔比例低。

黑煙類粒狀物依其形態可細分為三類，分別是 (一) 黑色多孔球體 (porous sphere)，表面呈多孔凹洞如蜂窩狀之圓球 (圖二 a)，(二) 褐色球狀空泡 (bubble)，為具有黑色絲狀骨架與褐色透明薄膜共同組成類似肥皂泡沫之結構 (圖二 b)，及 (三) 黑色網狀絲團 (net cluster)，由黑色絲狀骨架連結而成網狀 (圖二 c)。在所觀察之樣品中，此三類類粒狀物經常混雜出現，但其中以黑色多孔球體所佔比例最高，為煙道樣品中最常出現的形態之一，一般燃油鍋爐所產生之主要粒狀物多為此類⁽⁴⁾。元素成分分析顯示黑煙類粒狀物主要含 C (碳) 及 S (硫) 元素，除 C、S 之外，部分亦可測得 O (氧)、Si 及 Al (鋁) 元素，造紙業及化學業的少數顆粒含有 Ni (鎳)、V (釩) 及 Ti 元素，是燃燒重油所產生粒狀物之典型成分⁽²⁰⁾。化學類之黑球常呈破

表一、不同類工廠煙道之粒狀物種類及其相對含量比例

Table 1. Grouping and relative abundances of particulates sampled from dust collectors of different factories or emission sources

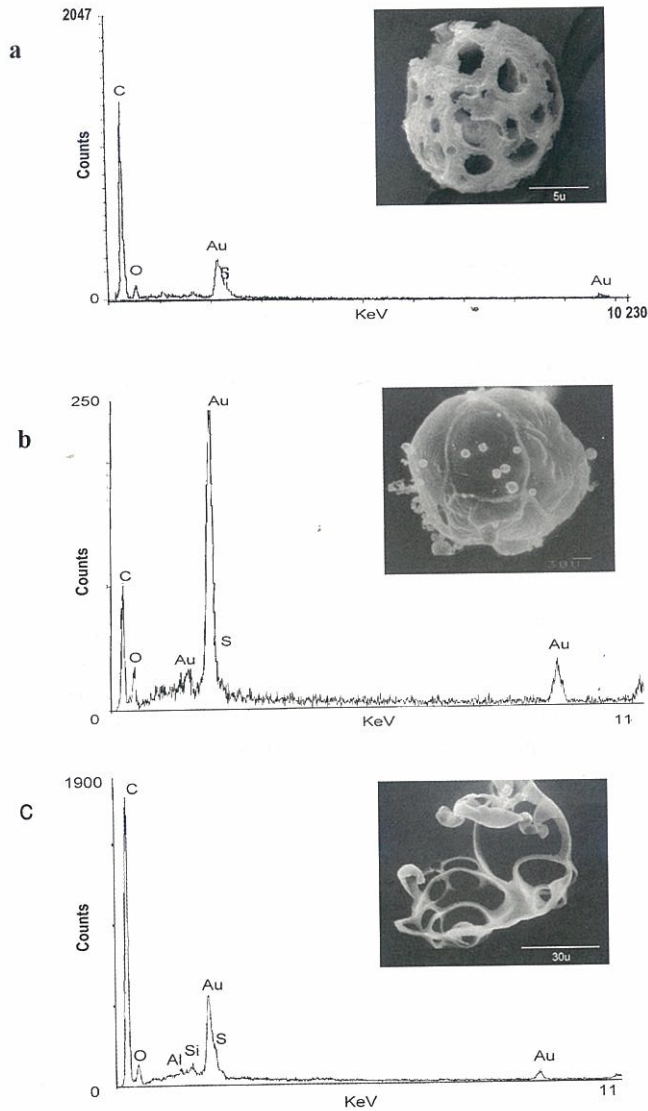
Grouping of factories or emission sources	Particulate types				
	Black smoke	Fluffy ash	Metal gravel	Color granule cluster	Powder or crystal
Food processing	++ ¹⁾	+++	-	-	-
Papermaking	++	++	-	-	++
Chemicals	+++	+++	-	*	-
Rubber industry	+++	++	-	-	-
Steel & machinery	++	+++	+++	+	++
Construction material	*	*	-	-	+++
Electronic industry	*	+++	-	-	-
Tobacco manufacture	+++	++	-	-	-
Leather factory	+++	++	-	-	*
Oil-refinery	*	*	-	-	+++
Garbage incinerator	++	+++	-	*	-

¹⁾ absent; *: minor (<10%); +: 10-30% of sample; ++: 30-50% of sample; +++: more than 50% of sample.

表二、不同來源粒狀物之形態分類及所含主要及特殊元素成分

Table 2. Classification and elemental contents of particulates from different sources

Groups	Shape	Element contents		Sources (Chimneys, soil, vehicular emission)
		Major	Special	
Black smoke	sphere	C	S, O	food processing, paper making, chemicals, steel factory
		C	Si, Al, Ca, Zn	rubber, garbage incinerator, tobacco manufacture, leather factory
	brown bubble	C	S	food processing, paper making, chemicals, rubber, garbage incinerator
	net cluster	C	S, Si	food processing, paper making, chemicals, rubber, garbage incinerator
Fluffy ash	cotton mass	C, Si	O, Al, Ca, Cl	food processing, vehicular emission, electronic industry
	black irregular	C, Si	Al, S, Na, Ca, Mg, K	food processing, paper making, chemicals, garbage incinerator, steel factory, leather factory
Metal gravel	orange cluster	Fe	S, Ca, C	steel factory, machinery
	black irregular	Fe	O	steel factory, machinery
Color granule cluster	Irregular	S	V, Ni	chemicals
	sphere	C	Ti	garbage incinerator, steel factory, chemicals
Powder	irregular	Si	Na, K, Mg, Fe	construction material, machinery, soil
		Ca	Fe, K	cement industry
		S	P, Ca, Fe, Zn	oil-refinery



圖二、不同形態黑煙類粒狀物。a.球體（化學工廠煙道），b.空泡（食品工廠煙道），c. 網團（造紙廠煙道）。

Fig. 2. Morphological features and X-ray spectra of black smoke from different sources. a. porous sphere (chemical factory), b. bubble (food processing factory), c. net cluster (paper making factory).

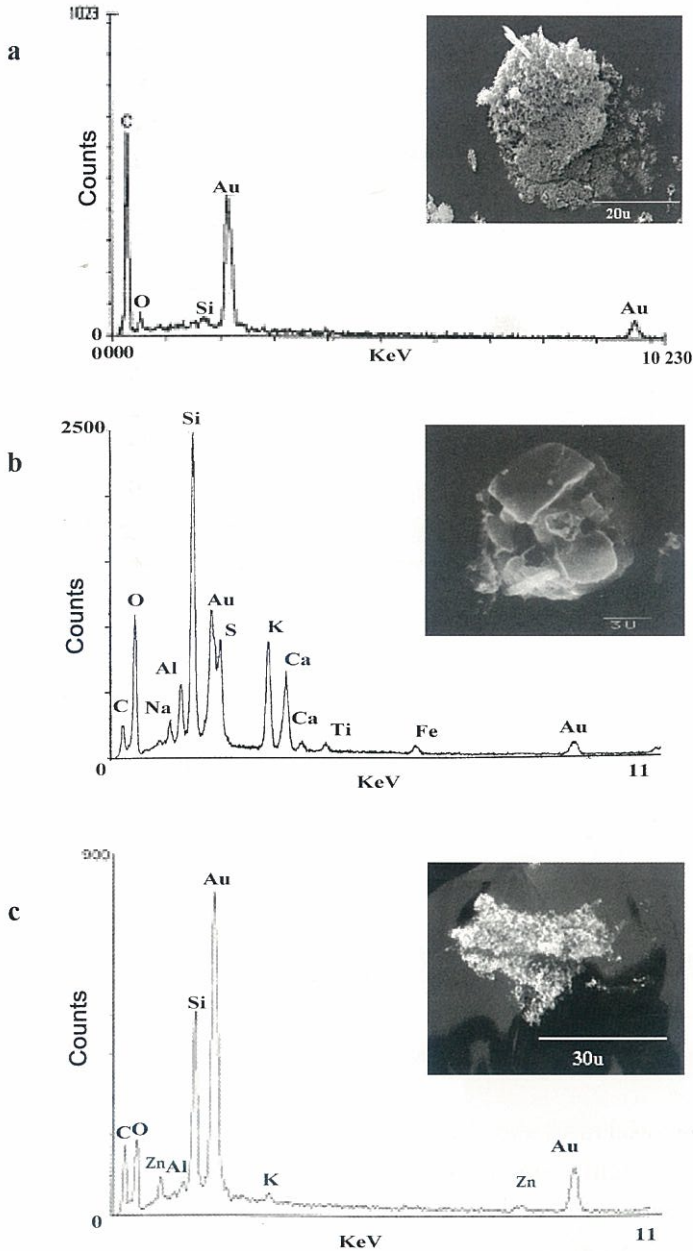
碎穿孔狀，結構鬆散，比較其 O、Si、S 之相對值，則化學類之黑煙所含 S 元素之相對值較低⁽²⁰⁾。橡膠、焚化廠、皮革製廠及菸廠樣品中出現 Na (鈉)、Al、Mg、Ca (鈣) 及 Zn (鋅) 等金屬元素。黑煙類飛灰之產生，主要來自高溫燃燒的過

程，並因使用之燃料來源與燃燒的溫度不同而形成大小及成分不一之粒狀物，如燃煤之火力發電廠，會產生表面平滑之黑色球體，並因煤塊中含硫化鐵之成分，經高溫燃燒後形成含氧化鐵及二氧化硫等物質之粒狀物^(10, 12)，而燃油鍋爐所產生之

粒狀物則為表面呈蜂窩狀之圓球。

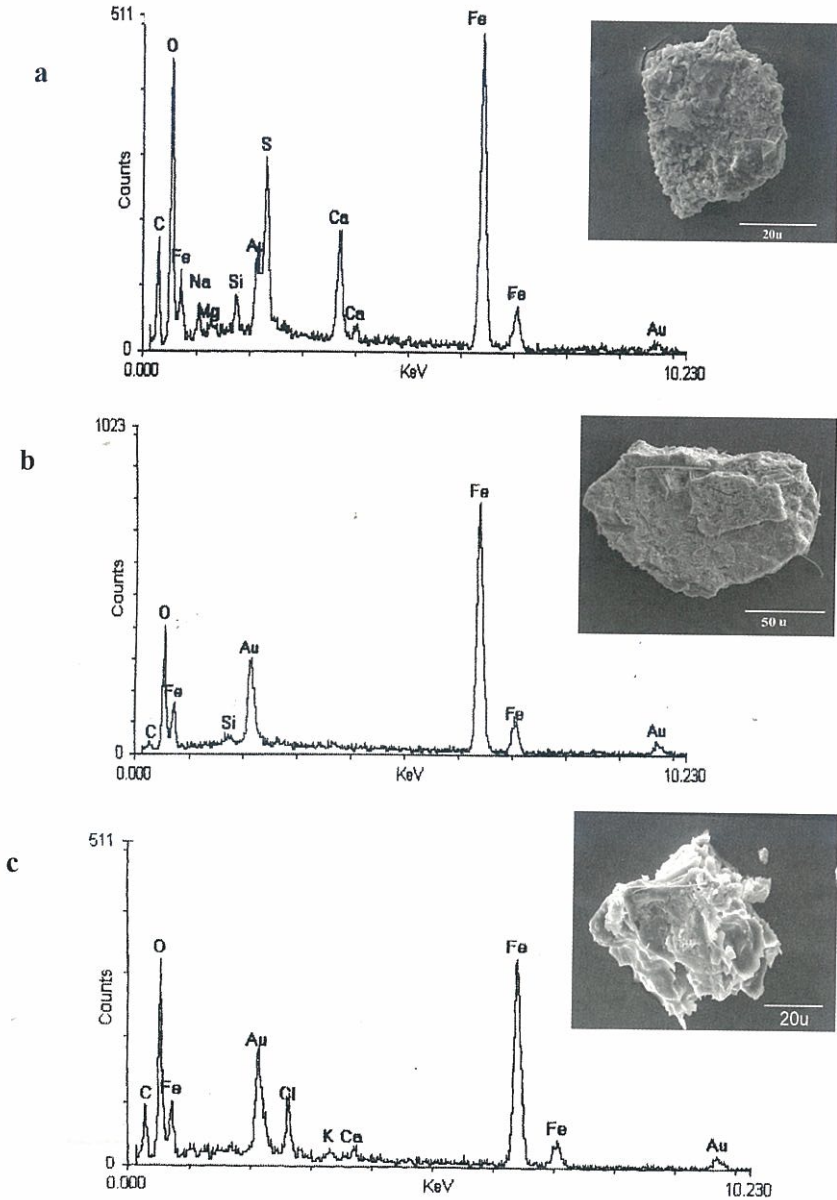
2. 不規則屑塊 (fluffy ash): 此類型粒狀物同樣為普遍存在於工廠煙道樣品中, 其所佔之相對含量比例達 40-90 %, 在電子

業及焚化廠煙道之樣品中該類型粒狀物含量達 85 % 以上, 在化學業及鋼鐵機械業煙道樣品中之含量亦高達 70 %, 但在營建業及煉油廠樣品中含量則低於 5 %。



圖三、工廠煙道的不規則屑塊的形態及成份。 a. 棉團狀 (機車排放廢氣), b. 不規則屑塊狀 (焚化爐煙道), c. 不規則塊狀 (食品工廠煙道)。

Fig. 3. Morphological features and X-ray spectra of fluffy ash from different sources. a. cotton mass (vehicular emission), b. irregular ash (garbage incinerator), c. irregular ash (food processing factory).



圖四、以鐵為主要元素之不同形態礫塊。 a. 表面粗糙者， b.表面較平滑者， c.具鱗片狀及凹陷狀者。

Fig. 4. Morphological features and X-ray spectra of metal gravel. a. gravel with rough surface, b. gravel with lightly smooth surface, c. gravel with lumpy and hollow surface. Iron was main content of this group.

不規則屑塊可區分為（一）棉團（cotton），為短細絲聚集如棉團或雲團狀，成分以 C、Si 元素為主，出現於各種不同燃料汽機車引擎排放廢氣（圖三 a），

屬較微細之顆粒，與 Zou 等（1997）⁽²³⁾ 觀察運輸工具產生之顆粒相似。少數食品工廠煙道亦出現棉團屑塊之粒狀物，主要元素成分為 Si，而電子業煙道中 90 %以

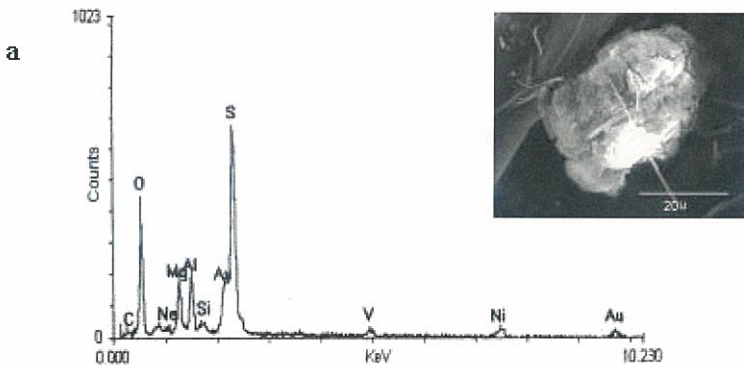
上粒狀物為棉團屑塊，主要成分則為 C。在食品業及汽機車排放廢氣的成分另包括 Al、Ca、Zn 及 Cl (氯) 等元素。(二) 黑色不規則屑塊 (black irregular) 在光學顯微鏡下不易辨識，部分屑塊可能為多孔球體崩解後所產生的，其餘屑塊之結構則類似棉團狀或不規則聚積體，在電子顯微鏡觀察下可明顯見到堆疊或層次的顆粒 (圖三 b、c)，其來源與部分黑煙類飛灰相同，普遍出現於食品、造紙、化學、鋼鐵工廠、皮革製廠及焚化廠等，成分分析顯示此類粒狀物的元素變化因樣品來源不同有極大差異，尤其不同的焚化廠因燃燒物來源繁雜，產生之粒狀物不論其形狀或所含成分皆較複雜。由圖三之圖譜顯示，其成分種類除常見之 C、O、S 外，Al、Ca、Na 含量亦高，部分樣品則含有 Cl、Fe (鐵)、K (鉀)、Mg 及 Ti 等元素。

3. 金屬礫塊 (metal gravel)：金屬礫塊為多稜角而表面粗糙之塊狀體，顏色包括黑色、橘黃色與紅棕色等，此類形粒狀物主要出現於鋼鐵及機械工廠的煙道中，鋼鐵廠之含量百分比為 55-95 %，但機械廠之含量則較低約為 5-10 %，其他類工廠煙道之粒狀物未觀察到金屬礫塊。

依據表面結構與顏色將金屬礫塊區

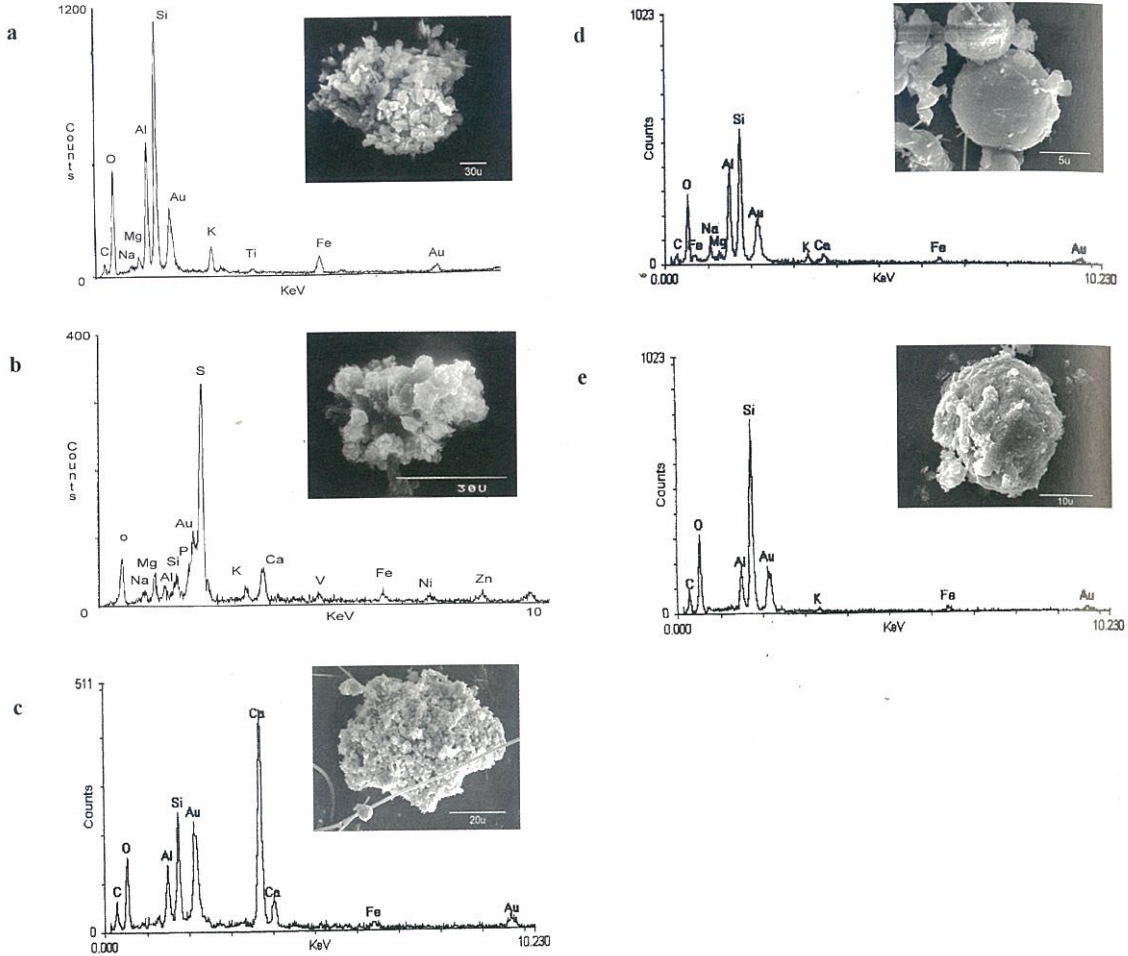
分為兩類：一為橘黃色鬆塊，於電顯下觀察其表面呈點狀突起 (圖四 a)，此類之礫塊成分主要含 Fe、S、O 元素，其次為 C、Si、Ca、Mg 等元素，成分複雜，與 Lichtman (1985) 之觀察相似⁽¹³⁾；另一種為具光澤之黑色礫塊，於電顯下觀察，表面呈平滑、鱗片狀或為凹陷孔隙狀 (圖四 b、c)，主要元素為 Fe、O，部分含 C 及 Si 等，其他成分另包括 K、Cl 等。高溫冶煉過程易造成含金屬之微細顆粒，Michaud 等 (1993)⁽¹⁵⁾之報告將鋼鐵廠排放之粒狀物分兩類，較細的呈雪片狀，主要含 Mn (錳)、Pb、Zn、Cu (銅) 等元素；較粗的呈球狀，主要含 Fe、Ca、K、S 及 Zr (鈷) 等元素，依工廠生產產品而異。

4. 彩色團粒 (color granule cluster)：光學顯微鏡下觀察為表面具光澤，色彩鮮豔之球形或不規則顆粒，包括橘、紅、綠、藍、灰及白色等多種顏色，於電顯下可觀察到團粒表面平滑或鱗片狀構造 (圖五 a)。彩色團粒主要出現於鋼鐵類工廠、化學類工廠及焚化廠，因來源不同，在顏色和組成成分上多有變化，主要元素成分為 C 及 S，較常見之元素還包括 Ti、V 及 Ni 等，此類粒狀物在樣品中之相對含量低，化學及焚化廠樣品含量低於 5 %，在鋼鐵機械廠之樣品最高含量約為 25 %。



圖五、彩色團粒。 a.不規則鱗狀團粒(化學工廠煙道)。

Fig. 5. Morphological features and X-ray spectra of color granule cluster particles. a. irregular cluster (chemical factory).



圖六、粉末及晶塊粒狀物。 a.機械工廠；b. 石油煉製廠；c. 水泥碎片；d. 營建業粉末；e. 土壤顆粒。

Fig. 6. Morphological features and X-ray spectra of color granule cluster and powder and crystal particles from different sources. a. powder from machinery factory, b. powder from oil-refinery, c. cement powders, d. sphere (construction material) , e. soil crystal.

5. 粉末及晶塊 (powder)：此類粒狀物於光學顯微鏡下呈淡色半透明或透明晶體，於電顯觀察時，可清楚看到版狀、簇狀之不規則碎片聚集成團。造紙業、機械工廠、營建業、煉油廠、水泥廠之煙道皆可發現此類形粒狀物，而在營建業及煉油廠煙道樣品中其含量高達 90 % 以上；一般土壤樣品之粒狀物形態皆為此

類。機械工廠之樣品呈版狀或塊狀之不規則聚集體，主要元素為 Si 及 Al，另有 Na、Mg、Ti、Fe 等元素（圖六 a）。煉油廠為片積狀之不規則細粒，主要成分為 S，並含有 P（磷）、Ca、Fe 及 Zn 等元素，P 元素在其他類型粒狀物中未曾出現（圖六 b）。成分分析顯示，水泥廠、營建業之粒狀物皆含有相對多量的 Si、

Al、O 元素，但水泥廠粒狀物之成分以 Ca 元素含量最高，而營建業粒狀物之成分除上述三種元素外，還包含 Na、Mg、K 等金屬元素，由於此二類工廠之原料與土壤礦物有關，因此其主要元素成分與土壤顆粒之分析結果相近；由電子顯微鏡觀察顯示，水泥廠煙道樣品有不規則晶塊狀的顆粒（圖六 c），營建業樣品可觀察到細小之球型顆粒（圖六 d），而土壤顆粒之表面則呈現層積狀結構，且附著許多細微粒（圖六 e）。

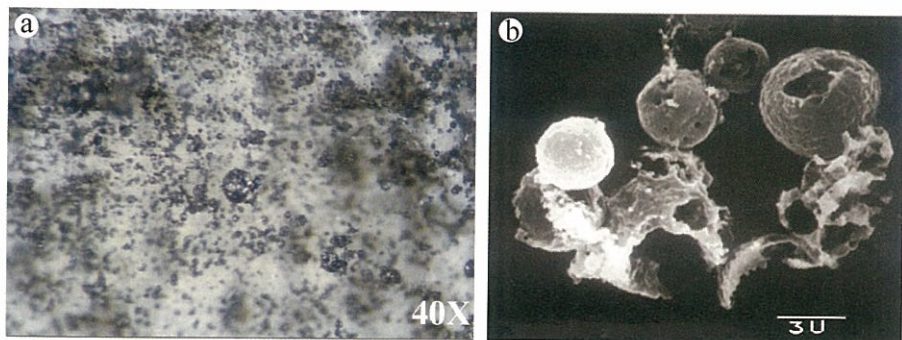
由工廠煙道粒狀物種類之分佈情形顯示，多數工廠煙道樣品皆含有相對高量的黑煙類或屑塊類的粒狀物（圖七），金屬礫塊則是鋼鐵機械工廠煙道特有之粒狀物，而營建業及煉油廠之煙道樣品則以粉末及晶塊粒狀物佔絕大多數，在工廠煙道樣品中彩色團粒之含量比例相對較低。不同類型工廠煙道之粒狀物種類以鋼鐵機械廠最具多樣化，樣品涵蓋上述五種形態的粒狀物。引擎排氣之粒狀物形態主要是不規則棉團狀，土壤顆粒則以粉末及晶塊狀為主。

工廠周邊植物葉表面之粒狀物

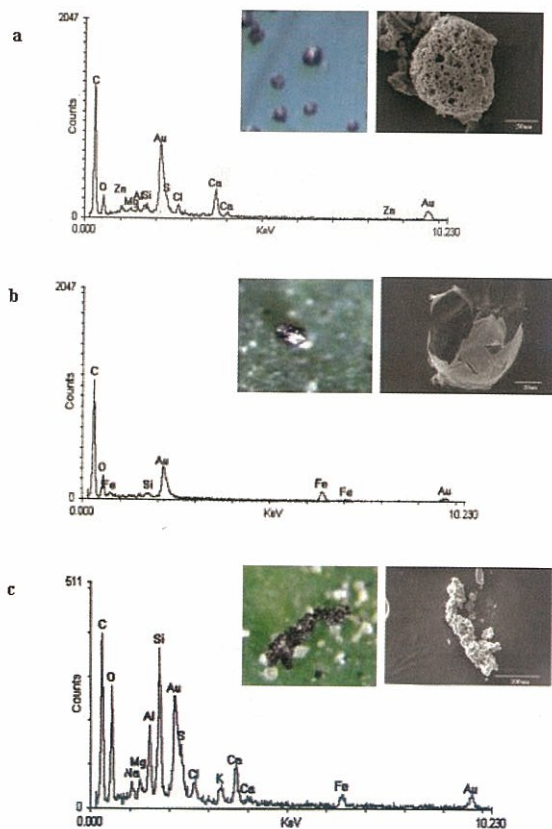
粒狀物之成分特性為固態空氣污染物之重要分類依據，採集工廠周邊及公路旁植物進行觀察發現，粒狀物容易聚集於葉脈附近及葉面凹陷處，植物葉表以塵土粉末、黑煙類及不規則屑塊為最常見之粒狀物，塵土粉末所佔比例為 60-75%，黑煙類及不規則屑塊佔 20-35%（見圖八），黑煙類及不規則屑塊皆為高溫燃燒後的產物，主要成分包括 C、Si 及 O 元素；除此外，植物葉表共通性粒狀物尚有生物性顆粒，如花粉、孢子、菌絲或昆蟲排泄物等，所佔比例不高。就形態及元素成分而言，黑煙類及不規則屑塊皆為高溫燃燒後的產物，不易分辨其來源，其餘不同性質之粒狀物則與鄰近工廠污染源有關，可利用 EDX 進行元素成分的比對分析，水泥廠附

近植體表面除黑煙類及塵土粉末外，其次為褐色粉末，主要成分含鈣，與水泥成分極近，水泥粒狀物落於葉面上，經連續之晨霧、細雨而硬化固結在葉面上（見圖一 a），成分顯示含有高量的 Ca 元素。石化工業區周邊植物的葉片表面除塵土顆粒外，可觀察到幾種類形的粒狀物，包括黑煙類及不規則黑色屑塊、圓球形及不規則形團粒，其中黑煙類及屑塊類粒狀物比例高；成分分析顯示 C 及 O 為該區域粒狀物主要的元素成分，白色圓球形粒狀物另有明顯 Ti 元素存在，紅色圓球則可測得 Pb、Cr（鉻）元素（圖九 a、b），而白色半透明不規則團粒之元素成分除 C、O 元素外並無 Si 或其他元素存在，推測此粒狀物並非土壤晶塊或燃燒過程所產生之物質，由於在植物葉片表面分佈普遍，可能是來自工廠之原料或成品碎屑（見圖九 c）。電鍍工廠及鋼鐵工廠周邊的植物葉面皆可觀察到金屬礫塊的粒狀物，但電鍍工廠之礫塊色彩較鮮紅，鋼鐵廠礫塊則略偏紅黃或黑褐色，成分分析顯示，鋼鐵廠礫塊之成分以 C、O、Si 及 Fe 元素為主，而電鍍工廠除上述元素之外，還包括 Cu、Ni 等金屬元素（見圖十 a、b）。噴漆工廠外之植物葉表附著藍色及橘色之彩色球體，成分分析顯示包含 C、O、Si、Fe 及 Ti 等元素（見圖十一 a）；不論火力發電廠、噴漆工廠或化學工廠周邊的植物表面，若觀察到藍色的粒狀物皆可測得 Ti 元素的存在，圖十一 b 為南投某綜合型工業區之路樹葉表面所觀察到藍色不規則團粒，經 EDX 分析顯示同樣也有 Ti 元素存在，而該樣品另含有 Ba（鋇）元素，Ba 元素之相關化合物廣泛的應用於色料、光學玻璃製造、化學業、陶瓷業及電鍍業，但於煙道樣品之粒狀物分析中並未測得 Ba 元素。

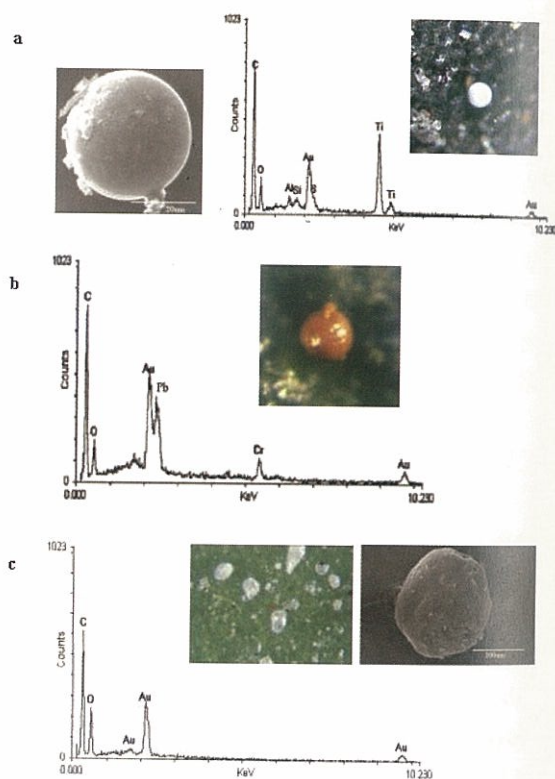
Coe 等（1987）⁽⁷⁾觀察葉表及樹木冠層之粒狀物，發現葉表越粗糙或靠近葉脈處越容易累積粒狀物，大部分粒狀物之粒徑大於 10 μm ，主要包括石化燃料燃燒所產



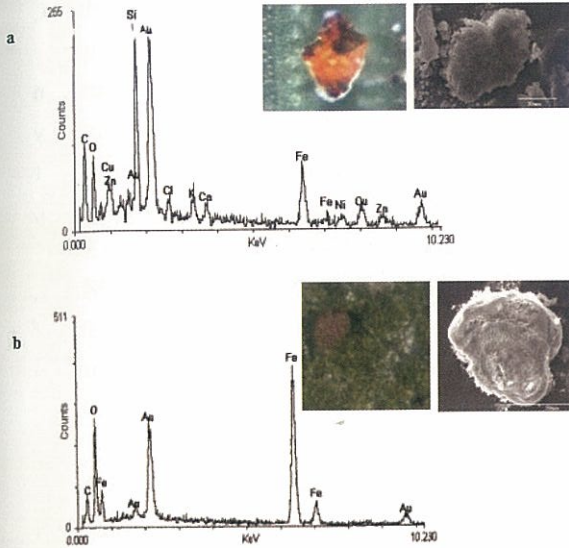
圖七、工廠煙道黑煙類及屑塊類粒狀物形態。 a.光學顯微鏡，b.電子顯微鏡。
 Fig. 7. Black smoke and fluffy ash from dust collectors of factories by (a) light microscope and (b) electron microscope.



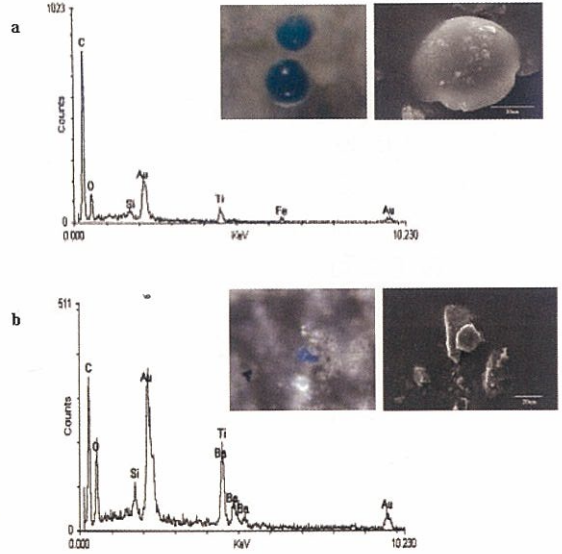
圖八、植物葉片表面黑煙及屑塊類之粒狀物。 a. 石化工業區周邊，b. 重要公路幹道旁，c. 塑化工廠周邊。
 Fig. 8. Black smoke and fluffy ash particles on leaf surfaces from different areas. a. petrochemical industrial estate, b. roadside of heavy traffic, c. plastics factory.



圖九、高雄石化工業區植物葉片表面之粒狀物。 a. 白色球狀物，b. 橘紅色球形團粒，c. 白色半透明粒狀物。
 Fig.9. The particles on the leaf surface around the petrochemical estate in Kaohsiung . a. white sphere cluster , b. orange sphere cluster, c. translucent irregular crystals.



圖十、工廠周邊植物葉表之金屬礫塊。 a. 電鍍工廠，b. 鋼鐵工廠。
Fig. 10. The metal gravel on leaf surfaces around (a) electroplating and (b) steel factory.



圖十一、南投地區噴漆工廠及工業區周邊植物葉表之藍色圓球及不規則團粒。a. 噴漆工廠，b. 工業區周邊。
Fig.11. The blue granule cluster on leaf surfaces around (a) painting factory and (b) industrial estate in Nantau.

生的球形飛灰及不規則狀塵土顆粒，與本研究之觀察相同。Freer-Smith 報告指出，都會區林地植物葉面可發現有機生物性顆粒，靠近公路處則聚集大量塵土、飛灰及鹽類⁽¹¹⁾，而 Liu 等 (1987)⁽¹⁴⁾之報告顯示路邊所收集之空氣污染微粒多為含 Si、Al 元素之不規則狀顆粒，應屬塵土類。

結 論

本研究利用光學顯微鏡觀察工廠煙道粒狀物之外觀形態，藉由大小、顏色、質感、表面結構的差異進行分類並估算不同形態粒狀物之含量比例，對於無法清楚辨識表面結構者，則進一步以電子顯微鏡觀察，並配合 EDX 分析其主要元素成分，建立不同類工廠煙道粒狀之形態及元素成分資料，在發生公害糾紛時可提供參考依據；由於植物表面之粒狀物種類會受周邊環境影響，葉表上

之特殊粒狀物與周邊工廠種類有關，尤其鋼鐵機械、電鍍業、水泥業、噴漆業等工廠之粒狀物，其形態較易辨識且有特殊的元素成分存在，藉由工廠周邊植物表面粒狀物之形態觀察及配合 EDX 的成分分析，可辨識粒狀物之來源。

謝 辭

本研究承行政院農業委員會 88 科技-1.6-糧-01(2)之經費補助，並蒙佳美環境科技股份有限公司提供不同工廠之煙囪煙道樣品，及農試所農化系提供土壤樣品，謹此一併致謝。

引用文獻

1. 李國欽、李貽華。1983。空氣污染危害植物之診斷。p.III-1-11. 臺灣植物保護

- 中心編印，台中。
2. 姚名輝、蔡金川、漆匡時。1998。粉塵對甘藷葉生理反應之影響。中華農業氣象 5: 105-122。
 3. 唐盛林、林國銓。1995。觀音工業區空氣微粒之觀測及初步鑑定。林業試驗所研究報告季刊 10: 185-193。
 4. 孫岩章。1992。植物表面燃油火力電廠黑煙微粒之顯微鏡鑑定與 X 光微量分析。植物病理學會會刊 1: 196-202。
 5. 陳佩伶、徐慈鴻、李貽華、蔣慕琰。2001。植物表面及不同來源之粒狀物形態觀察。植保會刊 43: 227-234。
 6. Alastuey, A., Querol, X., Chaves, A., Ruiz, C. R., Carratala, A., and Lopez-Soler, A. 1999. Bluk deposition in a rural area located around a large coal-fired power station, northeast Spain. Environ. Pollut. 106: 359-367.
 7. Coe, J. M., and Lindberg, S. E. 1987. The morphology and size distribution of atmospheric particles deposited on foliage and inert surfaces. JAPCA. 37: 237-243.
 8. Darley, E. F. 1966. Studies on the effect of cement-kiln dust on vegetation. J. Air Pollut. Contl. Asso. 16: 145-150.
 9. Farmer, A. M. 1993. The effects of dust on vegetation - a review. Environ. Pollut. 79: 63-75.
 10. Flanders, P. J. 1999. Identifying fly ash at a distance from fossil fuel power stations. Environ. Sci. Technol. 33: 528-532.
 11. Freer-Smith, P. H., Holloway, S., and Goodman, A. 1997. The uptake of particulates by an urban woodland: site description and particulate composition. Environ. Pollut. 95: 27-35.
 12. Hulett, L. D. 1980. Chemical species in fly ash from coal-burning power plants. Science. 210: 1356-1358.
 13. Lichtman, D. 1985. Scanning electron microscopy and energy-dispersive x-ray spectroscopy analysis of submicrometer coal fly ash particles. Environ. Sci. Technol. 19: 274-277.
 14. Liü, W. K., Tam, N. F. Y., Wong, M. H., and Cheng, Y. H. 1987. Cytotoxicity of airborne particles from roadside urban gardens. Sci. Total Environ. 59: 267-276.
 15. Michaud, D., Baril, M., and Perrault, G. 1993. Characterization of airborne dust from cast-iron foundaries by physico-chemical methods and multivariate statistical analysis. Air Waste. 43: 729-735.
 16. Querol, X., Alastuey, A., Lopez-soler, A., Mantilla, E., and Plana, F. 1996. Mineral composition of atmospheric particulates around a large coal-fired power station. Atmos. Environ. 30: 3557-3572.
 17. Rose, N. L. 1996. Inorganic fly-ash spheres as pollution tracers. Environ. Pollut. 91: 245-252.
 18. Shukla, J., Pandey, V., Singh, S. N., Yunus, M., Singh, N., and Ahmad, K. J. 1990. Effect of cement dust on the growth and yield of *Brassica campestris* L. Environ. Pollut. 66: 81-88.
 19. Singh, J., Agrawal, M., and Narayan, D. 1995. Changes in soil characteristics around coal-fired power plants. Environ. Intern. 21: 93-102.
 20. Stárková, O. B., and Blazek, J. 1989. Composition and morphology of stack emissions from coal and oil fuelled boilers. J. Radioanal. Nucl. Chem. 133: 377-390.

21. Xie, Y., and Hopk, P. K. 1994. Airborne particle classification with a combination of chemical composition and shape index utilizing and adaptive resonance artificial neural network. *Environ. Sci. Technol.* 28: 1921-1928.
22. Zhou, M. K., Okada, F., Qian, P., Wu, L., Su, B., Casareto, E., and Shimohara, T. 1996. Characteristics of dust-storm particles and their long-rang transport from China to Japan – case studies in April 1993. *Atmospheric Research.* 40: 19-31.
23. Zou, L. Y., and Hooper, M. A. 1997. Size-resolved airborne particles and their morphology in central Jakarta. *Atom. Environ.* 31: 1167-1172.