植物表面及不同來源之粒狀物形態觀察

陳佩伶　徐慈鴻　李貽華＊　蔣慕琰

台中縣　行政院農委會農業藥物毒物試驗所

(接受日期：中華民國 91 年 2 月 20 日)

摘　　要

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

本研究以光學顯微鏡觀察取自工廠煙道、交通廢氣、土壤及工廠周邊植物葉片上粒狀物之形態。工廠煙道之粒狀物以黑煙類最常見，來源包含食品、造紙、化學、橡膠、焚化、菸廠等，結構由圓球形至碎屑狀，其中黑色球體、網團及褐色空泡形態之物質為燃燒不完全所形成，係工業製造過程特有之產物；鋼鐵、鑄造及機械工業排放之粒狀物屬金屬礫塊，大多為稜角塊粒狀，呈黑色反光或表面粗糙之銹色礫塊，為金屬氧化物；部份焚化及化學工廠排放之粒狀物屬彩色團粒；營建類工廠排放之粒狀物多為塵土類，屬淡色粉末。傢具噴漆工廠、磚窯廠及發電廠周圍植物葉表，亦出現彩色團粒。汽機車排放之粒狀物多為鬆散棉團狀屑塊。常見土壤粒子為彩色之粉末或晶塊。植物葉表面之粒狀物以塵土類居多，其他粒狀物則與周邊工廠排放之粒狀物有關。

(關鍵詞：粒狀物、形態、空氣污染、煙道)

緒　　言

粒狀物之來源廣泛，包括燃燒、打碎、研磨、營建工程、交通運輸、自然之塵土及生物性顆粒等，複雜且多樣。經污染源排放後，因粒徑大小與重量而飛散至不同距離，飄浮於大氣期間，其物理及化學特性，可能受環境影響而改變，當造成污染事件時，往往因缺乏相關之基礎研究而無法得知其來源。因此，欲建立粒狀污染物之管理及防治策略，必先能夠辨識其差異及來源。粒狀污染物可依形狀、大小、顏色與表面質感、均質度及透明度等形態特徵加以分類，亦可利用其形成方式、來源及所含之元素作為分類的基礎[12]。

人為產生之固態污染物，主要來源包括工業製程、建築施工、交通工具排放廢氣及揚起之塵土。其顆粒大小，範圍廣泛；如煤

＊ 通訊作者。E-mail: yhl@tactri.gov.tw

灰包含 3-100 μm 之顆粒，水泥灰有 80-90% 小於 30 μm，街塵約在 3-100 μm，電廠排放之飛灰集中於 1-400 μm[7]。若依顆粒直徑可區分為；小於 2.5 μm 之細顆粒（fine particle），常為燃燒及蒸氣凝結所產生；大於 2.5 而小於 10 μm 之粗顆粒（coarse particle），為機械研磨產生。粒徑在 10 μm 以下稱為浮游塵或懸浮微粒，粒徑大於 10 μm 能因重力作用而落下者為落塵[20]。除了以粒徑大小歸類之外，若利用形態區分，則燃燒過程常產生球形及不規則狀黑煙；一般自然之塵土則多為晶狀的聚合體；燃油及燃煤之火力發電廠分別排放出表面多孔狀及圓球狀黑煙[9, 14]。粒狀物懸浮在大氣中不僅影響空氣品質，降低能見度，也容易引起人類呼吸器官疾病，並干擾作物之生長，減少產量[9, 13]。利用砂土、矽土、黏土及碳粉處理甘藷葉片，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，而碳粉與黏土粒徑相近，但碳粉造成的遮蔽、提高葉溫和降低光合作用的影響顯著[1]。燃煤之火力發電廠附近農地，土壤長期受沈降物干擾，硫酸根、銨及鈣離子濃度比其他地區，相對較高，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[5, 15]。藉由污染微粒形態觀察以分辨污染物來源，是最經濟、直接及快速之公害鑑定方法。本研究之目的，係利用顯微鏡，觀察不同來源之粒狀物形態，比較粒狀物之形態特徵，期於農作物受污染危害時，提供粒狀物基本資料供鑑定比對之用。

材料與方法

樣品來源

為建立不同來源之粒狀物形態資料，分別取不同來源之粒狀物進行形態觀察，觀察之粒狀物主要包括單一來源（煙道樣品、交通廢氣及土壤等三類）及工廠周邊植物葉片，分別如下：

煙道樣品：

由環境工程公司自不同工廠之煙囪煙道或廠房，採集後提供分析。共取 58 件樣品，分別來自食品（foodstuff）9 件、造紙（papermaking）6 件、化學（chemicals）9 件、橡膠（rubber）2 件、鋼鐵（steel factory）17 件、焚化（incinerate）7 件、建材業（building materials industry）5 件與特殊的菸廠（tobacco manufacture）、電子業（electronic machinery）及煉油廠（petroleum）等。

交通廢氣

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 無鉛汽油等共 6 件，以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，收集由農試所提供之台灣地區具代表性之土壤表土樣品 18 件，包括平鎮、新屋、新屋後湖、富岡及關山紅壤 5 件，蘆竹紅黃壤 1 件，觀音風積土 1 件，溪洲、大城、二林、芳苑、里港及台南沖積土 6 件，富里、芝田及東河黑色土 3 件，高雄泥岩 1 件。

工廠周邊植物葉片

採取磚窯廠（brickyard）、水泥場（cement industry）、石灰場（lime industry）、儲煤場（coal yard）、家具噴漆（paint factory）、機械工廠（machinery）等獨立廠房及燃油火力發電廠（power plant）周圍植物葉片上之粒狀物進行觀察。

樣品觀察

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 倍觀察並記錄粒狀物之形態特徵。一部份固定於載

物台上，經金離子覆膜後，於掃描式電子顯微鏡（Cambridge stereoscan 360）觀察。

結果與討論

不同來源之粒狀物

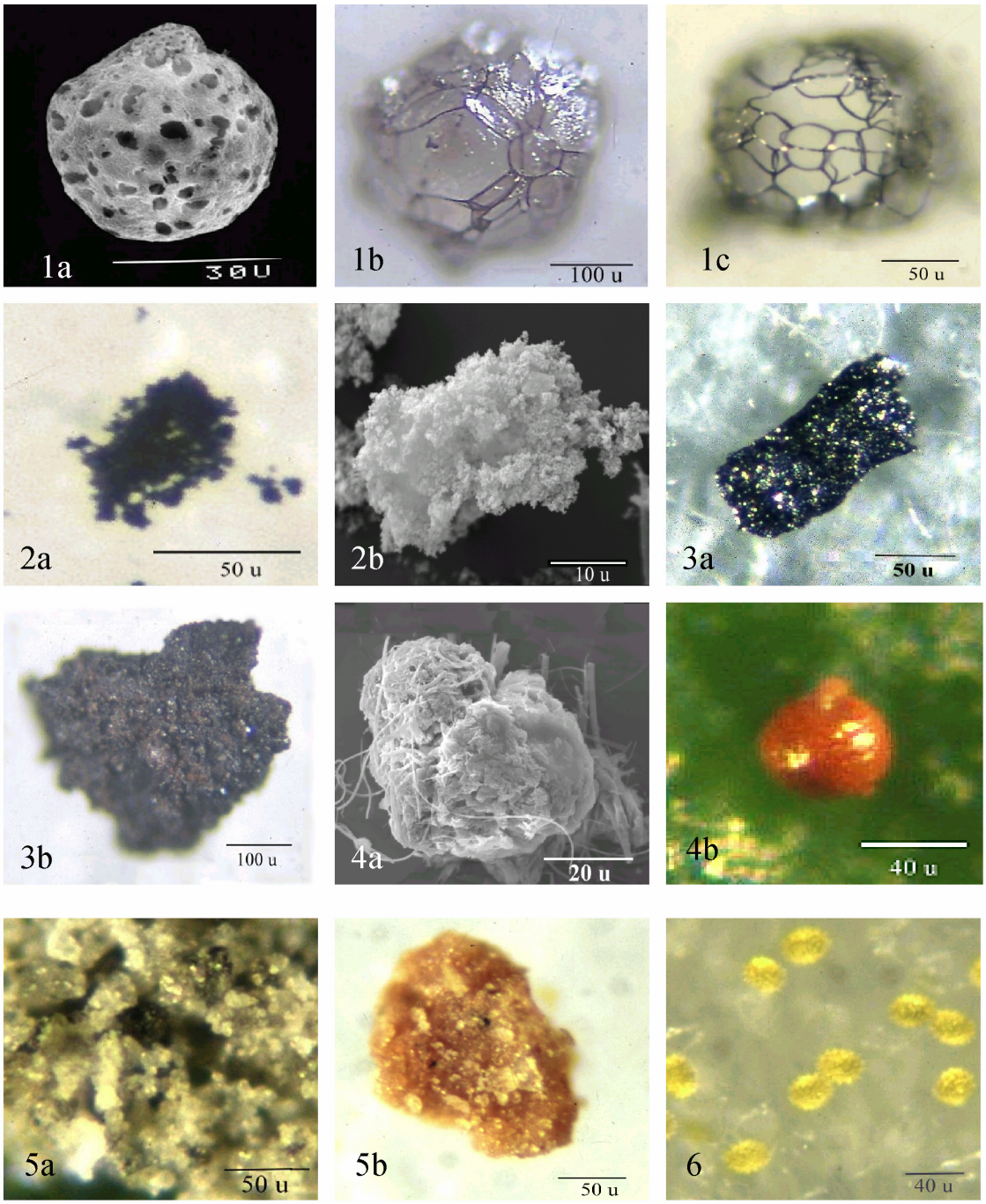
粒狀物經污染源排放後，受外界環境其他因素及物質的干擾，形態及特性發生變化，故嘗試以工廠煙道、汽機車直接排放與獨立之工廠等，來源較單純之粒狀物為觀察樣品，並收集不同類型土壤，了解人為粒狀污染物及一般塵土之形態特性。由觀察得知，工廠煙囪煙道內之粒狀物，主要為燃燒所排放之黑煙，其次則依工廠種類不同而排放不同形態之粒狀；引擎廢氣為不規則碎屑；工廠週邊植物葉片上之顆粒，則依工廠性質而不同，土壤顆粒為彩色塊狀體。綜合不同樣品來源，依粒狀物之形態特性（包括：形狀、顏色、表面結構等歸為五類：

一、黑煙類（black smoke）：主要為黑色顆粒狀，依表面結構可分：(一)黑色多孔球體，表面如蜂窩狀之圓球（圖一 1a），大小範圍 3-100 μm，是煙道樣品中最常出現之粒狀物。(二)褐色球狀空泡，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（圖一 1b），大小包括 20-300 μm。(三)黑色網狀絲團，由黑色絲狀骨架連結而成網狀（圖一 1c），分布於 50-170 μm。此類粒狀物來自高溫燃燒的過程，為燃料不完全燃燒所剩之物質[3, 11]，顆粒大小及表面結構依鍋爐與燃料種類而有差異，如燃油電廠鍋爐產生蜂窩狀球體，平均大小約 15-82 μm；燃煤電廠鍋爐之粒狀物則為表面平滑圓球，大小約 1-30 μm[12, 17]；火力發電廠週邊採集之樣品，觀察結果則屬此類，為蜂窩球狀體，與其以燃油為主要原料之特性相符。由工廠煙道中所收集之樣品得知，黑煙類出現於食品、造紙、化學、橡膠、焚化等多數工廠（表一），主要與工廠產生能源大都以鍋爐燃燒燃料加熱有關。

二、不規則屑塊（fluffy ash）：不規則屑塊為無光澤之鬆散黑塊（圖一 2a），屑塊來源包括：食品、造紙、化學及焚化類工廠煙道，多數粒徑小於 50 μm，為黑煙類崩解後所產生的屑塊，或因燃料性質及燃燒過程不同而形成。汽機車引擎所排放之鬆散黑塊亦屬此類，不論使用之油料為何（92、95 或無鉛汽油），所排放之粒狀物其形態皆相似（圖一 2b），顆粒小於 150 μm，極易崩解為更細小之屑塊。Zou 及 Hooper[19]之研究指出，引擎排放粒狀物為棉絮狀鬆散微粒，與本研究相同；並發現路邊植物葉表面上常見之顆粒即屬此類，直徑大多小於 10 μm，經分析含大量鉛元素。

三、金屬礫塊（metal gravel）：金屬礫塊為多稜角而表面粗糙之塊狀體，顏色包括有：黑色、橘黃色與紅棕色等，此類粒狀物其顆粒較大，大小範圍分布於 20-250 μm 間。依其表面結構與顏色可將礫塊分為兩類：一為具光澤之黑色粒狀物（圖一 3a）；另一種為橘黃色鬆塊，可能為氧化之鐵銹（圖一 3b）。此類之粒狀物來自鋼鐵廠、鑄造廠煙道。在機械工廠週邊所採植物樣品之葉表面亦發現此種粒狀物。

四、彩色團粒（color granule cluster）：顯微鏡下觀察為表面具光澤，色彩鮮豔之粒狀物，不規則狀之彩色團粒被發現於化學類工廠，因來源不同，在顏色上有許多差異，如暗綠色及橘黃色（圖一 4a）等。另於電廠周圍發現乳白色、藍色及橘紅色等球形顆粒（圖一 4b），這些團粒可能因具有硫、鐵、鎳、釩等元素成份，而具不同色澤[6]。家具工廠排出之顆粒，為細小白色球體。磚窯場之土粒，包括半透明、橘色與較具特色之暗紅色光澤團粒。



圖一、 不同來源粒狀物形態。黑煙類；1a：黑色多孔球體，1b：褐色空泡，1c：黑色網團。不規則屑塊；2a、2b： 黑色鬆散屑塊。金屬礫塊；3a、3b：黑褐色鐵屑。彩色團粒；4a：綠色團粒，4b：紅色球團。粉末及晶塊；5a：水泥粉末，5b：土壤顆粒。6：花粉粒。

Fig. 1. Morphology of particulates. 1a: porous sphere , 1b: brown vacuole, 1c: black net. 2a, 2b: irregular particulate. 3a, 3b: metal gravel. 4a, 4b color granule. 5a , 5b: powder and quartz. 6: pollen grains.

五、粉末及晶塊（powder）：此類粒狀物常為淡色半透明或透明晶體（圖一 5a、5b），其中粒徑較小之粉末，以光學顯微鏡，難以辨識其表面結構，大於 10 μm 之顆粒，顏色包括：橘紅色、白色、褐色及黑色等，其上附著許多更細小的顆粒。此類粒狀物之來源包括石灰廠、混凝土、營造業、機械、煉油與一般土壤顆粒等。

粒狀污染物的分類方式，除了以形態特徵為主要依據之外，Xie 與 Hopke[18] 利用顆粒大小、來源與所含成分作為區分的基礎，將空氣中之微粒分為八類。Querol 等[10]研究燃煤電廠周圍大氣中顆粒成份，將飛灰歸類為燃燒後再結晶顆粒、煤炭與凝結顆粒。唐等[2]觀察工業區中植物葉片上之微粒，將粒狀物分為黑煙類、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，塵土類是工業區中最主要的粒狀污染物，來自工廠興建施工、土壤飛揚及海濱飛砂。Freer-Smith 之

表一、植物表面及不同來源之粒狀物形態分類
Table 1. Classification of particulates from different source

Groups	Shape	Color	Size (μm)	Sources			
				Stack	leaf surface	Diesel	Soil
black smoke	sphere	black	3-100	foodstuff, paper making, chemicals, rubber, incinerate, tobacco manufacture	power plant		
	membrane	brown	20-300	foodstuff, paper making, chemicals, rubber, incinerate, tobacco manufacture			
	net cluster	black	50-170	foodstuff, paper making, chemicals, rubber, incinerate, tobacco manufacture			
fluffy ash	irregular	black	≤ 50	foodstuff, paper making, chemicals, rubber, incinerate, tobacco manufacture, electronic machinery	power plant, coal yard		
	cotton	black	≤ 150	foodstuff		diesel vehicle	
metal gravel	irregular	black	20-250	steel factory, machinery	machinery		
		orange	20-250	steel factory, machinery	machinery		
color granule cluster	sphere	color	5-50		paint factory, power plant		
	irregular	color	≥ 10	chemicals, incinerate,	brickyard		
powder	irregular	color	≥ 3	building material, machinery, petroleum	lime, cement industry		soil

研究指出[8]，都會區林地植物葉片上，多為有機生物性顆粒，如花粉、孢子及種子，惟位於公路下風處，可發現無機顆粒數量大於有機顆粒，包括大量土塵及含鐵之煤灰。

工廠周邊植物葉表面

收集植物葉片上之粒狀物，為觀察粒狀物特性常用之方法[8]；經觀察，工廠周圍植物葉片上之顆粒大多小於 50 μm，主要因植物葉片上大於 44 μm 者易被風吹落，小於 44 μm 則可被植物留滯，葉面有黏液樹脂或絨毛構造之葉片，更易累積較多粒狀物[16]。電廠周圍植物葉片附著孔狀球形黑煙，與電廠以燃油為主要原料之特性相符，此外亦包括彩色團粒、屑塊及粉末，種類較複雜；儲煤廠四周之植物葉表可見許多黑色屑塊；鄰近機械工廠之植物葉表面發現具金屬光澤之礫塊；磚窯廠外之植物葉表，可發現磚紅色團粒；傢具噴漆工廠外之植株表面密佈白色球形團粒；水泥廠及石灰廠附近植物葉片上主要聚集粉末狀顆粒；葉表面之粒狀物經比對則與植物生長所在地鄰近之污染源所生產之產品具相關性（表一）。除了人為產生之顆粒，植物葉表亦可觀察到自然產生的粒狀物，如花粉、孢子等生物性微粒，而這些微粒常具有特殊的突起或紋路，易以顯微鏡觀察判斷[4]（圖一 6）。

本研究以工廠煙道、汽機車直接排放物以及土壤顆粒等來源較單純之粒狀物進行觀察，建立不同污染源粒狀物形態基本資料。食品、造紙、橡膠、焚化、菸廠等類工廠煙道及發電廠周圍，所排放之粒狀物以黑煙居多；汽機車排放之固態顆粒，亦屬黑煙類；鑄造、鋼鐵及機械工廠所排放之粒狀物為金屬類；瀝青、石灰、水泥與磚窯廠等製造業之顆粒屬塵土類；惟焚化場排放之粒狀物，大部分以黑煙碳類為主，其他粒狀物則變化較大，主要與焚化物種類有關；化學工廠煙道和電廠附近有色彩鮮豔之團粒。於獨立之工廠周邊進行採植物葉片觀察，葉表面之粒狀物經比對，多數為塵土，其粒狀物則與植物生長所在地鄰近工廠排放之污染源具關聯性。

利用光學顯微鏡觀察粒狀物之外表形態，初步可了解顏色及形狀的差異，建立常見工廠排放之粒狀物基本資料檔，協助公害鑑定及污染源追查。惟因放大倍率與解析度不足，進一步以掃描式電子顯微鏡觀察，加強辨識微粒之表面結構，再以 X 光微量分析儀分析其主要組成元素，三者相互配合，建立更完整之粒狀物資料檔，提升鑑別粒狀物來源之準確性，並可藉其大小及主要成份來評估對作物及環境之影響。

謝　辭

本研究承行政院農業委員會 87 科技-1.6-糧-14（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. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 黃增泉、陳淑華、陳世輝、郭長生、張惠珠、鄒稚華。1998 。台灣空中孢粉誌。國立台灣大學植物學研究所。台北。246 頁
5. 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.

6. Cheng, R. J., Mohnen, V. A., Shen, T. T., Current, M., and Hudson, J. B. 1976. Characterization of particulates from power plant. J. Air Pollut. Contl. Asso. 26: 787-790
7. Farmer, A. M. 1993. The effects of dust on vegetation - a review. Environ. Pollut. 79: 63-75.
8. 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.
9. Liu, W. K., Tam, N. F. Y., Wong, M. H., and Cheung, Y. H. 1987. Cytotoxicity of airborne particles form roadside urban gardens. Sci. Total Environ. 59: 267-276.
10. 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.
11. Rose, N. L. 1996. Inorganic fly-ash spheres as pollution tracers. Environ. Pollut. 91: 245-252.
12. Rose, N. L., Alliksaar, T., Bowman, J. J., Boyle, J., Coles, B., Fott, J., Harlock, S., Juggins, S., Punning, J-M., Clair-Gribble, K. ST., Vukic, J., and Watt, J. 1998. The flame research project: introduction and methods. Water air and soil pollut. 106: 205-218.
13. Schure, M. R., Soltys, P. A., Natusch, D. F. S., and Mauney, T. 1985. Surface area and porosity of coal fly ash. Environ. Sci. Technol. 19: 82-86.
14. 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.
15. Singh, J., agrawal, M., and Narayan, D. 1995. Changes in soil characteristics around coal-fired power plants. Environ. Intern. 21: 93-102.
16. Smith, K. E. C., and Jones, K. C. 2000. Particles and vegetation : implications for the transfer of particle-bound organic contaminants to vegetation. Sci. Total Environ. 246: 207-236.
17. 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.
18. 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.
19. Zou, L. Y., and Hooper, M. A. 1997. Size-resolved airborne particles and their morphology in central Jakarta. Atom. Environ. 31: 1167-1172.
20. Quality of Urban Air Review Group. 1996. Properties of airborne particulate material. *In:* Airborne particulate matter in the United Kingdom. 3rd. pp.7-16.

ABSTRACT

Chen, P. L., Shyu, T. H., Lee, Y. H.*, and Chiang, M. Y. 2001. Observation of particulates from different source and deposited on vegetation surface. Plant Prot. Bull. 43: 227-234.(Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung, Taiwan 413, ROC)

The particulates from stack of different kinds of factory, vegetation surface, diesel vehicle exhaust and soil were observed by light and scanning electron microscope. The particulates were categorized 5 groups：black smoke, fluffy ash, metal gravel, color granule cluster and powder. Black smoke is observed more frequently in this study. The sources of black smoke include the factory of foodstuff, papermaking, chemicals, rubber, incinerate and tobacco manufacture. Black smoke released from fuel combustion. Metal gravel is the major particulates from stack of steel factories and machinery. Metal gravel is black or brown. Particulates from chemical factory or incinerate are colored granule cluster. The particulates on the surface of vegetation near furniture spray paint factory or brickyard are colored granule cluster. The particulates emitted from factories that associated with production of construct are light color powder. The particles from diesel vehicle exhaust are fluffy structure. Soil dust is color powder or crystal. Soil dust is the major particulates on the surface of vegetation, and the others are depended on the factory near the vegetation. The morphology of particulate from different source can be used as an important reference for identification of pollution sources.

(Key word: particulates, morphology, air pollution, stack)

*Corresponding author. E-mail: yhl@tactri.gov.tw