

粒狀污染物與農作物

陳佩伶、徐慈鴻、李貽華

前 言

隨著工業化發展，人類從事各項生產活動，對自然資源的開發及消耗速度遽增，使用大量的石化燃料，燃燒過程產生氮氧化物、硫氧化物、煙塵及各種有毒的揮發性氣體，這些物質被排放於大氣中，遠超過大氣的自淨能力，長期累積的結果，使污染物濃度不斷增高，空氣品質惡化。酸雨、光煙霧等空氣污染事件不僅影響生存環境、作物生長，亦直接危害人類健康，引發呼吸道疾病、過敏症等。

空氣污染物依發生形態可分為氣態及固態污染物，依排放情形可分為一次污染物 primary pollutants (由污染源直接排出，例如二氧化硫、二氧化氮、氟化物及有機污染物等) 或二次污染物 secondary pollutants (一次污染物在大氣中反應而形成，例如臭氧、過氧硝酸乙醯酯或硫酸根粒子)。大氣中之粒狀物質 (Particulate Matter) 依其來源亦可分為一次 (primary) [通常由機械加工或燃燒所產生] 或二次 (secondary) [存在大氣中主要經由光化反應而來，如硫酸根、硝酸根等]；依其狀態亦可分乾或溼性；依產生方式可分自然產生 [例：花粉、孢子、鹽沫及土壤顆粒 (soil erosion)] 或人類活動所產生 [例：油煙 (soot)、飛灰及水泥灰]，其大小範圍很廣。

一般說來，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。固態污染物之主要來源包括工業製程、工業燃燒燃料、交通廢氣、土木工程所產生之粒狀物、風揚起之塵土及自然產生的生物性微粒，這些微粒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，干擾動植物之生長，長期沉積對環境所造成之影響，是值得重視的問題⁽¹²⁾。

行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所技術專刊第 108 號。

粒狀污染物之主要來源

粒狀污染物包含種類極多，在名詞及定義亦有所不同⁽⁷⁾，將常見之粒狀物之中英名對照及說明列於表一。空氣中之固態微粒來源可分為自然產生與人為產生兩大類，自然產生者包括：火山爆發噴出的火山灰、森林大火產生的煙霧、外太空隕石飛入大氣產生宇宙塵、鹽沫、土壤顆粒 (soil erosion) 以及生物性微粒，如：細菌、花粉、孢子、昆蟲等。人為產生者則以工業製造過程、燃燒燃料及交通排放為主要來源，如煙囪、煙道的飛灰、金屬冶煉之煙塵及交通排放之黑煙等。

土塵、孢子等屬自然生成的微粒，經常性的存於大氣中，濃度隨地區與季節而變動，北半球大氣中每年約有 1 億 5 千萬噸的土塵由地表揚起，若加上沙漠地區則增為兩倍；生物性的顆粒，如花粉，則在春季大量出現；但在人口聚集的地區，如工業區、都會區甚至鄉村地區，由於人類大量的工商業活動，因此這些地區大氣中，自然生成的微粒所佔的比例則較低，一般的情況下常被省略不計，大多數的粒狀物為具污染性的粒子。根據英國都會空氣品質觀察小組報告⁽¹⁶⁾指出，都會區粒狀污染物的來源，以交通運輸所佔比例最大，為 25%，包括汽車、飛機、火車或船舶等交通工具排放的廢氣，其成分主要為碳氫化合物、氮氧化物、鉛的化合物等，因交通工具具有移動的特性，又稱為移動污染源。其次為土木工程造成的污染，包括水泥、砂石等，佔 24%，再次者為工業污染源，如：工廠使用燃料產生的煙灰及生產過程所形成的粉塵，約佔 17%，特別是火力發電廠、鋼鐵廠等燃燒煤礦時，常伴隨產生大量硫化物。比例較少者為供應一般生活需要所產生的生活污染源，如燃燒樹木以及電力設施也分別佔 16% 及 15%，由於工業污染源及生活污染源不具移動特性，因此也稱為固定污染源。這些污染源所排放的污染物受到地形及氣候的影響，具有區域性並且呈現梯度分布的現象，經一段時間混合後，在大氣中會發生化學變化而改變其形態及組成。如飛灰、一氧化氮、二氧化硫等一次污染物與大氣中的物質經化學或光化反應等作用，形成二次污染物，如臭氧、煙塵、酸雨等，這些細小的固態顆粒及液滴組成的懸浮微粒，通稱為氣膠 (aerosol)。

比較台灣地區之工業區、都會區、工業與都會混合區、農業區及山區之落塵量，以混合區之落塵量最高，其次為都會區及工業區。分析落塵之成分顯示，陰離子以氯離子、硝酸根及硫酸根離子含量高，陽離子以鈉、鈣及銨離子含量高；脂溶性成分(正己烷抽出)以工業區及混合區較其他區為高⁽²⁾。

粒狀污染物之特性與觀察

粒狀物的來源廣泛，粒徑大小可由 0.1 微米到數百微米，其性狀觀察除肉眼外，尚可藉由儀器輔助觀察，光學顯微鏡可看到 1 至 2 微米以上的顆粒，當顆粒更小時，無法於光學顯微鏡下清楚辨識，則需藉由電子顯微鏡觀察。不同來源的粒狀物，可依其形狀、大小、顏色、表面質感、均質度、透明度與折射等物理特性辨識，並可偵測其化學成分以輔助鑑定分析。目前一般污染微粒的鑑定，多利用光學顯微鏡、掃描式電子顯微鏡觀察，再配合能量分散型 X 光微量分析儀 (EDX ; Energy-dispersive X-ray microanalyzer) 分析其化學成分輔助辨認⁽⁵⁾，可進一步確定其污染來源。

粒狀物依顆粒大小可分為三個範圍；(1) 細微粒 (fine particle)，粒徑範圍小於 2.5 微米，在此範圍內的微粒包括黏土、細菌、煙煙 (fume) 等。(2) 粗微粒 (coarse particle)，顆粒大小介於 2.5 到 10 微米之間，如泥土。(3) 顆粒大於 10 微米，如花粉、砂粒及水泥灰等。不同來源的粒狀物，彼此在外表形態上有明顯的差異。汽機車排放的黑煙多為不規則狀的碳屑 (圖 1.)，火力發電廠排放之微粒則依燃料而不同，燃油之火力發電廠所產生的飛灰為表面粗糙、多孔如蜂窩狀的黑圓球體，而燃煤之火力發電廠的飛灰則為表面光滑的球體，且大部分的體積小於燃油產生者^(9, 13, 15, 18)。台灣北部一燃油之火力發電廠所排放的黑煙微粒，亦發現一些反光球形粒子和蜂窩狀顆粒⁽⁴⁾；食品工廠煙道排放之粒狀物為球形黑煙 (圖 2.)。但另有報告指出，工業用的煤塊常因含大量的無機物，燃燒不完全時，煤屑與揮發性物質形成多孔的球體，甚至出現如膠囊般的構造，而多孔球體內含有許多體積更小的球狀物，由於其結構特殊，因此被認為可以當作追蹤污染來源的指標⁽¹⁷⁾。

除利用形態性狀觀察推測粒狀物來源外，藉由化學成分分析，可進一步了解粒狀物污染物的組成，作為判斷其來源的依據⁽¹⁰⁾；如工業燃煤所產生的飛灰含大量鐵元素，若為交通工具所產生的顆粒則可測出鉛元素⁽²²⁾；燃油之火力發電廠所排放的黑煙中，被發現主要含矽及鋁兩種元素⁽⁴⁾；而生物性微粒如花粉及孢子，鉀含量甚高。鋼鐵工廠排放之粒狀物呈礫塊狀，可測得豐富之鐵元素 (圖 3.)。

粒狀污染物對農作物之影響

大氣中的懸浮粒狀物，受重力作用而沉降，對農作物及綠地造成衝擊，覆蓋在植株上，對植物之影響包括阻塞氣孔，降低蒸散作用及

氣體交換等；若是落於葉面則干擾光合作用、影響新芽發育；若落於花的雌蕊柱頭上則影響受粉，減少產量；長期落在地表上，會改變土壤性質間接影響作物生長；若固態污染物含重金屬，長期累積會造成毒害，影響食用安全；落於觀賞花卉，則使品質降低。水泥灰、黑煙及塵土為台灣地區最常見的的落塵⁽³⁾，塵土、黑色屑塊及黑色球體為植物表面最常見之落塵。

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，甚至因磨擦葉面而破壞上層表皮結構，進而損害柵狀細胞與海綿細胞，使葉面出現褐斑甚至壞疽⁽¹¹⁾。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；且碳粉造成的遮蔽，提高葉溫和降低光合作用的影響顯著⁽¹⁾。使用碳粉、碳酸鈣與氧化鋁皆會增加石松的蒸散作用，碳粉會造成生長遲緩⁽¹²⁾。有時粒狀物沉降於葉面，對植物葉片並未造成明顯的損傷，但作物生長明顯受阻，如油菜長期以水泥灰噴灑並不會對葉面造成傷害，但植株平均高度較對照組矮約 15 公分、葉面積約減少 20%，產量也明顯降低⁽¹⁹⁾。粒狀物除附著於葉面外，也可能進入葉片內，一般禾本科作物的氣孔直徑約 8~12 微米，因此顆粒小於 10 微米的粒狀物容易進入氣孔內，阻塞氣孔而影響氣體交換。在都市與城鎮地區，交通運輸所產生的顆粒大小約在 1~10 微米左右，因此路邊行道樹也常受粒狀物污染影響，當葉面上含 10 克/平方公尺的落塵時，光合作用降低 17%，葉片氣孔擴散能力也降低 42%⁽²¹⁾。此外，在美國也曾發生落塵阻塞櫻桃雌蕊柱頭，使花粉無法附著受粉，而影響果實發育，造成產量之損失⁽¹¹⁾。粒狀污染物除了干擾作物生長，亦影響作物的品質，如發生於台北縣萬里鄉白色海芋及蔬菜，遭受其東方十公里外一座燃油的火力發電廠所排放的黑煙污染，在生長上並未明顯受阻，但在品質上則大受影響，白色花苞上附著黑色斑點，影響美觀而失去商品價值⁽⁴⁾。

台灣地區於冬末春初之際，經常在作物、車身或建築物表面發現許多黃褐色斑點，大小約 0.3~0.5 公分(圖 4.)，呈圓點狀或長條狀，顏色由黃色、褐色至咖啡色，分布密度之高低受風向影響具有方向性，密集分布的範圍多在一兩公里內，為局部現象；以顯微鏡觀察斑點內外部情形，斑點表面具有油蠟狀的光澤，切開後，內部為黃色的細小粉粒，進一步用放大 400 倍的光學顯微鏡觀察，發現黃色粉粒主要為植物之花粉，有些結構如流星錘般具有星芒狀的突起，有些則像咖啡豆般呈橄欖球狀且有凹痕(圖 5.)，與油菜花上的花粉比對結果，不論大小和形狀均與褐色斑塊內的橄欖球狀花粉相似。二期稻作收割後，農民種植油菜作為綠

肥，當油菜花盛開時，即成為蜜蜂的重要蜜源植物，養蜂農友將蜂箱移至定點，讓蜜蜂採食花蜜及花粉，此時若蜜蜂感染病菌，則可能因下痢而造成花粉團污染附近環境，此屬生物性粒狀物污染。

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、銨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^(8,20)。水泥灰含大量氧化鈣，沉降於土壤後形成氫氧化鈣，使土壤逐漸鹼化，pH 值可由 7.7 增加至 8.2，鹼化的結果影響植株根部對離子的吸收而造成不良影響，嗜酸性的植物如杜鵑，在水泥工廠附近即有生長不良的現象發生⁽⁶⁾。惟粒狀污染物並非全然有害，報告指出，將燃煤之火力發電廠所採得的飛灰，以 40% 比例混入土壤中培養，可使番茄的產值提高 30%，因此認為煤灰具有促進作物生長的潛力⁽¹⁴⁾。

結 語

隨著資源大量開發、工礦業發展迅速以及都市化因素，導致大氣中的污染物快速且大量的增加，破壞自然環境，並造成經濟損失，然而粒狀污染物對人體健康及農作物的影響多為非急性傷害，往往較易被忽視，但在長期的累積下，已明顯造成損害，除引發人類呼吸道疾病外，作物產量下降、品質劣化等亦逐漸凸顯出，欲解決粒狀污染物潛在之影響，則必須了解有關粒狀污染物的來源、形態、模式及影響，粒狀污染物可利用光學顯微鏡及電子顯微鏡進行形態觀察，並以 EDX 偵測化學組成以輔助鑑定分析，故建立不同來源之各類粒狀污染物之形態照片資料與特殊成分資料，可作為發生公害事件時鑑定、比對之用；並可由粒狀污染物之形態種類歸類鑑定其污染來源，以建立正確的防治污染策略。

參 考 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. 范基南, 江美琦. 1996. 落塵對作物之影響. "農作物損害鑑定及監測技術研究" 計畫成果 32-38.
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. 植物表面燃由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. 孫岩章. 1994. 台灣西北沿海地區水稻及林木枯萎原因之研究 IV. 大氣中鹽沫微粒之顯微鏡鑑定與化學鑑定. 植物保護學會會刊 36: 301-312.
6. 陳德鈞, 季延安, 林肇信. 1993. 大氣污染化學. 科技圖書股份有限公司. pp.45-50.

7. 環境保護辭典。1997。中華民國環境工程學會。
8. Alastuey, A., X. Querol, A. Chaves, C. R. Ruiz, A. Carratala and A. Lopez -Soler. 1999. Bulk deposition in a rural area located around a large coal -fired power station, northeast Spain. *Environ. Pollut.* 106:359 -367.
9. Cheng, R. J., V. A. Mohnen, T.T. Shen, M. Current and J. B. Hudson. 1976. Characterization of particulates from power plant. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 26:787-790.
10. Cunningham, E. A., W. Jablonski and J. J. Todd. 1996. Electron microscopy studies of silica fume emissions from a silicon smelter in southern Tasmania, Australia. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 57:1024 -1034.
11. Darley, E. F. 1966. Studies on the effect of cement -kiln dust on vegetation. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 16:145 -150.
12. Farmer, A.M. 1993. The effects of dust on vegetation - a review. *Environ. Pollut.* 79:63-75.
13. Kaufherr, N., and D. Lichtman. 1984. Comparison of micron and submicron fly ash particles using scanning electron microscopy and X -ray elemental analysis. *Environ. Sci. Technol.* 18:544 -547.
14. Khan, M. R., and M. W. Khan. 1996. The effect of fly ash on plant growth and yield of tomato. *Environ. Pollut.* 92:105 -111.
15. 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.
16. Quality of Urban Air Review Group. 1996. Airborne particulate matter in the United Kingdom.
17. Rose, N. L. 1996. Inorganic fly -ash spheres as pollution tracers. *Environ. Pollut.* 91:245-252.
18. Schure, M. R., P. A. Soltys, D. F. S. Natusch and T. Mauney. 1985. Surface area and porosity of coal fly ash. *Environ. Sci. Technol.* 19:82 -86.
19. Shukla, J., V. Pandey, S. N. Singh, M. Yunus, N. Singh and K. J. Ahmad. 1990. Effect of cement dust on the growth and yield of *Brassica campestris* L. *Environ. Pollut.* 66:81-88.
20. Singh, J., M. Agrawal and D. Narayan. 1995. Changes in soil characteristics around coal -fired power plants. *Environ. Intern.* 21:93 -102.
21. Thompson, J. R., P. W. Muller, W. Flückiger and A. J. Rutter. 1984. The effect of dust on photosynthesis and its significance for roadside plants. *Environ. Pollut.* 34:171-190.
22. Zou, L. Y., and M. A. Hooper. 1997. Size -resolved airborne particles and their morphology in central Jakarta. *Atom. Environ.* 31:1167 -1172.

表 1. 常見之粒狀物中英名對照及說明

英文名詞	中文名詞*	說 明
Aerosol	氣膠、氣溶膠	具有超微小的液體或固體粒子之氣體懸浮體；又分：分散氣膠 (dispersion aerosol) 及凝結氣膠 (condensation aerosol)。
Dust (dust fall)	落塵、粉塵、工業煙塵、塵埃、灰塵	粒徑在 10 μ m 以上，在空氣中能因重力作用逐漸落下之顆粒。通常由於體積較大的物質受物理粉碎而成，，因顆粒大對人體健康之影響較小。
Fly ash	飛灰	鍋爐或為焚化設施排氣中之固體微小粒子，主要成份為不能燃燒之矽鋁氧化物。
Fog	霧	空氣中懸浮的液體小滴。
Fume	煙、金屬煙、煙霧	自氣相狀態凝結的固體粒子，通常自熔煉物質揮發後經化學(如：氧化)反應而形成，如鋼鐵工廠的電溶爐、矽鐵爐、銑鐵爐、鋁業公司電解工廠，熔煉鎂鎂工廠及煉銅廠等所排放的金屬氧化物皆屬之。
Haze	霾、輕霧	當粒子周圍有水蒸氣包覆或環繞時之氣膠稱之。
Mist	酸霧、輕霧、霧、煙	懸浮於大氣且接近地表之液體通常是含水之微粒，透明且因重力而掉落。
Particulate	微粒	在氣體介質中存在的粒狀物之通稱，此粒狀物可能以固體或液體之型態存在，懸浮微粒有時可與氣膠(aerosol)換替使用。
Particulate matter	粒狀物質	空氣中，顆粒性物質的污染物其粒徑在 0.03~1000 μ m。可包括：懸浮微粒、金屬煙、黑煙、酸霧、及落塵等。
Smog	煙霧	由 smoke 及 fog 所生之名詞；指未完全燃燒產生之碳氫化合物，如汽、機車引擎排放之廢氣成分，經過光化作用產生多種有機粒子、臭氧、醛類、酮類、有機酸、過氧化氮等成分，可刺激眼睛和呼吸道，危害人體健康及植物發育。
Smoke	黑煙、煙、煙霧	泛指不完全燃燒所產生之微粒或黑煙。
Soot	油煙	粒徑小，由含碳物質不完全燃燒所產生，為帶有焦油及碳之黏性黑煙，
Suspended particulates	懸浮微粒	粒徑在 10 μ m 以下之粒子，又稱浮游塵，單位以 μ g/Nm ³ 表示之。懸浮微粒在大氣中不易沉降，小於 1 μ m 之粒狀物質很容易進入人體呼吸系統之支氣管而沉積肺部，影響肺功能，影響人體健康；懸浮微粒會導致能見度降低。
Total Suspended Particulate (TSP)	總懸浮微粒	懸浮在空氣中粒狀物質之總稱，包括 100 μ m 以下可被人體呼吸道吸入者及 10 μ m 以上者，二者總合稱為總懸浮微粒。總懸浮微粒為評估大氣中粒狀物質污染程度之指標，中華民國台灣地區環境空氣品質標準所訂總懸浮微粒濃度，24 小時平均值為 250 μ g/Nm ³ ，年平均值為 130 μ g/Nm ³ 。

註：中文名詞是將常用之翻譯名詞列出；說明部分主要參考環境保護辭典。

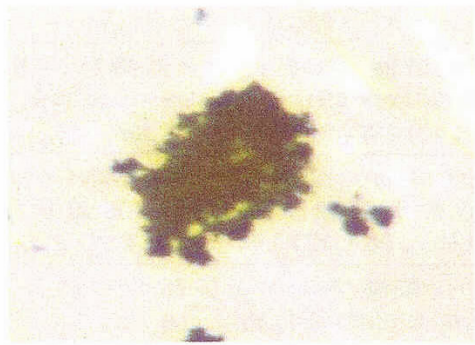


圖1. 汽機車排放之不規則屑塊(45 μ m)

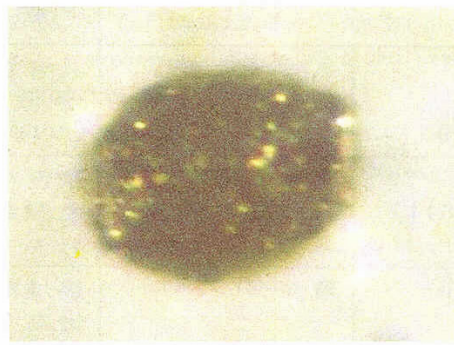


圖2. 工廠煙囪煙道之多孔球體(80 μ m)

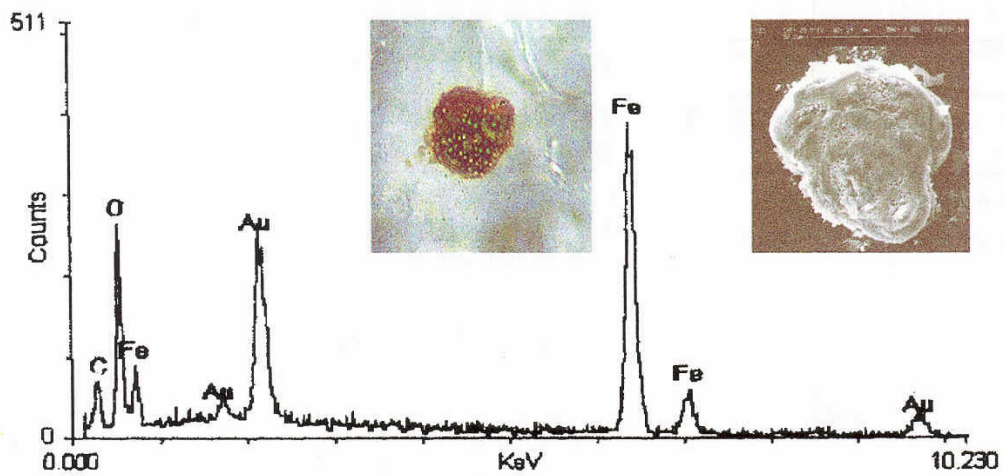


圖3. 鋼鐵工廠周邊植物葉片上礫塊之形態及EDX分析結果

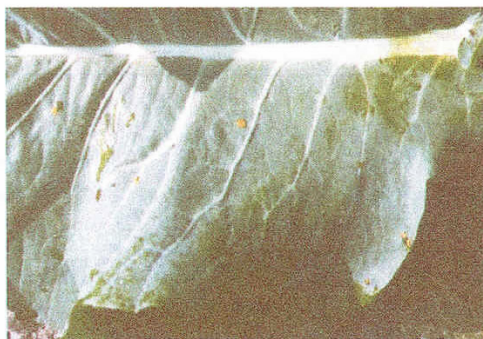


圖4. 芥藍菜葉表之黃褐色斑點(0.3cm)

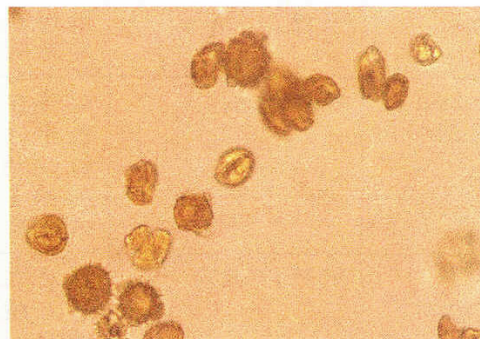


圖5. 顯微鏡下褐斑內所含之花粉粒(6 μ m)