行政院國家科學委員會專題研究計畫　成果報告

綠帶型式與配置方式對減低噪音之研究(2/2)

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：NSC93-2313-B-002-028-
執行期間：93 年 08 月 01 日至 94 年 07 月 31 日
執行單位：國立臺灣大學園藝學系暨研究所

計畫主持人：張育森
共同主持人：方智芳

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中　華　民　國 94 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫■成 果 報 告 □期中進度報告

（綠帶型式與配置方式對減低噪音之研究）

計畫類別：■個別型計畫　□整合型計畫
計畫編號：NSC 93－2313－B－002－028
執行期間：九十二 年 八 月 一 日至 九十四 年 七 月 三十一 日

計畫主持人：張育森
共同主持人：方智芳
計畫參與人員：

成果報告類型（依經費核定清單規定繳交）：□精簡報告■完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：
□赴國外出差或研習心得報告一份
□赴大陸地區出差或研習心得報告一份
□出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
□國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢
□涉及專利或其他智慧財產權，□一年□二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學園藝學系

中 華 民 國 九 十 四 年 十 月 一 日

摘　　要

本研究探討 35 種樹帶的減音效益。在樹帶前方施放音源，於樹帶內部不同地點設置噪音計測量噪音。重要的參數包含樹帶的可見度、寬度、高度及長度。採用逐步迴歸法來探討樹帶減音因子的重要性，結果顯示可見度與相對衰減呈現對數負相關，寬度、高度及長度與額外衰減呈現對數正相關。最後將可見度與寬度的額外衰減值投影在圖面，趨勢擬和線的結果可以作為樹帶減音的實質建議。

關鍵字：植物、減音、相對衰減

Abstract

This study investigates the noise reduction effect of 35 evergreen-tree belts. A point source of noise was positioned in front of the tree belts and the noise level at various points in the belts were measured with a noise meter. Factors important for noise reduction include visibility, width, height, and length of the tree belts. Stepwise regression was employed to examine the factors associated with noise reduction. A negative logarithmic relationship between the visibility and relative attenuation was found. A positive logarithmic relationship between relative attenuation and the width, length or height of the tee belts was also found. A map showing the relationship between visibility together with width was plotted. The map provides some practical suggestions concerning design of tree belts for noise reduction.

Keyword：Plant; Noise reduction; Relative attenuation

目　　錄

前　　言 1
文獻探討 1
研究方法 5
一、研究材料 5
二、使用儀器 5
三、試驗方法 7
四、大氣溫度 8
研究結果 8
一、平均相對衰減 8
二、複迴歸模型 9
三、大型樹帶的減音準則圖 9
討　　論 10
一、樹帶類型與相對衰減之關係 10
二、樹帶之減音因子 11
三、減音準則圖之應用 12
結　　論 12
參考文獻 13
計畫成果自評 15

表目錄

表 1 研究材料 6
表 2 複迴歸模型 9

圖目錄

圖 1 噪音測量示意圖 7
圖 2 平均相對衰減 9
圖 3 樹帶之減音準則圖 10
圖 4 可見度與相對衰減之關係圖 11

前　　言

植物經常被視為戶外的天然減音材料，已有少數文獻對提出植栽減音配置的原則性建議。但是當設計者想近一步了解有效隔音的植栽種類、密度、樹林寬度等數據時，文獻並沒有明確性的建議準則，即定量方面的研究還有很大的空間，因此從事植栽減音模式之研究有其必要性。目前國外的研究多以溫帶地區之落葉、針葉樹林為研究對象，與台灣常見的常綠闊葉林有極大差異，國內亦缺乏本土減音樹種之相關研究。國外多數文獻皆測量某特定綠地的減音效果，並未有系統地探討植物形態、樹林厚度、密度等因子對噪音的衰減效應。因此國內亟需針對本地環境提出適宜的植栽減音相關數據，並深入探討各因子的減音成效，故從事減音植物的研究實有其可行性。

研究目的

由於一般森林變相複雜不易釐清，故本研究擬以純林苗圃為實驗材料，以樹林之寬度、樹冠直徑、高度及可見度（枝葉茂密度之指標）為參數，探討植物的減音效應與途徑，並篩選良好之本土性減音植栽，尋找適當的植栽形式與噪音衰減的關係，未來建立植物減音準則之參考，其兼具實用與學術價值，可作為植栽設計時兼具減噪之依據。

文獻探討

Eyring（1946）以噪音計測試巴拿馬熱帶叢林對人工點音源的衰減效應。以樹林的視覺可見度作為林帶茂密度的指標，樹林可見度從 6 m～90 m 不等。文中發現，樹林對於高頻音的衰減效果較好、可見度與衰減度呈現負相關的趨勢。

Wiener and Keast(1959)探討聲音在森林內部的衰減，在樹林內部設置白噪音，距離音源不同距離處(最遠達 240 m)設置接收器。接收器高度 1.5 m，音源高度 1.5~3 m。結果顯示隨著距離增加，各頻率的衰減也隨之增加，代表該樹林的減音途徑以吸收效應為主。另外研究亦發現頻率越高，衰減率越高。

Embleton（1963）探討針、落葉樹林的減音效果。在樹林前方 1.5~3 設置人工點音源，在樹林內部 15~60 m 處設置噪音計，並在附近空曠處設置相同的對照阻。試驗的樹林包含西洋杉、松樹、雲杉及落葉樹，樹種的可見度在 6 m～18 m 之間。作者發現 500 Hz 的頻率在樹林中有放大的作用，是因為樹枝的長度與該波長產生共振效應所致。

Aylor（1972）探討植群與地面的減音效應，在植群前方設置人工噪音，在植群內部設置噪音計。並建立植群葉型、枝葉密度、土壤空隙度的減音預測模型。文中顯示植物是透過散射（scattering）與距離衰減（attenuation）效應以減低噪音，這兩種效應皆是隨著距離而增加，因此噪音也隨著距離增長而減弱。樹葉可以散射的方式減低 500

～4000 Hz 的高頻音，葉片越多效果越佳，假若樹葉不足，高頻音將被樹幹所吸收，惟減音效能低於葉片之作用。裸露的地面亦可減少 200～1000 Hz 的低頻音。聲音的傳送損失是透過植物葉片與樹幹的散射作用而成。

Reethof（1973）透過文獻整理，認為 30 m 厚度的針葉林或闊葉林下方再種植灌叢，可減低交通噪音約 5～8 dB。並建議種植可見度較低、高度較高的樹林有良好的減音效果。

Cook and Haverbeke（1974）研究喬木與灌木的減音效果，是在林帶前 7.5~120 m 設置固定音源，在林帶後方不同位置處測量噪音，並在附近設置對照組。他測量 7 個林帶的噪音量，探討噪音在林帶後方的衰減趨勢，並建立林帶減音因子的複迴歸模式。他認為減音的重要因子為林帶的結構性而非枝葉特性。另外他改變音源與接收器的距離，探討最適合設置林帶的區位。發現 R（音源）/S（接收器）＝1 效果最差，R/S 越大減音效果越佳，顯示林帶應當較靠近音源，較遠離接收器。亦發現 30 m 深的密林可減低 5～8 dB；較不茂密的樹林可衰減 3 dB，且提出 2 m 厚的柏樹綠帶約可減輕 4 dB，並建議在都市中種植濃密的綠籬可以在有限的空間中有效的減低噪音。整體而言，種植喬木、灌叢及草地的綠帶，約可以減輕 8～15 分貝的噪音。

Haverbeke and Cook（1974）認為聲波可以被樹葉、嫩枝、枝幹、主幹及掉落的葉子所吸收。落葉樹有較薄的葉柄，有較高的韌性與耐震性，因此吸收與散射的效益大於闊葉林，但是落葉樹落葉之後減音效果驟減，因此以終年的減音效果而言，針葉樹與闊葉樹的效益較高。此外，樹林對於聲波的繞射與散射大於吸收效應。

Reethof and Hisler（1973）的研究報告顯示，當聲波通過樹林時，地面可以對 20～100 Hz 的低頻音產生吸收效應，因此雜亂的地表層具備吸音的功能，大的枝幹則對 2000～8000 Hz 的高頻音產生反射及繞射效應。整體而言，樹林的散射效應大於吸收效應。文中並建議緊密混植灌叢、針葉、落葉樹 30～60 m 厚，可以明顯減輕交通噪音。

Herrington（1976）綜整他人文獻，發現草地的穿透損失為 1.2 dB／30 m；紅松（Red Pine）為 4.4dB／30 m；茂密的挪威雲杉（Norway Spruce）為 8.4 dB／30 m。

Burns（1979）探討松樹林的吸收效應，在殘響室中放置樹枝，測量各頻率的衰減趨勢。建立聲波在針葉表面所產生的黏性熱消散（吸收效應）模型，並且比較模型與實際的吸收衰減效果；另外亦測量樹枝與針葉的共振效果，以探討散射效應。結果發現試驗面積愈大，衰減效果愈高，是由於吸收效應的影響；樹枝與針葉的長度會與波長相近的頻率發生共振，進而產生散射效應以衰減噪音。

Kragh（1979）在鐵路旁測量二處樹林的減音效果，以 dBA 為量測單位，實驗的氣候條件是晴朗、溫暖、風速小於 3 m／sec 的狀態。在樹林內與樹林外空曠區域設置實驗組與對照組，對照組代表距離衰減效應，實驗組包含植物與距離的衰減效應，將對照組減去實驗組的數據後，可求出植物的減音效應。結果發現扣除距離衰減效應之

後，25 m 厚的綠帶約可減低噪音 6 dBA。

Martens（1980）在無響室中試驗四種植物的減音效果，以探討聲波在不同樹林類型中的傳遞形式。結果發現樹葉是透過散射、折射、繞射等途徑以減低聲能。本研究植物的枝條長度約為２m，剛好與中頻（250~1000 Hz）音產生共振，因此放大了中頻的能量。本研究亦建立植物生物量與額外衰減的關係式，得知不同植物的生物量與額外衰減有不同的趨勢，顯示生物量不適合作為植物減音的參數。

Kragh（1981）在道路旁測量綠帶減輕交通噪音的效果，扣除距離衰減效應之後，發現有如牆壁一般濃密的杉木綠帶，其減音效果為 3～5 dB／3 m。所有的樹種對 500～2000 Hz 的衰減效果最佳，並解釋樹林的地面可以衰減 500 Hz 的聲波，樹葉及枝幹可以衰減 2000 Hz 的聲波。

Bullen and Fricke（1982）在迴響室設置圓柱體以模擬聲波在樹林中的傳遞模式。他測量殘響時間以了解樹枝的吸收效果，並提出吸收效應的理論公式。在殘響室發射震動噪音，紀錄所有方位的震動音量，以建立樹木的散射效應的理論公式。他認為林帶必須超過 60 m 以上，才能由地面吸收 1000 Hz 以下的低頻音。植物能以散射、吸收方式衰減 1000 Hz 以上的聲波。當枝幹的直徑等同或大於波長，則可產生散射效應。當試驗面積愈大，葉片產生的吸收效應越多，衰減效果愈佳。他推演出樹林的減音模式（公式七），前提為密度 0.1 棵 m^{-2}、樹幹直徑＞1 m、音源頻率＞2000 Hz、散射距離 1 m、吸收距離 20 m 的森林條件。

Attenuation＝ 8.5＋0.15 d （dB） ----------公式七

d：音源距離

孫翠玲（1982）選擇北京 11 種綠化植栽類型，在樹林前方設置人工音源，於林帶後方測量噪音量，以探討植栽樹種、結構、林帶寬度等因子之減音效益。該實驗之樹林厚度、音源距離不一，將樹林淨減音效果除以樹林寬度，以求得樹林平均每公尺的減音值。結果顯示常綠喬木加灌木類型的綠帶減音效益最佳，其次為 1.7 m 高的綠籬，減音效果最差者為草皮。並發現綠帶的結構與寬度是主要的減音因子，其中又以結構為主導。

Fricke（1984）探討森林影響噪音傳遞的各種因子及其交互關係。在森林中發射瓦斯槍當作音源，在離音源 10~200 m 設置噪音計，以錄音帶紀錄音源的衰減率。他比較空曠區與森林區的頻譜型態，發現地面（空曠區）可以衰減低頻音（250 Hz 以下），森林可以衰減高頻音（2000 Hz 以上），但林地對中頻（250~1000 Hz）的衰減效果差。他從音源的衰減率得知森林以散射途徑衰減中頻音，以吸收途徑衰減高頻音。他在殘響室以地毯及木頭地面模擬犁過的農地與水泥地的減音效果，發現地毯阻抗低，可衰減 70 Hz 以下的頻率；木頭地面阻抗高，減音效果差，顯示多空隙的農地比水泥地的減音效果佳。他亦變換音源及接收器的高度，發現地面可以衰減較多的低頻音。他比

較三種樹林的減音效果，發現年齡大、密度高的樹林可以衰減高頻音；當密度相同時，胸徑較小的樹林可以衰減較多的中頻音；較年輕的樹林為地面效應較明顯，所以能衰減較多的低頻音。

Price（1988）在無響室以圓柱體模擬樹林，測量樹林與地面的吸收、散射效應，以建立樹林減音的三種模型：地面效應、面積與枝幹密度模型、面積與樹葉密度模型。該研究亦選擇三種樹林，測量聲波的衰減，以驗證上述三種模型的準確性。該研究發現樹林可衰減 500 Hz 以下、1000 Hz 以上的頻率。

凌德麟、方智芳（2001）初步探討植栽的減音效果，選擇 10 個苗圃為試驗材料，在苗圃前方設置音源，苗圃內部設置噪音計，並在附近空曠去至相同的對照組。將對照組數值減去試驗組數值，可以得到相對衰減值，代表苗圃的衰減效果。透過歸納法得知灌叢的減音效果最良好，稀疏的喬木減音效果最差。該研究以相對衰減為依變項、植物的可見度、高度、枝下高為依變項，納入複迴歸分析之中，從標準化迴歸係數得知可見度、枝下高與額外衰減成負相關，高度與額外衰減成正相關。

上述的研究主題可分為兩大類，一為探討樹林的減音現象與機制（Eyring, 1946；Wiener & Keast, 1959；Embleton, 1963； Aylor, 1972；Burns, 1979；Martens, 1980；Bullen & Fricke, 1982；Fricke, 1984；Price, 1988），並建立減音的預測模型（Aylor, 1972； Burns, 1979；Bullen & Fricke, 1982）；二為探討樹林類型與結構的減音效果與因子（Cook & Haverbeke 1974；Kragh, 1979；孫翠玲，1982。

研究減音現象與機制的文獻是以微觀的角度分析樹葉、樹枝與地面的散射、吸收效應，所得結果有助於物理現象的解釋。甚至有少數研究建立葉片面積（Aylor, 1972）、枝葉密度（Aylor, 1972）、地面效應（Aylor, 1972）、吸收與散射效應（Burns, 1979；Bullen & Fricke, 1982）的減音數學模型。但受限於模型的假設前提，例如密度、高度、種類、樹幹尺寸等條件，以及參數不易取得，例如林帶的葉片面積、枝葉密度、黏滯係數、電阻量……使這些模型不容易推廣利用。

研究樹林結構的文獻是以巨觀的角度探討林帶的整體減音效果，找出重要的減音因子，可作為減音植栽配置的建議。Kragh（1979, 1981）與孫翠玲（1982）探討不同綠帶類型的減音效果，然而該結果僅能做個案討論，無法提供明確、廣泛的減音建議。Cook and Haverbeke （1974）是透過複迴歸分析建立樹林減音的預測模式，但是該研究僅探討高度、距離、溫濕度等少數因子，尚未探討長度、寬度、茂密度、地形變化等重要因子，因此所得結果有限。凌德麟與方智芳（2001）、方智芳與凌德麟（2001）已初步探討苗圃的減音因子，方智芳與凌德麟首次透過趨勢擬和法求出灌叢的減音準則圖，這兩篇研究的試驗樹種有限，所得結果僅能作為粗略的建議。

本計畫將擬以「探討適合台灣的綠帶減音配置模式」為主旨。綜整上述文獻，本計畫將以 Cook and Haverbeke（1974）、凌德麟與方智芳（2001）、方智芳與凌德麟（2001）的研究模式為基礎，以複迴歸模找出重要的減音因子；以 Aylor（1972）、Burns（1979）、

Bullen and Fricke（1982）…….等人所發現的減音機制來解釋本研究的物理現象；最後運用方智芳與凌德麟（2001）的趨勢擬和法，建立樹帶的減音準則圖，所得結果將更具完整性與實用性。

研究方法

一、研究材料

本研究選擇大面積純林苗圃、高度與密度均勻、且背景音在 48 ± 2 dB A。共選擇 35 種苗圃進行噪音衰減的測量。各樹種相關資料如表 1。

二、使用儀器

採用 01 dB Stell SIP 95S 型攜帶式噪音計作為測量噪音之工具，在測量前以 NIST QS1900 型音源校正器校正噪音計。使用 Aiwa 手提音響，作為音源設備，輸出功率為 50W，最大出音量為 105 dBA，本實驗控制起始音源為 100dBA。採用 Davis Wizard III 風速風向計。Sure Fire 6P 強力探照燈，65 lumens。

噪音計之相關設定如下：(1)A 權音壓位準 (2)快特性時間加權 (3)70～120dB 檔位。

本研究先錄製交通音噪音再加以剪接，形成噪音變動率較低、頻譜與交通噪音相似的音源，可減少測量時間，並提高實驗的準度。首先於都市內高車流量之十字路口，在下午 5:30～6:30，錄製交通噪音。攜回專業錄音室剪接某一段變動頻率較低的噪音，重複錄製成一卷 30 分鐘的錄音帶，再以擴音裝置將噪音固定成 100dBA 的音源。計算處理過音源的累積平均值，發現在第 22 秒以後呈現穩定狀態，平均值為 74.8 dB A，標準差是 0.89，故決定每次量測時間 30 秒。

表 1 研究材料

綠帶樹種	學名	可見度 (m)	高度 (m)	長度 (m)	寬度 (m)	間距 (m)
麵包樹	*Artocarpus altilis*	19	7	25	40	1*1.5
榕樹	*Ficus microcarpa* L.f.	15	5	50	60	3*4
黃金榕 a	*Ficus microcarpa* L.f. "Golden Leaves" a	3	4	110	25	1*1
黃金榕 b	*Ficus microcarpa* L.f. "Golden Leaves" b	5	4	80	30	1*1
黃金榕 c	*Ficus microcarpa* L.f. "Golden Leaves" c	15	4	85	30	3*1.5
福木 a	*Garcinia subelliptica* a	1.3	4.5	50	20	0.5*0.5
福木 b	*Garcinia subelliptica* b	2.5	6	70	20	1.8*1.5
福木 c	*Garcinia subelliptica* c	3.5	4	70	20	0.8*08
福木 d	*Garcinia subelliptica* d	4.1	4.5	120	20	1.4*1.4
黃槿	*Hibiscus tiliaceus*	13	4	300	50	1.5*1.5
竹柏 a	*Nageia nagi* a	4.3	4	70	25	1.5*1
竹柏 b	*Nageia nagi* b	5	4	110	20	1.5*1
竹柏 c	*Nageia nagi* c	7	4	70	20	0.7*0.7
竹柏 d	*Nageia nagi* d	10	4	25	20	1*0.8
竹柏 e	*Nageia nagi* e	13	3	30	20	1.5*1.5
欖仁 a	*Palaquium formosanum* a	9	7	100	25	1*1
欖 b	*Palaquium formosanum* b	35	2.5	25	20	2*1.5
羅漢松 a	*Podocarpus macrophyllus* a	11	6	30	20	2*2
羅漢松 b	*Podocarpus macrophyllus* b	30	5	20	25	3*3
楓香	*Liquidambar formosana*	50	5	35	50	1.5*1.5
檸檬桉	*Eucalyptus citriodora*	200	12	80	120	1.8*1.8
落羽松	*Taxodium distichum*	100	6	35	45	3.5*3.5
南洋杉	*Araucaria heterophylla*	8	9	80	60	3*1.6
莿桐	*Erythrina variegata* L. var orientalis	25	3.5	30	40	1.2*1.5
斑葉榕	*Ficus microcarpa* L.f. "Hawaii" 5	28	3	30	30	1.2*1.2
榆樹	*Senna siamea*	13	5.5	50	20	0.8*0.8
華盛頓椰子	*Livistona chinensis*	12	4.5	40	45	1*1
旅人蕉	*Ravenala madagascariensis*	7	9.5	90	30	1*1
山茶花	*Camellia japonica*	30	1.8	50	60	1.8*1.8
黃梔	*Gardenia jasminoides* .	20	1.5	50	110	1.5*1.5
英國冬青 a	*Ilex aquifolium* a	3	2.2	90	55	1.3*1.3
英國冬青 b	*Ilex aquifolium* b	30	1.1	80	150	1.5*1.5
夾竹桃	*Nerium indicum* Mill.	8.3	4	100	25	1*1
茶樹	*Camellia japonica*	×(e)	0.6	200	100	1*0.4
竹子	*Bambusa dolichoclada*	1	10	60	70	0.1*0.2

三、試驗方法

在樹林寬度的中央處劃設一條中央線，在中央線左右各劃設一條與其平行的穿越線（圖 1）。從林帶邊緣為起點，在穿越線第 5 m 設一個樣點，第 10 m 設第二樣點，第 15 m 設第三樣點，其後以此類推。每個樣點之代號（例如 5-m）代表該林帶的深度。依照林帶條件不同，樣點數為 3～10 個不等，樣線長度在 15～50 m 之間。將各樣線相對應的樣點（如穿越線 A、B 的 5-m 樣點）所測得的音壓位準平均值之後，代表林帶在某個區域（例如 5 m 區域）的音壓位準平均值。此外，在林帶附近空曠的區域劃設對照組，以比較林帶區以及空曠區的減音差異。將空曠組的數據減去試驗組的數據，可以得到相對衰減（relative attenuation），代表樹林的減音效果。

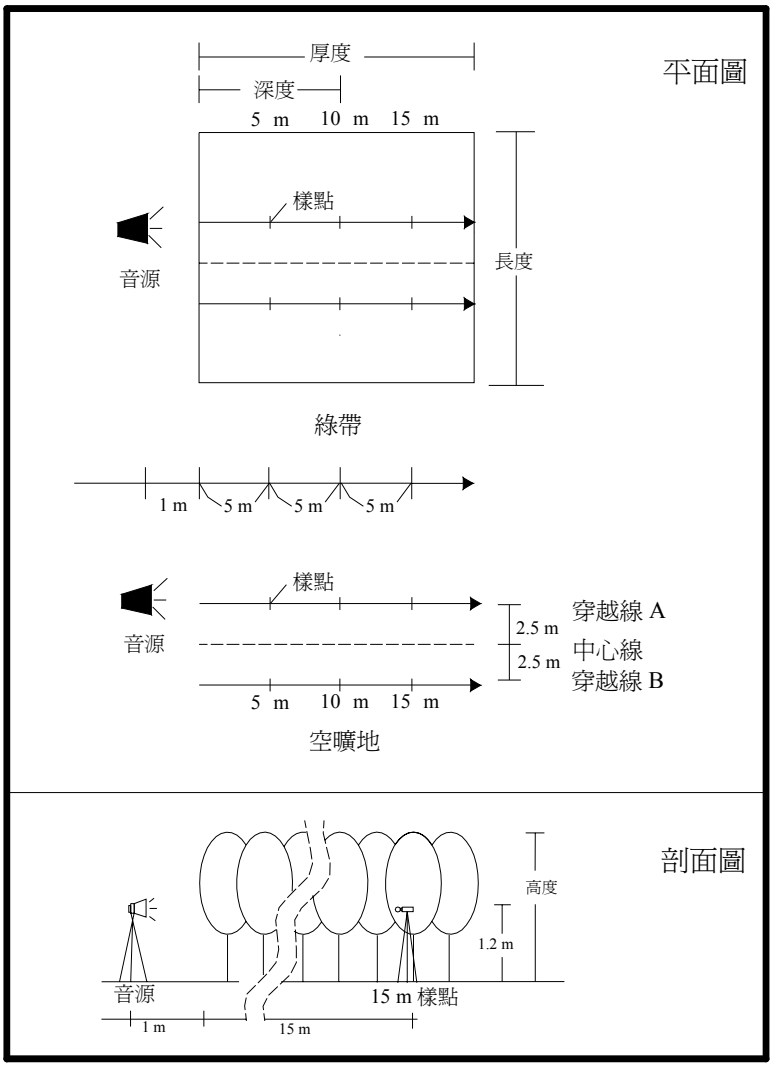

圖 1 噪音測量示意圖

由於樹林的茂密度難以測量，曾有學者以可見度作為量化數據。亦即以物體在樹林中消失時，與目測者之間的距離。本法是以光波的傳遞距離來模擬聲波之形式，由於可見度是反應人類視角範圍內的樹林茂密程度，且視角範圍類似聽覺收音範圍，因此可見度能夠代表植物阻擋聲波的具體指數。本研究先採用目視法，測量粗略的可見度，再於夜晚運用強力探照燈，以照度計接收，判斷可視距離，加以校正。目視法與照度計接收法的差距約 0.5m，但照度計接收法的精確度可達到 0.1m，以提高可見度之精確度。可見度以 V 代表。

空曠區量測數據代表單純之距離效應，樹林區之數據包含距離與植栽效應，故將空曠區各樣點之數據減去樹林區之數據，即可求出樹林區各樣點的相對衰減。

四、大氣溫度

由於氣候的改變會影響聲音的傳遞速度與衰減效應，因此許多研究皆在固定的氣候條件下進行實驗，便可忽略氣候對於聲波的影響。故本實驗皆在氣候晴朗、風速小於 2m/sec 的條件下進行，以提高試驗的精確度。

研究結果

一、平均相對衰減

三十五種種樹帶的平均相對衰減(圖 2)可分為三群：

第一群：屬於有效減音區。相對衰減在 6 dB A 以上。所有的樹種皆是可見度小於 5 m 的大型灌木或枝下高度較低的喬木。

第二群：次有效減音區。相對衰減在 3～5.9 dB A 之間。包含了喬木及灌木，可見度在 6～19 m 之間。

第三群：無效減音區。相對衰減小於 2.9 dB A。包含了稀疏的喬木及灌木，可見度超過 12 m 以上。

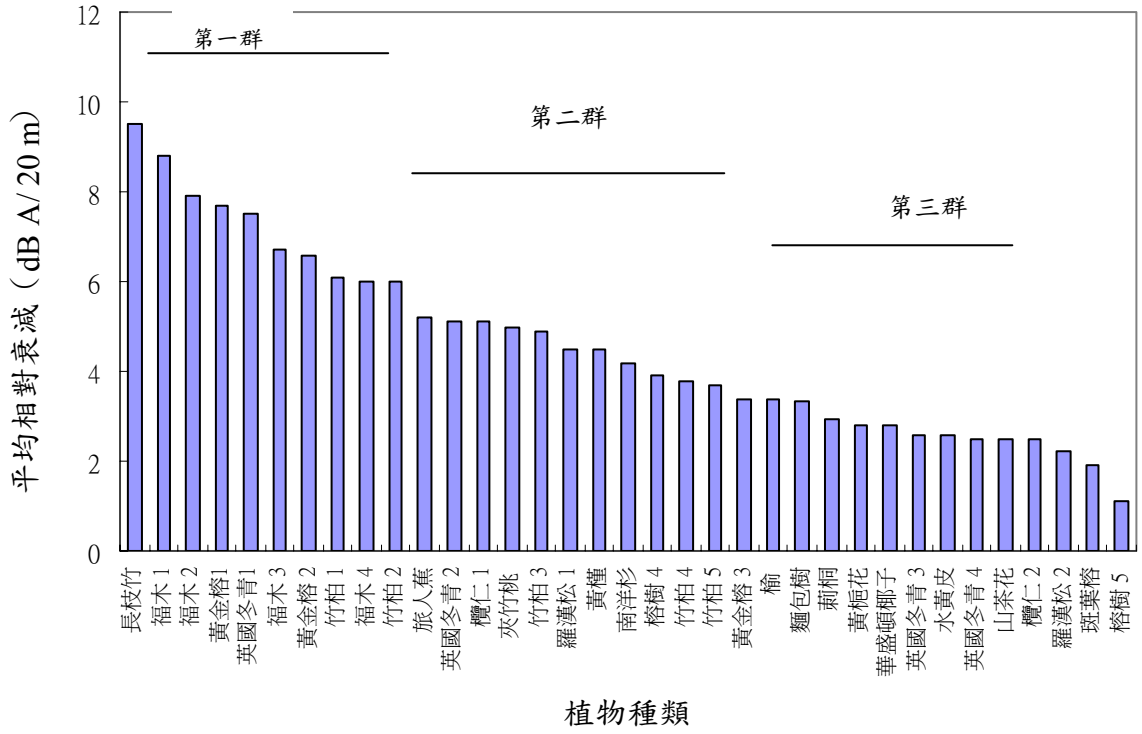

圖 2 平均相對衰減

二、複迴歸模型

從迴歸模型的 Beta 值（表 2）發現可見度與相對衰減呈負相關；高度、深度及長度與額外衰減呈現正相關。減音因子的重要性順序為可見度、深度、長度及高度。

表 2 複迴歸模型

Variable	Unstandardized coefficient (B)	Standardized coefficient (Beta)	t value
可見度 (Log)	－3.77	－.77	-21.6^{***}
深度(Log)	3.04	0.41	16.6^{***}
長度 (Log)	1.02	0.10	3.2^{*}
高度 (Log)	0.83	0.09	3.9^{*}
常數	2.75		2.1^{*}
	R^2＝ 0.76	F＝ 170.2	

三、大型樹帶的減音準則圖

將 18 種樹帶的相對衰減值投影在可見度／深度的網格圖上，從趨勢擬和線（圖 3）

得知可見度越高，相對衰減值越低；深度越大，相對衰減值越高。圖 3 的實線代表額外衰減，虛線為實線的趨勢擬和線。以 3、6、10dB A 作為分界，可將圖面分為 A、B、C、D 四個區域。

A 區是最有效的減音區，相對衰減達 10 dB A 以上。10 dB A 趨勢線的斜率為 0.26，代表可見度是較重要的因子。B 區域是次減音區，相對衰減在 10～6 dB A 之間。6dB A 的斜率為 0.65，顯示深度是較重要的因子。C 區域是中等減音區，相對衰減在 6～3 dB A。D 區域是無效減音區，相對衰減小於 3 dB A。

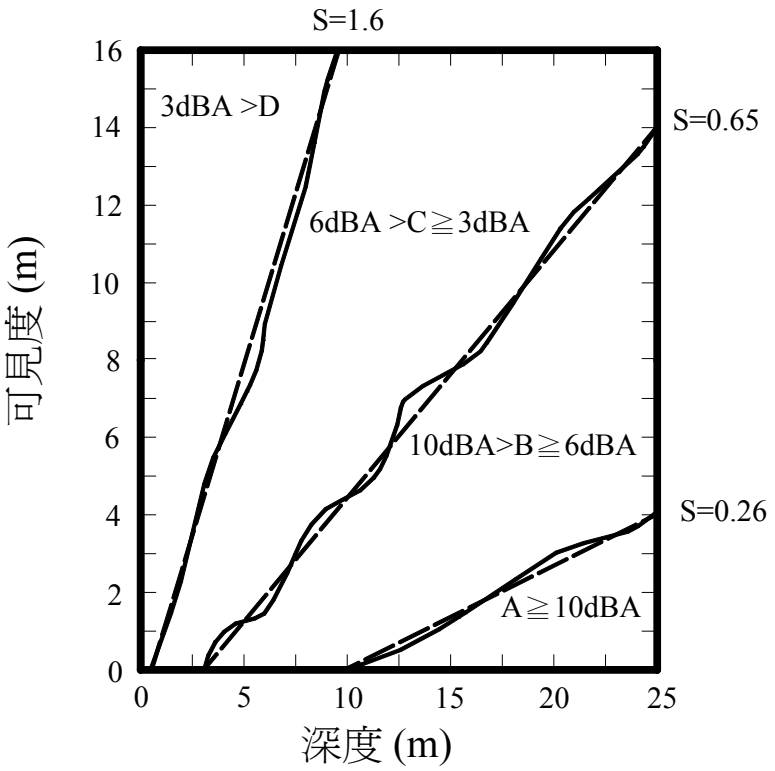

圖 3 樹帶之減音準則圖

討　　論

一、樹帶類型與相對衰減之關係

在 35 個樹帶當中，第一群皆是濃密的灌叢，具有最佳的減音效果。Ishii （1994）卻認為低矮的灌叢不具減音效果，是因為該研究的試驗植物皆低於音源 0.5～1 m，植物無法對聲波產生散射、繞射等效應所致（Fang and Ling, 2002）。Herrington（1976）則認為濃密如擋風板的綠籬，可以減低相當程度的噪音量。本研究第一群的植物有茂密的枝葉，可以在接收器的高度阻擋聲波，因此減音效果佳。第二群植物的減音效果次佳，雖然植物的型態差異極大，包含灌叢及枝下高較低的喬木，但是它們仍然能在接收器的高度提供較密的枝葉阻擋聲波。第三群的減音效果較差，包含樹種為稀疏的灌木及枝下高度高的喬木，由於在聲波傳播的路徑上缺乏茂密的吸收、散射聲波，因

此衰減效果差。

二、樹帶之減音因子

以樹帶的減音途徑而言，樹帶是依靠密度、高度、寬度及長度因子來減低噪音，而非樹葉尺寸及枝幹型態（Cook & Haverbeke, 1974）。由於密度、高度、寬度及長度會產生繞射效應（Cook & Haverbeke, 1974），樹葉枝幹特徵會產生吸收效應（Aylor, 1972），又繞射效應大於吸收效應（Cook & Haverbeke, 1974），因此在進行樹帶的減音配置時，應當著重考量樹帶的結構性，而非植物的枝葉型態（Cook & Haverbeke, 1974）。

當樹帶的可見度越低、高度越高，代表有越多的枝葉可以散射聲能（Aylor, 1972；Cook & Haverbeke, 1974）。本研究的可見度是最重要的因子，與相對衰減呈現對數遞減的關係，在 Eyring（1946）的研究當中也有類似的發現，但是該研究的趨勢線較為平緩。因為本研究的可見度在 1～200 m 之間，並發現可見度在 1～5 m 處，相對衰減隨著可見度增加急遽減少，而 Eyring（1946）樹帶的可見度在僅在 6～30 m 之間，因此 Erying（1946）數據的遞減趨勢較本研究平緩（圖 4）。

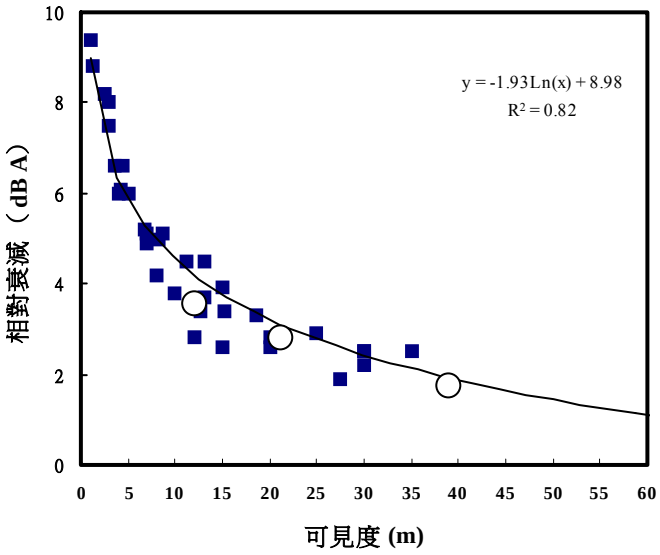

圖 4 可見度與相對衰減之關係圖

(符號 ■ 為本研究之數據，符號○為 Eyring(1946)在巴拿馬熱帶雨林所測量的數據)

樹帶的深度是另一個重要的因子，深度越大，可以產生越多的吸收（Wiener & Keast, 1959；Aylor, 1972；Burns, 1979；Bullen & Fricke, 1980）及散射效應（Cook & Haverbeke, 1974），在 Cook and Haverbeke（1974）的研究中亦發現深度越深，相對衰減越高。Reethof （1973）也認為樹帶深度至少須超過 30 m，方能提供較高的減音效益。

樹木高度越高，長度越長，能提供越多的表面阻擋、繞射與吸收聲波（Cook & Haverbeke, 1974）。當聲波投射至屏障時，部分聲波被反射，部分則繞過屏障的頂端及兩旁，當屏障高度及長度越大時，聲波繞射的長度越大，聲音的衰減量越高（蘇德勝，1994）。此外，當聲波遇見屏障時，在屏障後方會產生音影（shadow），當屏障高度及長度越大，音影區越大。Reethof and Heisler（1976）建議樹帶長度應超過 60 m 以上以提高減音效果。

在 35 種樹帶當中，灌叢能提供茂密的枝葉以散射聲波，喬木能夠提供較高的屏障以繞射聲波；然而，灌叢高度較低，無法產生足夠的繞射效應，喬木在接收器的高度無法提供高密的枝葉散射聲波。因此在進行減音植栽配置時，應混合使用灌叢與喬木的優點，採複層林的配置方式，能提高樹帶的減音效益。

三、減音準則圖之應用

本研究將可見度與深度的額外衰減值轉換成簡要的圖面訊息（圖 3），可以提供環境設計者量化的植栽減音準則。舉例而言，假若吾人計畫減低 6 dB A 的噪音量，且噪音源距離樹帶 1 m，透過圖 4 的指引，可以種植 1 m 可見度且 5 m 深度的樹帶，或是 10 m 可見度及 18 m 深度的樹帶。本圖可以反應可見度與深度的減音趨勢及互補關係，提供明確的減音植栽建議。此外，從 3、6、10 dB A 的斜率變化得知，在 A 區域的條件下，可見度是較顯著性的因子（斜率小於 0.26），換言之，改變可見度的效益較高；在 B、C、D 區域的條件下，寬度是較重要的因子（斜率超過 0.65），換言之，變更寬度的減音效益較高。

然而受限於試驗的樹帶類型（樹高 4 m、寬度 50 m）及音源距離，圖 3 僅適用於音源離樹帶 1 m、樹高超過 4 m、樹帶寬度超過 50 m 的條件。由於試驗樹種有限，本圖僅能提供粗略的建議。建議未來應增加測量的樹種、改變音源的距離等，方能提供更詳實的資料。

結　　論

本研究以大量樹帶進行試驗，探討樹帶的減音效果與重要參數。歸納出樹帶類型與減音效果的關係，並以複迴歸分析法找出減音的重要參數，最後以趨勢擬合法求出可見度與深度參數的減音關係，所得結果可最為樹帶減音配置的量化參考。綜合測量結果可得到以下結論：

一、將所有樹帶分為喬木、灌叢及枝下高度較低之喬木。發現茂密的灌叢能在接收器的高度提供高密度的枝葉阻擋聲波，因此減音效果最佳，密植的灌木如長枝竹、英國冬青及福木，其可見度在 3 m 以下，在深度 20 m 以內可產生 8～11 dB A 的衰減量；密植的喬木減音效果次佳，如旅人蕉、欖仁、南洋杉及榕樹，其可見度在 6～15 m 之間，在深度 20 m 以內可以產生 5～6 dB A 的衰減量。

二、樹帶減音參數的重要性依序為可見度、深度、長度及高度。其中衰減量與可見度呈負相關，與深度、長度及高度呈正相關。

三、將相對衰減投影到可見度 vs. 深度的網格圖中，透過趨勢擬合找出可見度與深度（厚度）的減音關係 (圖 3)。透過 3、6、9 dB A 的等位線可將減音效果分為四區，A 區為有效減音區，等位線斜率≦0.26，相對衰減≧10 dB A；B 區為次有效減音區，斜率在 0.26～0.65 之間，減音效果在 6～10 dB A 之間；C 區為中等減音區，斜率在 0.65～1.6 之間衰減量在 4 dB A 以下。D 區為無效減音區斜率≧1.6，本圖可作為樹帶減音的具體建議。

四、本研究找出樹帶的減音參數，並建立可見度與深度參數的減音關圖。未來研究應當加入距離及音源高度等參數，綜合探討多個參數的重要性及整體減音效果，並提出量化的減音準則建議。

參考文獻

方智芳、凌德麟。2001。英國冬青灌叢林之減音效果。中國園藝，47(4)，409-418。

凌德麟、方智芳。2001。植栽之減音效果。科學農業，49(3, 4)， 94-102。

蘇德勝。1999。噪音原理及控制。台北：臺隆書店。

Aylor, D.E., 1972. Noise reduction by vegetation and ground. J. Acoust. Soc. Am., 51, 197-205.

Bullen. R., Fricke. F., 1982. Sound propagation through vegetation. J. Sound and Vibration, 80(1),11-23.

Burns, S.H., 1979. The absorption of sound by pine trees. J. Acoust. Soc. Am., 65(3),658-661.

Cook, D.I., Haverbeke, D.F.V., 1974. Trees and shrubs for noise abatement. Univ. of. Neb Col of Agr Exp Sta Bull., RB246.

Embleton, T.F.W., 1963. Sound propagation in homogeneous deciduous and evergreen woods. J. Acoust. Soc. Am., 35, 1119-1125.

Eyring, C.F., 1946. Jungle acoustics. J. Acoust. Soc. Am., 18(2), 257-270.

Fricke. F., 1984. Sound attenuation in forests. J. Sound and Vibration, 92(1),149-158.

Herrington, L.P., 1976. Effect of vegetation on the propagation of noise in the out-of-doors. USDA. For. Serv. Gen. Tec. Rep. RM. U. S. Rocky. Mt. For. Range. Exp. Stn., 25, 229-233.

Kragh, J., 1979. Pilot study on railway noise attenuation by belts of trees. J. Sound and Vibration, 66(3), 407-415.

Kragh, J., 1981. Road traffic noise attenuation by belts of trees. J. Sound and Vibration, 74(2), 235-241.

Martens, M.J.M., 1980. Foliage as a low-pass filter: Experiments with mpdel forest in an anechoic chamber . J. Acoust. Soc. Am. 67(1), 66-72.

Price. M.A., 1988. Sound attenuation through trees: measurements and models. J. Acoust. Soc. Am. 84(5), 1836-1844.

Reethof, G., 1973. Effect of plantings on radiation of highway noise. Air Pollut. Control Aso., 23(3), 185-189.

Reethof, G., Heisler, G.M., 1976. Trees and forest for noise abatement and visual screening. USDA. For. Serv. Gen. Tec. Rep., NE-22, 39-48.

計畫成果自評

1. 本計畫成果與原計畫成果相符合
2. 本計畫已提出植物減音的量化配置建議，確實達到『提供公園綠地配置建議』之計畫目的。
3. 本研究成果已提出明確之量化建議，具有應用及學術價值。
4. 本研究有具體結果與建議，適合在學術期刊中發表。考慮發表之期刊如 **Horticulture : principles and practical applications**、**Landscape and urban planning** 等。