

空氣污染對臺灣林木之影響^{*}

林 珺 三^{**}

目 次 (Contents)

中文摘要	82
英文摘要	83~84
I、緒 言 (Introduction)	84~85
第一部分：人爲控制不同濃度之二氧化硫對於幼小林木之影響 (Part One: Effects of Artificially Controlled SO ₂ of Different Concentrations on Young Trees)	85~86
II、材料與方法 (Materials and Methods)	85
III、結果與分析 (Results and Analyses)	85~94
IV、討 論 (Discussion)	94~96
V、結 論 (Conclusion)	96
第二部分：臺灣空氣污染嚴重地區排出之二氧化硫對於林木之影響 (Part Two: Responses of Trees to the Sulfur Dioxide Emitted from the Areas of Serious Air Pollution in Taiwan)	96~101
VI、試驗目的與採樣地區 (Purpose of Experiment and Sampling Areas)	96
VII、葉部硫含量之測定方法 (Method for Measuring Sulfur Content in Leaf or Needle)	96
VIII、結果與討論 (Results and Discussion)	96~101
第三部分：車輛排氣中之鉛素污染對林木之影響 (Part Three: Effects of Lead Component Pollution in Automotive Exhaust Emissions on Trees)	101~104
IX、車輛排氣中之鉛素污染的影響狀況 (Situation of Effects of Lead Component Pollution in Automotive Exhaust Emissions)	101
X、鉛素污染對臺灣植物之影響 (Effects of Lead Component Pollution on Plants in Taiwan)	101~104
參考文獻 (References)	104

^{*}本研究蒙 國家科學委員會六十一年度之補助支持，始得完成，謹申謝忱。
^{**}國立臺灣大學副教授。

空氣污染對臺灣林木之影響

中文摘要

臺灣近年來，由於工商業、交通、人口的急速發展與增加，致空氣污染問題亦日形嚴重。不僅人類健康遭受為害，對於動植物亦有致命的影響。森林一向被認為有清淨空氣的效用，但因空氣污染過甚，其生存也受到威脅。二氧化硫與鉛素皆為甚具重要性之空氣污染物；本研究之目的即在探尋彼等對於臺灣林木的影響，以及在空氣污染問題中臺灣森林所佔之角色。

本專題研究包括三部分，第一部分為：人為控制不同濃度之二氧化硫對於幼小林木的影響。試驗樹種共十一種，皆二年生，分別以四種不同濃度之二氧化硫處理；四種濃度為：0.5 ppm, 1.0 ppm, 2.0 ppm 及 3.0 ppm。觀察並比較其受害程度。第二部分為：臺灣空氣污染嚴重地區排出之二氧化硫對於林木的影響。由七個不同污染來源地區及一個臺大實驗林溪頭林區，採集葉部標本，分析並比較彼等之葉部硫含量。此二部分之試驗結果如下：

(1)、在低濃度二氧化硫處理下，闊葉樹較針葉樹易遭受為害，但濃度增加，則針、闊葉樹均易受害。

(2)、闊葉樹中，杜鵑、大葉合歡、重陽木等易遭二氧化硫為害。就林業經營目標言，造林樹種應採抵抗力強之樹種，如麻方甲合歡，楓香。但就改善環境立場而言，敏感樹種如杜鵑，可做為人類健康的指標植物。倘欲以森林為空氣過濾層，則仍應選擇抵抗空氣污染之能力強的樹種進行造林。

(3)、針葉樹中以濕地松最敏感，最易遭受二氧化硫為害；黑松、龍柏為抵抗力強樹種，可以之為造林樹種或行道樹。

(4)、葉部硫含量，以採自新竹硫酸銨工廠附近者為最高，採自北投硫磺溫泉與羅東造紙廠附近者較低。

(5)、葉部硫含量依樹種而多寡不同。在此等污染來源不同地區中，其各樹種葉部硫含量之多寡次序大致呈一致性，以朱槿、桑樹、榕樹等含較高量，但自其外表觀之，則僅呈輕微症狀，或甚且呈健康正常狀態，故似可定言，此等乃強抗二氧化硫污染之理想樹種。

(6)、影響二氧化硫對林木為害的因子極多，此包括：遺傳因子、二氧化硫濃度與污染期間、環境與生長因子（氣候因子、土壤因子、生長階段等）以及其他因子。

(7)、林木遭受二氧化硫為害的外表症狀大致相同，葉緣乾枯，呈紅褐色；於顯微鏡下觀察，則見知受害葉部組織頹毀乾縮，尤於氣孔附近者為然。

本研究之第三部分則係探討車輛排氣中之鉛素污染對臺灣林木之影響，並試尋出可做為鉛素污染之指標植物。

在臺北市區與其近郊，以及臺大實驗林溪頭林區等地之道旁，採集重要植物五十種，進行其葉部鉛含量之測定與比較分析，並得知如下之諸種瞭解：

(1)、影響植物葉部鉛含量之主要因子有：植生之種類與年齡、生育地狀況、交通密度、葉面構造與特性、常綠或落葉植物、植生之高度以及氣候狀況（尤以風向、風速及降水最具效應）。

(2)、由於人類血液中之鉛含量若超過 0.25 ppm 之標準即有鉛中毒之危險，今以測定敏感樹種如杜鵑、木麻黃等之葉部鉛含量，可用為鉛中毒之警報。

(3)、植物體受鉛素污染為害之外表症狀均不顯著，僅時或見葉有褪色及乾枯狀；但植物之生長與品質卻受嚴重為害，樹木年輪中因積聚鉛素而有點裂現象。

EFFECTS OF AIR POLLUTION ON THE FOREST TREES IN TAIWAN

by

Dr. Peter Chü-san Lin

English Summary

Since the last decade, the rapid development of industries, traffic and population has caused serious air pollution in Taiwan, by which not only human beings but also animals and plants are injured. It is well understood that forest exerts its effect of cleaning air excellently, however at the present, forest is damaged by air pollution too. Sulfur dioxide and lead component are the the more important air pollutants, the objective of this study is to investigate their influences on the trees in Taiwan.

This thesis consists of three parts. Part one is:

Effects of artificial-controlled sulfur dioxide of different concentrations on young trees. About two hundreds 2-year young trees of 11 different species were cultivated, and treated by 4 different concentrations of SO_2 , namely: 0.4ppm, 2.0ppm, 3.0ppm and degree of the induced injury were then observed and analysed (See table 1). Part two is: Responses of trees to SO_2 emitted from the areas of serious air pollution in Taiwan. Leaves or needles of trees were gathered from eight areas of different air pollution sources, their sulfur contents were measured and analysed.

1. At low concentration of SO_2 (0.5ppm, 1.0ppm), leaves of hardwood species are more sensitive than those of conifer species, but as concentration increases, both of them are sensitive.

2. Rhododendron formosanum, Albizia lebbek, Bischoffia javanica, Pinus elliottii are easily damaged by SO_2 . At the point of forest management, Albizia falcata or Liquidambar formosana, Pinus thunbergii, Juniperus chinensis can be chosen as suitable silvicultural species, because these are more resistant to SO_2 than other experimental species.

However, at the point of improving human environment, high-sensitive species such as Rhododendron formosanum, Pinus elliottii can be chosen as an indicator for air pollution alarm, but if forests would be built as air filter, the above-mentioned resistant species should be chosen.

3. Leaves sampled from Hsin-Chu ammoniac sulfate factory contain the highest amount of sulfur element and those sampled from Pei-tou sulfuric spring and Lo-tung paper-making factory contain lower amount.

4. The amount of sulfur content in leaf or needle is mainly dependent on the species. Among these different areas, the species order of leaf sulfur content is almost the same (Shown in table 10). Leaves of Hibiscus rosa-sinensis, Morus australis and Ficus retusa have the higher sulfur content, but appeared slight symptom only, or still remaining normal growth. Therefore, these species may be used as ideal species for resisting SO_2 damage.

5. Many factors affect the responses of trees to SO_2 , they are: genetic factor, SO_2 concentration and duration of exposure, environmental and growth factors (such as climatic and adaphic factors, growth stage etc.) and other factots.

6. Symptoms of injury in leaves or needles are almost the same: marginal drought, brownish red in color.

In the third part of this thesis, the effects of air pollution by lead component in automotive exhaust emissions on the plants are dealt with.

The leaves of main species along the roads in Taipei and its suburb, and along a forest road of NTU Experimental Forest were gathered and then analysed.

From the results of sampling and analysis for more than 50 species, it was emerged that the lead concentrations in leaves are mainly governed by the following factors:

- a). species and age of vegetation;
- b). habitat;
- c). traffic density;
- d). properties of leaf or needle surface;
- e). evergreen or deciduous plants;
- f). height of vegetation and
- g). the climatic conditions (above all, the wind and precipitation).

If the concentration of lead in human blood exceeds the average standard (0.25ppm), then their health will be threatend by lead poisoning. The survey of lead concentrations in plant leaves can also be used for forecasting such a danger. The growth and quality of trees are degraded by the increasing lead contents in plant tissues. The symptoms of lead poisoning on the leaves appear generally a marginal discolour and drought.

I 緒 言 (Introduction)

空氣污染可分為天然空氣污染 (Natural air pollution) 及人為空氣污染 (Artificial air pollution) 兩大類。前者由於自然界天然平衡 (Natural balance) 的結果，其變化緩慢而不易察覺；後者自十九世紀中葉以後，世界人口劇增，工業急速發展，汽車黑煙、工廠廢氣、水力發電廠之廢氣等隨文明發達應運而生。工業文明愈進步，自然環境愈被破壞，致環境災害愈加深，不僅直接、間接地為害人類，對動植物亦有致命的影響。

植物一向被認為是清淨空氣之物，但因空氣污染過甚，其生存亦受嚴重威脅。植物能直接、間接影響人類生存，而且植物對污染物之反應特別敏感，可做為吾人對環境污染警戒之指標。空氣污染對於植物之為害，於本世紀初即有學者提出；在世界許多地區，農林業由於空氣污染所造成之經濟損失較之由氣候、昆蟲等病害所造成的損失為大；以美國而言，年損失達數億美元，幾占有由病蟲害、有毒物質所引起損失的絕大部分；因此，空氣污染對於農林業上所帶來的侵害實不容吾人忽視 (Linzon, 1971)。

空氣污染與林木生育間的關係，可就兩方面着眼：一就林業經營與樹木栽培者而言，是以研究如何防

止或減輕空氣污染對於林木的為害為目標，尤其工廠附近及都市周圍的森林及都市內之行道樹、綠化樹等為然。二就環境衛生改善者而言，是以瞭解樹木被害過程與被害情形，藉之做為地區性空氣污染的指標。上述二點雖着眼點不同，但二者實互為關連，如何改善環境品質，使林木免於受空氣污染為害，同時使人類獲得安適清淨之生活並維護自然平衡，皆為共同之目標。

近年來臺灣工業發展與日俱進，交通量、人口量驟增，污染問題日趨嚴重，林木亦遭受其為害。有關空氣污染對於林木之影響與為害的研究，歐美等國近百年來不遺餘力，惟其研究之樹種，以及地理環境，氣象因子等均異於吾國；吾人對彼等研究結果之應用，僅可借鏡而已，本研究中所針對之空氣污染物有二，其一為二氧化硫，另一為鉛。前者乃發生最為普遍、為量最多且為害最著之空氣污染物；而後者則係對動植物有致命傷害之空氣污染物。本專題研究之目的，即在探討二氧化硫之濃度不同時，對林木之為害情形，並就臺灣空氣污染嚴重之若干工業區，其排出之二氧化硫及鉛對於林木的影響做詳細調查。

為敘述簡明，本文即針對如下三部分，分別進行說明、分析與討論。

第一部分為在溫室內人為控制二氧化硫不同濃度

及處理時間，試驗其對臺灣各重要樹種之為害情形。

第二部分為在野外採集二氧化硫污染嚴重地區附近之林木標本，測定其葉內之硫含量以做為林木受污染為害之觀測比較。

第三部分為採集不同交通流量地區之林木標本，測定其葉內之鉛含量，以做為林木受鉛污染為害之瞭解依據；並為人體健康之警戒作用，而由該試驗尋出鉛污染之「指標植物」(Indicator plant)。

第一部分：人為控制之不同濃度的二氧化硫 對於幼小林木的影響

(Part one: Effects of Artificially Controlled Sulfur Dioxide of Different Concentrations on the Young Trees)

II 材料與方法 (Materials and Methods)

(1)、供試之幼小林木

本實驗之供試樹種共計十一種，皆為海拔高度1000公尺以下之重要造林樹種及庭園或行道樹種，蓋臺灣之工廠分佈極少超過此高度，該等供試樹種如下：

濕地松(*Pinus elliottii*)，琉球松(*Pinus luchuensis*)，柳杉(*Cryptomeria japonica*)，黑松(*Pinus thunbergii*)，重陽木(*Bischofia javanica*)，大葉合歡(*Albizia lebbek*)，麻六甲合歡(*Albizia falcata*)，楓香(*Liquidambar formosana*)，龍柏(*Juniperus chinensis*)，山茶(*Camellia japonica*)以及杜鵑(*Rhododendron formosanum*)等。

上述諸幼小林木，除龍柏、山茶及杜鵑等取自國立臺灣大學森林系苗圃外，餘皆採自臺北縣小格頭苗圃，均為二年生，苗木挖取後移植於鉢盆，以利實驗進行時之搬移，並經四個月期間之細心撫育，使成活並達正常而良好之生長狀態。

(2)、二氧化硫之試驗濃度

人體對大氣中之二氧化硫的「容許最大濃度」(Tolerable concentration)為 3.0ppm (1ppm = 1 part per million)，達此濃度即為警告階段；達 5.0ppm 則為警戒階段；而一旦達 10.0ppm 則人體生命發生危險。林木對於污物的反應特別敏感，當二氧化硫濃度達到對於人體發生警告之 3.0ppm 時，林木已發生極顯明之為害症狀，故本實驗中之二氧化硫試驗濃度最高定為 3.0 ppm；一方面藉此做為人類生活環境的指標，另一方面並增加其他三種濃度處理，以比較不同濃度及不同處理持續時間對幼小林木之為

害情形。四種試驗濃度分別為 0.5ppm，1.0ppm，6.0ppm 及 3.0ppm。

(3)、試驗地點

臺大森林系苗圃溫室。於原有溫室內隔成大小為 2.5m×1.5m×1.0m 之密閉小溫室 (chamber)。

(4)、試驗期間

自61年10月23日至62年4月28日。

(5)、試驗方法

(A) 預備試驗

由於二氧化硫較空氣重約 2.21 倍，易於沉落，不能維持小溫室內預定之二氧化硫濃度，故需於試驗進行中，適時加入適量二氧化硫，以保持要求濃度，故於實驗進行前先作空白試驗，通入定量二氧化硫氣體，而後以自動測定二氧化硫濃度之儀器(溶液導電率法，參見圖1)連續記錄小溫室內之二氧化硫濃度，並進行校正，使合於所要求之試驗濃度。本實驗之濃度誤差為 ±0.05ppm。



圖 1：自動記錄 SO₂ 濃度之儀器

Fig. 1: SO₂— Measuring Instrument and its Recorder

(B) 試驗步驟

(1)、將欲試驗之幼小林木，十一個樹種，每樹種二株，放入密閉之小溫室內，通入二氧化硫氣體，並以通風機使該氣體均勻擴散於整個密閉小溫室內，維持 1.0ppm 的濃度，處理二小時。如此每日處理，連續五天，觀察幼小林木的受害情形。

(2)、以與上述相同之方法分別以 1.0ppm，2.0ppm，3.0ppm 濃度處理其他幼小林木。

(3)、以 0.5ppm 濃度做長時間處理，每天處理十二小時，連續進行二天，觀察之。

III 結果與分析 (Results and Analyses)

(1)、二氧化硫對林木之為害過程

二氧化硫對於林木之為害部位主為葉部。二氧化硫經氣孔 (Stomata) 進入葉內部；對於一般植物，二氧化硫當濃度超過其細胞所能忍受的限界濃度，由於其具還原性質，對葉肉細胞 (Mesophyll cell) 發生毒性，使細胞原生質分離而呈不活動狀態，繼而毒死。大部分細胞被毒死後，組織即崩潰、枯絕，呈現葉脈間及葉緣之為害。二氧化硫對葉部之為害可分為二型，即急性與慢性為害 (Acute and chronic injury)，前者是在極短時間內吸收高濃度二氧化硫所致，造成亞硫酸鹽 ($\text{SO}_3=$) 的速迅積聚，對葉肉細胞的新陳代謝作用 (Metabolic process) 發生毒害；後者乃經長時期的吸收較低濃度之二氧化硫，二氧化硫被吸收後迅速形成亞硫酸鹽 ($\text{SO}_3=$)，而後緩慢地氧化為硫酸鹽 ($\text{SO}_4=$)。當硫酸鹽的積聚超過林木細胞所能忍受限界後，即發生慢性為害。據估計，亞硫酸鹽之毒性為硫酸鹽之 30 倍。

急性為害在闊葉樹發生於葉兩面，通常在葉脈間，乃局部性的，但有時為害發生於葉緣。幼葉甚少發生類壞斑點 (Necrotic marking)，發育完全之葉對於急性為害最為敏感，老齡葉次之。針葉樹之急性為害，在當年生針葉葉尖呈現鮮明橙紅色類壞，在受害與正常部分間有顯明的分界線。有時在針葉頂端，中間或基部發生帶狀為害。

急性為害的顯微解剖可於顯微鏡下觀察得知，最初階段呈浸水性鬆弛狀，灰綠色。葉綠素由葉綠粒 (Chlorophyll) 擴散到細胞質中，繼而細胞枯乾、收縮。綠色素被分解後，依樹種種類、樹齡及氣候狀況等而使葉變成漂白、乳白、褐、橙、紅或紅褐色。

當遭受二氧化硫為害時，最敏感樹種在葉部出現嚴重斑點，次敏感者則顯現較輕微症狀 (如輕微黑化現象)，而具抵抗力者則無症狀。

慢性為害是很顯明的在葉部發生黃化現象。闊葉樹有時由葉下表面延伸至上表面，亦有僅在下表面呈青銅色或銀色；葉部新陳代謝速率減低。針葉樹之老齡針葉在發生為害時，先呈黃綠色而後變成紅褐色，首由葉尖而至於基部。慢性為害除由於積聚過多之硫酸鹽外，有時因短暫但嚴重之二氧化硫作用所致，則其葉之變色可能僅數天即消失。慢性為害亦常隨急性為害而來。

二氧化硫對於林木的為害是局部的，有系統的影響尚未被發現，此乃因二氧化硫在其活動中為毒物性質的作用係局部的 (參看 17 圖，圖中氣孔周圍之細胞完全類毀，而其他部分則非為完全之敗壞)。受

害部分未有復元的，而未遭為害部分可迅速且完全恢復機能，至於新生葉片則獲正常之發育 (Lacasse & Moroz, 1969)。

(2)、各樹種遭受二氧化硫為害之外表症狀

(A) 闊葉樹種

1) 杜鵑、重陽木、楓香

此三樹種之受害外表症狀類似，由葉緣或葉尖產生黃褐色帶狀或斑點症狀，繼而變紅褐色，葉緣並發生卷曲收縮狀；重陽木與楓香或產生斑點狀為害於葉脈間；重者為害及全葉，甚且脫落。

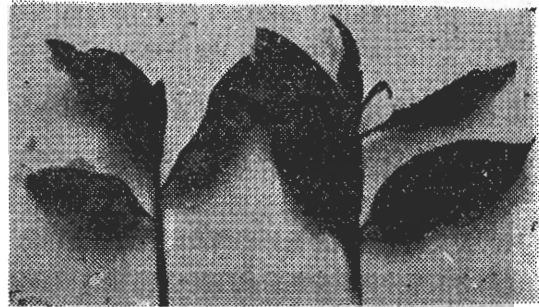


圖 2：杜鵑遭受 SO_2 為害之外表症狀

Fig2: Symptom of *Rhododendron formosanum* injured by air-borne SO_2

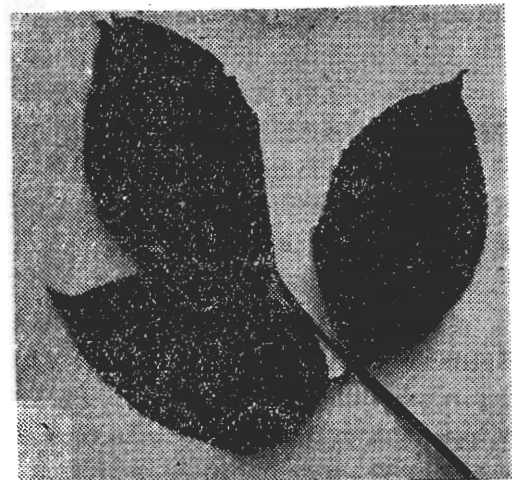


圖 3：重陽木遭受 SO_2 為害之外表症狀

Fig3: Symptom of *Bischofia javanica* injured by air-borne SO_2 .

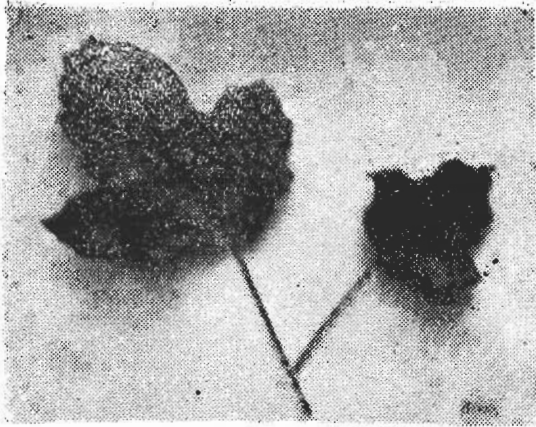


圖 4 : 楓香遭受 SO_2 爲害之外表症狀
 Fig.4: Symptom of *Liquidambar formosana* injured by air-borne SO_2

2) 大葉合歡、麻六甲合歡

由葉尖、葉緣延伸或於葉面成斑點，先呈浸水狀，後變黃白或漂白色之爲害症狀，重者遍及全葉，致葉部萎縮向內卷曲。

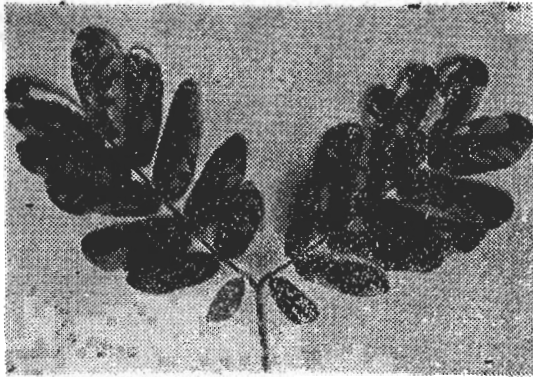


圖 5 : 大葉合歡遭受 SO_2 爲害之外表症狀
 Fig.5: Symptom of *Albizzia lebbek* injured by air-borne SO_2 .

3) 山茶

由外表觀之未呈受害狀。

(B) 針葉樹種

1) 黑松、柳杉、琉球松、濕地松

此四樹種之症狀均同。由針葉之葉尖或中部延伸，先呈黃褐色，而後枯萎，重者三分之二或整個針葉受害而脫落。

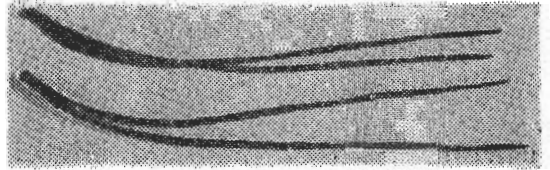


圖 6 : 黑松遭受 SO_2 爲害之外表症狀
 Fig.6: Symptom of *Pinus thunbergii* injured by air-borne SO_2 .

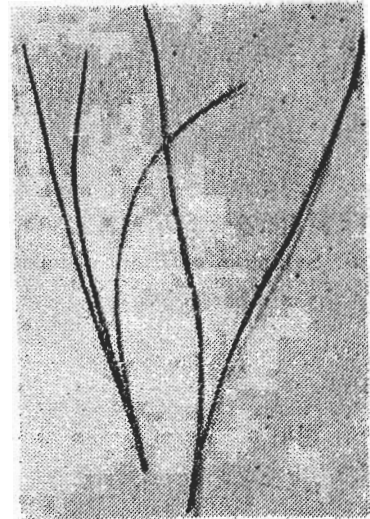


圖 7 : 琉球松遭受 SO_2 爲害之外表症狀
 Fig.7: Symptom of *Pinus luchuensis* injured by air-borne SO_2 .

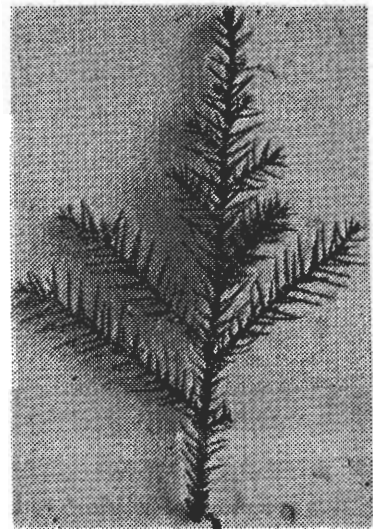


圖 8 : 柳杉遭受 SO_2 爲害之外表症狀
 Fig.8: Symptom of *Cryptomeria japonica* injured by air-borne SO_2 .

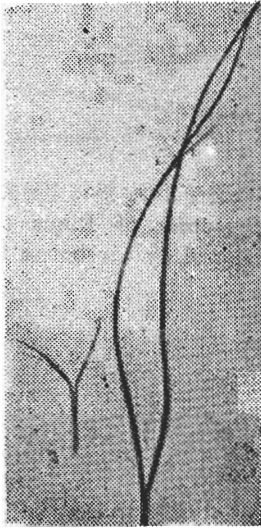


圖9：濕地松遭受 SO_2 爲害之外表症狀
Fig.9: Symptom of *Pinus elliottii* injured
by air-borne SO_2



圖11：杜鵑遭受 SO_2 爲害整株苗木之外表症狀
Fig.11: Symptom of whole tree of
Rhododendron formosanum injured
by air-borne SO_2

2) 龍柏

由外表觀之未呈受害狀。

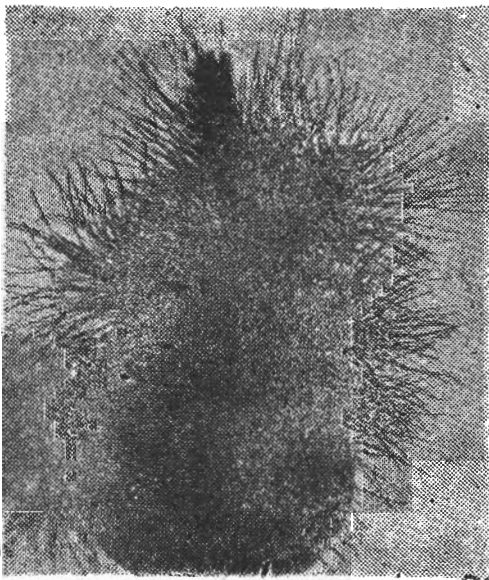


圖10：琉球松遭受 SO_2 爲害整株苗木外表症狀
Fig.10: Symptom of whole tree of *Pinus*
luchuensis injured by air-borne SO_2

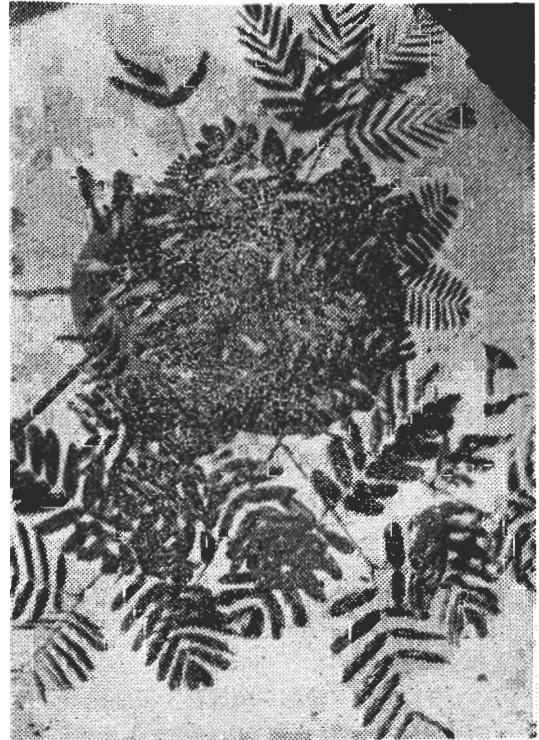


圖12：大葉合歡遭受 SO_2 爲害整株苗木之外表症狀
Fig.12: Symptom of whole tree of *Albizzia*
lebbek injured by air-borne SO_2

(3)、各樹種遭受不同濃度之二氧化硫為害程度之比較

程度不同，故以其受害葉數百分比表之，列示於表 1 中。

各樹種在不同濃度之二氧化硫處理下，其受為害

表 1：各樹種遭受不同濃度之二氧化硫為害程度之比較 (%) ——受害葉數之百分比。

Tab. 1: Leaf damage degree (%) of different tree species injured by different SO₂ concentration and treatment.)

		二氧化硫濃度		處理時間		持續日數		control
		0.5 ppm	1.0 ppm	2 hrs	2 hrs	5 days	5 days	
闊葉樹 (Hardwoods)	山 茶 (<i>Camellia japonica</i>)	0	0	0	0	0	0	0
	楓 香 (<i>Liquidambar formosana</i>)	0	5.0	12.5	90.0	0	0	0
	麻六甲合歡 (<i>Albizzia falcata</i>)	0.9	37.5	50.0	50.0	7.5	0	0
	大葉合歡 (<i>Albizzia lebbek</i>)	20.0	10.0	57.1	55.1	52.1	0	0
	重 陽 木 (<i>Bischoffia javanica</i>)	8.3	10.0	12.5	86.4	16.2	0	0
	杜 鵑 (<i>Rhododendron formosanum</i>)	5.0	25.0	33.3	95.0	58.3	0	0
針葉樹 (Conifers)	龍 柑 (<i>Juniperus chinensis</i>)	0	0	0	0	0	0	0
	黑 松 (<i>Pinus thunbergii</i>)	0	0	0	33.3	16.7	0	0
	柳 杉 (<i>Cryptomeria japonica</i>)	0	25.0	16.7	66.7	0	0	0
	琉 球 松 (<i>Pinus luchuensis</i>)	0	8.3	50.0	99.0	62.5	0	0
	濕 地 松 (<i>Pinus elliottii</i>)	0	50.0	66.7	100	66.7	0	0

(A) 處理之濃度與時間相同，而樹種不同時之情況：

1) 由表 1 可知，在較低濃度時 (0.5及1.0 ppm)，針葉樹之抗二氧化硫污染為害能力較闊葉樹為強；但較高濃度時 (2.0 及 3.0 ppm)，則針、闊葉樹均易受害。

2) 闊葉樹中，以杜鵑、大葉合歡最易受害，重陽木、麻六甲合歡次之，楓香又次之，山茶抵抗力最強，幾無受害。

3) 針葉樹於較低濃度下，雖抵抗力稍強，但濃

度增加時，則亦易遭受為害，以濕地松之抵抗力最弱，琉球松次之，柳杉又次之，黑松抵抗力稍強，龍柏則幾未受害。

4) 以較低濃度之二氧化硫，經過連續長時間處理，亦發生顯著為害，雖抵抗力強之針葉樹亦遭受輕微為害。

(B) 樹種相同，而處理之濃度與時間不同時之情況：

各樹種在不同濃度之二氧化硫處理下，葉部受害百分比見於圖 13 及圖 14 中之所示。

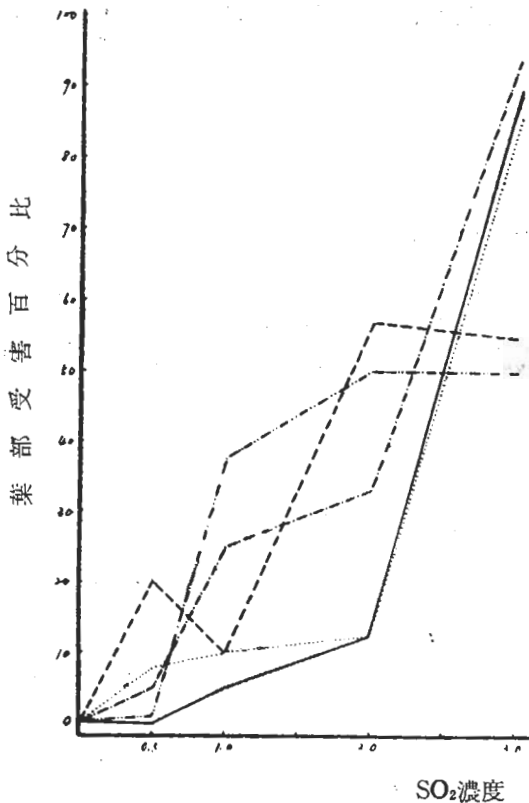


圖13: 闊葉樹種葉部受害百分比 (在不同濃度下) 曲線圖

Fig.13: Leaf damage degree (%) of hardwoods injured by different SO₂ concentrations

圖 說

- (Liquidambar formosana)
- (Bischofia javanica)
- - - - (Albizzia lebbek)
- . - . (Rhododendron formosanum)
- - - - (Albizzia falcata)

1) 由該二圖可知，各樹種對於不同濃度之二氧化硫的受害趨勢不同，有隨濃度的增加而受害部分亦急劇增加者，如杜鵑、重陽木、濕地松、琉球松等；亦有葉數受害百分比隨濃度之增加而增加，至一定程度後趨於平緩者，如麻六甲合歡、大葉合歡。

2) 針葉樹對於二氧化硫為害抵抗力雖較闊葉樹稍強，但一旦濃度超過其容忍限度，則其受害百分比隨濃度的增加而急劇增加。

3) 各樹種之葉部受害百分比與二氧化硫濃度間

的關係，大致成正相關；僅大葉合歡與柳杉二樹種成不規則關係，或因試驗樹種之特殊性質使然。

4) 以 0.5ppm 做長時間處理，敏感樹種如杜鵑、大葉合歡、濕地松、琉球松受嚴重為害，猶如高濃度處理者。而楓香、麻六甲合歡等較具抗力者則受害輕微。

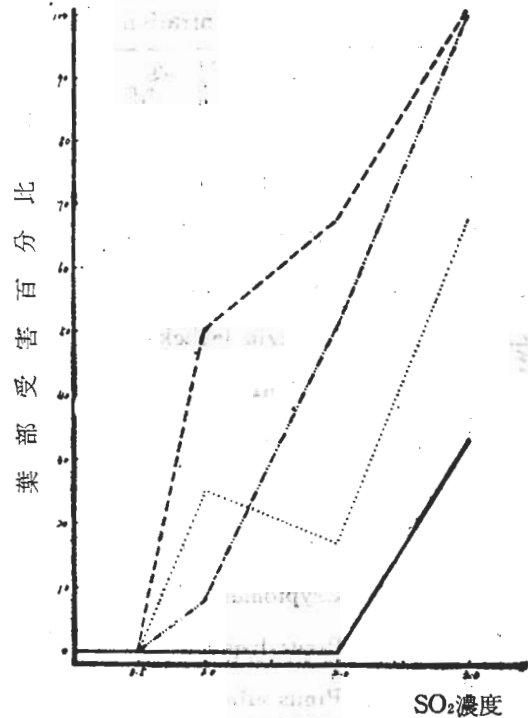


圖14: 針葉樹種葉部受害百分比 (在不同濃度下) 曲線圖

Fig.14: Needle damage degree (%) of conifers injured by different SO₂ concentrations

圖 說

- (Pinus thunbergii)
- (Cryptomeria japonica)
- - - - (Pinus luchuensis)
- . . - (Pinus elliotii)

(4)、受害葉部之顯微分析

(A) 製片方法

葉部為一柔嫩組織，故欲觀察葉部之橫切面顯微構造，需採用特殊之製片方法——即「浸蠟切片法」(Paraffin method)，是將材料埋於蠟塊內，連同蠟塊一齊切片，再除去蠟的方法。步驟雖較多且繁雜，但製出之結果亦較其他方法為佳。其步驟如下：

1) 固定：用 FAA 處理材料，除去組織內之氣泡。

2) 脫水：脫水藥品採用第三級丁醇 (T-butanol) 和乙醇混合液 (T B A-series)，將材料逐步換置於六種不同比例之混合液中。

3) 滲蠟：脫水乾淨後即加蠟，逐漸將第三級丁醇取代而成爲純蠟。滲蠟須在 60~65°C 之溫箱內操作。

4) 埋蠟：將固定瓶內的材料和液狀蠟塊倒入模型內，將其置於冷水中使之快速冷卻凝固，而成固體蠟塊 (Paraffin cake or block)。

5) 切片：用轉動式切片機 (Rotary microtome) 切片，可得一連續蠟帶 (Paraffin ribbon)。切片厚度爲 12μ。

6) 張貼切片：先用蛋白膠黏附劑 (Adhesive) 張貼切片，後連同載玻片一起進行以下步驟。

7) 溶蠟：用二甲苯將蠟帶溶解，留下所要之材料於載玻片上。

8) 染色和脫水：蠟帶溶去後，由高濃度之酒精逐漸移至所採用的染料溶液中進行染色。染料用 1% Safranin 的 50% 酒精溶液和 0.5% fast greenⁿ 的 95% 酒精溶液，而後脫水，滴巴爾森液，蓋上蓋玻片即可。

(B) 受害葉部之顯微解剖分析

1) 闊葉樹

一股闊葉樹之葉部橫切面構造大致相同，如圖15所示：

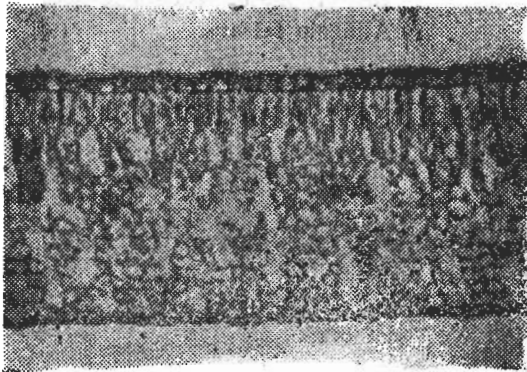


圖15：正常闊葉樹之葉部橫切面
Fig.15: Leaf cross section of normal hardwood

二氧化硫由下表皮的氣孔進入葉肉細胞發生還原作用，產生毒性。細胞受爲害後，葉綠素破壞，細胞壁及細胞膜破裂，原生質四散流失，細胞完全破毀，

而形成萎縮狀態。當葉部遭受爲害時，海綿組織 (Spongy tissue) 首當其衝，造成許多破毀空隙及細胞殘片；繼而柵狀組織 (Palisade tissue) 的葉綠素及原生質亦遭破壞，細胞變形，此時受害部位外表呈現枯萎反卷現象，而爲害部位亦隨着受害程度的增加而逐漸擴大。表皮細胞及氣孔之保衛細胞 (Guard cells) 的細胞外壁幾丁化 (Cutinization)，故雖接觸二氧化硫最多，但却不易遭受爲害。鄰近氣孔處之葉肉細胞則受害最多。

茲將各樹種之葉部橫切面，正常與受爲害情形列示於圖 16 至圖 20 中：

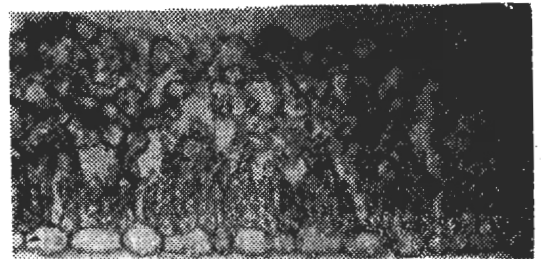


圖16(A)：杜鵑正常之葉部組織。
Fig.16(A): Leaf tissue of normal Rhododendron formosanum

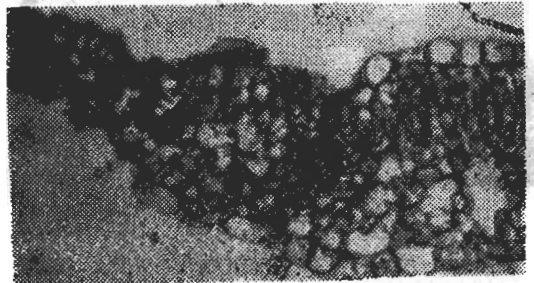


圖16(B)：杜鵑受害之葉部組織
Fig.16(B): Leaf tissue of injured Rhododendron formosanum



圖17(A)：重陽木正常之葉部組織
Fig.17(A): Leaf tissue of normal Bischofia javanica



圖17(B): 重陽木受害之葉部組織
Fig.17(B): Leaf tissue of injured
Bischoffia javanica

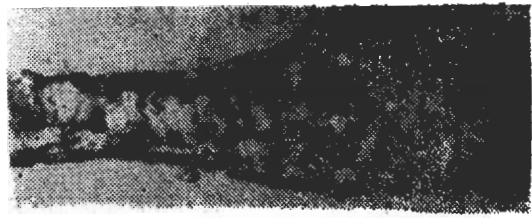


圖19(B): 大葉合歡受害之葉部組織
Fig.19(B): Leaf tissue of injured
Albizzia lebbek

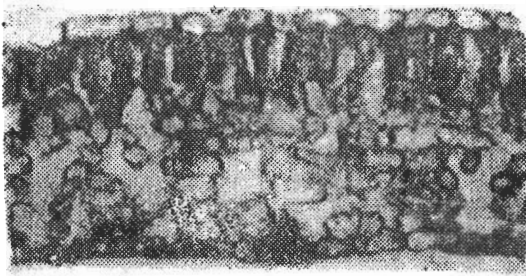


圖18(A): 楓香正常之葉部組織
Fig.18(A): Leaf tissue of normal
Liquidambar formosana

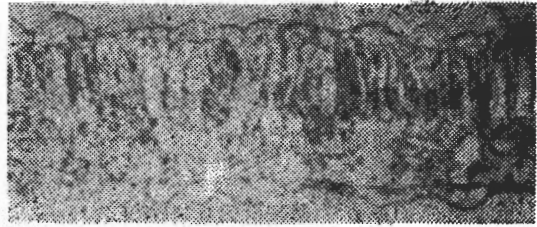


圖20(A): 麻六甲合歡正常之葉部組織
Fig.20(A): Leaf tissue of normal
Albizzia falcata

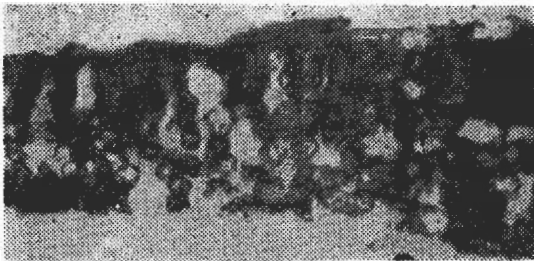


圖18(B): 楓香受害之葉部組織
Fig.18(B): Leaf tissue of injured
Liquidambar formosana



圖20(B): 麻六甲合歡受害之葉部組織
Fig.20(B): Leaf tissue of injured
Albizzia falcata

2) 針葉樹

針葉樹之葉部橫切面構造如圖21所示:

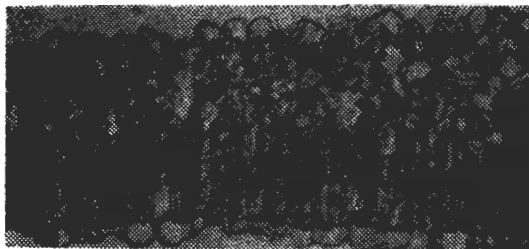


圖19(A): 大葉合歡正常之葉部組織
Fig.19(A): Leaf tissue of normal
Albizzia lebbek

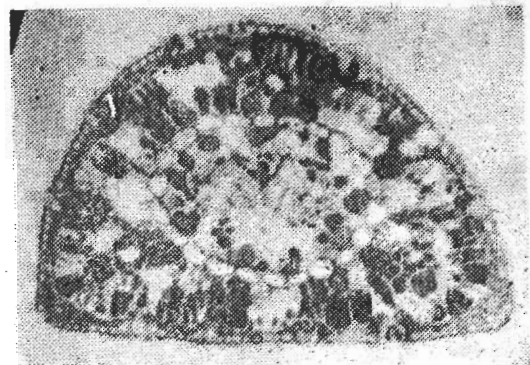


圖21: 正常針葉樹之葉部橫切面
Fig.21: Needle cross section of
normal conifer

一般針葉之橫斷面呈半圓形，表皮細胞腔小，外壁厚，外被厚角質層（Cuticle），氣孔凹陷，保護細胞與副細胞（Subsidiary cell）合成拱形，下皮（Hypodermis）由一至五層纖維性細胞組成，除氣孔外沿表皮之下規則排列，增加針葉之機械力，使堅韌不易折斷，葉肉未分化為柵狀組織與海綿組織。

二氧化硫經由氣孔進入葉肉，由於葉肉細胞壁較薄，首先受害，葉綠素破壞，細胞壁及細胞膜破裂，原生質流失，形成大空隙；樹脂溝（Resin canal）的周邊細胞（Epithelial cell）亦接着受害，細胞壁與細胞膜破裂，原生質流失，細胞壁及細胞膜殘片依稀可見樹脂溝痕跡。維管束區域之細胞則受害較少。當針葉遭受為害時，葉肉組織受到破壞而成空隙，僅存表皮組織及維管束組織；葉部枯黃萎縮，喪失功能。

茲將各針葉樹種之葉部橫切面，正常與受害情形列示於圖22至25中：

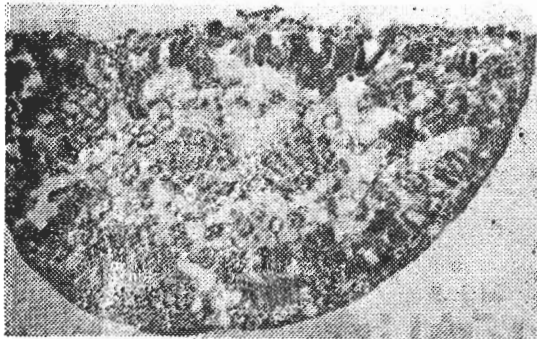


圖22(A)：黑松正常之葉部組織
Fig.22(A)：Needle tissue of normal *Pinus thunbergii*



圖22(B)：黑松受害之葉部組織
Fig.22(B)：Needle tissue of injured *Pinus thunbergii*

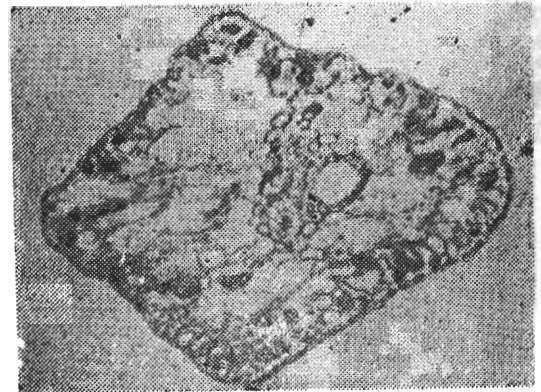


圖23(A)：柳杉正常之葉部組織
Fig.23(A)：Needle tissue of normal *Cryptomeria japonica*

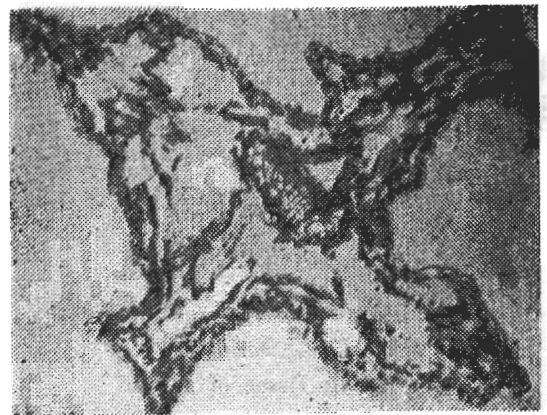


圖23(B)：柳杉受害之葉部組織
Fig.23(B)：Needle tissue of iniured *Cryptomeria japonica*



圖24(A)：濕地松正常之葉部組織
Fig.24(A)：Needle tissue of normal *Pinus elliottii*

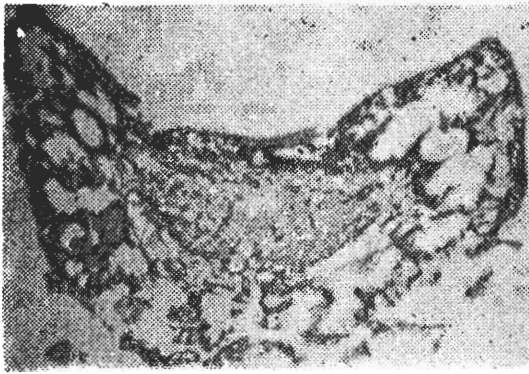


圖24(B): 濕地松受害之葉部組織
Fig.24(B): Needle tissue of injured
Pinus elliottii

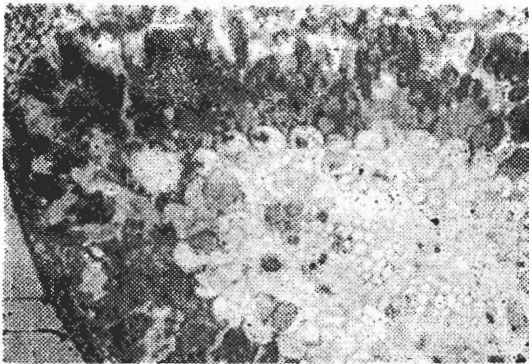


圖25(A): 琉球松正常之葉部組織
Fig.25(A): Needle tissue of normal
Pinus luchuensis

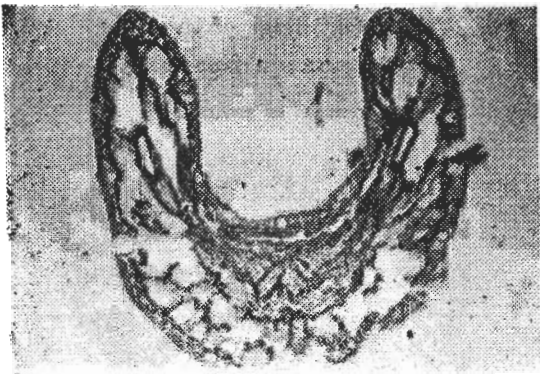


圖25(B): 琉球松受害之葉部組織
Fig.25(B): Needle tissue of injured
Pinus luchuensis

的影響，茲將影響因子分述如下：

(A)林木內在性質：林木遭受二氧化硫為害感染性的大小依樹種、年齡、林木健康狀態及遺傳因子等而不同。林木中若干樹種對數種空氣污染物特具敏感性；有些僅對一種空氣污染物呈敏感性；甚至有些樹木不受污染為害；但即使同一樹種，由於遺傳的差異，各個體間對於空氣污染之抵抗力亦有顯著不同。通常常綠樹較落葉樹易遭為害，因其長年不斷暴露於空氣污染環境中，但在急性為害時，則落葉樹反較常綠樹抵抗力弱；老齡樹之抵抗力又較幼齡樹為強。

(B)污染物濃度與污染時間：二氧化硫之作用濃度大，則雖污染時間短，常導致急性為害，如日本赤松 (*Pinus densiflora*)，當濃度為 2.0ppm 時，在夏季經 2~3 日，即發生急性為害，葉變赤色。空氣中二氧化硫氣體含量低時，污染期間短，則不致發生重大為害；若經長時期之污染，則顯現慢性為害症狀。除此急性為害與慢性為害導致之病症為能見為害 (Visible injury) 外，由於低濃度或短時間作用引起之林木生理變化，如光合作用及呼吸作用之改變；新陳代謝及酵素作用的干擾；細胞滲透性的不正常等均導致生長阻害，減少林木之生長率，是為「不能見為害」 (Invisible injury)。

(C)環境與生長因子

(a)氣候因子

(I) 日光 (Sun light)：日光之光週期 (Light period)、光強度 (Light intensity)、光質 (Light quality) 等均影響林木對於二氧化硫的感染性。如斑豆 (Pinto bean) 與菸草 (Tobacco) 生長於 8 小時光週期下較生長於 12 或 16 小時之光週期者較易遭受為害。光強度對於林木感染性大小的影響很大，據 C. Setterstrom 和 P. W. Zimmerman 二氏早期的研究，發現林木對於二氧化硫的敏感性與光強度成正相關。光質對於林木生長雖已知具有密切之相關性，但尚未見有此方面的研究。

(II) 溫度 (Temperature)：林木生長的溫度與污染感染性有直接的關係。因氣溫高時，林木體內的各種活動及作用盛行，對於空氣中二氧化硫的吸入量亦大。溫度與光強度間亦成正相關，即在直射強烈日光之下溫度亦高。

(III) 濕度 (Humidity)：林木在高濕度狀況下較之低濕度者易受二氧化硫為害，亦即對二氧化硫的感染性隨濕度的增加而增大。Thomas 與 Hendricks (1956) 二氏曾言，當濕度由 100 減至 0 時，林木對

VI 討 論 (Discussion)

(1) 影響空氣污染對林木為害之因子

空氣污染對於林木的為害受許多內在及外在因子

二氧化硫的敏感度減少90%，感染性與濕度間維持一致之反相關。

(IV) 風 (Wind)：二氧化硫污染來源附近，由於風之吹散，可以降低濃度，若位於風下方向，雖距污染來源甚遠，亦有遭受為害可能。反之，風上方向則為害較小。

(V) 降雨 (Rainfall)：當二氧化硫聚集於葉面時，若遇大雨，沖除大氣中或葉面之二氧化硫，自可減輕為害；但濛濛細雨則反加劇二氧化硫為害。

(IV) 季節 (Season)：林木對二氧化硫的敏感程度依季節的不同而有差異。通常在春末或夏初之生長季節，由於氣溫高，濕度大，輻射強等現象，促使氣孔大開，吸入之二氧化硫量增大，致使為害加劇。

(b) 土壤因子 (Soil factors)

(I) 土壤濕度 (Soil moisture)：林木生長於乾燥土壤狀況下較生長於濕潤者較不易感染二氧化硫為害。經證實，林木在污染前經過灌溉者較未經灌溉者易感染為害，即使此未經灌溉者有充分的水分供給亦然。

(II) 土壤養分 (Soil nutrition)：不同的研究報告顯示，生長於貧瘠土壤之林木對於二氧化硫的感染性增加。另外的研究指出，氮肥將使林木更易遭受污染為害，但亦有其他的研究報告作不同的結論。一般以為愈健康林木對於空氣污染愈敏感 (Hindawi, 1968)

(III) 其他土壤因子 (Other soil factors)：林木生長於重土 (Heavy soil) 者感染性小。他如土壤溫度、土壤通氣、土壤質地及構造等亦均為影響因子，但目前有關此等方面之研究，似尚未進行。

(c) 生長階段 (Growth stage)：林木的生長階段是決定二氧化硫感染性大小的重要因子。實際上，由於空氣污染之為害主要發生於葉部，故葉或針葉之年齡較之林木年齡尤為重要。二氧化硫對葉部的為害，以新近成熟葉最易受害，老葉次之，新生葉不易受感染，除非是在高濃度二氧化硫污染下。

(d) 其他因子 (Other factors)：除以上諸因子外，尚有其他因子影響二氧化硫對林木的為害，例如上述諸因子對於林木的影響均需由氣孔居中促成，以及其他影響細胞反應 (Cellular response) 的內在因子。氣孔開啓是污染物進入組織內的先決條件，污染物在葉部組織內的反應至產生為害是一種生物化學的中間反應，由細胞內之未知因子所控制。

(d) 地形與位置：二氧化硫比重較空氣重2.21倍，

因此在無風的情況下常聚集於低窪地區如山谷；若有山谷風，則二氧化硫可隨風自山谷吹向山峯散逸，可減少為害。

靠近污染來源之處，為害顯著；並隨距離之增加而為害減少。故地形與位置亦為影響二氧化硫為害之重要因子。

(2) 試驗結果之討論

(A) 影響二氧化硫為害的因子很多，但本實驗之供試幼小林木均為二年生，且取自同一地方，又實驗進行均於溫室內行之，故影響因子可僅考慮樹種、二氧化硫濃度、處理之延長時間及遺傳因子等。

(B) 樹種不同，忍受二氧化硫為害之程度有顯著差異，如以0.5ppm處理者，至實驗進行第五天，若干敏感樹種——杜鵑、大葉合歡、重陽木產生為害症狀，而山茶、楓香及針葉樹等均未見有症狀顯現；以2.0ppm濃度處理之幼小林木，至實驗第三天，濕地松、大葉合歡、硫球松、杜鵑等受害嚴重，然黑松、龍柏、山茶等雖至實驗結束，仍未見受害；以3.0ppm濃度處理者，則第二天上述敏感樹種即顯現為害症狀。

(C) 本實驗之五種處理中，除一為長時間處理外，其餘處理時間均相同，每天二小時，連續處理五天。就大部分樹種而言，隨著處理濃度的增加，其為害愈趨嚴重。其他處理條件均同，僅濃度不同而顯現症狀差異極大，可見二氧化硫濃度的大小為決定污染為害之最重要因子之一。

(D) 以0.5ppm濃度，經過長時間處理，林木之受害亦大。可見濃度雖低，但若經長時間的污染作用仍可造成為害，故污染之持續時間的長短對污染為害的影響頗大。

(E) 由顯微鏡下觀之，闊葉樹各樹種之葉部厚度如下：

大葉合歡	120 μ
麻六甲合歡	130 μ
杜鵑	130 μ
楓香	140 μ
重陽木	240 μ
山茶	350 μ

本實驗之供試闊葉樹種中，以杜鵑對二氧化硫最為敏感，察其因，除其葉部較薄外，其葉為毛質粗糙，故易於吸附污染物質；他如重陽木、楓香等葉稍厚且較光滑，較不易受害。大葉合歡與麻六甲合歡葉部均薄，故亦易遭受為害。山茶之葉部最厚且具有角質層、光滑，故最不易受害，以本實驗之濃度處理均未

呈受害狀。

(F)針葉樹之針葉構造大致相同，但以濕地松針葉最纖細而軟，對二氧化硫最為敏感；琉球松次之；黑松之針葉最粗而硬，抵抗二氧化硫污染為害能力最強。柳杉針葉尖而短，自葉尖至葉基成鑿形，接觸表面積小，故抵抗為害能力較濕地松、琉球松等為大。

V 結論 (Conclusion)

(1)於低濃度二氧化硫處理，針葉樹種較闊葉樹種具抗污染為害能力；但二氧化硫濃度增加，則針、闊葉樹遭受為害均重。

(2)闊葉樹種中以杜鵑、大葉合歡、重陽木等易遭受為害，故若就林業經營或樹木栽培者而言，為防止或減輕二氧化硫污染對於林木的為害，應以抗害力大之樹種為造林樹種，則本實驗之樹種中，可採麻六甲合歡或楓香；行道樹可採楓香或山茶，尤以山茶為佳。若就改善環境衛生而言，欲利用林木作為某地區空氣污染程度的指標，則應採敏感樹種為原則，如本實驗樹種中之杜鵑即可採用為二氧化硫污染之「指標植物」(Indicator plant)。反之，若為潔淨空氣以利人體健康而應用林木作為一過濾層(Filter layer)，則仍應採抗害力強樹種，如榕樹或竹類等均可(參見第二部分)。

(3)針葉樹種中以濕地松最易受害，再依序為琉球松、柳杉、黑松。故以林業經營而言，應以黑松、柳杉為造林樹種，龍柏可為良好之行道樹；若就改善環境衛生而言，則仍可以濕地松、琉球松為之指標植物。

(4)山茶與龍柏在本實驗濃度範圍內均未有受害症狀出現，為對二氧化硫污染較不敏感樹種。

(5)本實驗所用之林木雖為二年生之幼小林木，然由其對不同濃度之二氧化硫的反應，可間接測知其他林齡對二氧化硫為害之反應情形；況林木隨着林齡的增長，抗污染為害的能力亦隨之增加，故以本實驗結果作為造林及經營上的參考，仍具可靠性。

第二部分：臺灣空氣污染嚴重地區排出之二氧化硫對於林木的影響。

(Part Two: Responses of Trees to the Sulfur Dioxide Emitted from the Areas of Serious Air Pollution in Taiwan)

VI 實驗目的及採樣地區 (Purposes of Experiment and Sampling Areas)

臺灣近十餘年來，由於都市發展，人口集中，工商廠場林立，機動車輛如穿梭流水，致使人為空氣污

染物不斷而大量的向空中排放。以臺北及三重為例，從大小煙囪所排放之煙塵，瀰漫空際，令人心碎，登高瞭望，常見整個市空為暗淡煙幕所覆蓋，污染程度可以想像。民國54年10月高雄市東南化工廠排放過量二氧化硫，致使緊鄰之中學師生九十餘人中毒，前鎮工業區暨其他縣市因工廢業氣傷害農作物而引起之糾紛，亦層出不窮，凡此均為拳拳著例，不僅為害及人體健康，對動植物亦有致命的影響。但截至目前，有關臺灣地區林木受空氣污染的影響之研究尚少，對於空氣污染嚴重地區之林木實際受害程度尚未有實際之調查與測定，故本研究專題之第二部分針對此方面進行研究，除與第一部分之溫室內試驗相對照，以得知林木受二氧化硫之為害情況外，並可提供為育林上，森林經營上之作業參考，以及在改善生態環境方面之實際應用——森林過濾層之建造。本試驗於下列數種不同污染來源地區選取樣本。

①北投硫磺溫泉區(天然污染)；

②彰化化學纖維工廠地區；

③新竹硫酸銨工廠地區；

④鶯歌陶瓷工廠地區；

⑤羅東造紙工廠地區；

⑥蘇澳水泥工廠地區；

⑦臺北行道及溪頭林道。

試驗期間自六十年十二月至六十一年五月

VII 葉部硫含量之測定方法 (Method for Measuring Sulfur Content in Leaves or Needles)

測定葉部硫含量之過程依下列步驟順序進行：

1) 將葉片剪成碎片，置入燒杯內，放入 60°C 之烘箱內24小時，使成絕乾。

2) 用微天平 (Microbalance) 稱量此絕乾葉片重。

3) 為溶解葉內之硫化物，加入蒸餾水(或丙酮)，置24小時，使溶解葉內硫化物之作用完全。

4) 過濾溶液，以除去其他雜質。

5) 於濾過之溶液內，加入適量之 BaCl₂，使生沈澱物 (BaSO₄)。

6) 量測此沈澱物重量。

7) 由該 BaSO₄ 沈澱物中，計算出硫含量，並進行校正。

VIII 結果與討論 (Results and Discussion)

(1)結果

由上述七個污染嚴重地區選取標本進行分析，其葉部硫含量，分別以表列之如下：

表2: 鶯歌陶瓷工廠地區之葉部硫含量

Tab.2: Sulfur content in leaves sampled from the area of Ying-ko porcelain factories. (ppm)

樹	種	葉部硫含量 (ppm)
相思樹	(<i>Acacia confusa</i>)	1991.48*
大葉桉	(<i>Eucalyptus robusta</i>)	1851.98*
鴨腳木	(<i>Schefflera octophylla</i>)	2934.71*
朱槿	(<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>)	10632.32*
桑樹	(<i>Morus australis</i>)	4486.29
破布仔	(<i>Cordia dichotoma</i>)	2137.58
榕樹	(<i>Ficus retusa</i>)	2837.48*
豬腳楠	(<i>Machilus thunbergii</i>)	1703.31
鳳凰竹	(<i>Bambusa floribunda</i>)	2630.47*
綠竹	(<i>Bambusa oldhami</i>)	1773.58
小葉鰻頭果	(<i>Glochidion fortunei</i>)	3564.30
魯花樹	(<i>Scolopia oldhami</i>)	2044.87
賊仔樹	(<i>Evodia glauca</i>)	10978.28
山漆	(<i>Rhus succedanea</i>)	1411.58

*爲平均值 (average value)

表3: 北投硫磺溫泉區之葉部硫含量

Tab.3: Sulfur content in leaves sampled from the area of Pei-tou sulfuric springs. (ppm)

樹	種	葉部硫含量 (ppm)
杜鵑	(<i>Rhododendron kanehirai</i>)	2467.71
山榕	(<i>Ficus wightiana</i>)	3809.01
綠竹	(<i>Bambusa oldhami</i>)	5151.68*
鰻頭果	(<i>Glochidion fortunei</i>)	8477.29
大葉桉	(<i>Eucalyptus robusta</i>)	684.66
小葉赤蘭	(<i>Eugenia microphylla</i>)	12946.18
琉球松	(<i>Pinus luchuensis</i>)	2737.68*
相思樹	(<i>Acacia confusa</i>)	2332.03*
山黃麻	(<i>Trema orientalis</i>)	4304.84
重陽木	(<i>Bischofia javanica</i>)	3495.36
九節木	(<i>Psychotria rubra</i>)	4033.14
野桐	(<i>Mallotus japonicus</i>)	5177.56
南燭	(<i>Lyonia ovalifolia</i>)	4264.25

表4：新竹硫酸銨工廠地區之葉部硫含量

Tab.4: Sulfur content in leaves sampled from the area of Hsin-chu ammoniac sulfate factory. (ppm)

樹	種	葉部硫含量 (ppm)
蒲葵	(<i>Livistona chinensis</i>)	3191.43
黃槿	(<i>Hibiscus tiliaceus</i>)	8943.59*
綠竹	(<i>Bambusa oldhami</i>)	5477.05*
相思樹	(<i>Acacia confusa</i>)	3715.87*
石楠	(<i>Photinia serrulata</i>)	5139.42
木麻黃	(<i>Casuarina equisetifolia</i>)	2969.34*
榕樹	(<i>Ficus retusa</i>)	8670.57*
烏桕	(<i>Sapium sebiferum</i>)	9157.53
魯花樹	(<i>Scelopia oldhami</i>)	4556.19
夾竹桃	(<i>Nerium indicum</i>)	6805.09

表5：羅東造紙工廠地區之葉部硫含量

Tab.5: Sulfur content in leaves sampled from the area of Lo-tung paper-making factory. (ppm)

樹	種	葉部硫含量 (ppm)
榕樹	(<i>Ficus retusa</i>)	1018.55
大五榔	(<i>Roystonea regia</i>)	1353.78
琉球松	(<i>Pinus luchuensis</i>)	838.09
龍柏	(<i>Juniperus chinensis</i>)	655.13
夾竹桃	(<i>Nerium indicum</i>)	1426.97

表6：蘇澳台泥工廠地區之葉部硫含量

Tab.6: Sulfur content in leaves sampled from the area of Su-ao cement factory. (ppm)

樹	種	葉部硫含量 (ppm)
榕樹	(<i>Ficus retusa</i>)	1510.59
夾竹桃	(<i>Nerium indicum</i>)	1433.89
豬腳楠	(<i>Machilus thunbergii</i>)	2537.18
相思樹	(<i>Acacia confusa</i>)	716.03*
九芎	(<i>Lagerstroemia subcostata</i>)	3112.48
桑樹	(<i>Morus australis</i>)	5093.09
野桐	(<i>Mallotus japonicus</i>)	1834.85
木槿	(<i>Hibiscus syriacus</i>)	420.46
扶桑	(<i>Hibiscus schizopealus</i>)	2673.91

表7: 臺北市行道樹之葉部硫含量

Tab.7: Sulfur content in leaves sampled from the road sides in Taipei. (ppm)

樹	種	葉部硫含量 (ppm)
夾竹桃	(<i>Nerium indicum</i>)	2505.19
豬脚楠	(<i>Machilus thunbergii</i>)	379.99*
構樹	(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	7307.76
杜鵑	(<i>Rhododendron kanehirai</i>)	2659.72
白千層	(<i>Melaleuca leucadendron</i>)	3773.19
大葉桉	(<i>Eucalyptus robusta</i>)	1053.11*
相思樹	(<i>Acacia confusa</i>)	637.13*
榕樹	(<i>Ficus retusa</i>)	2373.39
濕地松	(<i>Pinus elliottii</i>)	579.04
朱槿	(<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>)	6954.83
木麻黃	(<i>Casuarina equisetifolia</i>)	1476.35
大王椰子	(<i>Roystonea regia</i>)	1491.82
大青	(<i>Clerodendron cyrtophyllum</i>)	1686.19

表8: 溪頭行道樹之葉部硫含量

Tab.8: Sulfur content in leaves sampled from the road sides of NTU Experimental Forest at chi-tou (ppm)

樹	種	葉部硫含量 (ppm)
柳杉	(<i>Cryptomeria japonica</i>)	113.57
香葉樹	(<i>Lindera communis</i>)	274.18
江某	(<i>Schefflera octophylla</i>)	2340.72
小葉白筆	(<i>Symplocos modesta</i>)	2291.13
長梗紫苧麻	(<i>Villebrunea pedunculata</i>)	3107.65

表9: 彰化化學纖維工廠地區之葉部硫含量

Tab.9: Sulfur content in leaves sampled from the area of Chaug-hua chemical fiber factory. (ppm)

樹	種	葉部硫含量 (ppm)
大葉桉	(<i>Eucalyptus robusta</i>)	3721.86
蓖麻	(<i>Ricinus communis</i>)	9277.99
朱槿	(<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>)	11402.89*
柳	(<i>Salix dabylonica</i>)	13994.34
龍葵	(<i>Solanum nigrum</i>)	11574.69
瓊麻	(<i>Agave sisalana</i>)	8402.28
桑樹	(<i>Morus australis</i>)	1882.53

(2) 討論

硫為植物體內的重要元素，存在於許多植物的活性化合物，如：methionine, cystine, glutathione, thiocetic acid, coenzyme A, thiamine 等之中。在各種不同植物中，葉內含有機硫量大致是一定的。針葉樹種的針葉通常約含 0.1% 硫，許多闊葉樹種含 0.15~0.3%。有的植物，如十字花科植物含硫約 0.6%。由同位素 S^{35} 試驗證明，不論是由根部吸收之 $SO_4=$ 或經由葉部而來之二氧化硫，雖然 $SO_4=$ 具較大之流動性，比較 SO_2 為一更具效用之營養劑，然其最後的傾向是相同的，此因 SO_2 在其活動中，為毒性性質之作用乃局部性的，並不產生有系統的作用。

當林木葉部吸入超量二氧化硫以後，即對葉部發生為害，如以上諸表所列，葉部之含硫量均已對葉部造成損害，輕者葉變色或葉尖、葉緣枯萎，重者則全葉枯萎脫落。

有關二氧化硫為害葉部的機構，有許多種意見，

表10：比較不同地區不同樹種之葉部硫含量 (ppm)

Tab 10: Sulfur contents in leave of different species from various areas. (ppm)

葉部含硫量 採集地區 樹種	鶯歌	北投	新竹	羅東	蘇澳	行道 (北市)	彰化
朱槿 (Hibiscus rosa-sinensis)	10632.32	—	—	—	—	6954.83	11402.89
桑樹 (Morus australis)	4486.29	—	—	—	5093.09	—	1882.53
榕樹 (Ficus retusa)	2837.08	—	8670.57	1018.55	1510.59	2373.39	—
夾竹桃 (Nerium indicum)	—	—	6805.09	1426.97	1433.89	2505.19	—
竹類 (Bambusa)	2630.47	5151.68	5477.05	—	—	—	—
琉球松 (Pinus luchuensis)	—	2737.68	838.09	838.09	—	—	—
相思樹 (Acacia confusa)	1991.48	2332.03	3715.87	—	716.03	637.13	—
大葉桉 (Eucalyptus robusta)	1851.98	684.66	—	—	—	1053.11	3721.86
豬腳楠 (Machilus thunbergii)	1703.31	—	—	—	2537.18	379.99	—

1) 由表10可知，各不同污染來源中，以新竹硫酸銨工廠之二氧化硫污染為害最嚴重，因為此種大量使用硫化物之工廠所排出之二氧化硫，為量最大。北投硫磺溫泉為天然污染；羅東造紙工廠作業期間短；蘇澳水泥工廠，排出者大部份為灰泥，故此等地區之二氧化硫污染較少，葉部之硫含量亦少。

2) 葉部之硫含量視樹種不同而有顯著差異，就各污染來源不同地區，各樹種葉部硫含量之多寡順序顯呈一致性。以朱槿、桑樹、榕樹等硫含量最多；自其葉表觀之，僅顯現輕微症狀甚且呈正常者。此即顯

Hasehoff和Linbau以為， SO_2 與葉中之醣類作用，而後慢慢放出反應物，對細胞發生為害，但實際上，葉部在早晨較在下午易感染 SO_2 為害，而下午的葉部含醣量是高於早上的，故與事實不合。

Noack則認為，由於 SO_2 與葉綠體中的鐵作用，干擾其催化作用的性質，以致促進次級光氧化反應 (Secondary photo-oxidative processes)，引起葉綠粒分解，致細胞死亡，但此說對不同的樹種而言發生衝突。Bleasdale 和 Hammett 二氏以為是由於 Sulfhydryl groups 與硫化物 (尤其是 $SO_3=$) 間失去平衡，Sulfhydryl groups 具促進細胞分裂與生長的作用。當 $SO_3=$ 量減少時，Sulfhydryl 活性增加，而 $SO_3=$ 增加太多時，則細胞發生永久為害。二氧化硫所以產生毒性的原因，其具氧化還原性質的作用遠重於其酸性作用。

綜合以上諸表，就較重要樹種再列表如10表所示

示此等樹種縱含極大硫含量，而其生長狀況未見嚴重受害，故似可定言，其乃強抗二氧化硫污染之理想樹種，可吸收大量二氧化硫；就改善環境衛生而言，此等皆為理想樹種。

3) 林木所在位置與風向等均為影響因子。如鶯歌地區之朱槿 (Hibiscus rosa-sinensis)，位於風上者，葉部硫含量為 9048.18ppm，而位於風下者竟高達12216.46ppm。

4) 葉或針葉的性質影響二氧化硫或硫化物進入或積聚葉內的多少，粗糙毛質的葉表，如杜鵑 (

Rhodedondron kanehirai)、構樹 (Broussonetia papyrifera) 等常積聚極多量的硫化物。

第三部分：車輛排氣中之鉛素污染對林木之影響

(Part Three: Effects of Air Pollution by Lead Component in Automotive E-haust Emissions on Trees)

XI 車輛排氣中之鉛素污染對林木之影響狀況 (The Situation of Air Pollution by Lead Component in Automotivd Exhaust Emissions on Trees)

鉛素對植物之生長而言並非需要之營養素，故植物體內通常僅含極少量之鉛素。於論及燃油機械所產生之空氣污染物中，Hurn 氏 (1968) 曾指出汽車排出之微粒汚物中最具重要角色者為鉛素，此等鉛素之來源乃係為防止引擎過份振盪而於燃油中加入四乙基化鉛 (Tetraethyl lead) 之結果。燃燒後之鉛素約有70~80%排入大氣中，其餘則殘留於引擎等機械上

年 份	1948~51	1951~54	1954~57	1957~60	1960~62
年輪中之鉛含量 (ppm)	0.3~0.4	0.4	0.9	1.2	2.4

在瑞典，Rühling & Tyler 二氏 (1968) 曾指出，由於交通量之增加，道傍苔蘚植物之含鉛量由20ppm (1860年) 增至80~90ppm (1968年)。

又做為飼料或食物之不同植物中所能容許之最大鉛含量標準，實乃極為重要之課題。Leh 氏 (1966) 及 Schroeder & Balassa 等氏 (1961) 均曾對此等問題進行深入研究。飼料之該項標準定為10ppm，而大麥者為1~6ppm，甘藍菜者則定為1~3ppm。

X 鉛素污染對臺灣植物之影響 (Effects of Air Pollution by Lead Component on the Plants in Taiwan)

為瞭解臺灣林木及一般植物受鉛素污染為害之情況，並為人體健康之警戒作用而尋出可做為鉛污染「指標植物」之樹種或植物，故於本研究中，分別在臺北市各地及其近郊，與臺大實驗林溪頭林區等地之道

表11：臺北市行道樹及其他植物之葉部鉛含量

Tab.11: Lead content in leaves samplea from the road sides in Taipei. (ppm)

樹 種 或 植 物 類 別	路道交通量*	鉛含量 (ppm)
大 葉 桉 (Eucalyptus robusta)	I	55.35
大 葉 桉 (Eucalyptus robusta)	IV	120.70
濕 地 松 (Pinus elliottii)	I	114.00

。該等排出之鉛素，主要結構為下列物質之混合，即：PbCl. Br, α & β 型之 $NH_4Cl \cdot 2PbCl. Br$ 與 $2NH_4cl. PbCl. Br$ 。Hö gger 氏 (1968) 指出，瑞士自從於1947年開始准許在汽油中加入四乙基化鉛後，蘇黎世 (Zurich) 城街道之塵埃中所含之鉛素即急速由原有之0.05%增至0.2%，而後即維持在此一含量程度上，渠另亦同時指出，辦公室職員之血液中所含鉛素約為0.25ppm，而汽車房工人者都達0.35 ppm，後者之鉛含量實已超過人類健康所能容許之平均標準(0.25ppm)，故有鉛中毒 (Lead poisoning) 之威脅。在植物體內之鉛含量，亦隨樹齡之增加而增多。雖然鉛素在植物體中移動困難，甚至是不移動的，但 Schroeder & Balassa 二氏 (1961) 則發現，榆樹之年輪中所含鉛量隨年而增；與此相同之發現亦見於 Meier 氏 (1966) 之研究報告中，其所得之結果如下所示。乃係1954年新開公路後道傍雲杉之鉛含量驟增現象：

傍採集各主要植物之葉，以測定其鉛含量之差異。

測定鉛量之步驟如下：

- 1) 將葉片剪成碎片。
- 2) 於60°C之烘箱中烘乾該等葉碎片24小時。
- 3) 以微天平稱此等不同樹種之絕乾葉片重。
- 4) 為抽出葉片中之鉛素，加入10c.c. 硝酸及50c.c. 蒸餾水之溶液於盛裝乾葉片之燒杯中 (鉛素即完全溶於該溶劑中而釋出)。
- 5) 過濾該溶液。
- 6) 以「原子吸收分光光度計」 (Atomic Absorptive Spectrophotometer) (Unicam Series 90) 測定每一溶液中之微小鉛含量。
- 7) 計算鉛含量並校正。

對50種植物進行鉛含量之採樣與分析後，所得結果如表11至表14中所示。

小葉饅頭果 (<i>Glochidion fortunei</i>)	I	131.40
相思樹 (<i>Acacia confusa</i>)	I	279.45
大青 (<i>Clerodendron cryptophyllum</i>)	I	298.80
豬脚楠 (<i>Machilus thunbergii</i>)	II	147.20
豬脚楠 (<i>Machilus thunbergii</i>)	I	303.80
金露花 (<i>Duranta repens</i>)	I	321.75
蘆竹 (<i>Bambusa tenostachya</i>)	I	459.00
夾竹桃 (<i>Nerium indicum</i>)	II	62.15
榕樹 (<i>Ficus retusa</i>)	II	90.75
珊瑚刺桐 (<i>Erythrina corallodendron</i>)	II	152.55
赤楠 (<i>Syzygium samarangense</i>)	II	163.00
朱槿 (<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>)	II	279.20
木麻黃 (<i>Casuarina equisetifolia</i>)	II	503.45
枸杞 (<i>Lycium chinensis</i>)	II	549.25
杜鵑 (<i>Rhododendron kanehirai</i>)	III	306.00
白千層 (<i>Melaleuca leucadendron</i>)	III	466.95
構樹 (<i>Broussonetia papyrifera</i>)	III	513.00
大五椰子 (<i>Roystonea regia</i>)	IV	564.20

* I = 100車輛數/小時 (Autos/hour) , II = 200車輛數/小時,
III = 250車輛數/小時, IV = 350車輛數/小時。

表12: 臺北近郊地區烏來行道樹及其他植物之葉部鉛含量

Tab.12: Lead content in leaves sampled from the road sides at Taipei-Suburb, Wu-lai. (ppm)

樹 種 或 植 物 類 別	鉛 含 量 (ppm)
山 刈 葉 (<i>Melicope confusa</i>)	42.00
桂 花 (<i>Osmanthus fragrans</i>)	45.60
山 美 蓉 (<i>Hibiscus taiwanensis</i>)	57.60
樹 杞 (<i>Ardisia sieboldii</i>)	60.00
山 胡 椒 (<i>Litsea cubeba</i>)	60.00
杜 英 (<i>Elaeocarpus sylvestris</i>)	69.60
豬 脚 楠 (<i>Machilus thunbergii</i>)	75.60
江 某 (<i>Scheffera octophylla</i>)	84.00
水 金 京 (<i>Wendlander formosana</i>)	900.0

* 烏來之道路交通量 = 150車輛數/小時 (Autos/hour)

表13 臺北近郊地區南港行道樹及其他植物之葉部鉛含量 *

Tab.13: Lead content in leaves sampled from the road sides at Taipei-suburb, Nan-kang. ppm

樹 種 或 植 物 類 別	鉛 含 量 (ppm)
夾 竹 桃 (Nerium indicum)	66.00
老 鼠 刺 (Itea formosana)	72.00
月 橘 (Mureaya paniculata)	84.00
香港饅頭果 (Glochidion hongkongense)	90.00
薊 竹 (Bambusa stenostachya)	105.60
朱 蕉 (Cordyline terminalis)	114.00
朱 槿 (Hibiscus rosa-sinensis)	114.00
白 肉 榕 (Ficus vasculosa)	132.00
美 人 蕉 (Lanna indica var orientalis)	162.00
塔 柏 (Junipers chinensis)	168.00
木賊葉木麻黃 (Casuarina equisetifolia)	168.00
大 葉 桉 (Eucalybtus robusta)	102.00
艷 紫 杜 鵑 (Rhododendron pulchrum)	102.00

* 南港之道路交通量=250 車輛數/小時 (Autos/hour)

表14: 臺大實驗林溪頭林區道傍林木及其他植物之葉部鉛含量 *

Tab.14: Lead content in leaves sampled from the road sides of NTU Experimental Forest at Chi-tou. (ppm)

樹 種 或 植 物 類 別	鉛 含 量 (ppm)
杉 木 (Cunninghamia lanceolata)	17.60
牛 奶 榕 (Ficus beechogyana)	18.50
柳 杉 (Cryptomeria japonica)	57.20
孟 宗 竹 (Phyllostachys edulis)	60.80
大花曼蘿陀 (Datura alba)	61.80
威氏粗榧 (Cephalotaxus wilsoniana)	65.79
香 葉 樹 (Lindera communis)	87.60
臺灣白臘樹 (Fraxinus formosana)	91.00
長梗紫葶麻 (Villebrunea pedunculata)	159.00
江 某 (Schefflera octophylla)	166.00

* 溪頭之道路交通量=30 車輛數/小時 (Autos/hour)

由表11至14中所示，並得知如下之諸種瞭解：

(1) 不同植物中之葉部鉛含量有極大差異，縱在同一地區或同齡者亦然。

(2) 葉部鉛含量之多少，主要係視交通密度（車輛數/小時）而定；例如臺大實驗林溪頭林區道傍之樹葉所含鉛素小於 100ppm（見表14），而臺北市區及近郊者都高達 100~600ppm（見表11至13）。

(3) 葉部表面之特性顯著影響鉛素在葉面停留與積聚之過程；在粗糙而多茸毛之葉面，例如構樹者，皆含有較高之鉛素（構樹者高達 513ppm）。

(4) 針葉樹之葉部鉛含量較闊葉樹者為低，但落葉樹者則係例外。譬如：杉木之針葉中所含鉛量為 17.60ppm，而於同一道路傍採得之江某 (Schefflera octophylla) 之葉部鉛含量却達 166.00ppm。

(5) 落葉樹之葉部鉛含量較低，蓋因其於冬季落葉，故鉛素積聚之機會較少。

(6) 老齡之樹葉較幼齡之樹葉所含鉛量為多，例如：同一地區大葉桉 10 年生者為 55.35ppm，而 16 年生者為 120.70ppm (參看表 11)。

(7) 葉部鉛含量之多寡，就林木所在位置之橫向與縱向分佈情形，主要係受天氣狀況之影響，尤其是風向、風速及降水等因子最具效應。臺北近部地區之道路傍樹葉中之鉛含量，在道傍六十公尺以內則其變化急驟，超過此距離即見葉中鉛含量減少並維持穩定。至於葉部鉛含量之垂直分佈，則近地處之樹葉較之上層者有更多之鉛含量，尤以「渦動層」(Turbulent layer) 者為然。

(8) 葉部鉛含量變化靈敏之樹種與一般植物，如杜鵑、木麻黃等皆可用為「指標植物」；此種結果與 Keller 氏 (1970) 之研究所得可資比較。

(9) 葉部受鉛污染為害之外表症狀，一般均不顯著，但時或見得葉緣之褪色與乾枯。

參 考 文 獻 (References)

1. Hindawi, I. J. 1968: Injury by Sulfur Dioxide, Hydrogen Fluoride and Chlorine as Observed and Reflected on Vegetation in the Field. *Journal of Air Pollution Control Association* 18: 307~312.
2. Hogger, D. 1968: Zweiter Bericht der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene. *Bull. d. Eidg. Gesundheitsamtes* (Bern). Beilage B. Nr.3, 71S.
3. Hurn, R.W. 1968: Mobile Combustion Sources. in "Air Pollution, Volume III" edited by A. C. Stern: 55~93.
4. Keller, Th. 1970: Der jetzige Bleigehalt der Vegetation in der Nähe schweizerischer Autostrassen. *E. f. Präventivmedizin* 15: 235~243.
5. Lacasse, N. L. of Moroz, W. J. 1969: Vegetation Damage. *Handbook of Effects Assessment*.
6. Leh, H. O. 1966: Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen. *Gesunde Pflanzen* 18: Heft 2.
7. Linzon, S. N. 1971: Economic Effects of Sulfur Dioxide on Forest Growth. *Journal of Air Pollution Control Association* (1971).
8. Ruhling, A. & Tyles, G. 1968: An Ecological Approach to the Lead Problem. *Bot. Natiser.* 121: 321~342.
9. Schroeder, H. A. & Balassa, J. J. 1961: Abnormal Trace Elements in Man: Lead. *Journal of Chronic Diseases* 14: 408~425.
10. Thomas, M.D. & Hendricks, R. H. 1956: *Air Pollution Handbook*, Chap. 9.