

北宜高速公路坪林隧道豎井排氣對茶樹生長環境影響 調查研究

研究單位：財團法人中興工程顧問社

計畫主持人：王亭復

類別：環保

編號：研究報告 047

出版年月：1995年3月

GPN 9124830200

◎摘要

北宜高速公路坪林隧道預定由坪林北端入山，沿途將設置三處通風豎井，為瞭解坪林隧道附近目前之背景空氣品質現況、鄰近茶區之茶樹生長環境及本工程未來豎井排氣之擴散情形，有必要進行深入研究。本研究工作係依據北宜高速公路運轉後之交通量、各型車輛之廢氣排放量及設計通風量等資料，推估坪林隧道三處通風豎井排放廢氣進入大氣後，於空中及地面之濃度分佈情況，並與空氣品質標準相互比較，校核其是否符合該項標準之規定；此外，並進行坪林茶區茶樹生長環境及背景空氣品質之調查，以建立該地區之環境背景資料庫。本研究之主要工作內容包括：

1. 氣象調查：於坪林隧道三處豎井附近設置氣象觀測站，以收集當地之長期氣象資料，並提供豎井排氣之數值模擬及風洞實驗參考，以符合當地之氣象特性。
2. 數值模擬：利用調查所得之各項背景資料，藉由數值模式模擬坪林隧道三處豎井排氣之擴散情形。
3. 風洞實驗：利用大氣邊界層風洞模型，進行近域和遠域之擴散模擬，以瞭解坪林隧道三處豎井排氣之擴散範圍及濃度分佈的情況，並與數值模擬結果進行比對及校驗證，提高數值模擬之準確度。
4. 空氣品質及茶樹生長環境調查：經由實地調查與監測，以瞭解坪林隧道附近之背景空氣品質及茶樹生長環境，並可建立北宜高速公路施工前之背景資料。

◎結論與建議

本專題研究各項相關之研究內容、工作方法及研究成果，已於上述各章節中詳述；以下將分別針對前述成果，加以綜合整理並摘述如后。

1. 坪林隧道附近地區之氣象特性

本研究有關氣象觀測部份，其項目包括風向、風速等共計九項，並已完成持續一年之逐時連續觀測，其與豎井排氣擴散關係最為密切者為風向與風速。依據實測結果分所，三組通風豎井附近之風向與風速具有下述特性：

一號氣象站位於山腰地帶，其全年風向以東南東風及東南風出現之頻率最

高，發生機率分別為 21.8% 及 20.2%；在東北季風盛行之季節，其大尺度的氣流到達此處受到地形的影響，以致風向變為東南風，此與該地之地面坡度走向十分吻合，出現在十公尺高度之風速以 2~4m/s 發生頻率 56.8% 為最大。

二號氣象站乃位於山谷中之小山頭上，其全年風向以東南風及南南東風出現之頻率最大，發生機率分別為 31.5% 及 24.9%，東南東風出現之頻率亦不小，且大部分係發生在風速較低時；十公尺高度之風速係以 0~2m/s 間出現之機率較大，約為 63.7%，由於本測站位在山谷中，故其平均風速為三站中之最小者。

三號氣象站位於靠近海邊的山頂上，其所測出之氣流受局部地形的影響較小，且風向較為分散，主要以東北東風和東風為主，發生機率分別為 18.1% 及 16.3%，偏南之風向所佔比率相當少；由於此站位於未受阻擋之山頭上，故其風速也較高。十公尺高度之風速介於 0~2m/s 及 2~4m/s 之發生機率均在四成左右，其風速曾發生超過 6m/s，惟其全年機率仍低於 5%。

由於風速與風向受地形之影響極大，尤其三個氣象站均位在山區，因此各站之測值係代表局部地區之氣流狀況，而與大尺度之風場有所不同。

依三處氣象站之地理條件而言，以第三號測站受地形影響較小，亦即其測值較接近大尺度之風場。此等風向與風速之觀測資料，可提供風洞實驗與數值模擬分析充份且必要的實驗參數。

2. 風洞實驗與數值模擬分析之比較與驗證

風洞實驗主要目的在於探討豎井排氣再吸入的比率，及排氣擴散後濃度分佈的情形。廢氣再吸入之比率乃利用 1/700 縮尺之模型進行模擬，三組豎井均選擇六個不同風向、兩種排放高度 (14m 和 28m) 及兩種速度比值，組合成 24 種不同的狀況分別加以模擬；在各個組合條件下，廢氣再吸入的比率均未超 1%，其影響應屬輕微。如就三個豎井加以比較，則以一號豎井廢氣再吸入的比率較高，二、三號豎井則略低，其原因係二號豎井位於山谷地形中，地面附近之風速較低，而風速低將有利於氣流之上升，因此，廢氣再吸入的比率較低；而三號豎井位於迎風坡，當排氣豎井位於上風位置時，氣流會隨著山坡面成仰角上升，此種現象將有利於氣流上升，因此，其最大的廢氣再吸入比率會較低。此外，二號豎井排氣擴散後，於下風約 2 公里處之氣流濃度可稀釋至 8000 倍，因此，二號豎井排放廢氣對直線距離約 4 公里處之一號豎井，其間之排氣干擾影響極輕微，可予以忽略不計。

依據風洞實驗所量測地面濃度分佈之情形顯示，一號豎井於吹北風時，在排氣豎井附近的地面濃度最高可達到排氣濃度之 1.72%，二號與三號豎井則由於氣流上升較高或排氣豎井位於山頂，以致形成的地面濃度較低。

數值模擬工作係利用有限元素法分析排氣豎井附近流場變化和排氣擴散的情形，由於數值模擬之條件較風洞實驗簡化，以致兩者間之結果略有不同，惟尚屬合理。就廢氣再吸入的比率而言，在中性穩定狀態下，風速較低或地面亂流強度較高時。廢氣再吸入的比率將會較高。而排氣豎井高度較高時，氣流之高度將會變高，因此，廢氣再吸入的比率就會減低。依據數值模擬之結果顯示，當排氣豎井高度為 14m 及 W/V 比值為 5.5 時，將發生 1.2% 之最大廢氣再吸入比率，其

與風洞實驗結果之最大值 0.73% 比較，相差不大；故可研判在中性穩定狀態下，豎井排氣再吸入比率最大值約為 1.2%，其對吸排氣井間之影響應屬輕微。

另就形成之地面濃度而言，其主要係受風速與豎井高度之影響，排氣豎井愈高其所產生之地面濃度將較低，惟差異並不明顯；風速則具有較顯著之影響，當風速較大時，由於上升高度相對較小，以致產生較大之地面濃度。若以一號豎井為例，前述風洞實驗之最大地面濃度為 1.72%，而數值模擬於相似情況(H=14m, W/V=3.67) 下之最大著地濃度則僅為 0.5% 左右，故研判一號豎井附近發生最大地面濃度應在 1.72% 以下。

汽車排氣中之廢氣成份係以氮氧化物為主，其他硫氧化物、一氧化碳等均不高；坪林隧道於設計尖峯流量情形下，一號豎井排氣中氮氧化物之濃度約為 14.ppm，依前述分析結果，並考慮氮氧化物排放至空氣後其最終生成二氧化氮之比例，推估一號豎井附近造成二氧化氮最大著地濃度增量為 0.169ppm，惟此一濃度係發生在北風及 10 公尺高風速為 2.4m/s 之情況下，其發生之機率僅有 0.4% 左右。

3. 坪林隧道附近空氣品質現況特性

有關北宜高速公路坪林隧道開發前之背景空氣品質調查工作，其測定項目包括：二氧化氮、二氧化硫、一氧化碳、臭氧、總碳氫化合物、PM₁₀、TSP、鉛含量、風向與風速，測定時間自 81 年 9 月至 82 年 9 月，測值則涵蓋四季之情況。各測站二氧化氮日平均值介於 3.1ppb ~ 10.7ppb 之間，最高小時值為三號測站之 27ppb，各季測值以春季濃度最高，夏季濃度最低；各測站中以二號豎井採樣站之濃度較低，而以三號豎井採樣站之濃度較高，惟各測站之測值皆遠低於小時平均值 250ppb 之空氣品質標準限值，顯示坪林隧道計畫區域附近目前之 NO₂ 環境背景值仍相當低。

二氧化硫各測站之日平均值介於 1.1ppb ~ 8.6ppb 之間，最高小時值為二號測站之 16ppb，各季測值以秋季與冬季之濃度較高，而以夏季濃度最低。此外，各測站各次測值皆遠低於空氣品質日平均值 100ppb 及小時平均值 250ppb 之標準限值，顯示目前坪林隧道計畫區附近之二氧化硫濃度仍低。

一氧化碳各測站之日平均值介於 0.33ppm ~ 0.61ppm 之間，最高小時值為三號測站之 0.90ppm，各測站濃度由高而低依序為三號豎井採樣站、一號豎井採樣站及二號豎井採樣站，此外，各測站大致以夏季期間之濃度值最高，且所有測值均較空氣品質小時平均值 35ppm 之標準限值為佳。

臭氧各測站之日平均值介於 0.016ppm ~ 0.045ppm 之間，三個測站最高小時值濃度皆在 0.100ppm 以下，以三號豎井採樣站之濃度最低。此外，各測站測值並無明顯之變化情形。其逐時濃度變化則在下午時段出現尖峰濃度。

總碳氫化合物各測站之日平均值介於 1.34ppm ~ 2.23ppm 之間，各測站中以一號豎井採樣站之測值最高，而以三號豎井採樣站測值最低。就季節變化而言，三個測站皆以夏季測值較低，而連續 24 小時濃度變化趨勢則在 15:00 至 17:00 出現較高濃度，尤其以三號豎井測站最為明顯。

各測站 PM₁₀ 之 24 小時介於 19 ~ 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間。其中以二號豎井採樣站之濃

度最高。而以一號豎井測站最低；就季節變化而言，大致以夏季的測值最低。整體而言，所有測值皆遠低於空氣品質標準 $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之限值，顯示本調查區域附近之 PM_{10} 背景濃度良好。

各測站之 TSP 24 小時值介於 $31\text{-}66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，其中以一號豎井採樣站測值最低；就季節變化而言，以春季及冬季之測值較高，夏季測值最低。

各測站鉛含量之 24 小時值介於 $0.01\sim 0.049 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，其中以三號豎井採樣站之測值較高，其餘測站之測值均很低且變化不大；就季節變化而言，各季測值均低且相當平均，並無明顯季節變化趨勢。

4. 坪林隧道豎井排氣與背景空氣品質之綜合效應

依據本研究工作空氣品質調查結果，一號豎井附近六次連續 24 小時之觀測值中，二氧化氮最高小時值為 15 ppb，若以此數值做為背景之二氧化氮小時值，則北宜高速公路完工通車後，在一號豎井下風處所可能產生之最高二氧化氮小時濃度值為 184 ppb，此為極端保守之估計值，其發生機率僅有 0.4% 左右。

5. 坪林隧道附近茶區之茶樹生長環境現況

(1) 土壤條件

二處調查地區之茶園主要分佈在地形較為平坦且土層較為深厚處，其土壤質地由砂壤土至粘土，水土保持普遍良好，除坪隧西口上方曾發生坍塌外，土壤未見明顯沖蝕流失之現象。土壤酸鹼度雖以超強酸性為主，但因茶樹為嗜酸性作物。除 pH 值小於 3.5 之土壤應留意有無養份釋放不均衡的問題外，概屬茶樹適栽範圍；土壤有機質含量平均適中，理化性質良好。二處調查地區土壤中，茶樹生長所必須之大量及微量元素含量分佈差異頗大，其中氮、磷、鉀肥料三要素的平均含量均在需求標準以上，顯示平均化學肥料施用量尚屬充足，鈣、鎂之含量則普遍偏低；微量元素就現有標準評估，以銅、鋅含量較低，對茶樹生長有益元素鋁之溶出量甚高，故氫 - 鋁交換反應乃為本區土壤緩衝酸雨之主要方式。依據環保署所訂「台灣地區土壤重金屬含量及等級區分表（暫定）」標準，若未校正因抽出液不同所造成之小幅差異（標準係以 0.1N 鹽酸抽出），則二處調查區鎘含量均屬偏高之第 4 級（ $0.4\sim 10\text{PPM}$ ），鉻含量均屬中等之第 3 級（ $0.1\sim 10\text{PPM}$ ），鉛含量亦屬中等之第 3 級（ $1\sim 15\text{PPM}$ ），鎳含量均屬較低之第 2 級（ $< 2\text{PPM}$ ），銅含量經加權校正後均屬較低之第 2 級（ $1\sim 11\text{PPM}$ ），鋅含量經加權校正後亦均屬較低之第 2 級（ $1.6\sim 10\text{PPM}$ ）。二處調查區茶樹由土壤吸收之重金屬比值應以鎘較大，惟仍不致於有安全上之顧慮，至於其他自然背景下之重金屬對茶樹生長造成抑制或毒害之可能性極微。綜合土壤調查結果，二處調查區之土壤並無明顯影響茶樹正常生長之現象

(2) 茶樹生長環境

文山地區是本省最老的茶區之一，在農業氣候上屬於東北氣候分區，其氣候特性為 9 月下旬至 10 月下旬因東北季風吹襲，在迎風坡面常造成連續性降雨，而 12 月下旬至翌年 2 月上旬山坡地常有低溫出現；若與本省其他氣候型態之茶區比較，本區氣象條件特色偏向於低溫高濕，茶樹在此種穩定之環境下，除部份偏遠陡坡茶園管理較粗放，茶樹有老化現象外，大多數茶園茶樹生長情形良好，惟在管理上有修剪及採摘過度的傾向，導致茶樹樹高矮、樹幅小而影響其產量。此外，二處調查地區之空氣品質良好，葉面塵量甚低，其成茶及較上位成熟葉片之元素含量分析結果均正常。

6. 坪林隧道豎井排氣與茶樹生長環境之評估

空氣污染物對植物生長的影響途徑可分為直接與間接兩種，直接途徑係指植物曝露於初級污染物（如硫氧化物、氮氧化物、氟化物、氯化物及碳氫化物）及二級污染物（如臭氧與過氧化氮）等有害氣體下，以及落塵直接覆蓋在植物體表面上，均可能對作物生長造成傷害；間接途徑方面，當污染物沈降至地面後，經過土壤離子置換吸附，被作物由根部吸收，或因陽離子釋出導致土壤理化性質及營養狀態改變，而可能對作物生長造成傷害。由於不同品種之作物對不同污染源之不同途徑感受程度各有差異，加以作物之感受性受環境因子（如溫度、濕度、降雨、日照等）的影響至鉅，因此作物對空氣污染物的反應極為複雜。但綜合言之，作物受害程度主要為污染物濃度和曝露時間兩因子的函數，亦即作物受害程度不僅決定於污染物的濃度，更與曝露時間長短有極為密切的關係。

依據前述分析顯示，坪林隧道三座通風豎井以二氧化氮排氣濃度之影響較為明顯，其餘如二氧化硫、一氧化碳、懸浮微粒之影響則較小；就二氧化氮而言，其對植物生長之影響主要為葉片之黃化現象及傷害成熟葉片之葉肉組織，主要視大氣中二氧化氮之濃度及曝露時間而定。依據 U.S.EPA 之研究，二氧化氮引起植物（包括：果樹、農作物、灌木及菸草等多種植物）死亡、葉部受損之濃度及曝露時間之關係如圖 1 所示，在無影響曲線與葉部受損曲線之包絡範圍，則會影響植物之生長速率及光合作用。由圖 1 可知，在空氣品質標準二氧化氮小時平均值 250ppb 濃度下曝露三十小時，植物之生長仍不受影響。本研究結果顯示於一號豎井附近所造成二氧化氮之最大小時值約為 184 ppb，低於空氣品質標準 250 ppb 之限值，惟其發生機率僅 0.4%，且發生時間亦十分短暫；此外，茶葉較之一般植物有較厚之角質層保護，對空氣污染物之抗性應較一般植物為佳。

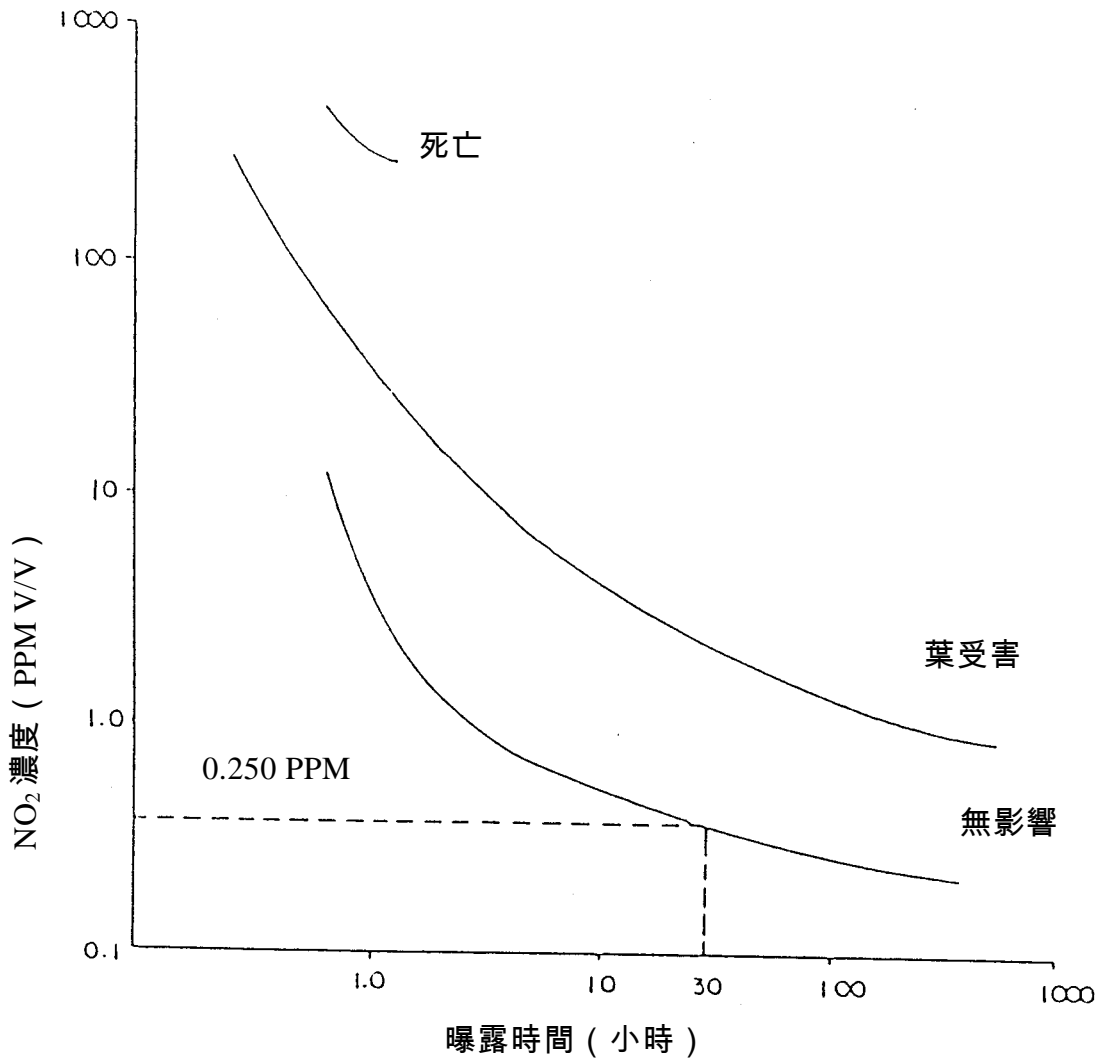


圖 1 NO₂對植物之影響程度

資料來源：EPA(USA), "DIAGNOSING VEGETATION INJURY CAUSED BY AIR POLLUTION", 1978, EPA-450/3-78-005.