

國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文

指導教授：張世杰博士 Dr. Shih-Chieh Chang

以微氣候模式估算雲霧森林中台灣扁柏的
雲霧沉降量

Estimation of fog deposition input in a *Chamaecyparis obtusa*
var. *formosana* cloud forest by a micrometeorological model



研究生：吳敏如 Min-Ju Wu

中華民國九十二年七月

Abstract

The fog deposition flux at the Yuanyang Lake (YYL) site was estimated in this study by a micrometeorological model first developed by Lovett (1984). The YYL site is located in northeastern Taiwan at an altitude of 1670 m a.s.l. and subjected to strong influences by fog. The stand of the site is a plantation of *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* with even age and homogeneous canopy structure. For calculating the fog deposition flux at this site, the vegetation parameters relating to the canopy structure, as well as the meteorological parameters relating to wind speed and fog water concentration were determined. The most important vegetation parameter, the vertical distribution of the surface area index, of the stand was investigated for *C. obtusa* var. *formosana*. The surface areas of leaves, twigs, and stem were measured using 11 sample trees and extrapolated to stand scale using a series of allometric equations. The wind speed and visibility data were taken from the long-term monitoring records from the meteorological tower beside the stand. The other parameters relating to aerodynamic resistances and boundary layer resistances were adopted from the measurements/parameterization at a Norway spruce site in Germany (Scheer, 2002).

Total surface area index at the YYL site was $14.6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ including all sides of branch surface area, leaf surface area and stem surface area. The leaf area index of the site was $12.6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, which comprised 86% of the total surface area index. Liquid water content was calculated from visibility. Droplet size distribution was calculated from two distribution model. One was Best (1951) distribution model, and another was the log_normal distribution model modified by Sheer (2002) to describe the distribution at Waldstein site. Although the deposition flux predicted by Best model was higher than that from log_normal model, the prediction of the droplet distribution was very similar. Due to the recalculation of liquid water content and droplet size distribution, the uncertainty and errors would become very large and unmeasured.

The annual fog deposition flux at the YYL site was calculated for the period from March 2003 to February 2004 and the resulting deposition flux was 313 mm yr^{-1} . It was about 10% of total atmospheric water deposition, and similar to the value that was estimated by experimental method (328mm). Due to the higher ion concentrations of fog water than those of the rain water, the ions deposited through fog had very high proportions in total atmospheric deposition, especially for H^+ (62%), Cl^- (35%), SO_4^{2-} (39%), nitrogen in NH_4^+ (60%), nitrogen in NO_3^- (54%), total nitrogen (58%), and dissolved organic nitrogen (47%).

It indicated that the fog deposition flux plays an important role in atmospheric nutrients and pollutants input at the YYL site.

Key word: fog deposition, atmospheric deposition, surface area index, Yuanyang Lake site, yellow cypress, micrometeorological model

摘要

本研究以 1984 年由 Lovett 發展的微氣候模式，估算鴛鴦湖研究樣區的雲霧沉降量。鴛鴦湖研究樣區位於台灣東北方海拔 1670 公尺處，雲霧籠罩時數高，且雲霧被視為是影響該生態系統的重要因子。樣區為台灣扁柏的天然下種更新林，樹齡平均且冠層結構均質。為了計算該樣區的雲霧沉降量，必須取得用來描述冠層結構的植被參數，以及用來描述微氣候條件的風速跟雲霧液態水含量，並輸入模式。本研究以台灣扁柏來決定最重要的植被參數—表面積指數的垂直分布。以所測量的 11 棵樣樹的表面積值跟一系列的相對生長公式，來推算到整各樣區的樹葉、枝條、以及樹幹的表面積。風速跟能見度的資料由高於樹冠層的氣象塔長期監測而來。其他跟水平空氣阻力與邊界層阻力相關的參數，則採取在德國以挪威雲杉為主的研究區所測量或參數化的資料 (Sheer, 2002)。

鴛鴦湖研究樣區的總表面積指數為 $14.6\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ，包括枝條表面積、樹幹表面積、以及樹葉的每一面表面積，其中葉表面積佔 86%，有 $12.6\text{m}^2\text{m}^{-2}$ 。液態水含量是經由跟能見度的相關公式求得，能見度儀設置在位於樣區西北角的氣象塔之上，高度 22.3 公尺；同樣必須輸入的氣象資料風速，風向風速計也設置在這個高度，反映出由東南方向的谷風吹向樣區時的狀態。雲霧小滴的粒徑分布可經由不同的分布模式求得，一是 Best (1951) 的分布模式，以及 Sheer (2002) 以實測數據作的 log-normal 分布模式。兩個分布模式所預測的粒徑分布稍有不同，估算出來的年沉降量差異約為 50mm，以 Best 分布模式所估算出來的沉降量值較大。由於液態水含量跟粒徑分布都是經由推算出來的，轉換的過程會因為樣區條件的不同而造成誤差的產生。

2003 年 3 月到 2004 年 2 月的年沉降量是 313mm，約佔總沉降量的百分之十；跟求得整個生物量之沉降量的實驗估算法所得之沉降量 (328mm) 相似。其中，經由霧水沉降下來的離子量，在總沉降量中，具有較高的比例。尤其是氫離子，經由霧水沉降的量，佔總量的 62%，其他較高比例的有氯離子 (35%)、硫酸根離子 (39%)、銨離子 (60%)、硝酸根離子 (54%)、總氮 (58%)，以及溶解性有機氮 (47%)。顯示出霧水對於生態系水文以及化學上的重要性並不亞於雨水。

關鍵字：雲霧沉降，大氣沉降，表面積指數，鴛鴦湖研究樣區，台灣扁柏，微氣候模式

目錄

1. 前言.....	1
1.1 雲霧森林 (cloud forest)	1
1.2 雲霧沉降.....	2
1.3 估算雲霧沉降量的方法.....	2
1.4 研究目的.....	4
2. 微氣候模式.....	5
2.1 模式描述.....	5
2.2 模式假設 (assumption)	11
3. 研究方法及樣區介紹.....	11
3.1 樣區.....	12
3.2 參數化.....	12
4. 結果.....	17
4.1 表面積指數.....	18
4.2 敏感度測試.....	27
4.3 程式運算.....	31
4.4 沉降量.....	31
4.5 離子濃度.....	39
5. 討論.....	42
5.1 沉降量與沉降機制.....	42
5.2 沉降離子量.....	44
5.3 表面積指數垂直分布對模式運作的影響.....	45
6. 結論.....	50
7. 參考文獻.....	51

圖目錄

圖 1 攔截沉降在樹冠的沉降過程。	6
圖 2 沉降模式的電阻迴路圖。	7
圖 3 落葉性的林相中，葉面積指數在一年之內的變化 (PARKER, 1995)。	14
圖 4 不同樹種的葉面積指數，其垂直分布也不盡相同。	15
圖 5 台灣扁柏在不同高度的枝條直徑分布。	16
圖 6 葉表面積與乾重之關係圖。	16
圖 7 枝條表面積 (SA) 和枝條徑級 (DIA) 相關圖。	19
圖 8 枝條表面積 (SA) 與枝條徑級 (DIA) 的相關圖。	20
圖 9 胸高徑與 L 層 J 組成分子的表面積之間的關係圖。	23
圖 10 表面積指數的垂直分布圖。每個高度的總表面積指數(SAD)。	24
圖 11 三種組成分子所求得表面積指數垂直分布。	27
圖 12 七個組成分子所推算的表面積指數所作的敏感度測試圖。	28
圖 13 三個組成分子所推算的表面積指數所作的敏感度測試圖。	29
圖 14 敏感度變化程度比較圖。三種組成分子與七種組成分子之表面積指數敏感度。	29
圖 15 風速以及能見度的敏感度測試。	30
圖 16 雲霧沉降佔總沉降量比例的月分布圖。	32
圖 17 模式與實驗估算之雲霧水月沉降量的比較圖。	33
圖 18 模式估算與實驗推算的沉降量值每月比較圖。	34
圖 19 不同分布模式在每一個粒徑範圍的沉降量比較圖。	35
圖 20 沉降量與雲霧籠罩時數之間的關係。	36
圖 21 沉降量跟風速以及能見度關係圖。	37
圖 22 經由霧水沉降離子量佔總沉降量的百分比。	40
圖 23 模式估算以及實驗推算值的比較圖。中間線是代表當點在線上時，兩個值的比為 1:1。	43
圖 24 沉降實驗所得的沉降量值與能見度的關係圖 (葉青? , 2004)。	44
圖 25 本研究區表面積指數所得到的沉澱以及衝擊沉降流量圖。	46
圖 26 WALDSTEIN 樣區的表面積指數所得到的沉澱以及衝擊沉降流量圖。	46
圖 27 標準化兩個樣區的表面積指數垂直分布比較圖。	47
圖 28 WALDSTEIN 樣區的表面積指數的敏感度測試。	48
圖 29 表面積指數跟風速的關係圖。	49

表目錄

表 1 公式 (14) 中不同液態水含量等級，用來計算粒徑分布所使用的參數。	13
表 2 組成分子的分法。	18
表 3 每一層每一組成分子跟胸高徑的相關公式與相關係數。	21
表 4 樣區的各層、各組成分子表面積指數。	24
表 5 三種組成分子所估算的各層各組成分子表面積指數。	25
表 6 三種組成分子的胸高徑與組成分子表面積的相關公式。	26
表 7 每月的平均風速、平均能見度、月均溫、重力沉降 (BP)、雲霧沉降量 (FG)、雲霧籠罩時數以及所佔的比例。	38
表 8 經由霧水以及雨水沉降的離子量。	41

1. 前言

生態系中的養分以相同或不同的形式在有機組成 (organic compartment)、大氣組成 (atmospheric compartment)、可利用養分組成 (available nutrient compartment)、地質組成 (primary and secondary mineral compartment) 之間流動著。在生態系內，有機、可利用養分及地質組成形成生態系內的系統內部循環 (intrasystem cycle)，而大氣則分別與這三個組成進行養分的交換。因此從大氣組成沉降下來的物質，成為系統中一個重要的輸入來源。

大氣養分的輸入依照不同的性質來分，可依乾沉降 (dry deposition) 以及濕沉降 (wet deposition) 的方式進入生態系，乾濕沉降是以水分子有無來分，一般來說，乾沉降是指氣體以及空氣中的微粒直接沉降在植物、水、或是地表面；濕沉降則是由大氣中的微粒及水汽合併成小滴，並且以與水或雪的形式落下，或是雪花或雨滴落下的時候，把空氣中的物質帶進系統中 (Lovett, 1994)。濕沉降與乾沉降是隨處存在的，但會因為地區的不同而有不同的重要性。若是依照沉降的方式來分，濕沉降又可分為攔截沉降 (interception) 與重力沉降 (precipitation)，其中降雨屬於重力沉降，而經由風與擾流帶動的霧水沉降，則是攔截沉降，通常又稱為雲霧沉降。

1.1 雲霧森林 (cloud forest)

雲霧森林為森林生態系的一種，最大的特徵是有季節性、持續性、或時常發生的雲霧 (Hamilton *et al.*, 1995)。在中高海拔、熱帶與副熱帶氣候，或是鄰近海邊的地方，由於氣候特性所造成的低雲，加上地勢的攔截，因而形成雲霧森林 (Rutter, 1975; Vogelmann, 1973)，一般而言雲霧森林最主要的高度位於 1200 到 2500 公尺之間，隨著地區而異，迄今仍無明確的定義。在全球的分佈當中，以熱帶的山區最為常見。雲霧森林在水文上的特性，基於高雲霧籠罩時數及潮濕的環境因子影響，雲霧的沉降量比其他生態系統高且具有較低的蒸發散量，因而是下游生態系重要的水分來源 (Bruijnzeel and Proctor, 1995)；在生物特性上植物物種種類繁多，且包括許多頻危物種；雲霧森林可吸引許多動物的棲息與覓食，形成一些特殊的現象，如鳥類在雲霧森林中大量的附生植物上築巢 (Doumenge, 1995)。附生植物也是雲霧森林的特色之一，研究顯示在雲霧森林中，附生植物在冠層內的養分循環及水文動態上扮演著重要的角色，尤其是具有維管束的附生植物，在雲霧森林中較一般的草本或是灌木種類來的多，也具有較大生物量

(Rain *et al.*, 2003)。一般來說，枯枝落葉量相對於低地森林來說較少，枯枝落葉中的養分成分複雜，但是有明顯的趨勢是氮的含量較低。養分有限，然而相對的，葉子掉落前的氮再回收 (retranslocation) 情形效率較高；而附生植物的存在也增加攔截落葉的機率，提高氮在系統中的利用效率 (Bruijnzeel and Proctor, 1995)。

1.2 雲霧沉降

雲霧沉降 (cloud droplet deposition) 是濕沉降的一種，由帶著溶解的離子的雲霧小滴，接觸到表面沉降到系統之中，通常發生在突出的山地或近海的區域，由風吹動的雲霧小滴跟表面產生碰撞；雲霧沉降的機制分為兩種，一是雲霧小滴的重力沉澱 (gravitational sedimentation)，經常發生在較大顆粒的雲霧小滴；另一種是擾流沉降 (turbulence deposition)，或是說衝擊作用 (impaction)，這種作用是經由風帶動雲霧小滴，進入冠層或是植物體表面，因為慣性作用產生撞擊而沉降 (Lovett, 1994 ; Schatzmann, 1999)。系統中雲霧沉降獲得的水量，在總沉降量中，佔有一定的比例。森林冠層攔截雲或霧，對於森林中養分跟濕潤程度有顯著的影響，並且成為農用或家用水的相對來源；研究顯示，冠層跟雲霧之間產生物理的交互作用，在一些森林中，冠層覆蓋對於吹過森林的雲，可以攔截其中的液態水高達一半；且冠層與攔截的水之間也會有一些離子交換的現象 (DeFelice, 2002)，因此若是忽視雲霧沉降，將會低估這個生態系統大氣輸入的水量、微量元素、離子濃度、甚至是藉由雲霧沉降下來的污染物量，因此霧水的沉降在雲霧森林生態系統上具有水文及化學性質上的重要性 (Chang *et al.*, 2002 ; Elias, 1995 ; Glasow *et al.*, 1999 ; Kowalski, 1997 ; Lindberg, 1982 ; Lovett *et al.*, 1982 ; Saxena, 1990。F Vermeulen *et al.*, 1997 ; Vogelmann *et al.*, 1968)。

1.3 估算雲霧沉降量的方法

估算雲霧沉降的方法大概可以分為幾種：替代表面 (surrogate surfaces)、穿落水和幹流水的收集 (throughfall and stemfall)、集水區質量平衡法 (watershed mass balance)、擾流交互作用 (eddy correlation)、梯度技術 (gradient technique)、以及模式推論法 (inferential method)。

- 替代表面法：森林中，植物體的表面經常是極有效率的雲霧攔截器 (effective mechanical collector)，直接估算沉降在植物體表面上的離子量或霧水量，以計算輸入系統中的總量，是估算霧水沉降量的方式之一 (Vogelmann *et al.*, 1968)。

替代表面法是用人造的表面接受器 (surface receptor) 收集霧水，用來推估整個森林的流量；或者是利用人造模擬的枝條樹葉，在控制的條件之下，如風速、霧滴大小等等，求其收集霧水的效率，並用來推算沉降量 (Vogelmann *et al.*, 1968)；經由淋洗分析沉降在表面上的物質，配合霧水的收集、濃度的測量，亦可推回沉降的水量。用人造表面接受器可以有效的取得霧水並推算濃度，且利於觀察實際的沉降情形而或是用以推算特定植物體的攔截效率 (capture efficiency)。但這個方法的缺點是少了化學成分經由天然樹冠的瀝濾作用 (leaching)、或吸收，以及離子跟樹冠層的交互作用產生的結果，且必須有大量的樣品數才足夠用於推算到整個林份的沉降量，但是可以作為收集霧水的一個方法 (Lindberg, 1982 ; Lovett, 1994 ; Elias *et al.*, 1995)。

- 穿落水跟幹流水：穿落水跟幹流水是指在林下收集穿過冠層的水，以及沿著樹幹流下來的水。收集穿落水跟幹流水的總量再減去降雨量，可以估算雲霧沉降量，但因為蒸發作用使得穿落水與幹流水的量減少，因此若要準確估算，必須將蒸發的量也算進去，否則將會低估雲霧沉降量。而且此法對於水樣分析的干擾較多，如鳥糞、花粉、昆蟲等，會影響估算霧水的沉降量以及沉降離子量，跟植物體之間的化學交互作用，也會影響估算總量及分析。這種方法大多用以收集經過樹冠層作用之後的水，以進行化學分析；經由和未經過樹冠層作用的水樣之收集與分析的比對，可以藉此了解冠層的化學作用 (Davidson *et al.*, 1990 ; Elias *et al.*, 1995 ; Lovett *et al.*, 1982 ; Rutter, 1975 ; Schlesinger and Reiners, 1974)。
- 集水區質量平衡法：此法的時間及空間尺度比較大，以一個集水區為單位，在輸出等於輸入的前提下；求出整個集水區輸出的水量，減去可以求得之輸入系統的量，如降雨量；可以求得攔截沉降量和乾沉降的總合，缺點是適合的集水區選擇不易，且操作的儀器相當昂貴 (Davidson *et al.*, 1990)。
- 擾流交互作用：此法是利用大氣的擾動作用，來高頻率的測量某目標氣體의 密度、空氣溫度等，配合垂直風速的測量，可以求得目標物的沉降量。此法為目前最為普遍的方法，時常用來監測一些重要的空氣污染物或是二氧化碳的流量。在森林生態系中的微氣候研究也經常使用此種方法，此儀器可以反映氣體在立體的方向的流動，藉由高密度的時間間隔的測量，反應出林份的微氣候變化，如利用儀器來測量冠層上的液態水含量、擾流流量 (turbulent fluxes)、或是重力流量 (gravitational fluxes)，以了解該地的霧水沉降機制、蒸散作用、以及風速等因

子在植物體與大氣之間的作用跟水文收支上的影響 (Burkard *et al.*, 2002) ; 亦有研究應用於比較不同的生態系統間雨水與霧水的影響 ; 在瑞士的農業生態系統與德國的森林生態系統 , 分別收集霧水與雨水的樣品 , 並用此法算出霧水沉降量、沉降狀態 , 經過化學分析之後 ; 比較輻射霧 (radiation fog) 與水平霧 (advection fog) 以及霧水成分的歧異對生態系統的影響 (Thalmann, 2002) 。擾流交互作用法的缺點是儀器相當昂貴 , 空間尺度也比較小 , 雖然利於描述細緻的微氣候變化 , 但對於植物相或是地景較為複雜、霧水空間變異比較大的區域 , 會有尺度上移的問題 ; 對於這樣的區域 , 尋找具有代表性的時間或是測量地點比較困難 ; 難以推估到整個大尺度的流量 (Baldocchi, 2003 ; Davidson *et al.*, 1990 ; Elias *et al.*, 1995) 。

- 梯度技術 : 此法包括地表上大氣濃度垂直梯度的測量 , 和經由可擴散性參數 (diffusivity parameter) 來計算沉降流量 , 可擴散性經常被假設和可測量的熱及水蒸氣的可擴散性是相等的。垂直梯度和可擴散性參數相乘 , 便可以得到向下沉降的流量。缺點是在測某目標物的垂直濃度梯度時 , 對於下降到表面阻力較大的目標物 , 較難求得濃度梯度 ; 且受到的干擾較大 , 對於植物相比較不均質的地區較難適用。因此 , 常用於在農業生態系對於某些目標養分或是氣體沉降的估算 (Davidson *et al.*, 1990 ; Elias *et al.*, 1995) 。
- 推論法 : 此法是藉由物理的、數學的理論來作一些假設、預測 , 推論沉降量與相關參數之間的關係 , 並將實際的系統條件簡化成可運算的參數。將這些參數依照理論作假設、模擬 , 建立模式 , 以計算出沉降量。這些數據的測量比直接測沉降量簡單 , 且有利於數值的運算 , 或是不同情境的假設操弄 , 可以用來預測一些改變將會造成的變化 , 對於不同區域的估算也可以藉由相同的模式估算後 , 加以比較 , 並找出關鍵的因子。但是模式的建立往往相當龐雜 , 各個參數之間環環相扣 , 必須經由不斷的測試 , 來驗證其效用 , 但其有效性很難適合所有範圍及各種情形 (Lovett, 1994) 。

1.4 研究目的

台灣東北部的鴛鴦湖自然保留區 (Yuanyang lake nature preserve) , 位於北緯 24°35' , 東經 121°24' , 位於中高海拔 , 為副熱帶氣候且鄰近海邊 , 因此雲霧籠罩時數約為整年的 40% , 是一典型的雲霧森林。因此雲霧經由攔截沉降將水分及營養鹽進入森林

內部循環的量，在總輸入量佔極大的比例 (Chang *et al.*, 2002)，鴛鴦湖研究樣區位於保留區外兩公里處，氣候條件相似。因此要了解整個系統由系統外獲得的養分量，勢必先知道整個沉降的水量。除了穿落水、幹流水、林外雨的收集之外，為了了解雲霧對於這個生態系的水分和養分輸入量的貢獻，估算雲霧沉降的總量是必須的。

研究生態系時，模式是一個常用來分析問題的一個方式、也是一個非常有用的工具，也能幫助我們看到多元的可能性，藉由模式的了解，也一窺系統中各項參數的運作機制 (Jorgensen, 1992)。1984 年 Lovett 以微氣候的概念及架構，發展一個估算雲霧沉降量的阻力模式，之後陸續有學者加以修改引用以適用於不同樣區、氣候、林相、海拔等等 (Elias *et al.*, 1995 ; Herckes *et al.*, 2002 ; Pahl *et al.*, 1994 ; Pahl, 1996 ; Scheer, 2002 ; Vautz *et al.*, 2003)，相同模式的應用不但有助於改進模式以適合各種情況，也有助於對於了解雲霧沉降的機制。應用於不同地區也可以藉由樣區間的相互比較，了解各個因子在沉降機制中，因應不同樣區需要而產生的重要性，以及其對整個沉降量的影響，並找出關鍵的因子 (Vautz *et al.*, 2003)。因此本研究擬以該模式架構為主，將鴛鴦湖研究樣區的氣象及植被參數，如表面積指數 (surface area index)、風速 (wind velocity)、能見度 (visibility) 等輸入模式中 (Lovett, 1984)，用以估算鴛鴦湖地區的雲霧沉降量，並配合霧水收集器在氣象塔 22.3 公尺收集的霧水，以及霧水的離子濃度分析，估算由大氣輸入的離子量 (Elias *et al.*, 1995 ; Herckes *et al.*, 2002 ; Lovett *et al.*, 1982 ; Pahl *et al.*, 1994 ; Thalmann *et al.*, 2002 ; Vautz *et al.*, 2003)。

2. 微氣候模式

2.1 模式描述

雲霧沉降是雲霧小滴由風或其他動力藉由和表面的接觸而沉降聚集的過程。帶有解離離子的雲霧水接觸到表面而產生雲霧沉降，通常發生在地形突出的地方或山脊，在山的範圍中的空氣上升成山間雲霧、海上的水氣水平移動至近海的區域，或是靜止狀態下蒸發散產生的霧，都是雲霧沉降的起因。雲霧小滴的半徑範圍在 5 到 100 μm 之間，大小大約分布在 10 到 20 μm (Lovett, 1994)。

雲霧沉降的機制十分複雜，可因不同的粒徑大小及作用力，而以不同的方式沉降到表面上，一般以沉澱作用 (sedimentation) 衝擊作用 (impaction) 跟擴散作用 (diffusion) 來分，藉由重力、慣性、擾流或分子擴散的作用將雲霧小滴沉降在森林表面上，而這些作用大多跟移動至植物體表面的風有關，因此風速在雲霧沉降中也扮演著重要的角色

(Lovett, 1994 ; Schatzmann, 1999)。

不像單純的濕沉降一般，除了水含量、微氣候因子、以及大氣化學組成會影響雲霧沉降外，接受表面的性質也會影響雲霧沉降的速率，因為樹冠的茂盛結構會影響擾動結合的強度；葉子的形狀、位置、空間分布和莖幹決定經由邊緣進入、運輸的效率（圖 1）；並且樹冠的密度也決定沉降可得的表面積的總量（ Lovett, 1994 ）。

本研究基於 Lovett 的模式用來估算鴛鴦湖地區雲霧沉降量的模式（ Lovett, 1984 ; Pahl, 1996 ; Scheer, 2002 ）。這是一個一維的阻力模式，在模式中將森林分層，將沉降所作用的部位如枝條、葉子等，模擬為阻力，雲霧藉由擾流（ turbulence ）或沉澱作用從一層傳到下一層。

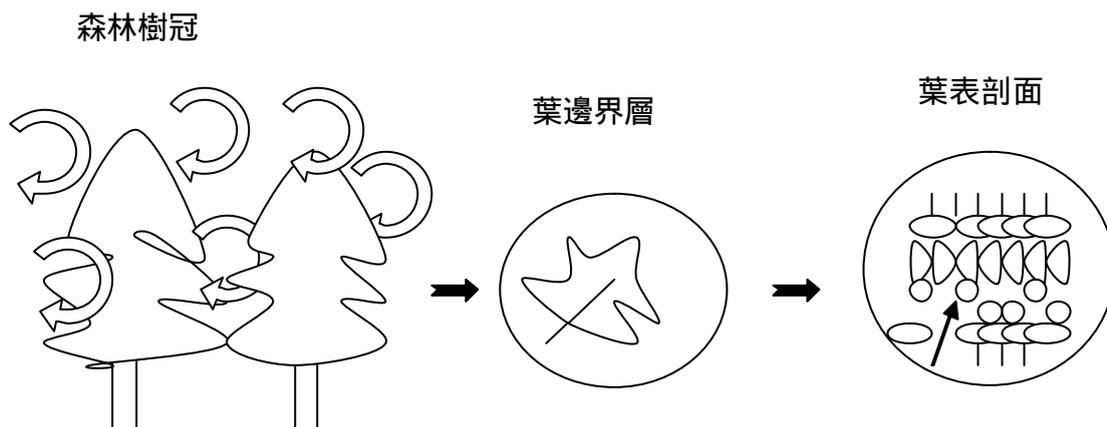


圖 1 攔截沉降在樹冠的沉降過程。氣體擾動在樹冠間，並在葉表面或枝條形成沉降。

有時氣孔會吸收部份的水、化學成分或做交換（修改自 Lovett, 1994）。

模式以電阻迴路的概念模擬雲霧沉降的過程，將植物劃分成每層厚度為一公尺。每一層經由和歐姆定律（Ohm's law）——電流（I）等於電壓（V）除以電阻（R）（公式一）——相似的公式來計算雲霧水流量（Lovett, 1984）：

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

$$F = \frac{\Delta C}{R} = \Delta C \times v_d \quad (2)$$

其中 F 是指雲霧沉降的流量 (flux)， ΔC 是雲霧小滴的濃度梯度 (gradient of cloud droplet concentration)，必須由空氣中的液態水含量 W (liquid water content, LWC) 來求得，R 是雲霧小滴要沉降在表面上所遇到的阻力，其中又可以分為沉降時水平空氣阻力 R_n (aerodynamic resistance)，跟風吹過表面，在很接近表面時所受到的阻力，即邊界層阻力 r_i (boundary layer resistances)。而 R 的倒數，也就是所謂的沉降速率 v_d (deposition velocity) (圖 2)。

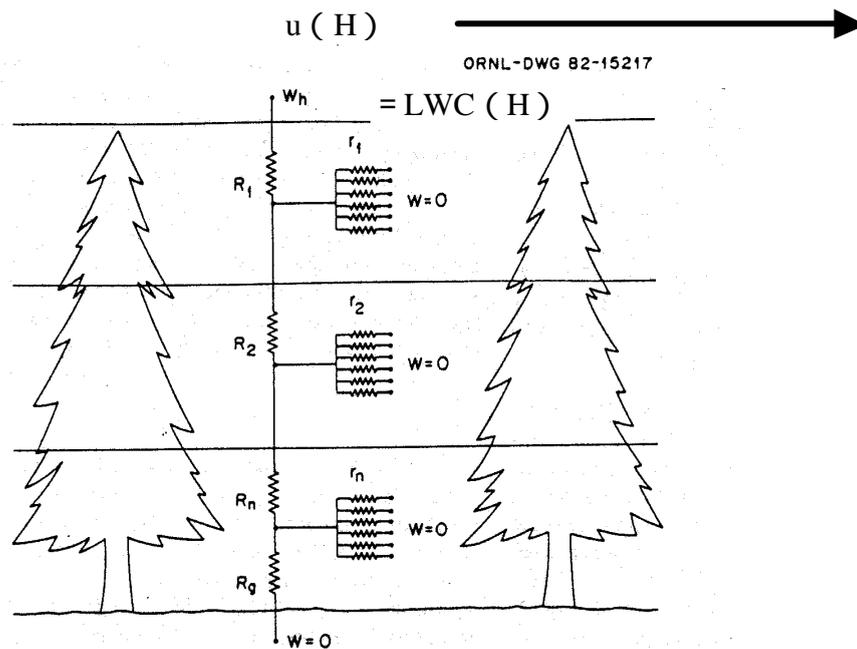


圖 2 沉降模式的電阻迴路圖。其中 R 為水平空氣阻力 (aerodynamic resistance)，r 為樹冠層中每一層的組成元素各別的平行邊界層阻力 (boundary layer resistances)，W 則為液態水含量 (liquid water content, LWC)，H 為平均樹高。這裡只表示出三層，實際層數會更多。(修改自 Lovett, 1984；Scheer, 2002)

在這個模式中，邊界層阻力 r (boundary layer resistances) 必須經由表面積指數 (surface area index) 來計算。其中為了求得 r 值，Lovett 將樹垂直分層 (i)，每一層的厚度為 1 公尺，且都有它特定的表面積指數。其中又將樹冠層中的成分歸類為七種組成分子 (j) (components)，針對這七種組成再去求其個別的表面積指數，以計算樹的垂直邊界層阻力 (r_i) 分布。這七種組成分子分別為：

- 有葉的枝條：
 1. 小於 2 年生。
 2. 大於 2 年生，且含有大於 75% 的針葉。
 3. 大於 2 年生，且含有小於 75% 的針葉。
- 無葉的枝條：
 4. 直徑為 0 到 1 公分
 5. 直徑為 1 到 2 公分
 6. 直徑大於 2 公分
- 樹幹 7.

然後經由下列的公式算出每一組成的邊界層阻力：

$$r_{ij} = (CE_{ij}u_i)^{-1} \quad (3)$$

r_{ij} 就是在 i 層 (layer i) 中， j 組成分子的所造成的邊界層阻力。而其中 u_i 則是在 i 層的風速，是經由樹冠上的風速呈成漸減的指數關係而求得 (跟動量相同見公式 7) 其中的減少係數 (extinction coefficient) a_u 的值 -0.27 是經由測量在冠層內的風速剖面 (wind profile) 的經驗來決定 (Lovett, 1984)。 CE_{ij} 則為 i 層中 j 組成的攔截效率，攔截效率可以由沒有維度的慣性參數 Stokes' number 來求得，是空氣中的密度 (ρ_a)、雲霧小滴密度 (ρ_d)、小滴粒徑 (d_d)、風速 (u)、阻礙物的大小 (l) 以及空氣的黏滯度 ν (kinematic viscosity) 之比組成，Stokes' number 和攔截效率之間的關係通常可以由風洞實驗 (wind canal experiment) 求得，依照不同的組成分子而會有不一樣的關係 (Lovett, 1984; Scheer, 2002; Thorne *et al.*, 1982; Vautz *et al.*, 2003)：

$$STK = \frac{2\rho_d d_d^2 u l}{18\rho_a \nu} \quad (4)$$

算出每一個組成的阻力後，再藉由下列公式，加入在 i 層中 j 組成的表面積指數

SAI_{ij}，算出每一層的總邊界層阻力 (r_i)：

$$r_i = \left[\sum_{j=1}^i \left(\frac{SAI_{ij}}{r_{ij}} \right) \right]^{-1} \quad (5)$$

這裡的表面積指數，是指每一冠層組成分子的每一面的總表面積，跟地面面積的比。而水平空氣阻力 R (aerodynamic resistance)，則是由相鄰兩層的厚度和該層的雲霧小滴擾動擴散能力之間的關係求得，公式為：

$$R = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta z_i}{K_{Di}} + \frac{\Delta z_{i-1}}{K_{Di-1}} \right) \quad (6)$$

R_i 是 i 層中的水平空氣阻力，求法為相鄰兩層厚度與擾動擴散能力 (turbulent diffusivity) 之比的平均。Δz_i 即為層的厚度，i 與 i - 1 為相鄰兩層，K_D 是擾動擴散能力，在某高度的 K_D，則是由樹冠最上層的雲霧小滴擾動擴散能力隨著聚集表面積指數 (cumulative surface area index) 的增加，成漸減的指數關係而求得 (Waggoner, 1975)：

$$K_{Dz} = K_{Dh} e^{a_k (CSAI_z)} \quad (7)$$

K_{Dz} 就是指在高度 z 的 K_D，K_{Dh} 是樹冠最上層的 K_D，h 是樹冠層的高度，且 z 小於 h。a_k 是減少係數 (extinction coefficient)，這個係數是未知且難以測量的，但值界在 0 到 -0.27 之間，經由輸入測試的結果，選定一個中間值供模式的運算 (Lovett, 1984)。CSAI_z 是在 z 高度的聚集表面積指數，也就是該層由最高的一層累積下來的表面積指數。至於 K_{Dh} 則是在假設它與動量擴散能力 (diffusivity for momentum K_{mh}) 相等的情況下求得的：

$$K_{mh} = K_{Dh} = k u_* (h - d) \quad (8)$$

u* 可以由計算風速垂直分布的式子求出 (Thom, 1975)：

$$u(h) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{h-d}{z_0} \quad (9)$$

式 (8) (9) 中 d 是樹冠層的零平面置換高度 (zero-plane displacement height)，h 則是樹冠層的高度，此時的 k 是 Von Karmen's constant (0.41)，u* 是摩擦速率 (friction velocity)，z₀ 是粗糙的長度 (roughness length)，u (h) 則是高度 h 的風速，可以由架設在氣象塔上的風向風速計測得。在這樣的模式應用中，許多研究是採用 d=0.67h、

$z_0=0.1h$ 的經驗公式來計算 (Elias *et al.*, 1995 ; Pahl *et al.*, 1994 ; Scheer, 2002 ; Vautz *et al.*, 2003)。

在一般的情況中，動量跟質量的傳送 (momentum and mass transport) 是相似的，但遭遇邊界層阻力時，便會產生差異 (Thom, 1975)，因此在此模式中關於邊界層的阻力是針對雲霧小滴的傳送，避免模擬動量產生的差異性，動量的模擬用於計算水平空氣阻力，(Lovett, 1984)。

由上述的 (3) ~ (9) 式子可以算出 R 以及 r 值。各層的濃度梯度 ΔC 也就是水勢梯度 (W)，基於 Waggoner (1971) 可以由下列式子求得：

$$W_i - W_{i-1} = r_i \cdot F_i + R_i \sum_{k=1}^n F_k - r_{i-1} F_{i-1} \quad (10)$$

其中 F 是在所給的高度，冠層組成分子之表面 (canopy surface of vegetation components) 的總流量。n 在這裡可以寫成矩陣 (matrix notation) 的形式：

$$[\Delta W] = [B][F] \quad (11)$$

[B]是電阻器 (resistor) 的矩陣，是基於 Waggoner *et al.* (1969)中的[R]的形式，[F]是每個高度冠層組成分子的流量向量，而[ΔW]是在連續的高度下冠層組成分子間的水勢梯度，因為冠層組成分子被假設為對雲霧小滴來說是一個完全的聚集元 (sinks)，因此，除了一開始的 W_h 是冠層上的液態水含量減零以外，所有組成分子的[ΔW]都是零 (圖 1)。如此可以解出每一層的流量 F_i ，從每一層的流量跟阻力，可以算出空氣中每一層的液態水含量：

$$(LWC)_i = F_i r_i \quad (12)$$

雲霧小滴也可以依重力移動的方式沉澱下來，稱為沉澱作用。沉澱流量 S_i 可依下列公式推算：

$$S_i = v_t (LWC)_i \sum_{j=i}^t p_{ij} + v_t (LWC)_i p_{i0} \quad (13)$$

v_t 是雲霧小滴的落下速度 (fall speed)， p_{ij} 是在 i 層 j 組成分子在平面的投射表面積指數 (projected area index)， p_{i0} 是在 i 層的開放空間面積指數 (open space area index)，或說是地面沒被葉子覆蓋到的區塊。從這個公式可以算出沉澱在 i 層的流量。將每一層的 F_i 跟 S_i 相加即為總流量 (Lovett, 1984 ; Scheer, 2002)。

2.2 模式假設 (assumption)

模式是呈現在自然界一些現象的方法之一，可以有不同的形式，不同程度抽象概念；也許是一個公式，用來描述理想狀態下蒸發散跟日輻射的關係；或者是一系列詳細的關係式與數列，以電腦程式的方式來計算，在哪些氣候條件與生理狀態下所能產生的微氣候或植物狀況。通常模式的建立是一個將自然現象簡化的過程，一個一個的模擬裝置 (simulator) 必須有邏輯的連接在一起，以探討參數之間的變化關係，因此，必須透過一些假設，來將極端複雜的過程簡化。這個模式是以植物體跟大氣之間的關係，加入氣象的因子，探討雲霧進入冠層的機制。以下將介紹模式在建立時所作的一些假設：

- 在氣象條件上，這個森林必須足夠的迎風，使得空氣流 (airflow) 跟表面之間可以達到平衡。
- 模式假設，動量、質量跟熱的傳導在初始的時候是垂直的，且淨水平的移動 (horizontal advection) 可以忽略。
- 在同一層 (同一高度) 的每一個組成分子，都暴露在一致的氣象條件之下。
- 水平空氣阻力 R 是經由雲霧小滴的擾流擴散能力 K_D 計算而來的，冠層之上的 K_D 被假設跟動量的擴散能力 K_m 一致，動量以及雲霧小滴在冠層上跟冠層內的空間中，其交換的速率具有相同的效率。而冠層內每層的雲霧小滴擴散能力 K_D 會隨著累積表面積指數，而成指數的下降。且每一層在中點的 K_D 被設為是可以代表那一層的狀況。風速的情形也是跟雲霧小滴擴散能力 K_D 一樣，只是遞減的係數不同。
- 冠層的表面被設為是一個雲霧小滴的聚集元 (sink)，雲霧小滴在進入冠層之後，在每一層依照那樣的植被條件以及微氣候條件下，所能沉降的理想值而沉降下來，經過這一層的沉降之後，剩下的液態水含量為下一層的起始。(Lovett, 1984 ; Thom, 1975 ; Waggoner, 1971 ; Waggoner, 1975)

3. 研究方法及樣區介紹

本研究於距離鴛鴦湖保留區 2 公里處，2002 年五月劃設的樣區，作為研究地點，收集冠層上的風速、能見度、以及計算該樣區台灣扁柏的表面積指數，輸入模式估算此地的雲霧沉降量。

3.1 樣區

研究樣區位於 100 號縣道的 14.5 公里的南方 100 公尺處，距離鴛鴦湖保留區約 2 公里，大小為一公頃，海拔高約 1670m。並在樣區的西北邊角落設一座高 23 公尺的氣象塔，以收集氣候資料；因為主要的風向為東南向吹向樣區的谷風，以及西北向的山風，雲霧主要的來源為東南向的谷風，因此在西北向的氣象塔可以收到吹過樣區的風速資料，比較能代表樣區的微氣候氣候條件。樣區收集的氣象資料中 2003 年 3 月到 2004 年 2 月的平均風速為 1.44ms^{-1} ，平均的能見度是 1767m，年雨量為 2940mm，年均溫為 13.3，雲霧籠罩時數為 3356 小時佔全年總時數的 38%。其中最大風速出現在九月 2 日，為 15.5ms^{-1} ，是中級颱風杜鵑 (Dujan) 2 日凌晨通過鵝鑾鼻南方近海，隨後以偏西方向通過台灣海峽南部及廣東海面所造成，因為沒有直接登陸台灣，因此並沒有造成急劇的風速變化。

此地平均樹高約為 10 至 11m，是一片天然下種更新林，以台灣扁柏 (*Chamaecyparis obtusa* Sieb. & Zucc. var. *formosana* Rehder) 為優勢種。2002 年的樣區植被調查，紀錄其中 10 公尺×10m 的小樣區 20 個，一共 0.2ha 內胸高徑大於 1cm 的樹種。其中台灣扁柏的胸高斷面積佔整個胸高斷面積 81.8% (陳耀德, 2004)，在 0.2ha 中，一共有 364 棵，是研究樣區中的優勢種。且研究中指出，針葉樹的葉子部分對於攔截雲霧有較高的效率 (Vautz *et al.*, 2003; Vogelmann *et al.*, 1968)，因此藉由估算台灣扁柏的攔截沉降量，用以代表這個森林生態系絕大部分的雲霧沉降量。

3.2 參數化

需要輸入這個模式的參數主要有冠層上液態水含量、以及風速，另外在程式中必須修改表面積指數、以及必須放入此地雲霧小滴的粒徑分布 (droplet size distribution, DSD) 情形：

- 液態水含量與粒徑分布

因為液態水含量以及粒徑分布的測量需要昂貴的儀器支持，經由實際的測量，建立具有樣區特性的液態水含量與粒徑分布關係，參數化之後應用於模式內的運算。在本研究樣區並沒有這樣的儀器，粒徑分布的部分，前人的研究大多也都沒有測量的數據，一般可以分為兩個公式計算，一是 1951 年的 Best 所寫，一 是 1969 年 Deirmendjian 所寫，最初始的模式是用 Best 的公式，但之後也有因應樣區的不同而採用 Deirmendjian 的分布模式 (Pahl *et al.*, 1994)，另外，部分研究在測量出樣區的液態水含量與粒徑分

表 1 公式 (14) 中不同液態水含量等級，用來計算粒徑分布所使用的參數。

<i>LWC class (gm⁻²)</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
0.25 - 0.1	0.008	0.722	0.167	0.001	0.798	0.415
0.1 - 0.2	0.021	0.769	0.176	0.006	0.809	0.304
0.2 - 0.3	0.039	0.823	0.186	0.003	0.837	0.514
0.3 - 0.4	0.050	0.857	0.186	0.003	0.889	0.529
0.4 - 0.5	0.044	0.893	0.167	0.018	0.917	0.312
0.5 - 0.6	0.064	0.926	0.201	0.006	2.911	2.122
0.6 - 0.7	0.064	0.951	0.183	0.010	1.079	0.521
0.7 - 0.8	0.039	0.996	0.339	0.027	1.013	0.154

布，帶入 Best 與 Deirmendjian 的分布模式中，並取得係數，但符合實測值的情形並不理想，Best 的分布對於液態水含量較小的符合情形較高，但 Deirmendjian 分布對於液態水含量較高的符合情形較高。因此該研究 log-normal 的分布模式 (公式 14) 將液態水含量分成八個等級，分別以相同公式代入不同參數，描述這八個等級下液態水含量的徑級分布，並比較計算的結果與測量值，符合情形比上述兩個分布模式高 (Sheer, 2002)。

$$LWC(g) = a \cdot \exp\left(-\frac{(\log_{10}(g)-b)^2}{c^2}\right) + d \cdot \exp\left(-\frac{(\log_{10}(g)-e)^2}{f^2}\right) \quad (14)$$

其中 a、b、c、d、e、f 為依照不同的液態水含量等級而有不同的參數， r 為小滴半徑大小。由這個公式可以求得在特定液態水含量之下，每一半徑所佔的水量。參數的數值以及液態水含量的分級如 (表 1) 所示。

- 能見度 (Visibility)

液態水含量的測量也需要昂貴的儀器支持，因此在模式發展中一些研究加入了能見度跟液態水含量的相關公式，依照公式可以將能見度轉為液態水含量 (Pahl, 1996)，能見度大於 100 公尺時，使用：

$$LWC = 38.91 \cdot V^{-1.15} \quad (15)$$

而能見度小於 100 公尺時則使用：

$$\log_{10}(LWC) = -0.49 \cdot ((\log_{10}(V)))^2 + 1.25 \cdot \log_{10}(V) - 1.25 \quad (16)$$

但能見度跟液態水含量的關係也因樣區而有所改變，因此，在模式的演進之中，有部分的研究，也依照所測得的能見度跟液態水含量，套入 (公式 15) 的模式 ($LWC = a \cdot V^{-b}$) 中，求得參數 a 以及 b，以符合樣區的實際情形 (Sheer, 2002)：

$$LWC = 171.4 \cdot V^{-1.45} \quad (17)$$

本研究將沿用上列公式 (14)、(17)，因此需要輸入的資料為冠層之上的風速，以及能見度。架設風向風速計 (Wind monitor model 05103, R. M. Young, USA) 以及能見度儀 (MIRA visibility sensor 3544, Aanderaa instruments, Norway) 於塔高 22.3 公尺處，要避免冠層上的邊界層阻力的影響，但又要接近冠層如此才能反映出接近森林的霧氣的性質。資料以資料處理器 (DL2e, Delta-T, UK ; CR10X, Cambell, USA) 每五分鐘收集一筆存在資料庫中，以特定格式輸入模式。

▪ 表面積指數 (SAI)

這裡的表面積指數指的是樹冠層的組成成分所有的表面積 (任一面)，與其地上面積的比率 (Lovett, 1984)。其中模式中需要每一層每一個組成的表面積指數，以及依照高度累積下來的聚集表面積指數。

葉面積佔了表面積很大的一部份，因此在表面積的測量上，葉面積佔了很重的比例。在一些落葉性的林相中，葉面積指數會隨著一年的四季變化有很大的變動 (圖 3)。而不同的植物種類，葉面積指數的垂直分布也會不同 (圖 4)。另外在攔截能力上，也會因葉子的質地、形狀、大小而有所不同 (Parker, 1995)。因此在求表面積指數時必須要將這些因子都考慮進去。

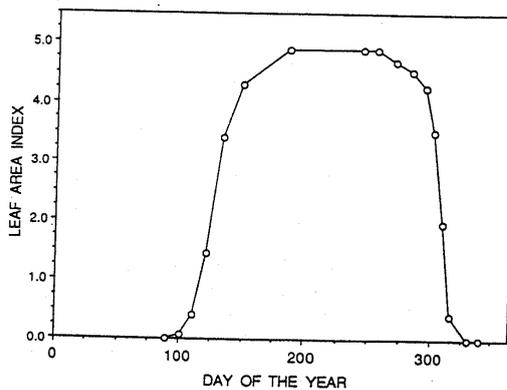


圖 3 落葉性的林相中，葉面積指數在一年之內的變化 (Parker, 1995)。

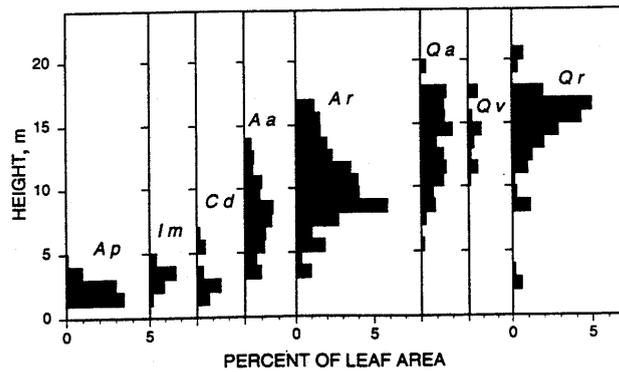


圖 4 不同樹種的葉面積指數，其垂直分布也不盡相同。圖中的 *Ap*、*Im*、*Cd*、*Aa*、*Ar*、*Qa*、*Qv*、*Qr* 分別表示不同物種 (Parker, 1995)。

台灣扁柏 (*Chamaecyparis obtusa* Sieb. & Zucc. var. *formosana* Rehder) 為樣區中的優勢種，因為是天然下種更新林，所以年齡集中，且大小高度尚稱平均，平均高度約在 10 至 11m 左右，胸高徑級平均約 17cm。基於此項特徵，如果只計算台灣扁柏的攔截沉降量 (鎖定在單一數種)，將可以免除上述葉面積指數的擾動，因為台灣扁柏非落葉性樹種，也免除不同葉形攔截能力不同的疑慮。

另外，之前的研究，分層厚度都是 1m，分層的厚度影響到整個沉降梯度的準確度，分的越細，所呈現的梯度也越細密，但也會增加操作上的困難或不必要性。因此在決定分層的厚度之前，先對目標物種台灣扁柏，測量其每一個枝條的徑級大小，藉由徑級反應葉量，推測葉表面積在不同樹高的分布情形。從 (圖 5) 可以看出枝條直徑大小隨著高度上升而下降，其變化的方式並不是非常劇烈。因此本研究的分層仍是採用以 1m 為單位來分層。

前人研究顯示，對於冠層組成的分類也沒有太大的更動。而在本研究中，配合對樣區台灣扁柏的基本調查 - 生物量、分層生物量、枝條高、枝條數、枝條直徑、胸高徑 (陳耀德, 2003; 葉青?, 2004)，求得每一枝條的表面積、樹幹的表面積、以及每一枝條所附的葉表面積。配合樣區的扁柏生物量以及生物量的垂直分布，利用生物量或者胸高徑和葉面積指數的相對生長公式 (allometric equation)，來求得平均葉面積指數 (Turner, 2000; Pahl, 1996)，和每層的葉面積指數。至於枝條樹幹的表面積指數，也會利用表面積指數與胸高直徑和枝條直徑間的關係式，分別求出樹幹跟枝條的平均表面積指數、表面積指數垂直分布。

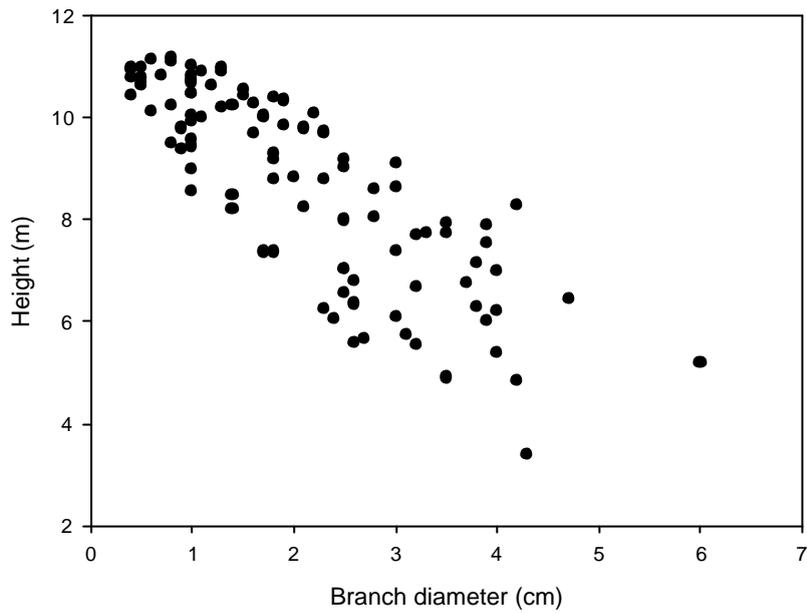


圖 5 台灣扁柏在不同高度的枝條直徑分布。這是其中一棵高度 12.2m、胸高徑 26cm 的台灣扁柏的枝條徑級分布。藉由這個調查來找尋適宜的分層高度，其中 BDia 為枝條的徑級，y 座標為樹高。

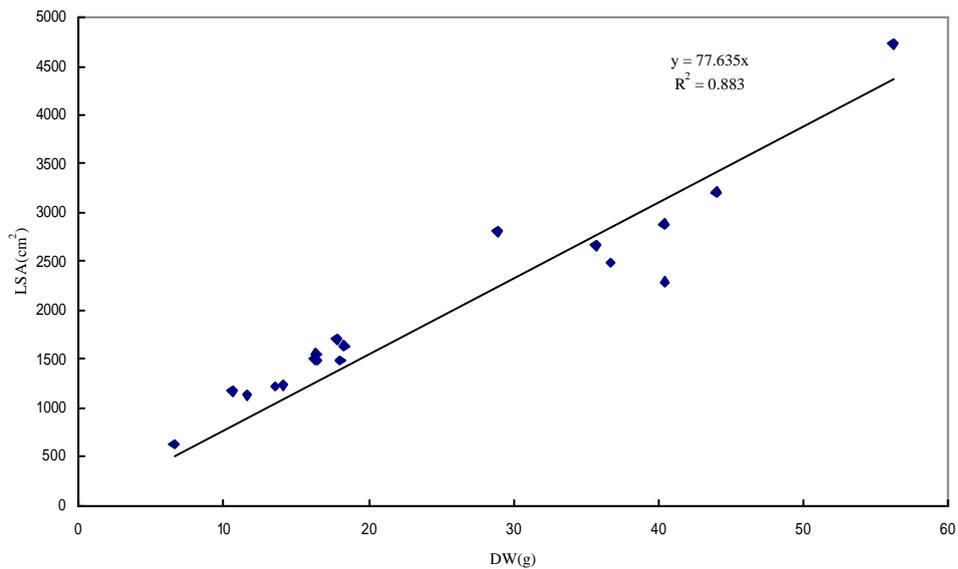


圖 6 葉表面積與乾重之關係圖。DW 為葉乾重，LSA 為葉表面積。

一般測量葉面積的方式有很多種，針對不同的研究需要，以及不同的葉形，對於葉面積的定義也有所不同，例如定義為單面雙面，或是針對一些螺旋形或立體的葉子定義為投射的表面積等。表面積的多寡會因為定義的不同而產生急劇的變化。一般來說；測量的方法可以分為直接法跟間接法，直接法為直接採取新鮮葉子測量面積，或是用年落葉的收集，計算表面積，然後推算回原本的量；這樣的方法仍然必須結合迴歸公式，以外推到整個林份；對於非落葉性的、形狀立體難以測量面積的植物，也有利用間接的方式，以模式估算，或是以半球面攝影，利用孔隙率來分析葉面積指數(Bartelink, 1996; Jonckheere, 2004)。本研究測量葉面積的方式是，取新鮮的葉子，分成樹冠上、樹冠互相接觸的部位、以及樹冠下，不同高度，每個高度 6 個等份，一共 18 個樣品。分別將其新鮮的葉子由枝條剪下，以葉面積儀 (LI-COR 2000A) 測量其表面積，並乘二，反映兩面的總表面積。將葉子烘乾至重量變化微小為止，如此可知在單位乾重之下的葉面積。葉表面積跟乾重的關係圖如 (圖 6)，關係式為 $y=77.635x$ ，其中 y 為葉面積， x 為乾重，相關係數為 0.883。若是將三個高度分群，分別求其相關式，相關係數將會高達 0.88、0.99、0.96，因為不同高度的葉子質地略有不同，跟乾重的相關也略有不同，因此求所有的樣品表面積與葉重的相關式，雖然相關係數因此變低，卻比較能反映出不同高度的葉子差異性，而不至於偏向某一種質地的關係式。

樣區中台灣扁柏生物量的估算，將取樣台灣扁柏 11 棵，每棵每四枝取下一枝枝條，測量每一個枝條徑級 (跟樹幹相連處) 及高度，包括沒取下來的枝條，並將取下的枝條及葉子分開烘乾，以所測量的該枝條的乾重跟徑級求相關式，如此可以求得每一枝條的葉乾重，另外也測量每一公尺高時的樹幹直徑 (葉青? ，2004)。本研究以此葉乾重的值來估算 11 棵樹每一枝條的葉面積。取下來枝條，以皮尺及游標尺測量長度及上下直徑，以求圓錐平截頭體的表面積計算公式，求每一個枝條及其上面所有相連的小枝條的表面積，再跟枝條與樹幹連接點的徑級求其相關式，以換算該樹的每一枝條的總表面積，藉此求得該樹的每一層每一枝條的表面積。樹幹的表面積則由每一公尺高度的直徑來計算，可以求得樹幹的分層表面積。

4. 結果

目前在表面積指數上，以現有的資料推算整各樣區的表面積指數以及分層表面積指數。將風速及能見度依照現有的月份輸入模式，求得沉降量的變化。

表 2 組成分子的分法。

一、有葉枝條：	一、有葉枝條：
1. 小於等於兩年生	1. 徑級小於等於 0.5 公分
2. 大於兩年生，有 75%的葉子	2. 徑級大於 0.5 公分、小於等於 2 公分
3. 大於兩年生，少於 75%的葉子	3. 徑級大於 2 公分
二、無葉的枝條：	二、無葉的枝條：集中在 (樹高-2)/2 以下
4. 徑級 0-1 公分	4. 徑級 0-1 公分，有葉枝條表面積的 $1/5 * 1/5$
5. 大於 1 到 2 公分	5. 大於 1 到 2 公分， $1/5 * 2/5$
6. 大於 2	6. 大於 2， $1/5 * 2/5$
三、樹幹 (7)	三、樹幹 (7)

4.1 表面積指數

本研究依照 Lovett (1984) 的表面積組成分子的分法，將台灣扁柏分成 7 種組成分子 (j)，但因枝條的詳細年份鑑定不易，因此以枝條的徑級大小來分，徑級大小反應出枝條的年份，以此估算出樣區中這七個組成分子在每一層的表面積指數，但無葉的枝條部分，因為沒有實測的值，因此以樣區內生物量調查的經驗來分配無葉枝條的表面積，分配的規則為，樹高減掉枝下高除二，這裡設定無葉枝條集中在這個高度的下半部，且假設無葉的枝條跟有葉枝條的比例是 1:5 且分布的比例由大到小是 1:2:2。跟模式原來的分配方式較為接近，組成分子的分法以及原始的分法的比較見 (表 2)。

樣區中的台灣扁柏以一公尺為一層分為 11 層，第一層是 10m 以上的部分，第二層是 9 到 10m 之間，依此類推，由於 2m 以下幾乎沒有枝條，因此 2m 以下為一層，算是第 9+1 層，這一層的風速並不依累積的表面積指數影響，因此不計入分層之中。要計算的部分一共是九層 (i)，計算分層表面積指數的方式是：算出這樣區中，每一層各個組成分子的表面積，在分別除以樣區的面積，即表面積指數。

完成生物量估算的樹一共有 11 棵，所以這 11 棵樹的分層葉表面積，以及樹幹表面積，可以直接算出來。枝條的表面積，完成測量 3 棵，胸高徑分別是 7.8cm (樹 1)、17.1cm (樹 6)、以及 26cm (樹 10)，就此三棵樹分別求枝條徑級跟表面積關係式，圖 7 是分別對表面積與徑級取自然對數後作的相關圖，這三個關係式的相關係數都在 0.9 以上。因此，將三棵樹的徑級跟表面積放在一起，求其相關式 (圖 8)，用這個關係式估算其他幾棵樹的枝條表面積。

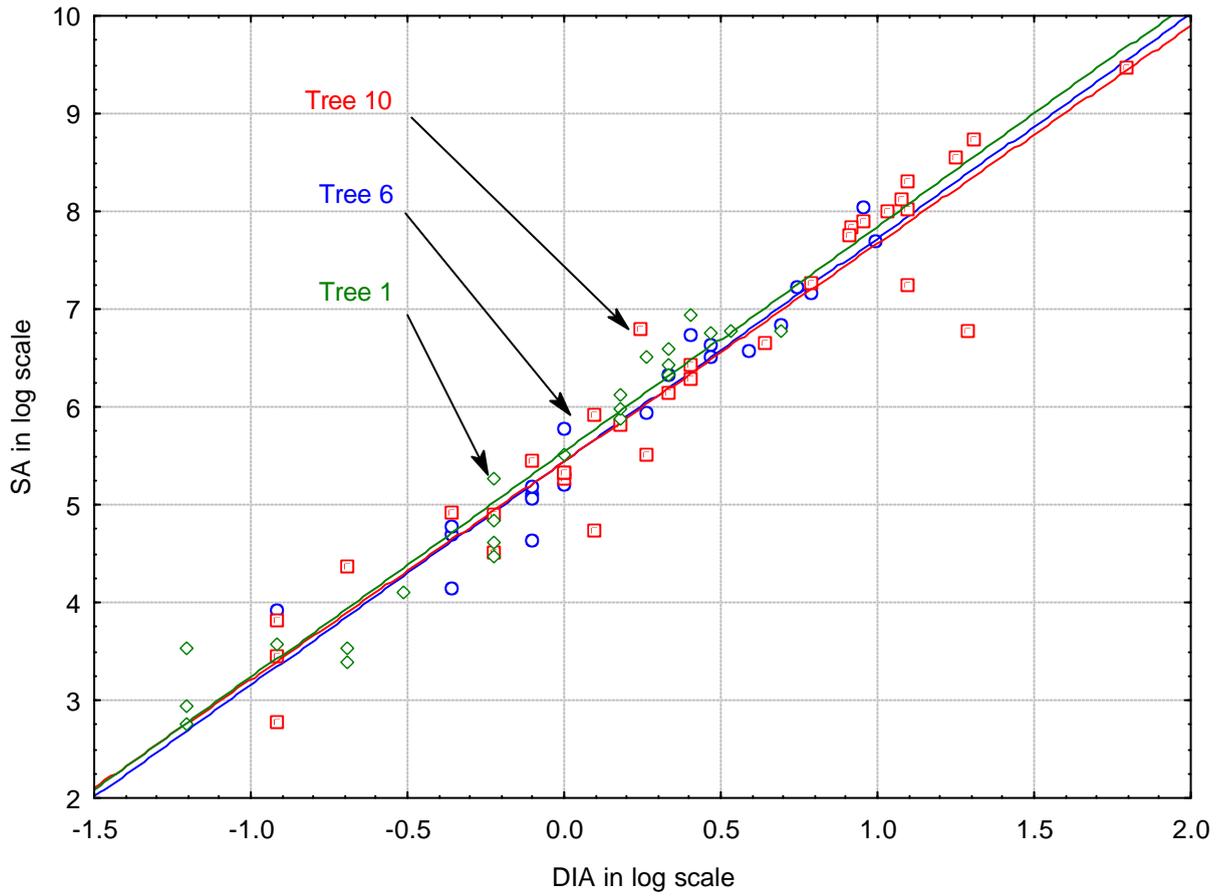


圖 7 枝條表面積 (SA) 和枝條徑級 (Dia) 相關圖。將 3 顆樹的枝條徑級以及表面積取對數作相關圖，呈線性關係，且相關公式非常接近。

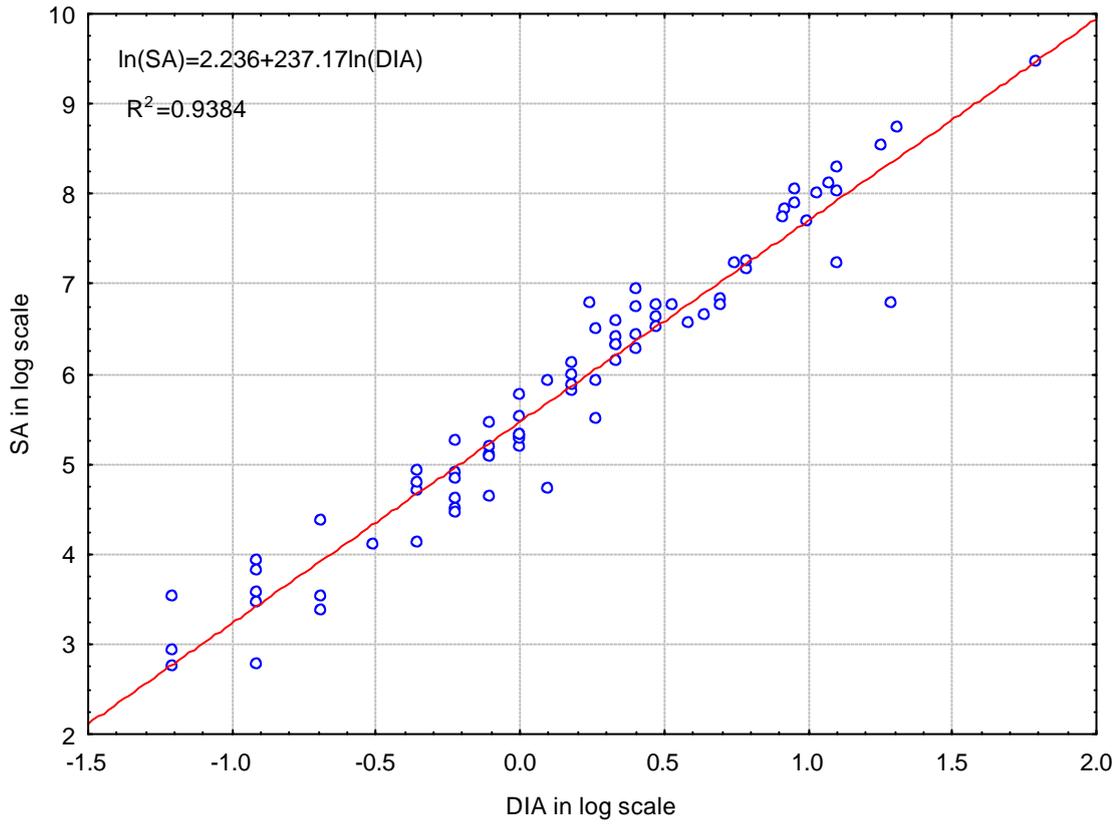


圖 8 枝條表面積 (SA) 與枝條徑級 (DIA) 的相關圖。X 座標為三棵樹的徑級大小以及相對應的表面積 Y，兩個因子都取對數的關係圖，3 棵樹混合作圖後相關係數仍然很高，兩者的對數值呈線性關係。

利用 (圖 8) 的相關公式 $Y = 237.17 * X^{2.236}$ ($R^2 = 0.9384$)，即可求出其他八棵樹的每一枝條的表面積，加上每一枝條上的葉乾重換算而成的表面積，即可得到每一枝條的表面積。依照上述的組成分子分法，將這些枝條依照高度，求出每一個樣樹，在每一個高度，每一個組成分子的表面積。

求 11 棵樹的 9 層分層七種組成分子表面積之後，再把每一層中的各個組成分子的表面積和跟每一棵樹的胸高徑做相關，例如第一層 (L1) 的每一棵樹的第一組成分子表面積 (Component 1) 跟該棵樹的胸高徑做相關式，即可求得在第一層當中，每一個胸高徑所分配到的第一個組成分子的表面積有多少。即為 L1C1，依序求出關係式 L1C1 L1C7, L2C1 L2C7, L3C1 L3C7, L4C1 L4C7, L5C1 L5C7, L6C1 L6C7, L7C1 L7C7, L8C1 L8C7, 到 L9C1 L9C7。每一個組成分子在每一層跟胸高徑的相關有 11 個點。相關公式以及相關係數如 (表 3)。

表 3 每一層每一組成分子跟胸高徑的相關公式與相關係數。

<i>Layer i</i> <i>Component j</i>	<i>Allometric equation</i>	R^2
L1C1	$Y = 78.54X^2 - 1324X + 5293.8$	0.8336
L1C2	$Y = 1445.2X^2 - 35426X + 196734$	0.8039
L1C3	$Y = 648.29X^2 - 17271X + 102096$	0.5636
L1C4	$Y = 0$	-
L1C5	$Y = 0$	-
L1C6	$Y = 0$	-
L1C7	$Y = 0.5209X^2 + 16.763X - 214.28$	0.6691
L2C1	$Y = -43.334X^2 + 1385.4X - 7434.3$	0.2424
L2C2	$Y = -414.69X^2 + 20024X - 150702$	0.5794
L2C3	$Y = 1737X^2 - 44071X - 252332$	0.8751
L2C4	$Y = 0$	-
L2C5	$Y = 0$	-
L2C6	$Y = 0$	-
L2C7	$Y = -1.3695X^2 + 140.25X - 1155.7$	0.7764
L3C1	$Y = -23.125X^2 + 568.77X - 377.55$	0.1149
L3C2	$Y = -912.94X^2 + 33084X - 208079$	0.5323
L3C3	$Y = 879.72X^2 - 10198X - 8578.9$	0.7509
L3C4	$Y = 0$	-
L3C5	$Y = 0$	-
L3C6	$Y = 0$	-
L3C7	$Y = -3.9824X^2 + 287.52X - 2148.1$	0.9008
L4C1	$Y = -43.334X^2 + 1385.4X - 7434.3$	0.2424
L4C2	$Y = -661.45X^2 + 21928X - 116863$	0.4298
L4C3	$Y = 981.23X^2 + 11110X + 10871$	0.8423
L4C4	$Y = 2.566X^2 - 68.311X + 403.75$	0.6424

Layer i Component j	Allometric equation	R ²
L4C5	$Y = 5.1321X^2 - 136.66X + 807.49$	0.6424
L4C6	$Y = 5.1321X^2 - 136.66X + 807.49$	0.6424
L4C7	$Y = -6.1339X^2 + 407.28X - 2740.9$	0.9635
L5C1	$Y = 66.111X^2 - 1513.4X + 8347.2$	0.4803
L5C2	$Y = 180.42X^2 - 3408.4X + 56115$	0.1485
L5C3	$Y = -1335.9X^2 + 47644X - 316532$	0.4332
L5C4	$Y = -2.1808X^2 + 79.868X - 550.19$	0.1748
L5C5	$Y = -4.1316X^2 + 159.74X - 1100.4$	0.1748
L5C6	$Y = -4.1316X^2 + 159.74X - 1100.4$	0.1748
L5C7	$Y = -28.637X^2 + 968.2X - 5330.4$	0.6441
L6C1	$Y = 0$	-
L6C2	$Y = 64.605X^2 - 3716.9X + 54492$	0.3600
L6C3	$Y = -575.07X^2 + 25666X - 167395$	0.5273
L6C4	$Y = 1.1307X^2 + 37.976X - 396.28$	0.9715
L6C5	$Y = 2.2615X^2 + 75.951X - 792.51$	0.9715
L6C6	$Y = 2.2615X^2 + 75.951X - 792.51$	0.9715
L6C7	$Y = -6.6895X^2 + 467.65X - 2177.2$	0.9901
L7C1	$Y = 0$	-
L7C2	$Y = 132.5X^2 - 5534.3X + 55287$	0.7252
L7C3	$Y = -433.1X^2 + 15549X - 98179$	0.3819
L7C4	$Y = 1.6064X^2 + 14.509X - 111.79$	0.9651
L7C5	$Y = 3.2127X^2 + 29.018X - 223.58$	0.9651
L7C6	$Y = 3.2788X^2 + 26.31X - 197.39$	0.9648
L7C7	$Y = -7.192X^2 + 490.87X - 1971.8$	0.9945
L8C1	$Y = 0$	-
L8C2	$Y = 2.7787X^2 - 114.1X + 1113.7$	0.3763
L8C3	$Y = -68.195X^2 + 3375.2X - 22941$	0.1973
L8C4	$Y = 1.7963X^2 - 6.7183X - 35.873$	0.962
L8C5	$Y = 3.5926X^2 + 13.437X - 71.745$	0.962
L8C6	$Y = 3.5596X^2 + 14.787X - 84.843$	0.9621
L8C7	$Y = -5.6928X^2 + 455.61X - 1434.3$	0.9961
L9C1	$Y = 0$	-
L9C2	$Y = 0$	-
L9C3	$Y = 0$	-
L9C4	$Y = 1.7963X^2 + 6.7183X - 35.873$	0.9630
L9C5	$Y = 3.5926X^2 + 13.437X - 71.745$	0.9620
L9C6	$Y = 3.5596X^2 + 14.787X - 84.843$	0.9621
L9C7	$Y = -4.5988X^2 + 428.46X - 960.93$	0.9952

每一層的相關公式，並不是每一個組成分子相關係數都很高，因為是以絕對的高度切，所以在一些比較中間的高度，徑級比較小的，在那一個高度已經是頂，就會含有新鮮的葉子，徑級比較高的，在那一層可能屬於下層了，葉子大部分已經掉光，因此會呈現樣點分布變動很大的情形。因此為得較高的相關係數，而採取二項式的相關公式。如圖 9 所示為第 4 層以及第 5 層第 3 種組成分子與胸高徑的相關，可以發現即使胸徑差不多，相同組成分子在同一高度的表面積仍然有差異，但也因為這些差異，可以用以反應到整個樣區的歧異。且相同的組成分子在不同層，歧異度不盡然相同，相關係數也相差很大。

利用表 3 的相關公式，代入樣區調查的 0.2ha 內所包含的 364 棵台灣扁柏之胸高徑，求這 364 棵台灣扁柏在每一層、每一個組成分子表面積，再推到整個一公頃的樣區，即可求得 1ha 中，每一個組成分子在每一層的總表面積，將這表面積除 1ha，也就是 10000m²，即可得到每一層每一組成分子的表面積指數（表 4）。

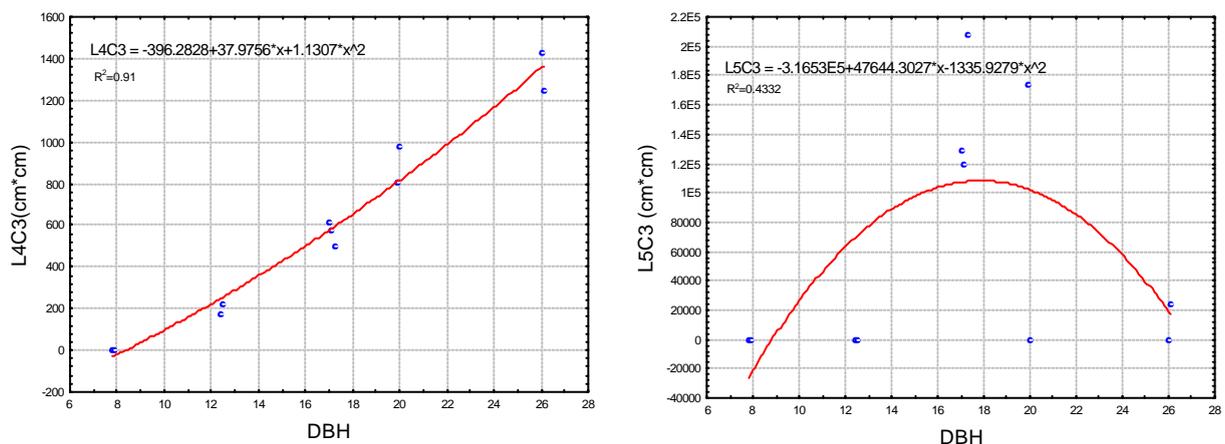


圖 9 胸高徑與 L 層 J 組成分子的表面積之間的關係圖。此圖是第 4 層以及第五層的第 3 種組成分子（大於兩年生且少於 75%的葉子）與胸高徑的相關圖，由圖可見每個組成分子在不同層的分布並不均勻。

表 4 樣區的各層、各組成分子表面積指數。

Component (j) Layer (i)	1	2	3	4	5	6	7	Total	CSAI
1	0.141	1.252	0.433	0.000	0.000	0.000	0.004	1.830	1.830
2	0.032	0.840	1.361	0.000	0.000	0.000	0.012	2.245	4.076
3	0.002	0.833	1.865	0.000	0.000	0.000	0.021	2.720	6.796
4	0.032	0.603	2.228	0.002	0.003	0.003	0.033	2.904	9.700
5	0.085	1.035	0.917	0.002	0.047	0.003	0.027	2.116	11.816
6	0.000	0.319	1.195	0.010	0.020	0.020	0.054	1.617	13.433
7	0.000	0.259	0.371	0.010	0.021	0.021	0.061	0.743	14.176
8	0.000	0.004	0.182	0.011	0.021	0.021	0.068	0.307	14.483
9	0.000	0.000	0.000	0.011	0.021	0.021	0.075	0.128	14.611
Total	0.292	5.145	8.552	0.044	0.133	0.089	0.355	14.611	

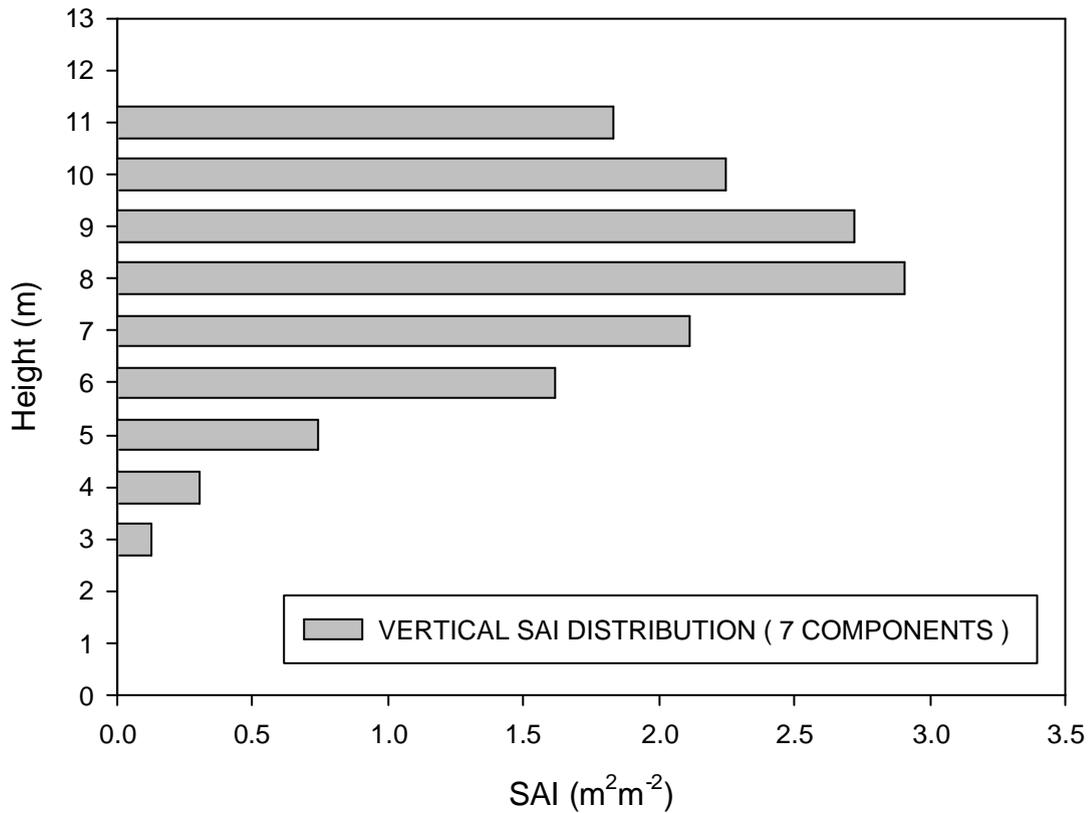


圖 10 表面積指數的垂直分布圖。每個高度的總表面積指數(SAI)。

表 5 三種組成分子所估算的各層各組成分子表面積指數。

Component (j) Layer (i)	Leaf	Branch	Stem	Total	CSAI
1	1.725	0.101	0.004	1.830	1.830
2	1.998	0.147	0.012	2.157	3.987
3	2.627	0.205	0.022	2.855	6.842
4	2.505	0.260	0.074	2.839	9.681
5	2.182	0.265	0.117	2.564	12.245
6	1.177	0.091	0.054	1.323	13.568
7	0.394	0.061	0.061	0.516	14.083
8	0.153	0.030	0.068	0.252	14.335
9	0.000	0.000	0.075	0.075	14.410
Total	12.761	1.161	0.488	14.410	

求得每一層的每一個組成分子的表面積指數之後，將每一層的七個組成分子的表面積指數相加，可以看出在每一個高度的總表面積、與樣區林木的表面積垂直分布。而由第一層往下累加到最下一層，即可求的累積的表面積指數。經由估算的結果，用這種分配方式所求得整個樣區的總表面積指數為 $14.6\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ，也就是說，地面每一公尺投射到的林木所有總表面積指數為 14.6 平方公尺每平方公尺地面面積。

另外，也嘗試將組成分子作不同的分類，依照上述的方法再作一次表面積指數，一方面印證不同方式的分配會不會造成沉降量的影響，另一方面也可以相互印證表面積的分布情形。因為有每一枝條的表面積、每一枝條帶有的葉表面積、樹幹的表面積，因此以質地作分類，分為枝條 (B)、葉 (L)、樹幹 (S)，三種組成分子，分別再求這三各組成分子在每一高度的表面積指數 (表 5)。其表面積相關公式如 (表 6)。表面積指數的垂直分布如 (圖 11)，算出來的總表面積指數較低，為 $14.41\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ，不過這個分法並未將無葉的枝條表面積算入。且經由這個分配方式，可以獲得每一高度的葉面積指數分布，以及總葉面積指數，本研究樣區的葉表面積指數為 $12.8\text{m}^2\text{m}^{-2}$ 。

表 6 三種組成分子的胸高徑與組成分子表面積的相關公式。L 代表層數，S 是樹幹表面積，B 是枝條表面積，L 則是代表葉的表面積。

<i>Layer i</i> <i>Component j</i>	<i>Allometric equation</i>	<i>R</i> ²
L1CS	$Y = 0.5209X^2 + 16.763X - 214.28$	0.6619
L1CB	$Y = 124.51X^2 - 3123.1X + 17723$	0.7568
L1CL	$Y = 2077.5X^2 - 51710X + 291247$	0.7730
L2CS	$Y = -1.3695X^2 + 140.25X - 1155.7$	0.7764
L2CB	$Y = 103.45X^2 - 2043.3X + 9532.8$	0.9374
L2CL	$Y = 1176.1X^2 - 20619X - 84663$	0.9114
L3CS	$Y = -3.9284X^2 + 287.52X - 2148.1$	0.9008
L3CB	$Y = 3.8807X^2 + 1463.8X - 13201$	0.8150
L3CL	$Y = -60.096X^2 + 21998X - 186657$	0.8902
L4CS	$Y = -6.1339X^2 + 407.28X - 2740.9$	0.9635
L4CB	$Y = 49.016X^2 + 337.19X - 5330$	0.9175
L4CL	$Y = -6.0549X^2 + 17464X - 133243$	0.8719
L5CS	$Y = 7.0524X^2 + 464.13X - 2652.9$	0.9850
L5CB	$Y = 58.157X^2 - 138.04X$	0.9804
L5CL	$Y = -80.444X^2 + 15250X - 90290$	0.6142
L6CS	$Y = -6.6895X^2 + 467.65X - 2177.2$	0.9901
L6CB	$Y = 27.137X^2 + 187.06X$	0.6342
L6CL	$Y = -543.12X^2 + 21963X - 114545$	0.3555
L7CS	$Y = -7.192X^2 + 490.87X - 1971.8$	0.9945
L7CB	$Y = -10.436X^2 + 424.23X$	0.0250
L7CL	$Y = -238.41X^2 + 8256.6X - 35369$	0.1579
L8CS	$Y = -5.6928X^2 + 455.61X - 1434.3$	0.9961
L8CB	$Y = 5.8982X^2 - 1.7801X$	0.3315
L8CL	$Y = -74.574X^2 + 3382.9X - 22834$	0.1813
L9CS	$Y = -4.5988X^2 + 428.46X + 960.93$	0.9952
L9CB	$Y = 0$	-
L9CL	$Y = 0$	-

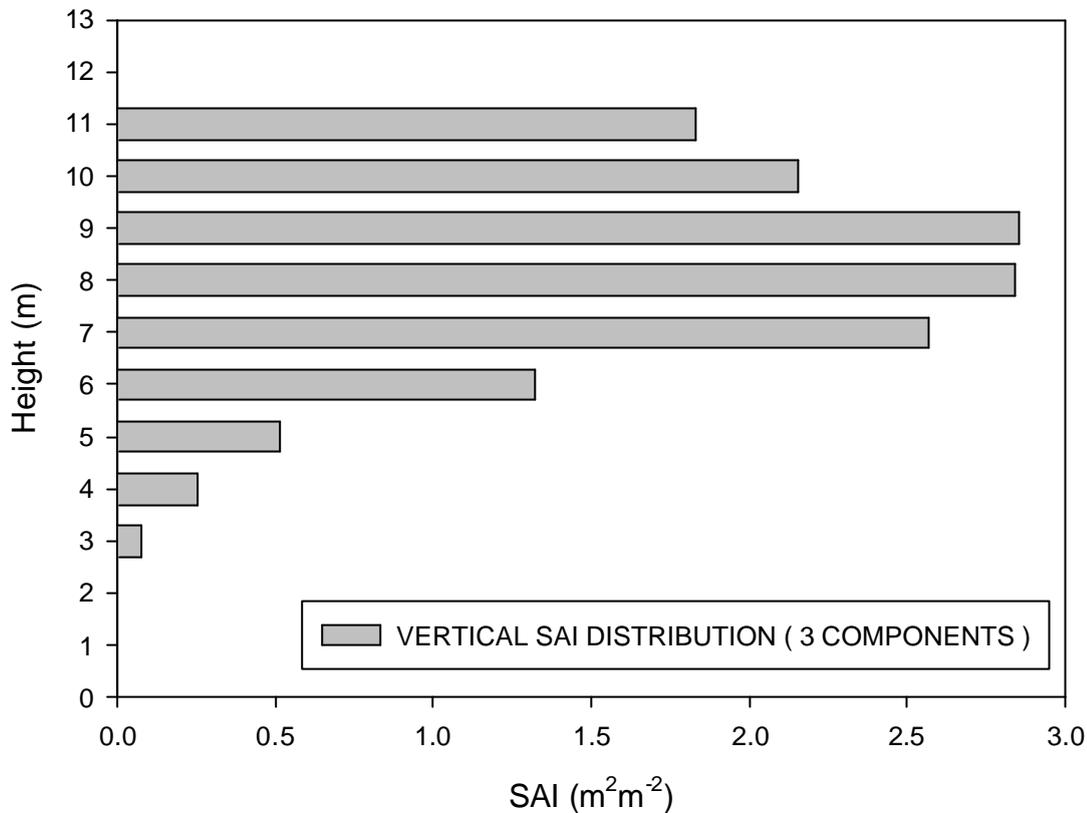


圖 11 三種組成分子所求得的面積指數垂直分布。

4.2 敏感度測試

模式主要輸入的參數有風速、能見度跟面積指數，為了了解這些參數在模式裡的敏感程度，作一些固定幅度的更動，觀察這些參數的敏感度。

因為面積指數分別分為 3 個組成分子跟 7 個組成分子的兩組數據，因此兩組都作敏感度測試，將每一層每一個面積指數乘 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、1.5、2、2.5、到 3 倍，觀察其衝擊沉降、沉澱沉降、以及總沉降量的變化。結果不論是分成三個或是七個組成分子，模式其面積指數的敏感度相似（圖 12）（圖 13），隨著面積指數的增加，衝擊沉降會漸漸減少，但沉澱沉降卻會持續的增加，所以總沉降量的變化幅度趨勢是呈現跟著面積指數的倍數增加而增加。兩種分法的敏感度測試顯示出相同的變化趨勢，且變化速度幾乎沒有差異（圖 14）。

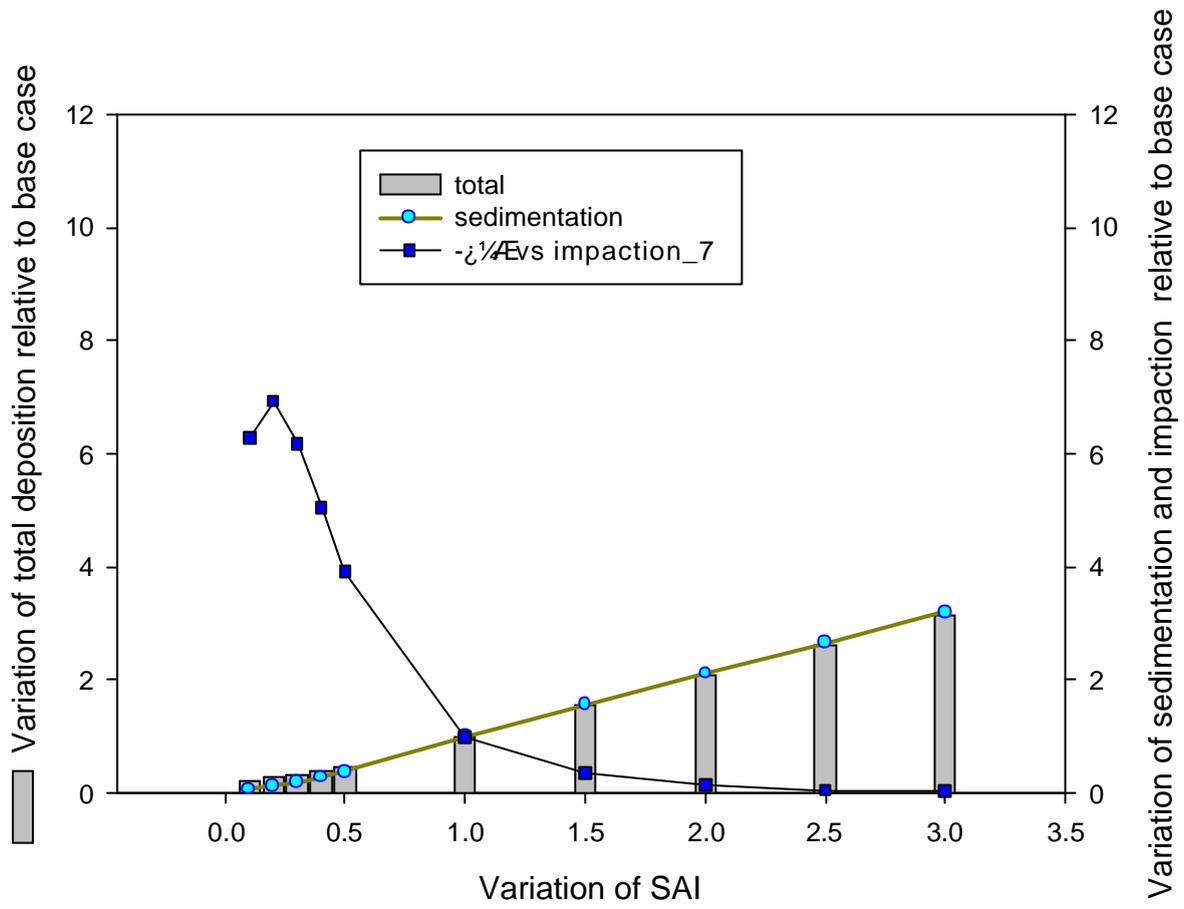


圖 12 七個組成分子所推算的表面積指數所作的敏感度測試圖。

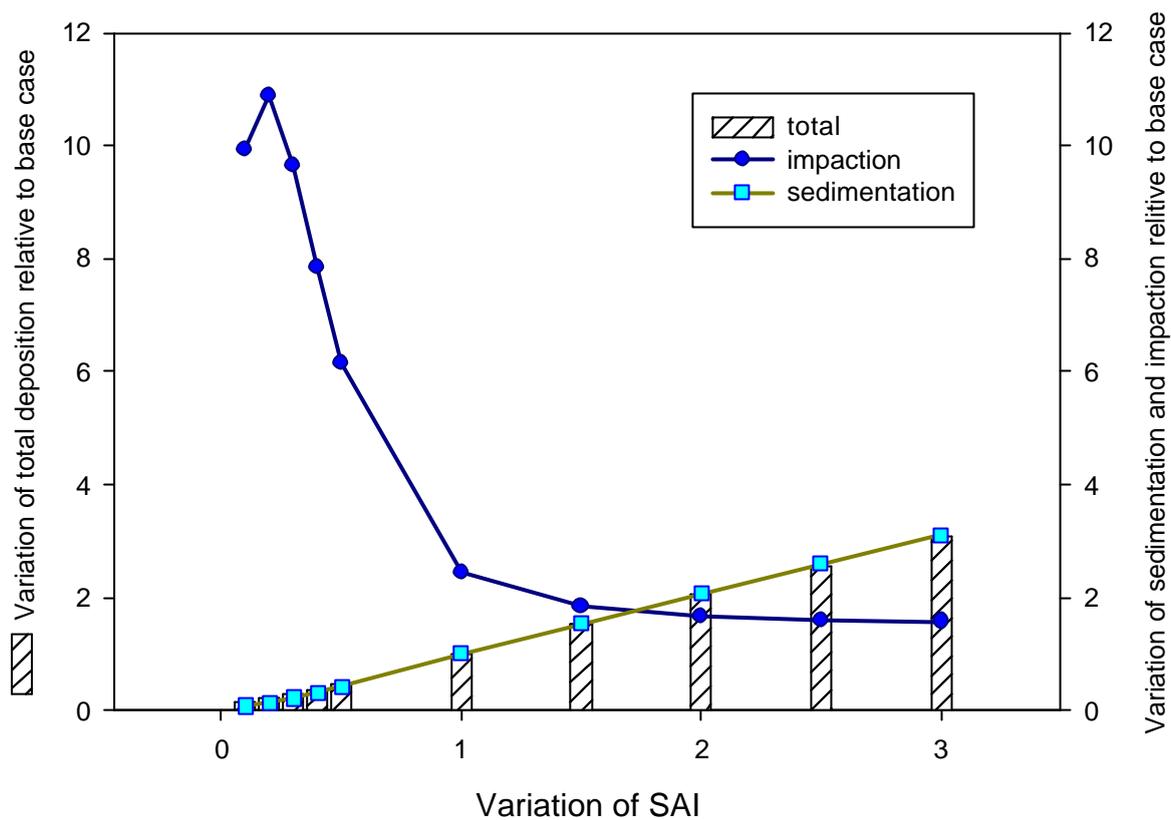


圖 13 三個組成分子所推算的表面積指數所作的敏感度測試圖。

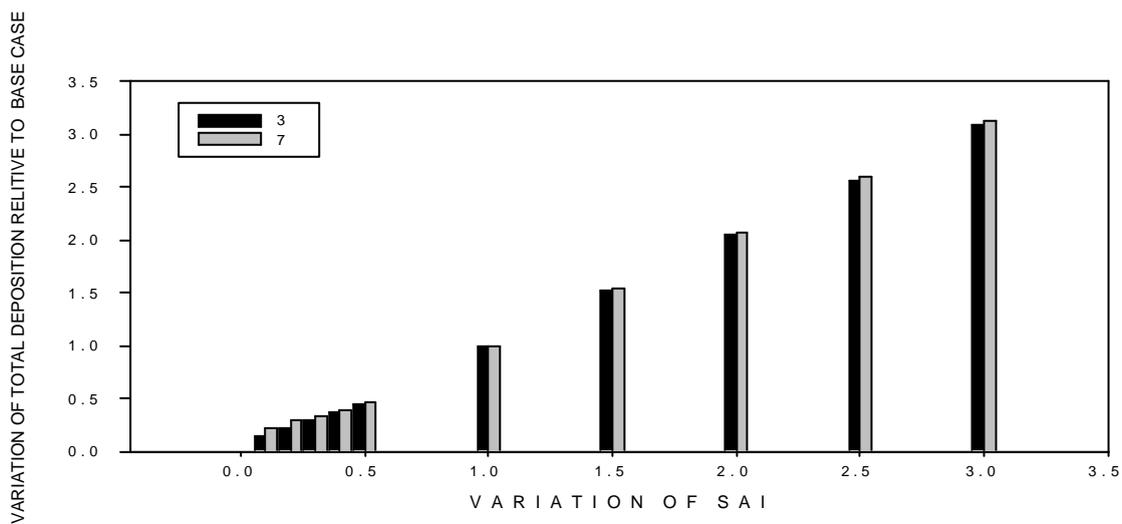


圖 14 敏感度變化程度比較圖。三種組成分子與七種組成分子之表面積指數敏感度。

2003 年 3 月到 2004 年 2 月的每月平均風速都在 2ms^{-1} 以下，一年下來的平均風速約為 1.18ms^{-1} ，因此以固定風速 0.5 、 1.18 、 1.5 、 2 、 3ms^{-1} 之下，每一個風速在能見度 0 到 3000m ，每增加 100m ，沉降量的變化情形（圖 15）。由圖可見，在相同風速之下，能見度越低，沉降的量越高；但在能見度 1000m 以上，沉降的量不管在哪个風速都很低，能見度在低於 200m 以下，對於沉降量的變化變的非常大，尤其是風速越高，變化相形之下益見增大。

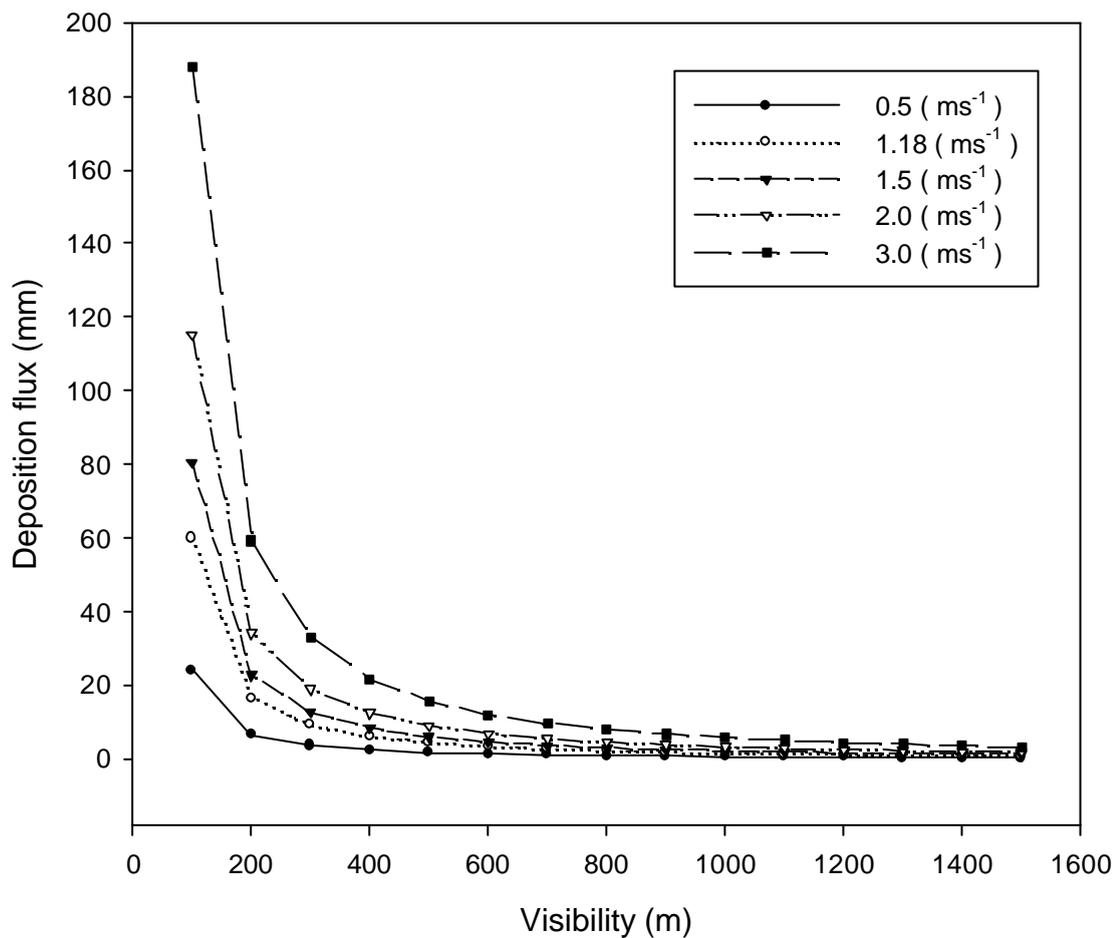


圖 15 風速以及能見度的敏感度測試。

4.3 程式運算

模式以 fortran 程式語言寫成程式作為運算的工具，本研究以 Sheer (2002) 所使用的程式為基礎，此程式中的參數為，修改其中的參數。所有的參數，包括表面積指數、累積表面積指數、樹高、粗糙長度、零平面置換高度、樹高輸入程式之中，未作調查的參數將引用 Sheer (2002) 在德國 Waldstein 樣區的挪威雲杉林所使用的參數。2003 年 3 月到 2004 年 2 月由樣區氣象塔的監測資料，風速以及能見度輸入程式之中，必須修補缺失，闕漏的部分若是只有兩三筆以前後時間的平均補進去；若是較多筆的資料則以前後相同時段的資料平均，一但超過 2 天以上資料缺失，則以前後相同時段的五天作平均補進去。2003 年 3 月到 2004 年 4 月比較大的資料缺失，只有在 3 月 27 下午到 28 下午以及 4 月 16 下午到 17 的下午。另外能見度的儀器，其有效範圍在 20 到 3000m，但因為儀器內部的設定以及參數關係，有時會出現 3001 到 3004 以及低於 20 的值，這些值必須校定回設定值內。最後以文字檔的格式，將每五分鐘一筆的風速與能見度輸入程式中。

4.4 沉降量

最後將這些氣象資料輸入程式之中，可以求得 2003 年 3 月到 2004 年的年沉降量為 313mm。其中，每月的沉降量以 7 月最低為 4.5mm，12 月最高，為 55.3mm，但霧水佔總沉降量的比例隨著每月的濕沉降量的變化而有不同，其中以 5 月的雲霧沉降量佔總沉降量最高的比例 35%，但其雲霧沉降量為 23mm，雖然九月的月沉降量也有 18mm，但只佔了總沉降量的 2%，雲霧沉降佔總沉降量的月變化如圖 16。全年的雲霧沉降量約為雨水量的 10%。

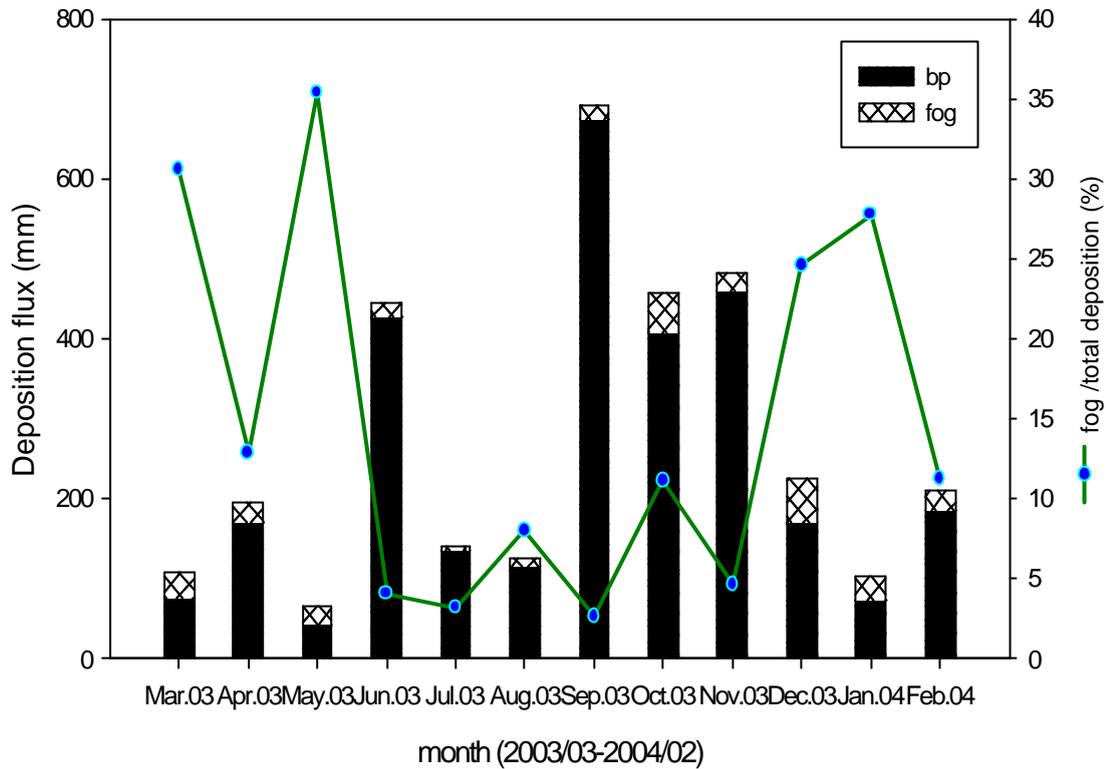


圖 16 雲霧沉降佔總沉降量比例的月分布圖。bp 指重力沉降的水量，fog 指經由霧水沉降下來的量在總沉降量的比例，折線圖顯示出每個月霧水在濕沉降中所佔的比例不一。

除了模式的估算值之外，另外樣區也以實驗的方式，將扁柏放在不同的高度作吹霧的試驗，求得扁柏在不同高度的每單位克重的沉降水量，再跟該層的生物量相乘，每層加總，求得林份的沉降速率，再跟試驗進行時的平均能見度作相關圖，求得其相關公式，並估算出林份整年的沉降量為 328mm（葉青？，2004）。雖然全年的沉降量跟模式估算的相當接近（圖 17），但每個月的沉降量分布仍然不盡相同（圖 18）。十二個月中，只有 10 月跟 12 月的模式估算值比實驗推估值高，其餘皆以實驗推估值較高。

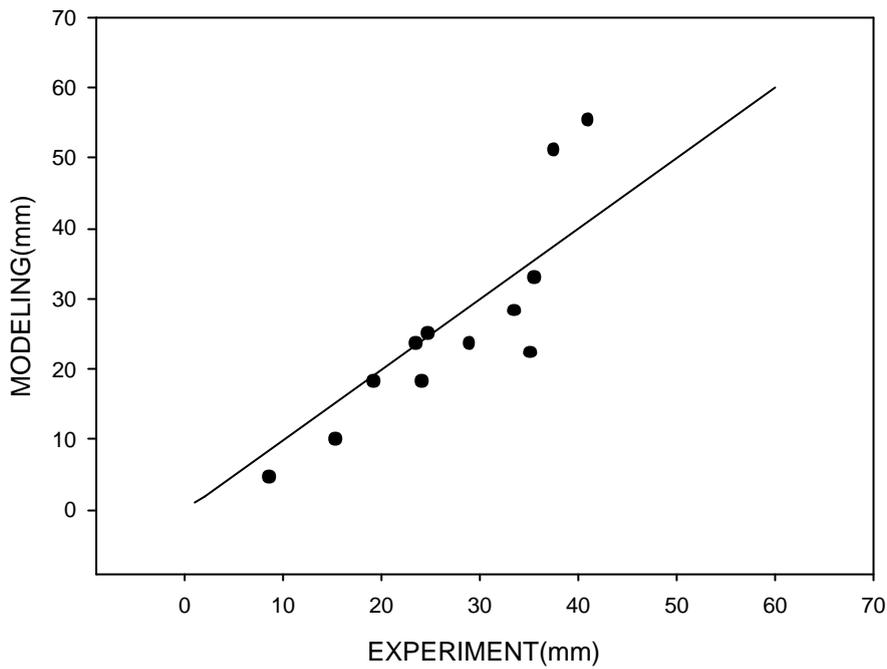


圖 17 模式與實驗估算之雲霧水月沉降量的比較圖。線表示兩個值是一樣的，由圖中顯示，2003年3月到2004年2月的每月沉降量，由兩種方法估算出來的值相當接近。

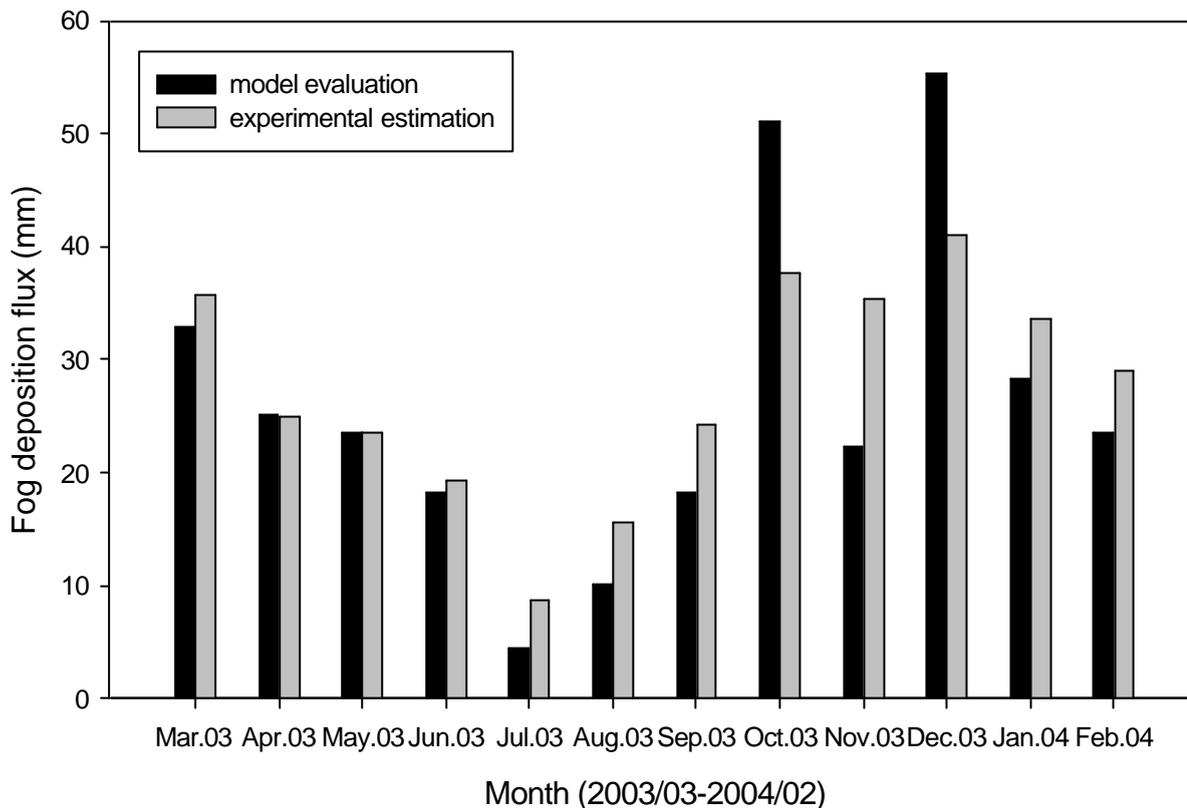


圖 18 模式估算與實驗推算的沉降量值每月比較圖。

而以 Best 分布模式，所求得的结果與 log_normal 的分布模式相比較，Best 模式跑出來的全年沉降量為 363mm，比 log_normal 的分布模式所得的结果多出 50mm，但每個月的沉降量變化卻是一致的。比較每個粒徑範圍的沉降量，除了粒徑大小在 2 到 5 μm 範圍的沉降量，Best 模式所預測的沉降量比 log_normal 模式少以外，其他小於 2 μm 、6 到 10 μm 、11 到 15 μm 、以及 16 μm 以上，都是 Best 的預測值較高（圖 19）。也就是說，這兩種分布模式預測的粒徑大小雖然不完全相同，但經由攔截沉降進入森林霧水兩種模式預測的粒徑分布卻相當相似。

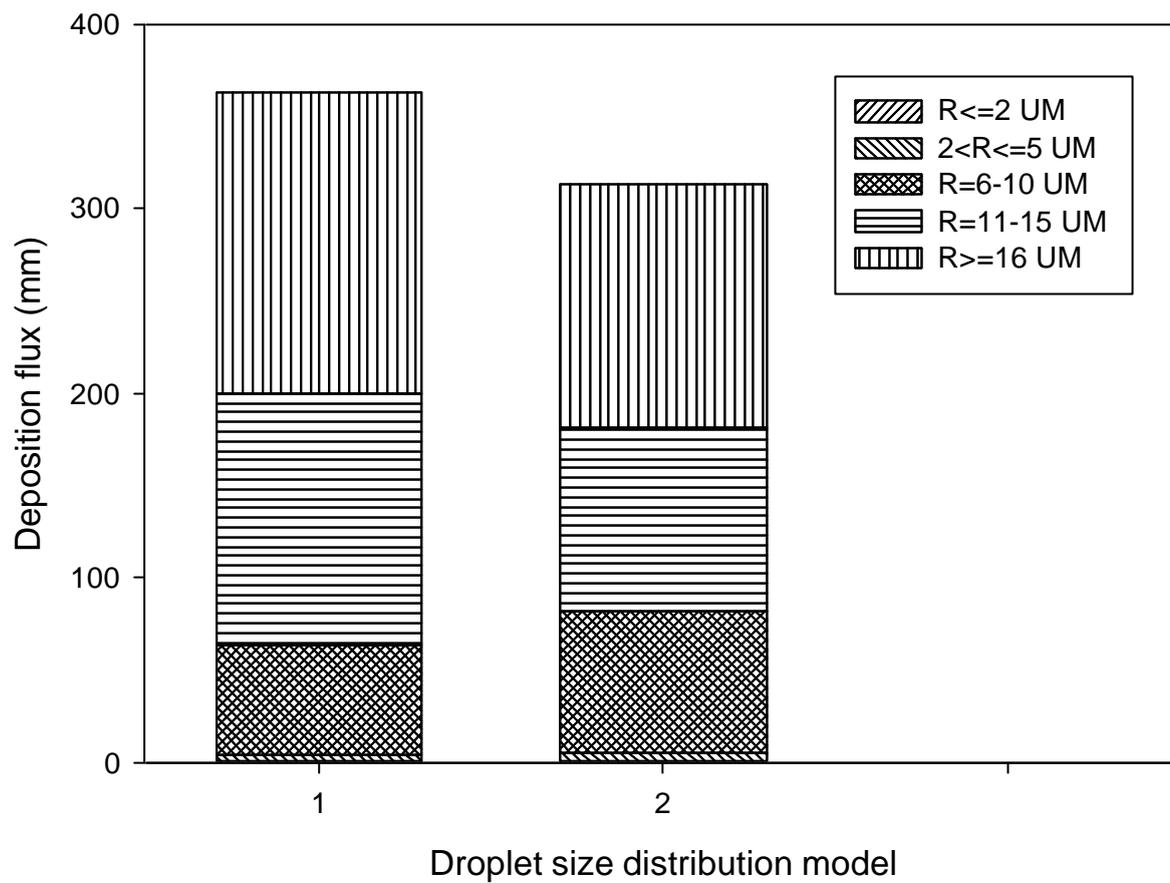


圖 19 不同分布模式在每一個粒徑範圍的沉降量比較圖。其中 1 是 Best 分布，2 是 log_normal 分布。

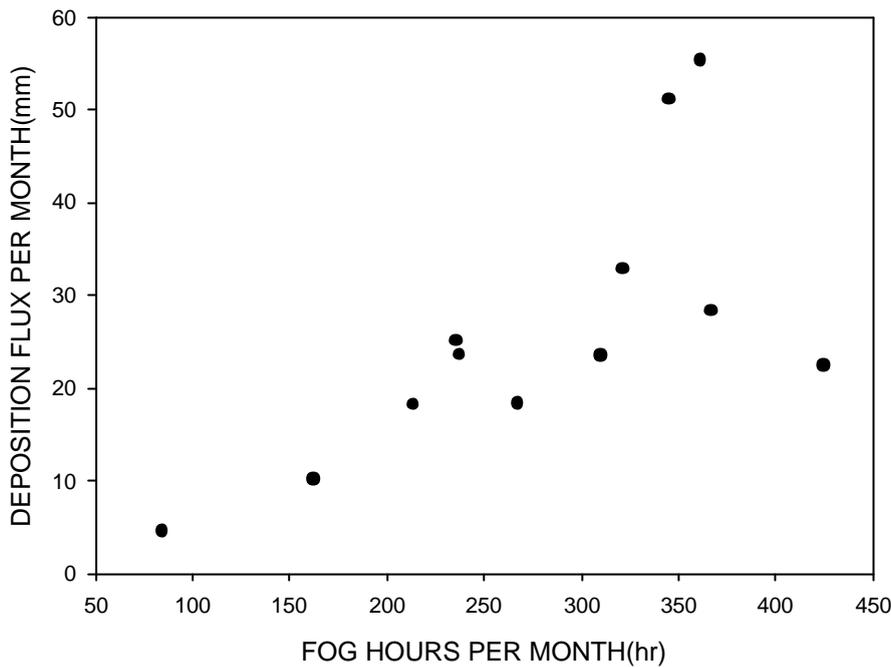


圖 20 沉降量與雲霧籠罩時數之間的關係。

將月沉降量分布與雲霧籠罩時數作比較，此時的雲霧籠罩時數指的是一個月中，計算能見度低於 1000m 的小時數，定義能見度低於 1000m 時為“有霧”。圖 20 為 2003 年 3 月到 2004 年 2 月每月的沉降量與其雲霧籠罩時數所作的比較圖。由圖可見，隨著籠罩時數的增加，沉降量也跟著增加。

風速跟能見度是模式主要輸入的資料，因此能見度跟風速能左右沉降量的大小，能見度低，沉降量高；風速高，沉降量也高；六月到八月期間，雖然風速很高，但能見度也很高，因此沉降量也很低；由圖 21 可以看出，能見度的重要性在這裡比風速還為大。但 11 月的情況，雖然風速比 12 月高，且能見度比 12 月低，沉降量卻還是比 12 月少非常多，因此由平均的能見度以及風速仍然不能完全反應出沉降量的趨勢變化。

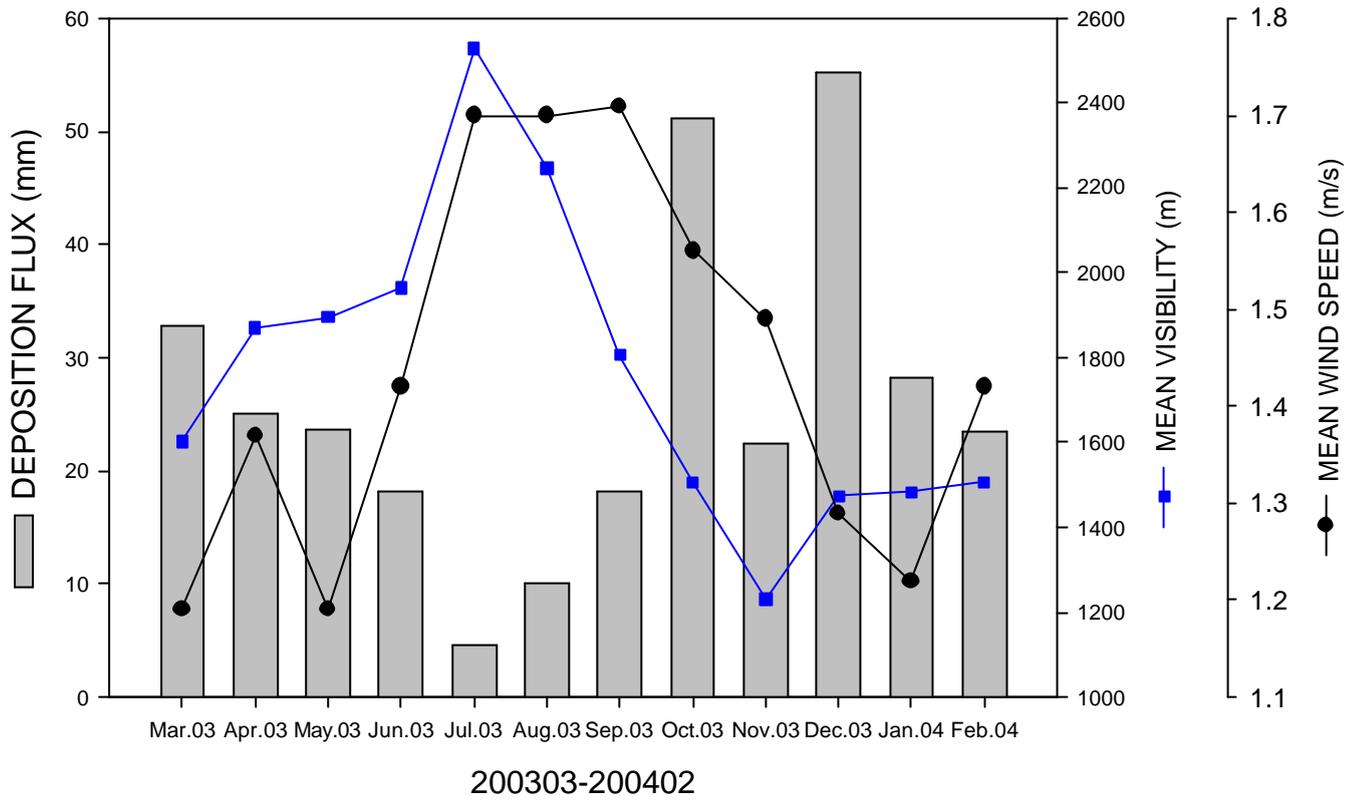


圖 21 沉降量跟風速以及能見度關係圖。

表 7 每月的平均風速 (mean u)、平均能見度 (mean V)、月均溫 (mean T)、重力
 沉降 (BP)、雲霧沉降量 (FG)、雲霧籠罩時數以及所佔的比例。

Time	Mean u (m/s)	Mean V (m)	Mean T ()	BP (mm)	FG (mm)	fog hour (hr)	fog hour (%)
Mar.03	1.19	1602	10.7	74.5	32.9	335.2	45
Apr.03	1.37	1871	14.8	170	25.1	247.2	34
May.03	1.19	1895	15.8	43	23.6	237.3	32
Jun.03	1.42	1964	17.4	427.5	18.2	213.5	30
Jul.03	1.7	2529	20.1	136.5	4.5	84.5	11
Aug.03	1.7	2247	18.8	115.9	10.1	162.2	22
Sep.03	1.71	1806	17.1	675	18.3	267.5	37
Oct.03	1.56	1505	12.5	407.5	51.1	345.1	46
Nov.03	1.49	1230	12.4	461	22.3	425.1	59
Dec.03	1.29	1474	5.9	169.5	55.3	361.5	49
Jan.04	1.22	1483	6	73.5	28.3	366.8	50
Feb.04	1.42	1597	7.7	186	23.5	309.9	46
	1.44	1767	13.3	2939.9	313.1	3355.7	38

4.5 離子濃度

樣區氣象塔的三個不同高度設有雲霧收集裝置，當能見度低於 500m 時，啟動風扇將雲霧抽過以鐵弗龍線排成平行距離為 1mm 的收集網，收集的霧水流進收集瓶中，每兩個星期作一次採樣並分析其中的離子濃度，霧水的部分將使用至於塔上最高處收集器收集的霧水資料；雨水的收集利用雨量桶與三個 20L 的雨水收集桶，用來收集雨水與提供水樣化學分析，同樣兩個星期收集並分析一次（陳耀德，2003；劉美娟，2004）。利用雨水以及霧水的離子濃度跟沉降的量，可以得到一公頃樣區中，每一種分析的離子在單位時間內沉降下來的量。輸入模式中的資料必須配合每一次的採樣時間，切割為二個星期一筆的沉降量資料，再與那一段時間的離子分析結果配合，以求得 2003 年 2 月 11 日到 2004 年 2 月 19 日一共 25 筆資料，每一種離子在單位時間下的沉降量。這段期間的雲霧總沉降量為 309mm，雨水在這段時間的沉降量為 2986mm，每一種離子經由霧水以及雨水所沉降的量如（表 8）；雖然霧水的沉降量約只佔雨水的 10%，但因為霧水中的離子濃度較高，因此，各種離子經由霧水沉降下來的量佔總沉降量幾乎都高過 10%（圖 22），其中氫離子（62%）、氯離子（35%）、硫酸根離子（39%）、硝酸根離子（54%）、以及銨（60%）、總氮（58%）、溶解性有機氮（47%）的沉降量都在總沉降量中佔有顯著的比例，而其中的錳離子（23%）、以及鐵離子（22%），雖然未超過 30%，但也具有相當大的比例。

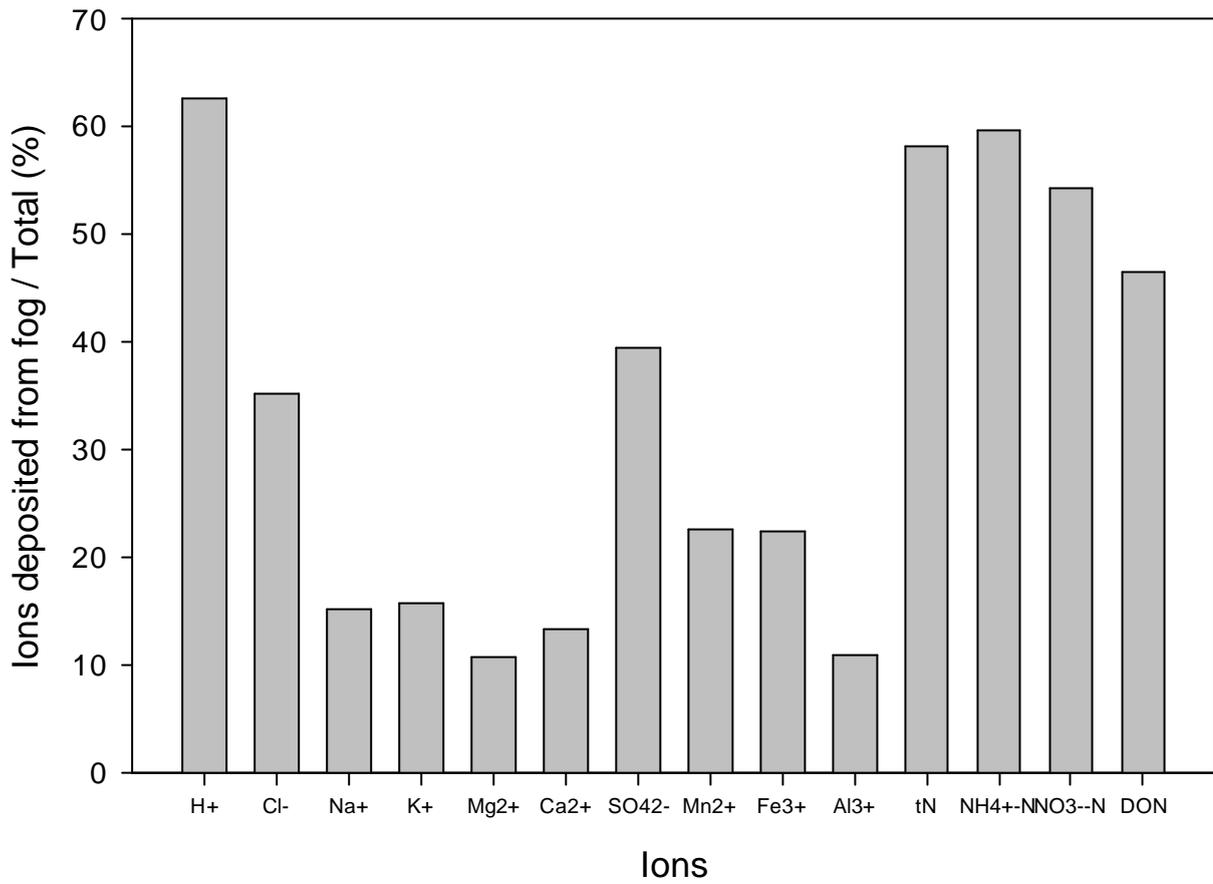


圖 22 經由霧水沉降離子量佔總沉降量的百分比。

表 8 經由霧水以及雨水沉降的離子量，以及由霧水沉降的離子量佔總沉降量的百分比。

Ion	Fog deposition (kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Bulk precipitation (kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Fog/Total (%)
H⁺	0.3	0.2	62
Cl⁻	6.2	11.4	35
Na⁺	1.9	10.5	15
K⁺	1.2	6.6	16
Mg²⁺	0.4	3.6	11
Ca²⁺	1.0	6.7	13
SO₄²⁻	16.5	25.4	39
Mn²⁺	0.07	0.2	23
Fe³⁺	0.3	1.0	22
Al³⁺	0.2	1.2	11
tN	7.3	5.2	58
NH₄⁺-N	3.7	2.5	60
NO₃⁻-N	3.2	2.7	54
DON	0.7	0.8	47

5. 討論

5.1 沉降量與沉降機制

由模式估算的結果跟樣區實驗推算出來的年沉降量約差 15mm，約是雲霧總量的 0.05%。實驗推算的方法中，利用 32 次的吹霧實驗，跟當時的平均能見度作相關圖，並求得關係式。而這個用於推算到整個林份的相關公式，其架構跟模式以固定風速不同能見度之下，能見度與沉降量的關係之架構是一致的。這有可能是兩個方法所估算的沉降量相當接近的可能原因。為了比較兩個值出現差異的情形，將 32 個吹霧實驗進行時那段時間的氣象資料能見度以及風速，輸入模式中，求這這 32 個時間點的沉降量，然後跟實驗值比較。以相同時間點求到的兩個值，分別為 X 及 Y 在座標上作圖，可以見到大部分的點，模式的求出的值反而比實驗值高（圖 23）。一個原因是因為在吹霧實驗進行的時候，由於是在一個很多因子都不能控制的情形下所作，難以避免水氣又再度蒸發；量測時，出現較低的值也是合理的現象。但依此實驗推估出來的總沉降量值卻比模式估算的為高；最大的原因為年沉降量的計算是經由能見度與 32 個實驗值所推算出來（圖 24），這個能見度與沉降量的相關公式，其預測的趨勢與模式中的沉降量與能見度的關係相似（圖 24）（圖 15）。但可以由這個相關公式中發現，大部分的實測值低於公式預測的值（圖 24）；也就是這樣的公式用來推算全林份，結果會造成高估。在兩個誤差一低一高的抵銷下，造成在大的時間尺度上，年沉降量的估算反而以實驗值為高（圖 17），但這樣的推斷可以解釋為何實驗值並沒有比模式值低，但卻不能解釋兩種方法的估算值如此接近的原因。模式中，還有很多可以再修正的參數，如攔截效率等，因此以模式估算的沉降量值變化還有很大的空間，或者說是還有很大的誤差在裡面，兩種估算的相似，除了前面所提到的原因之外，一部份也有巧合的成分。另一個造成差異的原因為模式估算的過程中，風速跟能見度都會影響沉降量，而在實驗推算中只考慮能見度這個因子；由模式的風速以及能見度的敏感度測試中，可以見到當能見度相同而風速增加時，沉降量會增加；且增加的幅度，隨著能見度減低而變的劇烈。這樣的情形造成雖然月沉降量的變化趨勢一致（圖 17），模式估算的值變化卻起伏較大的原因（圖 18），尤其以 2003 年 10 月到 2003 年 12 月的情況比較明顯，研究顯示在風速 2-8m/s 的區間，模式產生的結果相對之下比較不敏感（Lovett, 1984），本研究區的月平均風速都在 2m/s 以下，因此，因為每五分鐘一筆的能見度與風速資料配對，有較細的解析度，因此產生比較劇烈的變化。如此也可以解釋為何在差不多的平均能見度跟風速之下，模

式跑出來的結果還是可以差異很多的情形。如（圖 18）在 11 月的雲霧籠罩時數最高但模式跑出來的值並不高，是在所有的月份裡面，雲霧沉降量跟籠罩時數最不相符的一個月，由實驗算出來的結果雖然沒有模式估算的變化劇烈，但其估算出來的沉降量，在雲霧籠罩時數最高的 11 月沉降量還是比 10 月以及 12 月低，由此可見 11 月雖然能見度低於 1000 公尺的總筆數較高，但實際很低的筆數可能不多。如此一來造成雖然雲霧籠罩時數高，沉降量沒有相對高的情形。而這樣的現象在其他以模式估算的樣區中也可以發現（Herckes *et al.*, 2002）。

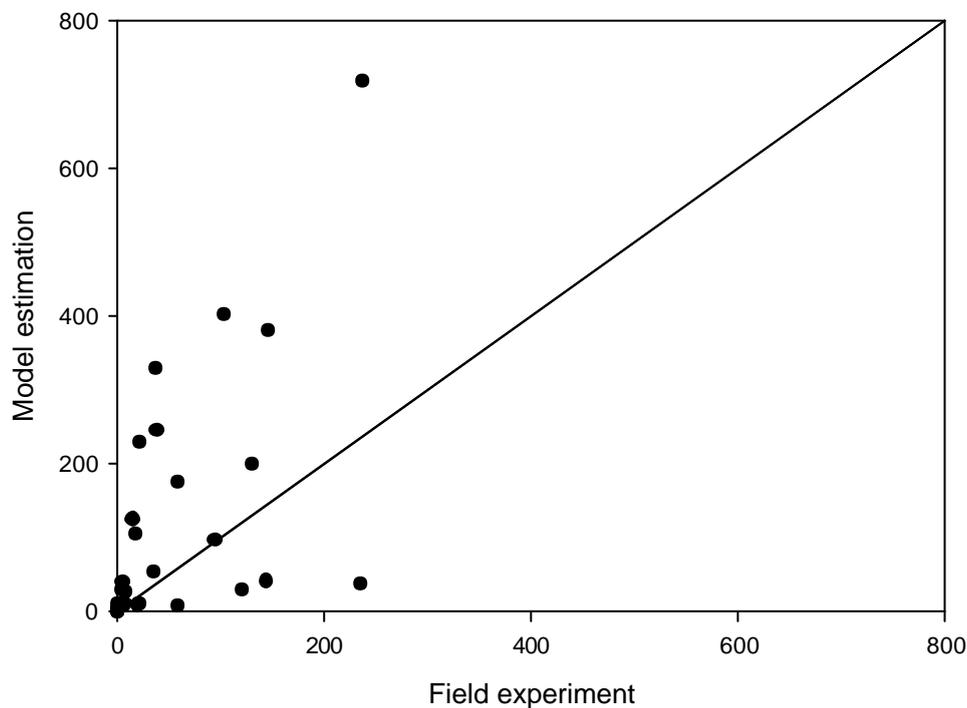


圖 23 模式估算以及實驗推算值的比較圖。中間線是代表當點在線上時，兩個值的比為 1:1。

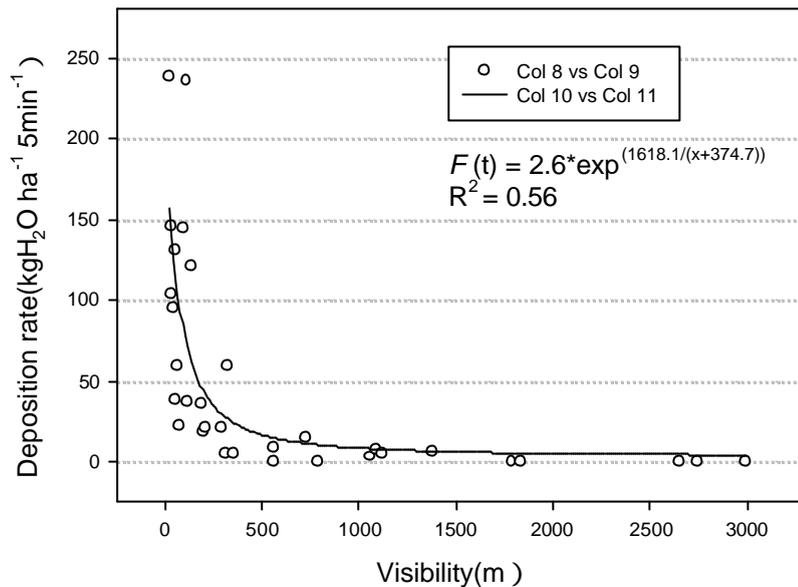


圖 24 沉降實驗所得的沉降量值與能見度的關係圖 (葉青? , 2004)。

5.2 沉降離子量

在其他也是以相同模式求雲霧沉降量的研究中，因為各個樣區的性質不一，所算出來的雲霧沉降量跟雨水的比也有所不同，本實驗所估算出來的雲霧沉降量約佔雨水的10%，在與其他研究相比之下，這樣的雲霧沉降量比例尚稱中等。如法國的 Vosges Mountains，海拔高 1146m，年雨量約 1400mm，但其年雲霧沉降量約為 55mm，只佔雨水量的 4% (Herckes *et al.*, 2002)；同是在溫帶的德國 Kleiner Feldberg 樣區，海拔高 840 公尺，年雨量為 1030mm，雲霧沉降量為 180mm，佔雨水量的 17% (Pahl *et al.*, 1996)，而在熱帶亞熱帶地區的巴西雨林，雲霧沉降量只佔了年沉降量的 3% (Vautz *et al.*, 2003)。

研究顯示霧水中的離子濃度高於雨水 (Elias *et al.*, 1995 ; Herckes *et al.*, 2002 ; Lovett *et al.*, 1982 ; Pahl *et al.*, 1994 ; Thalmann *et al.*, 2002 ; Vautz *et al.*, 2003)，但不同樣區，隨著霧水成分的不同，什麼離子在霧水中的濃度較高也有所不同，Vosges Mountains 樣區中，因為霧水比例只有 4%，所以相對的因為霧水所沉降下來的離子量比例也較低，大多集中在 10% 到 30% 之間。本樣區，濃度比較高的有氫離子、氯離子、銨、硝酸根離子、總氮、溶解性有機氮、以及硫酸根離子 (

圖 22)，這些離子在 Vosges Mountains 樣區當中大約都在 20% 到 28% 之間，但其鎘跟鉛的比率卻高達 53% 與 76% (Herckes *et al.*, 2002)。在捷克 Sumava 山區的霧水研究，研究當中一年的雲霧沉降量為 81mm，年雨量為 1160mm，但其中大多數的離子經由霧水沉降下來的比例很高，如銨離子以霧水沉降下來的比例佔總沉降量的 62%，硝

酸根離子也有 51%，Elias 等認為水平移動的雲霧，比雨水容易含有較高的離子濃度，且接近地面的雲霧比較容易攜帶高濃度的污染物，在雲霧移動的過程中，也會造成次級生產物的形成（Elias *et al.*, 1995）。由此可見在污染日益嚴重的現在，霧成為傳播大氣污染物的媒介；在本研究中，霧水中比較高濃度的氫離子、氯離子、銨、硝酸根離子、硫酸根離子其中的銨、硝酸根離子、硫酸根離子都有可能是因為污染的關係。研究區所在海風會先吹過蘭陽平原再進入谷間山區，因此氯離子濃度也較高。雖然如此跟其他樣區比較之下，污染的情形並不嚴重。然而，氮是被認為生態系統中的限制的養分，霧水中佔比較高比例的銨、硝酸根離子是植物體氮的養分來源，雖然不清楚因為人類影響而造成的氮輸入，會對生態系造成什麼衝擊（Weathers *et al.*, 2000），但雲霧沉降對於鴛鴦湖森林生態系的養分輸入，仍然有無法忽略的重要性。特別是雲霧森林中，養分經常是較貧瘠的（Bruijnzeel and Proctor, 1995）。

5.3 表面積指數垂直分布對模式運作的影響

表面積敏感度測試的結果，在表面積增加的時候，沉降量也會增加，這跟 Herckes 等 2002 年所作的測試有一點出入，Herckes 等的結果，表面積的增加對於沉降量的影響並不大。因此以德國 Waldstein 樣區的表面積指數資料作比較。這個樣區的面積指數為 $15.7\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ，比本研究樣區的 $14.6\text{m}^2\text{m}^{-2}$ 多了大約 $1\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ，輸入鴛鴦湖研究區的氣象資料，結果所得年沉降量為 329mm，只比原來的 313mm 多了 16mm；但如果比較衝擊沉降跟沉澱沉降的量，會發現以本研究區的表面積指數所得的雲霧水沉降量幾乎的是沉澱沉降而來（圖 25），以 Waldstein 樣區的表面積指數資料，卻是衝擊沉降較多（圖 26）。由（圖 27）可以看出，雖然兩地的表面積指數相差不多，但垂直分布卻差異極大，Waldstein 樣區的樹高較高，因此，每一層的表面積指數就沒有那麼聚集，經由標準化的表面積垂直分布圖顯示，本研究區的表面積指數較為集中在比較上層。經過對 Waldstein 樣區表面積指數分布作敏感度測試（圖 28），發現變的比較不敏感。沉澱沉降大部分沉降在前三層（Lovett, 1984），鴛鴦湖研究樣區表面積指數分布集中，且風速低，因此沉澱沉降的量會較大，因而左右整個敏感度測試。由此可見，表面積指數的垂直分布會影響沉降作用的機制跟沉降量，對於表面積指數在模式中敏感度也會產生影響。

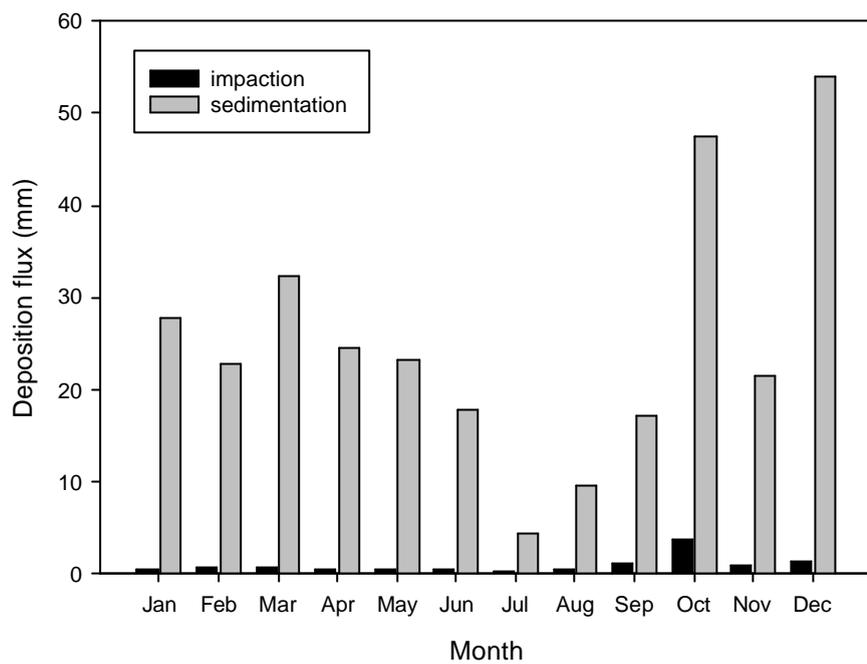


圖 25 本研究區表面積指數所得到的沉澱以及衝擊沉降流量圖。

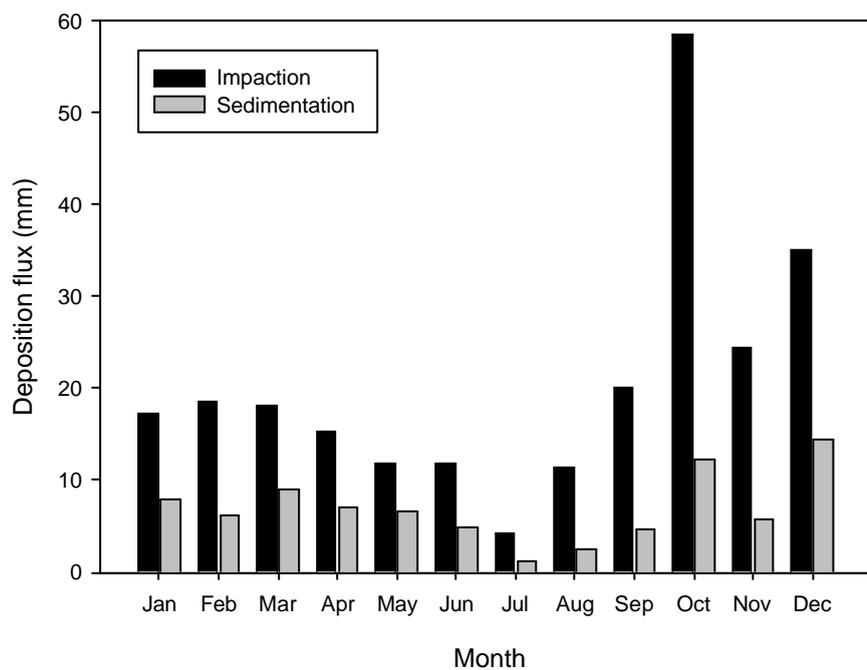


圖 26 Waldstein 樣區的表面積指數所得到的沉澱以及衝擊沉降流量圖。

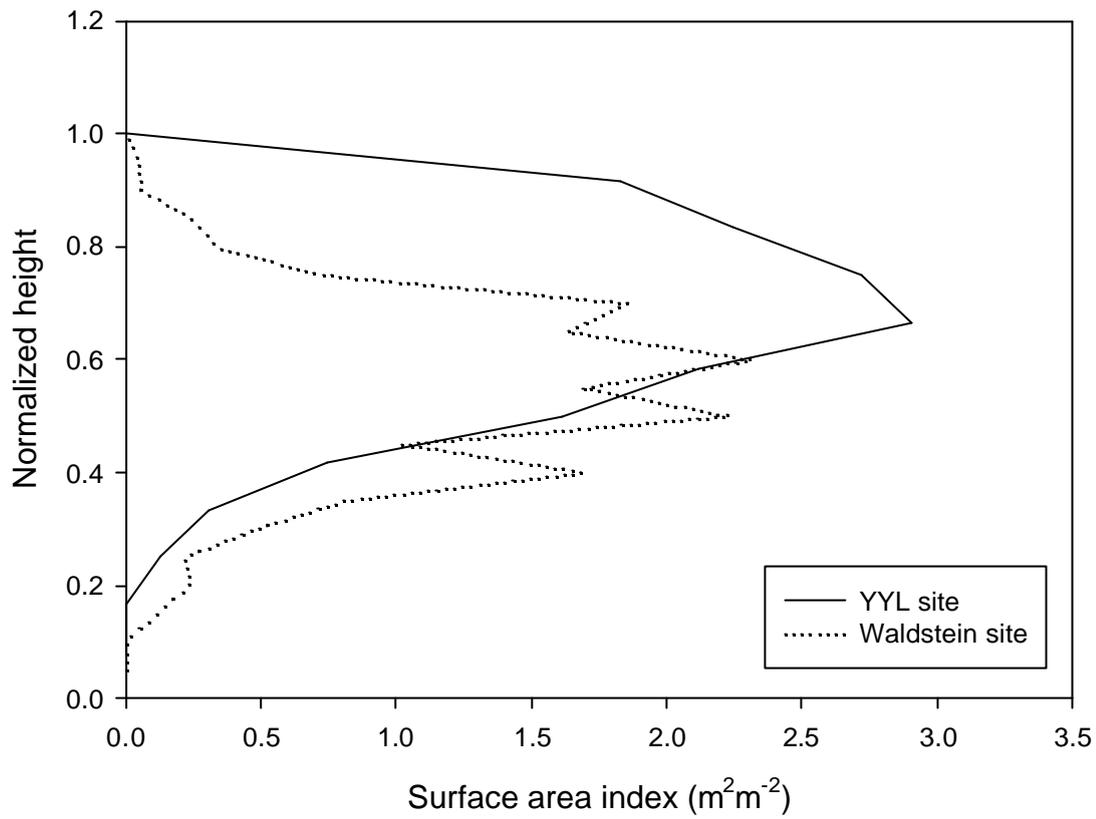


圖 27 標準化兩個樣區的表面積指數垂直分布比較圖。

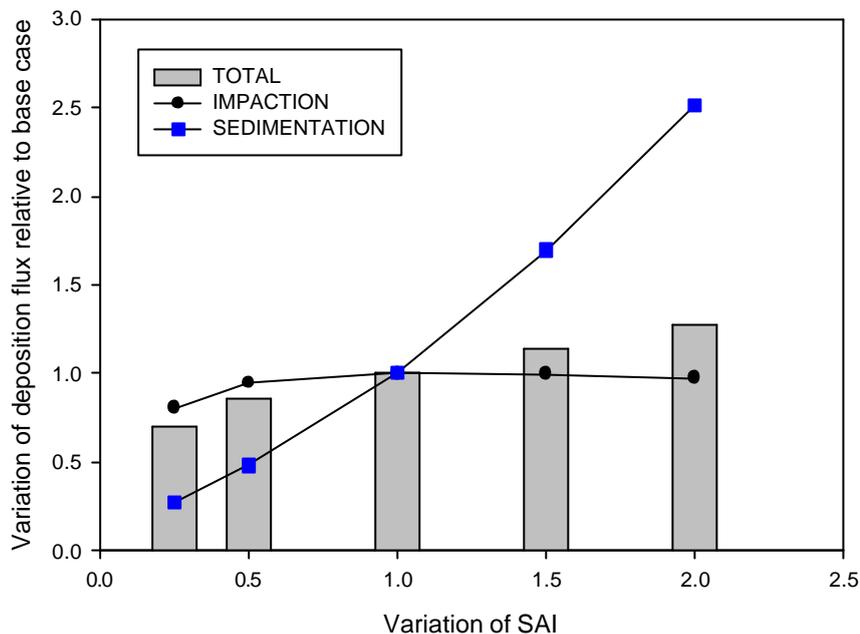


圖 28 Waldstein 樣區的表面積指數的敏感度測試。

衝擊沉降的量跟風速的關係比起沉澱沉降要較高 (Herckes *et al.*, 2002 ; Sheer, 2002) , 當風速變強的時候, 衝擊沉降的量也會跟著增加; 但沉澱沉降較不受影響, 而模式中的垂直風速是以每一層的累積表面積指數為係數成指數下降的形式, 因此表面積指數較為聚集的森林, 風速很快會降低 (圖 29), 使得衝擊沉澱的量變低。這樣的現象也反映在本研究區的表面積指數敏感度測試中, 隨著表面積的增加, 衝擊沉降的量很快的變少 (圖 12)。而相對的, 沉澱沉降的量也跟表面積指數有關, 當表面積指數上升時, 沉澱沉降的量也會上升, 且沉澱沉降大多沉降在前幾層 (Lovett, 1984), 上層表面積較高的結構, 對於沉澱衝擊的量影響較大。因此, 面積指數的分布影響著兩個沉降量的消長關係, 以及總沉降量隨著表面積指數變化的敏感程度。

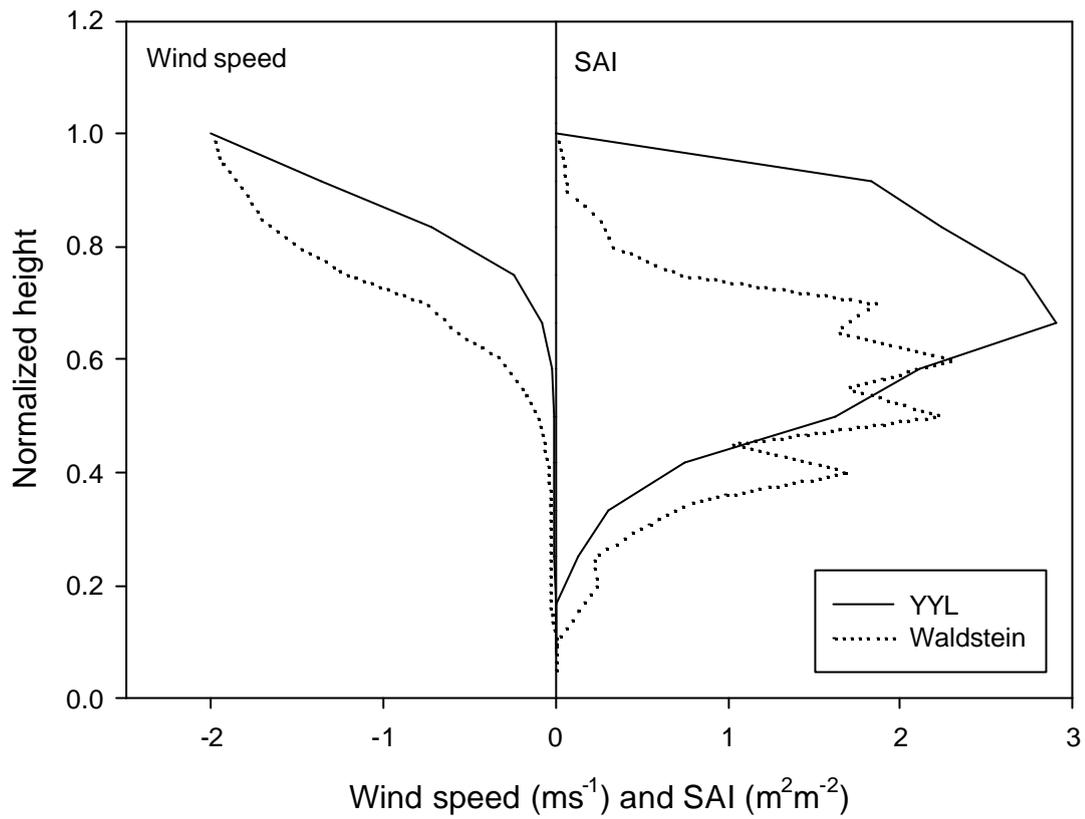


圖 29 表面積指數跟風速的關係圖。左邊為風速遞減的關係，另一邊表面積垂直分布圖；兩者都經過標準化。

6. 結論

- 鴛鴦湖研究樣區一公頃中的台灣扁柏總表面積指數為 $14.6\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ，其中葉表面積為 $12.6\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ，佔總表面積的 86%。
- 2003 年 3 月到 2004 年 2 月的年雨量為 2940mm，年均溫為 13.3 度，雲霧籠罩時數為 3356 小時，佔全年的 38%，所估算出來的雲霧沉降量為 313mm，約佔雨水的 10%。
- 2003 年 3 月到 2004 年 2 月經由霧水沉降到森林的離子量佔總沉降量的比例分別為：氫離子 (62%)、氯離子 (35%)、硫酸根離子 (39%)、銨中的氮 (60%)、硝酸根離子中的氮 (54%)、總氮 (58%)、溶解性有機氮 (47%)、鈉離子 (15%)、鉀離子 (16%)、鎂離子 (11%)、鈣離子 (13%)、錳離子 (23%)、鐵離子 (22%)、鋁離子 (11%)。

7. 參考文獻

- 陳耀德, 2003, 鴛鴦湖森林生態系大氣養分輸入之探討。東華大學, 碩士論文。
- 葉青?, 2004, 台灣扁柏森林的生物量以及雲霧沉降量估算。東華大學, 碩士論文。
- 劉美娟, 2004, 鴛鴦湖森林生態系地表苔蘚植物對養分循環之影響。東華大學, 碩士論文。
- Baldocchi, D.D. (2003) Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems : past, present, and future. *Global Change Biology*. 9, 479-492
- Bartelink, H. H. (1996) Atmospheric relationships on biomass and needle area of Douglas-fir. *Forest Ecology and Management*. 86, 193-203
- Best, A. C. (1951) Drop-size distribution in cloud and fog. *Quarter Journal of Royal Meteorology Society*. 77, 418-426
- Bruijnzeel, L. A., and J. Proctor (1995) Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? In: *Tropical Montane Cloud Forests*. Hamilton, L. S., J. O. Juvik and F. N. Scatena Eds. Springer-Verlag, New York. 38-78
- Burkard, R., W. Eugster, T. Wrzesinsky, and O. Klemm (2002) Vertical divergence of fog water fluxes above a spruce forest. *Atmospheric Research*. 64, 133-145
- Chang, S.C., I.L. Lai and J.T. Wu (2002) Estimation of fog deposition on epiphytic bryophytes in a subtropical montane forest ecosystem in northeastern Taiwan. *Atmospheric Research*. 64, 159-167
- Davidson, C.I., and Wu Y.L. (1990) Sources, deposition and canopy interactions. In: *Acidic precipitation*. Linberg S.E., Page A.L., and Norton S.A. Eds. Springer-Verlag, New York. Vol.3, 161-209
- DeFelice, T. P. (2002) Physical attributes of some clouds amid a forest ecosystem's tree. *Atmospheric Research*. 65, 17-34
- Doumenge, C., D. Gilmour, M. R. Perez, and J. Blockhus (1995) Tropical montane cloud forests: conservation status and management issues. In: *Tropical Montane Cloud Forests*. Hamilton, L.S., J. O. Juvik, and F. N. Scatena Eds. Springer-Verlag, New York. 24-37

- Elias, V., M. Tesar and J. Buchtele (1995) Occult precipitation : sampling, chemical analysis and process modeling in the Sumava Mts.(Czech Republic) and in the Taunus Mts.(Germany). *Journal of hydrology*. 166, 409-420
- Hamilton, L.S., J.O. Juvik and F.N. Scatena (1995) The Puerto Rico tropical cloud forest symposium: introduction and workshop synthesis. In: *Tropical Montane Cloud Forests*. Hamilton, L. S., J. O. Juvik, and F. N. Scatena Eds. Springer-Verlag, New York. 1-18
- Herckes, P., P. Mirabel, and H.Wortham (2002) Cloud water deposition at high-elevation site in the Vosges Mountains (France). *The Science of the Total Environment*. 296, 59-75
- Jonckheere, I., S. Fleck, K. Nackaerts, B. Muys, P. Coppin, M. Weiss, and F. Baret (2004) Review of methods for in situ leaf area index determination. Part 1. Theories, sensors, and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*. 121, 19-35
- Jorgensen, S.E. (1992) *Integration of Ecosystem Theories : A pattern*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands 63-71
- Kowalski, A. S. (1997) Occult cloudwater deposition to a forest in complex terrain : measurement and interpretation. Ph.D. Dissertation. University of Oregon State
- Lindberg, S. E., R. C. Harriss, and R. R. Turner (1982) Atmospheric deposition of metals to forest vegetation. *science*. 215, 1609-1611
- Lovett, G. M., W. A. Reiners, and R. K. Olson (1982) cloud droplet deposition in subalpine balsam fir forests: Hydrological and chemical input. *Science*. 218, 1303-1304
- Lovett, G.M. (1984) Rates and mechanisms of cloud water deposition to a subalpine balsam fir forest. *Atmospheric Environment*. 18, 361-371
- Lovett, G. M. (1994) Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in north America: an ecological perspective. *Ecological Applications*. 4, 629-650
- Pahl, S., P. Winkler, T. Shneider, B. Arends, D. Schell, R. Master, and W. Wobrock (1994) Deposition of trace substances via cloud interception on a coniferous forest at Kleiner Feldberg. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 19, 231-252
- Pahl, S. (1996) Feuchte deposition auf Nadelwalder in den Hochlagen der Mittelgebirge. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*.

- Parker, G.G. (1995) Forest canopies. Lowman M.D. and Nadkarni N.M. Eds. Academic Press, California. 73-98
- Rains, K. C., N. M. Nadkarni, and C. S. Bledsoe (2003) Epiphytic and terrestrial mycorrhizas in a lower montane Costa Rican cloud forest. *Mycorrhiza*. 13, 257-264
- Rutter, A.J. (1975) The hydrological cycle in vegetation. In: *Vegetation and the Atmosphere*. Monteith J. L. Ed. Academic press, New York. vol.1, 111-140.
- Saxena, V. K. and N. H. Lin (1990) Cloud chemistry measurements and estimates of acidic deposition on an above cloudbase coniferous forest. *Atmospheric Environment*. 24, 329-352
- Schatzmann, M. (1999) Wind tunnel modeling of fog droplet deposition on cylindrical obstacles. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 83, 371-380
- Scheer, C. (2002) Evaluierung eines Modells zur Nebeldeposition in Mittelgebirgen. Universität Bayreuth. Master thesis.
- Schlesinger, W. H., and W. A. Reiners (1974) Deposition of water and cations on artificial foliar collectors in fir Krummholz of new England mountain. *Ecology*. 55, 378-386
- Thalmann, E., R. Burkard, T. Wrzesinsky, W. Eugster, and O. Klemm (2002) Ion fluxes from fog and rain to an agricultural and a forest ecosystem in Europe. *Atmospheric Research* 64, 147-158
- Thom, A. S. (1975) Momentum, mass and heat exchange of plant communities. In: *Vegetation and the Atmosphere*. Monteith J. L. Ed. Academic press, New York. vol.1, 57-109.
- Thorne, P.G., G.M. Lovett, and W. A. Reiners (1982) Experimental determination of droplet impaction on canopy components of Balsam Fir. *American Meteorological Society*. 1413-1416
- Turner, D.P., S.A. Acker, J.E. Means, and S.L. Garmen (2000) Assessing alternative allometric algorithms for estimating leaf area of Douglas-fir trees and stands. *Forest Ecology and Management*. 126, 61-76

- Vautz, W., S. Pahl, H. Pilger, M. Schilling, and D. Klockow (2003) Deposition of trace substances via cloud droplets in the Atlantic Rain Forest of the Serra Do Mar, Sao Paulo State, SE Brazil. *Atmospheric Environment*. 37, 3277-3287
- Vermeulen, A.T., G.P. Wyers, F.G. Romer, N.F.M. Van Leeuwen, G.P.J. Draaijerijers, and J.W. Erisman (1997) Fog deposition on a coniferous forest in the Netherlands. *Atmospheric Environment*. 31, 375-386
- Vogelmann, H.W., T. Siccama, and D. C. Leedy (1968) Precipitation from fog moisture in the green mountains of Vermont. *Ecology*. 49, 1205-1207
- Vogelmann, H. W. (1973) Fog precipitation in the cloud forests of Eastern Mexico. *Bioscience*. 23, 96-100
- von Glasow, R., and A. Bott (1999) Interaction of radiation fog with tall vegetation. *Atmospheric Environment*. 33, 1333-1346
- Waggoner, P. E. (1971) Plant and polluted air. *Bioscience*. 21, 455-459
- Waggoner, P. E. (1975) Micrometeorological model. In :Vegetation and the Atmosphere. Monteith J. L. Ed. Academic press, New York. vol.1, 205-228
- Weathers, K. C., G. M. Lovett, G. E. Likens, and N. F. M. Caraco (2000) cloud water inputs of nitrogen to forest ecosystems in southern Chile: foams, fluxes, and sources. *Ecosystem*. 3, 590-595

附錄 1 葉表面積跟乾重。

	Leaf area (one side) (cm ²)	Dry weight (g)
L1		
	1145.63	40.42
	1401.3	28.904
	1329.8	35.678
	1440.76	40.364
	1605.39	44.004
	1243.26	36.68
L2		
	816.72	18.306
	741.62	18.038
	614.06	14.096
	608.75	13.561
	2362.65	56.161
	741.76	16.45
L3		
	312.37	6.565
	747.2	16.277
	586.67	10.609
	775.76	16.377
	849.82	17.797
	563.08	11.627

附錄 2 枝條基徑跟表面積。

	Twig Dia(cm)	Twig SA(cm ²)
Tree 6	2.6	3111.15439
	1.6	763.0407868
	2.7	2192.41708
	2.2	1300.43571
	1.5	844.41194
	1.3	377.198152
	0.9	163.26587
	0.9	159.49159
	1.4	560.9924
	2.0	935.5727
	2.1	1376.94966
	1.8	711.31519
	1.6	673.17204
	1.0	322.17499
	1.0	180.48092
	0.4	50.81148
	1.0	203.20353
	0.7	110.19987
	0.7	119.64499
	0.9	178.56709
0.9	102.90879	
0.7	62.42791	
Tree 10	6.0	12876.34071
	3.0	1392.82393
	2.6	2711.98974
	3.7	6248.516005
	2.5	2511.012313
	3.0	4033.117265
	3.5	5145.490525
	2.8	2972.23294
	3.6	881.5444
	3.0	3050.97943
	1.3	888.59331
	2.9	3386.722674
	2.5	2317.372595
	1.0	195.47442
	0.9	233.41661
	1.1	372.28468
	2.2	1427.066729
	1.4	462.01803
	1.9	780.12829
	0.4	31.62294
	1.5	618.260505
	1.0	205.1048
	1.5	538.76905

	Twig Dia(cm)	Twig SA(cm ²)
Tree 10	1.2	333.54336
	1.0	205.76577
	0.4	45.28822
	0.5	79.63511
	0.7	137.51002
	1.1	113.74336
	0.4	16.2338
	1.3	247.19964
	0.8	133.64468
	0.8	90.61255
Tree 1	1.7	871.70011
	2.0	870.01236
	1.6	864.872808
	1.2	355.44172
	1.5	1039.98527
	1.2	396.94781
	1.3	672.31639
	1.4	724.09342
	1.2	457.85125
	1.4	614.428292
	1.4	559.08642
	0.6	60.49524
	0.8	86.73151
	1.0	249.3788
	0.8	100.166
	0.8	126.45408
	0.5	34.37358
	0.3	15.78635
	0.3	18.86041
	0.3	34.37358
	0.8	192.79914
	0.5	29.42651
	0.4	35.36896

* 取生物量調查所取下的 11 棵樣樹中的 3 棵之枝條，作為測量枝條表面積的樣品。表中的樹編號是生物量調查中的編號。

附錄 3

TREE 1		Tree height : 7.75m	DBH : 7.8cm		
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch (cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
4.40	1.7	871.70011	34.8	2704.0	
4.55	2.0	870.01236	27.5	2136.5	
4.75	1.6	864.872808	53.3	4134.8	
5.00	1.2	355.44172	6.3	485.2	
5.40	1.5	1039.98527	86.0	6676.6	
5.70	1.2	396.94781	25.8	1999.9	
5.75	1.3	672.31639	45.5	3535.5	
6.00	1.4	724.09342	86.0	6676.6	
6.10	1.2	457.85125	33.9	2633.4	
6.20	1.4	614.428292	72.0	5589.7	
6.35	1.4	559.08642	76.0	5900.3	
6.45	0.6	60.49524	5.8	451.8	
6.55	0.8	86.73151	5.7	443.3	
6.55	1.0	249.3788	34.0	2636.5	
6.65	0.8	100.166	15.1	1173.8	
6.70	0.8	126.45408	18.0	1395.9	
6.75	0.5	34.37358	1.4	106.4	
6.85	0.3	15.78635	2.3	176.2	
6.85	0.3	18.86041	2.8	214.3	
6.90	0.3	34.37358	1.3	100.9	
6.90	0.8	192.79914	38.6	2997.5	
7.00	0.5	29.42651	7.3	566.0	
7.00	0.4	35.36896	6.4	493.0	
>7.00		377.43742	112.0	8695.1	

TREE 2		Tree height : 7.5m	DBH : 7.9cm		
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
3.50	1.4	503.3	3.5	270.2	
4.30	1.6	678.4	54.7	4245.9	
4.60	2.0	1117.3	140.0	10868.9	
4.70	1.3	426.4	19.6	1524.0	
4.90	1.6	678.4	71.3	5537.7	
5.00	1.8	882.8	70.9	5504.3	
5.10	2.0	1117.3	164.3	12755.4	
5.20	1.3	426.4	14.7	1142.8	
5.60	1.7	776.9	122.0	9471.5	
5.60	1.0	237.2	14.4	1116.4	
5.70	1.5	587.2	56.0	4343.7	
5.80	1.1	293.5	23.8	1850.0	
5.90	0.8	144.0	10.4	805.9	
5.90	0.6	75.7	5.6	434.0	
6.00	1.1	293.5	42.9	3329.0	
6.00	1.5	587.2	109.0	8462.2	

TREE 2					
Tree height : 7.5m			DBH : 7.9cm		
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
6.10	0.8	144.0	11.7	904.4	
6.10	0.8	144.0	16.9	1308.9	
6.20	1.0	237.2	31.7	2459.5	
6.30	1.0	237.2	21.8	1689.3	
6.30	1.5	587.2	98.0	7608.2	
6.30	1.1	293.5	50.3	3902.7	
6.40	1.4	503.3	92.0	7142.4	
6.40	0.5	50.3	6.1	470.5	
6.40	0.4	30.6	4.5	349.4	
6.50	0.8	144.0	22.0	1709.5	
6.50	1.1	293.5	7.1	554.3	
6.50	0.5	50.3	57.8	4483.4	
6.60	1.0	237.2	37.1	2881.8	
>6.60		600.2	148.0	11490.0	

TREE 3					
Tree height : 9.7m			DBH : 12.4cm		
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
5.70	2.2	1382.7	6.2	477.5	
5.70	2.1	1246.1	18.6	1446.3	
6.80	2.0	1117.3	60.0	4657.3	
6.80	1.6	678.4	20.9	1621.8	
6.90	1.3	426.4	4.5	345.5	
7.20	1.5	587.2	35.2	2731.2	
7.20	2.3	1527.2	216.0	16769.2	
7.40	1.5	587.2	12.2	947.1	
7.50	1.6	678.4	77.9	6049.3	
7.80	1.9	996.2	121.0	9393.8	
7.60	1.4	503.3	37.4	2902.8	
7.70	1.3	426.4	5.2	406.8	
7.80	1.3	426.4	44.1	3420.6	
7.80	1.1	293.5	17.9	1390.4	
7.90	1.3	426.4	36.5	2829.8	
8.00	1.7	776.9	132.0	10247.8	
8.00	2.1	1246.1	226.0	17545.5	
8.00	2.0	1117.3	169.8	13182.4	
8.10	1.4	503.3	49.6	3851.5	
8.20	1.3	426.4	29.4	2283.2	
8.20	1.3	426.4	2.4	189.4	
8.30	1.8	882.8	148.0	11490.0	
8.40	0.8	144.0	12.8	993.7	
8.50	1.2	356.5	36.4	2825.9	
8.50	0.8	144.0	29.6	2297.2	
8.50	1.0	237.2	58.1	4510.6	
8.50	0.9	187.4	86.5	6717.0	
8.60	1.3	426.4	58.8	4568.0	
8.60	0.2	6.5	2.8	217.4	

TREE 3					
Tree height : 9.7m		DBH : 12.4cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
8.60	0.8	144.0	56.8	4406.6	
8.60	0.3	16.1	32.9	2551.9	
8.70	0.6	75.7	15.3	1184.7	
8.70	0.5	50.3	25.9	2010.7	
8.80	0.7	106.8	52.0	4039.3	
8.80	0.5	50.3	20.2	1564.3	
8.80	0.4	30.6	15.6	1214.2	
8.90	0.5	50.3	18.7	1450.2	
8.90	0.6	75.7	28.4	2203.3	
8.90	0.7	106.8	47.6	3692.3	
9.00	0.8	144.0	62.3	4838.2	
9.00	0.5	50.3	21.1	1634.2	
>9.00		600.2039121	141.8	11009.4	

TREE 4					
Tree height : 9.2m		DBH : 12.5cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
3.50	2.3	1527.2	64.0	4967.9	
3.80	2.6	2008.8	88.3	6856.7	
4.40	2.1	1246.1	44.6	3463.3	
4.50	1.8	882.8	57.9	4493.5	
4.80	2.3	1527.2	146.0	11334.7	
5.00	2.6	2008.8	300.0	23290.5	
5.20	2.5	1840.2	172.0	13353.2	
5.30	2.2	1382.7	220.0	17079.7	
5.70	2.1	1246.1	170.0	13198.0	
5.70	3.1	2976.8	520.0	40370.2	
6.00	1.3	426.4	72.2	5606.8	
6.00	2.5	1840.2	310.0	24066.9	
6.20	1.2	356.5	23.9	1856.3	
6.30	2.0	1117.3	200.0	15527.0	
6.50	0.7	106.8	8.5	656.8	
6.50	1.3	426.4	87.9	6822.6	
6.70	2.0	1117.3	236.0	18321.9	
6.70	1.4	503.3	117.5	9121.3	
6.70	0.8	144.0	25.5	1977.4	
6.80	0.7	106.8	7.0	545.0	
6.80	1.5	587.2	106.0	8229.3	
6.90	2.0	1117.3	264.0	20495.6	
7.00	1.7	776.9	140.0	10868.9	
7.00	0.8	144.0	18.6	1440.9	
7.10	0.8	144.0	17.2	1333.0	
7.20	0.7	106.8	4.1	316.0	
7.20	1.8	882.8	191.2	14843.8	
7.20	0.6	75.7	8.2	637.4	

TREE 4		Tree height : 9.2m	DBH : 12.5cm		
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
7.30	1.2	356.5	67.9	5273.0	
7.30	1.1	293.5	75.4	5856.0	
7.40	1.0	237.2	52.4	4066.5	
7.40	1.3	426.4	100.0	7763.5	
7.40	1.0	237.2	47.2	3666.7	
7.60	1.3	426.4	95.2	7394.0	
7.60	1.0	237.2	71.4	5541.6	
7.60	0.9	187.4	48.4	3758.3	
7.70	1.1	293.5	64.9	5040.1	
7.80	0.8	144.0	42.5	3301.8	
7.80	1.0	237.2	41.9	3249.8	
7.80	0.8	144.0	43.7	3389.5	
7.90	0.9	187.4	51.9	4032.4	
7.90	1.3	426.4	85.6	6642.5	
8.00	1.2	356.5	95.1	7380.8	
8.00-9.20		2256.7	257.2	19968.5	
>9.20		50.8	5.2	403.4	

TREE 5		Tree height : 10.7m	DBH : 17cm		
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
4.10	2.9	2564.4	269.8	20949.1	
5.50	2.0	1117.3	124.0	9629.8	
5.70	2.5	1840.2	197.8	15357.9	
5.80	3.3	3423.4	314.4	24408.4	
5.90	2.5	1840.2	197.8	15357.9	
6.10	2.3	1527.2	166.2	12899.8	
6.10	1.5	587.2	68.0	5275.6	
6.40	3.6	4158.6	347.9	27009.2	
6.50	1.9	996.2	111.4	8650.0	
6.60	2.0	1117.3	124.0	9629.8	
6.60	2.3	1527.2	166.2	12899.8	
6.80	2.4	1679.6	236.4	18352.9	
6.80	1.6	678.4	77.8	6038.1	
6.90	2.8	2370.9	250.7	19466.4	
7.00	3.1	2976.8	310.2	24085.2	
7.10	2.1	1246.1	147.5	11451.2	
7.10	2.2	1382.7	151.4	11754.4	
7.20	3.0	2766.3	289.7	22488.6	
7.30	2.3	1527.2	166.2	12899.8	
7.30	2.8	2370.9	271.4	21070.1	
7.60	1.3	426.4	50.4	3910.8	
7.60	2.0	1117.3	124.0	9629.8	
7.80	2.5	1840.2	197.8	15357.9	
7.80	1.4	503.3	64.1	4976.4	
7.90	1.9	996.2	111.4	8650.0	
7.90	2.9	2564.4	269.8	20949.1	

TREE 5					
Tree height : 10.7m		DBH : 17cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
8.1	2.2	1382.7	151.4	11754.4	
8.1	1.0	237.2	24.2	1878.8	
8.30	2.1	1246.1	195.2	15154.3	
8.30	2.4	1679.6	253.4	19670.6	
8.30	1.1	293.5	55.2	4285.2	
8.50	1.3	426.4	84.7	6575.7	
8.50	1.7	776.9	129.2	10029.3	
8.60	1.4	503.3	88.4	6863.7	
8.60	1.3	426.4	76.5	5938.7	
8.70	1.8	882.8	134.8	10465.2	
8.70	2.1	1246.1	195.2	15154.3	
8.80	1.9	996.2	160.5	12463.2	
8.90	1.4	503.3	88.4	6863.7	
8.90	1.0	237.2	49.4	3835.2	
9.00	1.9	996.2	160.5	12463.2	
9.00	1.7	776.9	129.2	10029.3	
9.00	2.2	1382.7	213.8	16595.9	
9.10	1.2	356.5	43.1	3347.6	
9.20	2.2	1382.7	393.2	30526.1	
9.30	1.3	426.4	80.7	6265.1	
9.30	0.7	106.8	28.2	2189.3	
9.30	1.5	587.2	109.0	8462.2	
9.50	0.4	30.6	9.0	698.7	
9.60	0.4	30.6	7.3	566.7	
9.60	1.5	587.2	95.9	7445.2	
9.60	1.2	356.5	57.5	4464.0	
9.70	1.6	678.4	180.0	13974.3	
9.70	1.3	426.4	74.4	5776.0	
9.80	0.5	50.3	10.5	815.2	
9.80	0.8	144.0	22.9	1777.8	
9.80	0.6	75.7	26.9	2088.4	
9.90	1.0	237.2	44.5	3454.8	
9.90	0.7	106.8	25.8	2003.0	
9.90	0.7	106.8	23.3	1808.9	
10.00	0.8	144.0	23.9	1855.5	
10.00	1.0	237.2	36.4	2825.9	
10.10	1.0	237.2	46.7	3625.6	
10.10	1.5	587.2	46.8	3633.3	
>10.10		1019.2	144.0	11179.4	

TRFF 6					
Tree height : 10.5m		DBH : 17.1cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
3.15	2.3	1547.3	215.0	16694.6	
4.00	2.5	1872.2	263.3	20440.7	
5.00	3.8	4875.2	727.7	56493.0	
5.20	2.6	3111.2	317.4	24641.3	
5.40	2.5	1872.2	263.3	20440.7	
5.70	2.8	2425.8	346.7	26914.9	
5.80	3.5	4039.8	596.0	46268.0	
6.00	1.6	763.0	102.2	7934.3	
6.05	2.0	1124.2	153.2	11890.7	
6.20	1.8	883.6	118.6	9206.9	
6.25	3.0	2840.1	409.9	31823.0	
6.35	2.7	2192.4	314.7	24431.7	
6.40	2.0	1124.2	153.2	11890.7	
6.50	1.7	775.4	103.2	8013.9	
6.60	2.0	1124.2	153.2	11890.7	
6.80	2.2	1300.4	152.0	11800.5	
6.80	2.0	1124.2	153.2	11890.7	
6.85	2.6	2047.8	289.6	22482.9	
6.95	2.4	1705.4	238.4	18512.0	
7.10	1.5	844.4	88.0	6831.9	
7.15	1.3	420.0	53.8	4178.1	
7.30	2.2	1397.8	193.0	14986.7	
7.35	2.1	1256.8	172.4	13386.1	
7.40	1.3	377.2	50.0	3881.8	
7.45	1.4	497.5	64.4	5001.8	
7.50	2.0	1124.2	153.2	11890.7	
7.50	1.6	675.1	89.1	6917.1	
7.60	0.9	163.3	19.7	1529.4	
7.65	2.0	1124.2	153.2	11890.7	
7.70	1.7	775.4	103.2	8013.9	
7.70	2.1	1256.8	172.4	13386.1	
7.75	0.9	159.5	23.4	1816.7	
7.75	0.8	138.4	38.1	2961.2	
7.85	2.0	1124.2	222.0	17235.8	
7.85	1.7	775.4	162.4	12611.1	
7.95	1.4	561.0	110.2	8555.4	
8.00	0.9	181.2	47.8	3713.7	
8.05	1.6	675.1	144.6	11223.9	
8.20	1.3	420.0	97.0	7530.0	
8.20	2.0	935.6	232.9	18081.2	
8.30	1.8	883.6	181.3	14075.8	
8.45	0.8	138.4	38.1	2961.2	
8.45	1.6	675.1	144.6	11223.9	
8.50	2.1	1376.9	325.0	25231.4	
8.60	1.3	420.0	97.0	7530.0	
8.60	1.9	999.8	201.2	15617.5	

TRFF 6					
Tree height : 10.5m		DBH : 17.1cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
8.65	2.0	1124.2	222.0	17235.8	
8.80	1.8	711.3	184.8	14346.9	
8.80	0.6	71.7	21.9	1703.3	
8.85	1.6	673.2	151.7	11777.2	
8.95	0.5	47.3	15.5	1199.8	
9.00	1.0	322.2	62.1	4821.1	
9.05	0.6	71.7	21.9	1703.3	
9.10	1.0	180.5	54.8	4254.4	
9.15	0.4	28.4	10.1	781.3	
9.15	0.4	50.8	14.9	1156.8	
9.20	0.5	47.3	15.5	1199.8	
9.25	1.0	203.2	51.4	3990.4	
9.30	0.9	181.2	47.8	3713.7	
9.30	0.7	110.2	32.1	2492.1	
9.35	0.3	14.7	5.8	449.4	
9.35	0.7	119.6	31.6	2453.3	
9.40	1.0	230.6	58.6	4547.4	
9.40	0.9	178.6	50.5	3920.6	
9.40	0.3	14.7	5.8	449.4	
9.45	0.9	102.9	25.5	1979.7	
9.50	0.3	14.7	5.8	449.4	
9.50	0.7	62.4	23.7	1839.9	
9.50-10.00		494.6	280.8	21801.8	
>10.00		158.0	90.1	6993.0	

TRFF 7					
Tree height : 9.85m		DBH : 17.3cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
4.40	2.6	2008.8	239.3	18577.4	
4.85	2.1	1246.1	126.6	9831.0	
5.00	2.4	1726.9	195.6	15187.2	
5.15	1.3	426.4	21.7	1684.7	
5.20	2.4	1679.6	188.5	14635.3	
5.35	1.8	882.8	80.0	6210.2	
5.40	1.7	776.9	67.5	5237.7	
5.45	2.3	1527.2	108.0	8384.6	
5.80	1.5	587.2	46.5	3607.1	
5.90	3.6	4158.6	737.0	57217.0	
5.95	3.1	2976.8	404.2	31376.7	
5.95	1.5	587.2	85.5	6637.0	
6.00	1.6	678.4	132.4	10276.4	
6.10	2.4	1679.6	293.3	22773.8	
6.15	2.6	2008.8	343.2	26647.7	
6.40	1.4	503.3	98.0	7608.2	
6.50	1.8	882.8	166.8	12948.8	

TREE 7					
Tree height : 9.85m		DBH : 17.3cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
6.60	1.1	293.5	63.4	4925.7	
6.70	3.2	3195.8	515.9	40053.5	
6.70	2.2	1382.7	140.0	10868.9	
6.80	2.1	1246.1	225.7	17523.5	
6.90	1.5	587.2	116.6	9053.8	
6.95	2.5	1840.2	317.8	24673.5	
6.95	3.1	2976.8	650.5	50501.6	
7.15	2.0	1117.3	205.1	15923.4	
7.30	1.7	776.9	149.1	11574.8	
7.35	2.2	1382.7	247.3	19198.7	
7.45	2.2	1382.7	296.0	22980.0	
7.65	1.9	996.2	185.5	14398.4	
7.70	2.4	1679.6	293.3	22773.8	
7.90	1.2	356.5	75.3	5843.0	
7.95	1.6	678.4	160.0	12421.6	
8.10	1.5	587.2	116.6	9053.8	
8.15	1.2	356.5	75.3	5843.0	
8.20	1.4	503.3	101.9	7907.2	
8.25	1.1	293.5	77.0	5977.9	
8.30	1.0	237.2	52.6	4085.4	
8.30	0.9	187.4	42.8	3322.2	
8.35	1.0	237.2	52.6	4085.4	
8.35	1.4	503.3	98.0	7608.2	
8.45	1.2	356.5	77.8	6040.0	
8.45	0.7	106.8	30.9	2398.9	
8.50	0.9	187.4	55.6	4316.5	
8.50	1.6	678.4	206.0	15992.8	
8.60	1.0	237.2	69.4	5387.9	
8.60	0.7	106.8	34.9	2709.5	
8.65	0.6	75.7	16.3	1265.5	
8.65	0.6	75.7	22.9	1777.8	
8.70	1.4	503.3	134.0	10403.1	
8.70	0.6	75.7	59.0	4580.5	
8.75	0.4	30.6	9.0	698.7	
8.80	1.0	237.2	51.9	4029.3	
8.80	0.5	50.3	10.6	822.9	
8.85	0.6	75.7	23.0	1785.6	
8.85	1.0	237.2	60.2	4673.6	
8.90	1.1	293.5	54.7	4246.6	
8.90	0.9	187.4	56.1	4355.3	
8.95	0.7	106.8	26.4	2049.6	
8.95	0.6	75.7	18.9	1467.3	
9.00	0.5	50.3	11.2	869.5	
9.05	1.1	293.5	38.6	2996.7	
9.10	1.0	237.2	10.1	784.1	
9.10	0.7	106.8	18.9	1467.3	
9.15	0.8	144.0	18.4	1428.5	
>9.15		1526.0	149.8	11629.7	

TREE 8					
Tree height : 11.8m		DBH : 19.9cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
5.40	2.5	1840.2	165.4	12840.9	
5.60	2.3	1527.2	119.2	9250.3	
5.70	2.8	2370.9	258.3	20053.7	
5.80	2.1	1246.1	80.7	6262.8	
5.85	2.0	1117.3	68.8	5338.3	
6.25	2.7	2185.7	223.9	17380.7	
6.35	1.7	776.9	36.3	2816.9	
6.40	2.6	2008.8	206.0	15992.8	
6.55	2.8	2370.9	258.3	20053.7	
6.60	2.7	2185.7	223.9	17380.7	
6.75	2.2	1382.7	100.0	7766.4	
6.80	3.2	3195.8	422.5	32803.9	
6.90	3.0	2766.3	324.4	25188.6	
6.95	2.5	1840.2	243.5	18901.7	
7.10	1.3	426.4	86.9	6748.9	
7.20	2.2	1382.7	236.0	18321.9	
7.20	1.7	776.9	132.6	10297.2	
7.30	3.2	3195.8	359.2	27883.5	
7.35	2.6	2008.8	259.0	20106.1	
7.40	2.2	1382.7	79.1	6138.6	
7.45	2.1	1246.1	185.0	14363.1	
7.50	3.9	4973.7	490.5	38076.2	
7.70	3.6	4158.6	432.4	33566.5	
7.80	2.9	2564.4	224.0	17390.2	
7.80	1.8	882.8	145.1	11267.2	
7.90	2.2	1382.7	199.1	15454.9	
8.00	2.4	1679.6	228.3	17724.8	
8.05	3.0	2766.3	191.0	14828.3	
8.05	3.5	3904.8	413.6	32109.9	
8.25	3.6	4158.6	432.4	33566.5	
8.30	2.6	2008.8	259.0	20106.1	
8.40	1.8	882.8	138.0	10713.6	
8.40	2.1	1246.1	185.0	14363.1	
8.45	1.6	678.4	120.6	9359.5	
8.55	2.4	1679.6	228.3	17724.8	
8.60	2.2	1382.7	216.0	16769.2	
8.65	1.7	776.9	132.6	10297.2	
8.75	1.4	503.3	97.7	7584.4	
8.80	2.0	1117.3	171.3	13300.8	
8.85	2.4	1679.6	340.0	26395.9	
8.85	0.7	106.8	32.8	2545.8	
8.90	1.4	503.3	97.7	7584.4	
8.95	2.9	2564.4	307.6	23879.0	
9.00	2.2	1382.7	238.0	18477.1	
9.05	2.3	1527.2	213.5	16575.7	
9.10	1.1	293.5	66.8	5187.7	

TREE 8		Tree height : 11.8m	DBH : 19.9cm		
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
9.20	2.2	1382.7	199.1	15454.9	
9.30	1.7	776.9	150.0	11645.3	
9.30	1.4	503.3	97.7	7584.4	
9.35	1.8	882.8	145.1	11267.2	
9.35	1.1	293.5	66.8	5187.7	
9.45	0.8	144.0	25.5	1981.2	
9.50	1.2	356.5	76.6	5949.6	
9.55	0.8	144.0	40.5	3141.7	
9.60	1.4	503.3	97.7	7584.4	
9.65	1.8	882.8	182.0	14129.6	
9.65	2.2	1382.7	199.1	15454.9	
9.70	0.8	144.0	40.5	3141.7	
9.70	1.9	996.2	158.0	12268.6	
9.75	0.8	144.0	32.5	2522.4	
9.80	1.0	237.2	57.5	4464.6	
9.85	0.9	187.4	48.7	3782.0	
9.85	0.6	75.7	25.7	1997.1	
9.90	1.4	503.3	128.0	9937.3	
9.90	0.8	144.0	40.5	3141.7	
9.95	1.1	293.5	66.8	5187.7	
9.95	1.6	678.4	120.6	9359.5	
10.00	1.6	678.4	115.5	8969.9	
10.00	0.7	106.8	32.8	2545.8	
10.05	1.6	678.4	120.6	9359.5	
10.05	0.7	106.8	32.8	2545.8	
10.10	0.8	144.0	36.9	2864.0	
10.15	1.1	293.5	66.8	5187.7	
10.20	1.4	503.3	97.7	7584.4	
10.20	0.7	106.8	32.8	2545.8	
10.20	0.9	187.4	50.0	3881.0	
10.25	1.2	356.5	76.6	5949.6	
10.25	0.6	75.7	25.7	1997.1	
10.35	0.6	75.7	25.7	1997.1	
10.45	0.9	187.4	46.3	3596.1	
10.45	0.6	75.7	25.5	1978.9	
10.45	0.7	106.8	43.0	3339.1	
10.45	0.9	187.4	60.1	4667.4	
10.50	0.4	30.6	18.9	1465.7	
10.50	0.9	187.4	67.1	5205.4	
10.55	0.9	187.4	86.4	6709.2	
10.55	0.5	50.3	29.7	2304.2	
10.60	0.5	50.3	21.4	1658.3	
10.60	1.1	293.5	82.4	6400.2	
10.65	1.1	293.5	81.6	6331.1	
10.75	0.4	30.6	7.2	555.9	
10.80	0.4	30.6	12.2	948.7	

TRFF 8					
Tree height : 11.8m		DBH : 19.9cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm2)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm2)	
10.80	0.7	106.8	35.4	2746.7	
10.85	0.5	50.3	11.0	850.9	
10.85	0.4	30.6	13.9	1079.1	
10.85	0.5	50.3	21.5	1665.3	
10.90	0.3	16.1	3.9	301.2	
10.90	0.5	50.3	21.1	1635.8	
10.95	0.5	50.3	23.3	1806.6	
10.95	0.7	106.8	27.3	2121.0	
11.00	0.3	16.1	10.2	793.4	
11.00	0.4	30.6	17.0	1320.6	
>11.00		996.2	158.0	12266.3	

TRFF 9					
Tree height : 11m		DBH : 20cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm2)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm2)	
3.70	3.1	2976.8	330.1	25631.0	
4.00	2.3	1527.2	132.2	10263.3	
4.40	2.5	1840.2	134.0	10406.4	
4.50	2.4	1679.6	260.9	20255.0	
4.70	2.8	2373.0	215.9	16759.9	
4.80	2.2	1333.3	73.3	5689.4	
5.00	2.8	2373.0	215.9	16759.9	
5.20	2.8	2370.9	130.7	10146.9	
5.30	2.9	2495.3	237.2	18414.8	
5.40	2.9	2495.3	237.2	18414.8	
5.50	3.8	4659.7	764.6	59356.6	
5.70	2.4	1679.6	61.1	4743.5	
5.80	3.3	3373.9	417.5	32411.3	
5.90	2.6	2026.4	160.6	12466.9	
6.10	3.2	3158.1	368.8	28635.5	
6.20	2.0	1117.3	71.3	5535.4	
6.20	3.2	3088.0	353.6	27454.6	
6.50	2.8	2433.7	226.3	17572.5	
6.60	3.2	3088.0	353.6	27454.6	
6.80	3.3	3423.4	298.6	23181.8	
6.80	1.6	670.4	20.2	1568.6	
6.90	2.5	1812.0	130.2	10109.9	
7.00	2.0	1084.5	49.8	3863.3	
7.00	1.8	882.8	18.7	1451.8	
7.10	3.4	3597.6	470.9	36554.8	
7.20	2.5	1917.5	144.8	11241.5	
7.50	3.1	3018.7	338.9	26311.1	
7.50	2.8	2370.9	390.3	30300.9	
7.60	3.2	3158.1	587.7	45629.7	
7.60	3.1	2882.6	536.3	41636.8	
7.70	1.5	556.4	103.0	7993.1	

TRFF 0					
Tree height = 11m		DRH = 20cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
7.80	1.4	503.3	161.1	12507.0	
7.90	2.4	1610.8	299.1	23221.8	
7.90	2.4	1610.8	299.1	23221.8	
8.10	3.1	2882.6	536.3	41636.8	
8.20	2.5	1840.2	237.7	18453.8	
8.20	1.2	362.9	67.1	5206.9	
8.20	2.5	1917.5	356.3	27659.8	
8.30	3.1	3018.7	561.7	43607.9	
8.30	2.8	2370.9	414.4	32171.9	
8.40	1.0	213.9	39.5	3063.9	
8.50	2.0	1084.5	201.1	15614.2	
8.50	2.2	1333.3	247.4	19209.5	
8.60	2.3	1527.2	246.3	19121.5	
8.60	2.8	2373.0	441.2	34253.6	
8.70	1.7	731.8	135.6	10523.5	
8.90	1.4	503.7	93.2	7234.4	
9.00	2.2	1382.7	218.8	16986.5	
	2.2	1382.7	256.6	19923.3	
	1.9	996.2	184.7	14339.4	
	1.7	776.9	143.9	11173.0	
9.30	1.5	587.2	102.4	7949.8	
	1.7	776.9	143.9	11173.0	
	1.7	776.9	143.9	11173.0	
	1.7	776.9	143.9	11173.0	
9.4	0.6	75.7	15.2	1180.1	
	1.3	426.4	78.8	6120.9	
	1.6	678.4	125.6	9752.3	
	1.5	587.2	108.7	8437.8	
9.60	1.0	237.2	43.1	3346.1	
	0.9	187.4	34.6	2682.6	
	1.6	678.4	125.6	9752.3	
	1.2	356.5	65.9	5114.8	
9.80	0.8	144.0	28.7	2228.1	
	1.1	293.5	54.2	4207.9	
	1.2	356.5	65.9	5114.8	
	1.1	293.5	54.2	4207.9	
10.00	1.2	356.5	115.5	8966.8	
	1.3	426.4	78.8	6120.9	
	1.0	237.2	43.8	3397.9	
	1.0	237.2	43.8	3397.9	
10.20	1.3	426.4	113.0	8772.8	
	0.9	187.4	34.6	2682.6	
	0.9	187.4	34.6	2682.6	
	0.9	187.4	34.6	2682.6	
10.40	0.8	144.0	16.1	1249.9	
	0.6	75.7	13.9	1080.3	
	0.5	50.3	9.2	717.6	
	0.5	50.3	9.2	717.6	
10.50	0.5	50.3	6.6	512.4	
>10.50		541.8	49.3	3827.4	

TRFE 10					
Tree height : 12.2m		DBH : 26cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
3.40	4.3	5957.8	210.4	16330.7	
4.90	3.5	3765.4	110.5	8575.6	
5.20	6.0	12876.3	713.9	55423.6	
5.40	4.0	5070.8	167.8	13023.4	
5.55	3.2	3083.6	83.4	6478.6	
5.60	2.6	1941.1	43.6	3383.1	
5.65	2.7	2111.5	159.7	12398.3	
5.75	3.1	2872.9	75.6	5866.0	
6.00	3.9	4792.5	155.0	12031.5	
6.05	2.4	1623.9	33.9	2633.5	
6.10	3.0	1392.8	17.5	1358.6	
6.20	4.0	5070.8	594.3	46136.9	
6.25	2.3	1476.9	230.4	17888.6	
6.30	3.8	4522.9	544.3	42258.0	
6.35	2.6	2711.9	228.2	17716.3	
6.45	4.7	7264.2	783.3	60807.9	
6.60	2.5	1778.6	265.8	20633.6	
6.70	3.2	3083.6	405.6	31486.8	
6.75	3.7	6248.5	666.5	51743.7	
6.80	2.6	1941.1	284.2	22066.7	
7.00	4.0	5070.8	594.3	46136.9	
7.05	2.5	1778.6	265.8	20633.6	
7.05	2.5	2511.0	232.4	18042.4	
7.15	3.8	4522.9	544.3	42258.0	
7.40	1.8	855.2	151.4	11757.5	
7.40	1.7	752.9	137.3	10661.4	
7.40	3.0	4033.1	339.4	26349.3	
7.55	3.9	4792.5	569.1	44179.7	
7.70	3.2	3083.6	405.6	31486.8	
7.75	3.3	3302.5	427.5	33190.1	
7.75	3.5	5145.4	614.9	47737.8	
7.90	3.9	4792.5	569.1	44179.7	
7.95	3.5	3765.4	472.8	36708.0	
8.00	2.5	1778.6	265.8	20633.6	
8.05	2.8	2972.2	266.4	20682.0	
8.20	1.4	488.4	98.5	7646.2	
8.25	2.1	1205.9	197.2	15308.5	
8.30	4.2	5653.3	646.1	50156.4	
8.40	3.6	841.9	756.0	58692.1	
8.50	1.4	488.4	98.5	7646.2	
8.55	1.0	230.7	55.4	4298.0	
8.60	2.8	2289.8	322.7	25051.9	
8.65	3.0	3050.9	460.0	35712.1	
8.80	2.3	1476.9	230.4	17888.6	
8.80	1.8	855.2	151.4	11757.5	
8.85	2.0	1081.6	181.4	14081.7	

TRFE 10	Tree height : 12.2m	DBH : 26cm		
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)
8.95	1.3	888.5	54.0	4192.3
9.00	1.0	230.7	55.4	4298.0
9.05	2.5	1778.6	265.8	20633.6
9.10	3.0	2670.4	363.1	28193.0
9.10	2.9	3386.7	576.0	44717.8
9.20	1.8	855.2	151.4	11757.5
9.20	2.5	1778.6	265.8	20633.6
9.30	1.8	855.2	151.4	11757.5
9.40	0.9	182.4	46.2	3588.6
9.45	2.5	2317.3	348.0	27017.0
9.45	1.0	230.7	55.4	4298.0
9.50	0.8	140.3	37.8	2933.2
9.60	1.0	195.4	30.0	2329.1
9.70	1.6	657.7	123.8	9610.3
9.70	2.3	1476.9	230.4	17888.6
9.75	2.3	1476.9	230.4	17888.6
9.80	0.9	233.4	44.9	3485.8
9.80	2.1	1205.9	197.2	15308.5
9.85	1.9	964.7	166.1	12897.8
9.95	1.0	230.7	55.4	4298.0
9.95	1.0	230.7	55.4	4298.0
10.00	1.1	372.2	68.6	5325.8
10.05	1.0	230.7	55.4	4298.0
10.05	1.7	752.9	137.3	10661.4
10.10	2.2	1427.0	289.8	22498.6
10.15	0.6	73.8	23.1	1792.4
10.20	1.3	414.0	86.8	6735.1
10.25	0.8	140.3	37.8	2933.2
10.25	1.4	462.0	96.0	7453.0
10.30	1.6	657.7	123.8	9610.3
10.35	1.9	780.1	154.0	11955.8
10.40	1.8	855.2	151.4	11757.5
10.45	0.4	31.6	136.0	10558.4
10.45	1.5	618.2	110.8	8604.9
10.50	1.0	205.1	44.3	3439.2
10.50	1.0	230.7	55.4	4298.0
10.55	1.5	538.7	114.0	8850.4
10.65	0.5	49.2	16.9	1311.8
10.65	1.2	333.5	72.6	5636.3
10.70	0.5	49.2	16.9	1311.8
10.70	1.0	205.7	45.8	3555.7
10.75	1.0	230.7	55.4	4298.0
10.80	0.4	45.2	13.0	1009.3
10.80	0.5	49.2	16.9	1311.8
10.80	0.5	79.6	18.4	1428.5
10.85	1.0	230.7	55.4	4298.0

TREE 10 Tree height : 12.2m DBH : 26cm					
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
10.85	0.7	137.5	32.2	2499.8	
10.90	1.3	414.0	86.8	6735.1	
10.90	1.1	113.7	35.8	2779.3	
10.95	0.4	29.9	11.5	895.3	
11.00	0.4	16.2	4.8	372.6	
11.00	0.5	49.2	16.9	1311.8	
11.01	1.3	247.1	83.5	6482.5	
11.05	1.0	230.7	55.4	4298.0	
11.10	0.8	133.6	29.5	2290.2	
11.15	0.6	73.8	23.1	1792.4	
11.20	0.8	90.6	22.5	1746.8	
>11.20		907.6	216.0	16769.2	

TREE 11 Tree height : 12.2m DBH : 26.1cm					
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
3.20	4.3	6187.2	210.4	16330.7	
4.70	4.2	5870.1	195.4	15171.5	
4.70	3.5	3904.8	110.5	8575.6	
5.00	6.0	13031.8	713.9	55423.6	
5.20	4.0	5263.4	167.8	13023.4	
5.40	3.2	3195.8	83.4	6478.6	
5.40	2.6	2008.8	43.6	3383.1	
5.50	2.7	2185.7	159.7	12398.3	
5.60	3.1	2976.8	75.6	5866.0	
5.80	3.9	4973.7	155.0	12031.5	
5.90	2.4	1679.6	33.9	2633.5	
5.90	3.0	2766.3	17.5	1358.6	
6.00	4.0	5263.4	594.3	46136.9	
6.10	2.3	1527.2	230.4	17888.6	
6.10	3.8	4693.1	544.3	42258.0	
6.20	2.6	2008.8	228.2	17716.3	
6.30	4.7	7548.7	783.3	60807.9	
6.40	2.5	1840.2	265.8	20633.6	
6.50	3.2	3195.8	405.6	31486.8	
6.60	3.7	4421.4	666.5	51743.7	
6.60	2.6	2008.8	284.2	22066.7	
6.80	4.0	5263.4	594.3	46136.9	
6.90	2.5	1840.2	265.8	20633.6	
6.90	2.5	1840.2	232.4	18042.4	
7.00	3.8	4693.1	544.3	42258.0	
7.20	1.8	882.8	151.4	11757.5	
7.20	1.7	776.9	137.3	10661.4	
7.20	3.0	2766.3	339.4	26349.3	
7.40	3.9	4973.7	569.1	44179.7	

TRFE 11					
Tree height : 12.2m		DBH : 26.1cm			
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
7.50	3.2	3195.8	405.6	31486.8	
7.60	3.3	3423.4	427.5	33190.1	
7.60	3.5	3904.8	614.9	47737.8	
7.70	3.9	4973.7	569.1	44179.7	
7.80	3.5	3904.8	472.8	36708.0	
7.80	2.5	1840.2	265.8	20633.6	
7.90	2.8	2370.9	266.4	20682.0	
8.00	1.4	503.3	98.5	7646.2	
8.10	2.1	1246.1	197.2	15308.5	
8.10	4.2	5870.1	646.1	50156.4	
8.20	3.6	4158.6	756.0	58692.1	
8.30	1.4	503.3	98.5	7646.2	
8.40	1.0	237.2	55.4	4298.0	
8.40	2.8	2370.9	322.7	25051.9	
8.50	3.0	2766.3	460.0	35712.1	
8.60	2.3	1527.2	230.4	17888.6	
8.60	1.8	882.8	151.4	11757.5	
8.70	2.0	1117.3	181.4	14081.7	
8.80	1.0	237.2	54.0	4192.3	
8.80	1.0	237.2	55.4	4298.0	
8.90	2.5	1840.2	265.8	20633.6	
8.90	3.0	2766.3	363.1	28193.0	
8.90	2.9	2564.4	576.0	44717.8	
9.00	1.8	882.8	151.4	11757.5	
9.00	2.5	1840.2	265.8	20633.6	
9.10	1.8	882.8	151.4	11757.5	
9.20	0.9	187.4	46.2	3588.6	
9.30	2.5	1840.2	348.0	27017.0	
9.30	1.0	237.2	55.4	4298.0	
9.30	0.8	144.0	37.8	2933.2	
9.40	1.0	237.2	30.0	2329.1	
9.50	1.6	678.4	123.8	9610.3	
9.50	2.3	1527.2	230.4	17888.6	
9.60	2.3	1527.2	230.4	17888.6	
9.60	0.9	187.4	44.9	3485.8	
9.60	2.1	1246.1	197.2	15308.5	
9.70	1.9	996.2	166.1	12897.8	
9.80	1.0	237.2	55.4	4298.0	
9.80	1.1	293.5	68.6	5325.8	
9.80	1.7	776.9	137.3	10661.4	
9.90	1.0	237.2	55.4	4298.0	
9.90	1.7	776.9	137.3	10661.4	
9.90	2.2	1382.7	289.8	22498.6	
10.00	0.6	75.7	23.1	1792.4	
10.00	1.3	426.4	86.8	6735.1	
10.10	0.8	144.0	37.8	2933.2	

TREE 11		Tree height : 12.2m	DBH : 26.1cm		
Height(m)	Dia of Branch(cm)	SA of Branch(cm ²)	DW of Leaf(g)	SA of Leaf(cm ²)	
10.10	1.4	503.3	96.0	7453.0	
10.10	1.6	678.4	123.8	9610.3	
10.20	1.9	996.2	154.0	11955.8	
10.20	1.8	882.8	151.4	11757.5	
10.30	0.4	30.6	136.0	10558.4	
10.30	1.5	587.2	110.8	8604.9	
10.30	1.0	237.2	44.3	3439.2	
10.30	1.0	237.2	55.4	4298.0	
10.40	1.5	587.2	114.0	8850.4	
10.50	0.5	50.3	16.9	1311.8	
10.50	1.2	356.5	72.6	5636.3	
10.50	0.5	50.3	16.9	1311.8	
10.50	1.0	237.2	45.8	3555.7	
10.60	1.0	237.2	55.4	4298.0	
10.60	0.4	30.6	13.0	1009.3	
10.60	0.5	50.3	16.9	1311.8	
10.60	0.5	50.3	18.4	1428.5	
10.70	1.0	237.2	55.4	4298.0	
10.70	0.7	106.8	32.2	2499.8	
10.70	1.3	426.4	86.8	6735.1	
10.70	1.1	293.5	35.8	2779.3	
10.80	0.4	30.6	11.5	895.3	
10.80	0.4	30.6	4.8	372.6	
10.80	0.5	50.3	16.9	1311.8	
10.80	1.3	426.4	83.5	6482.5	
10.90	1.0	237.2	55.4	4298.0	
10.90	0.8	144.0	29.5	2290.2	
11.00	0.6	75.7	23.1	1792.4	
11.00	0.8	144.0	22.5	1746.8	
>11.00			216.0	16769.2	

附錄 4 各樣樹之樹幹徑級以及表面積。DIA 是直徑，SA 是表面積。

Height (m)	DIA (cm)	SA (cm ²)						
TREE 1			TREE 2			TREE 3		
0-100	9.50	2810.30	0-100	11.70	3092.90	0-100	12.80	4694.30
101-200	8.40	2512.00	101-200	8.00	2370.70	101-200	11.50	3815.10
201-300	7.60	2229.40	201-300	7.10	2072.40	201-300	10.80	3501.10
301-400	6.60	1899.70	301-400	6.10	1758.40	301-400	9.60	3202.80
401-500	5.50	1585.70	401-500	5.10	1413.00	401-500	8.40	2826.00
501-600	4.60	1256.00	501-600	3.90	1036.20	501-600	7.70	2527.70
601-700	3.40	722.20	601-700	2.70	518.10	601-700	5.90	2135.20
701-800	1.20	219.80	701-800	0.60	94.20	701-800	3.40	1460.10
801-900	0.20	0.00	801-900	0.00	0.00	801-900	1.40	753.60
901-1000	0.00	0.00	901-1000	0.00	0.00	901-1000	0.00	219.80
1001-	0.00	0.00	1001-	0.00	0.00	1001-		0.00
TREE 4			TREE 5			TREE 6		
0-100	19.10	5047.43	0-100	27.20	6939.40	0-100	25.10	6688.20
101-200	13.05	3932.96	101-200	17.00	5306.60	101-200	17.50	5243.80
201-300	12.00	3642.40	201-300	16.80	5181.00	201-300	15.90	4851.30
301-400	11.20	3297.00	301-400	16.20	4835.60	301-400	15.00	4631.50
401-500	9.80	2920.20	401-500	14.60	4364.60	401-500	14.50	4333.20
501-600	8.80	2386.40	501-600	13.20	3862.20	501-600	13.10	3862.20
601-700	6.40	1648.50	601-700	11.40	3265.60	601-700	11.50	3140.00
701-800	4.10	957.70	701-800	9.40	2700.40	701-800	8.50	2260.80
801-900	2.00	345.40	801-900	7.80	1978.20	801-900	5.90	1444.40
901-1000	0.20	31.40	901-1000	4.80	1051.90	901-1000	3.30	643.70
1001-	0.00	0.00	1001-	1.90	298.30	1001-	0.80	78.50

Height (m)	DIA (cm)	SA (cm ²)						
TREE 7			TREE 8			TREE 9		
0-100	25.30	6782.40	0-100	33.00	8509.40	0-100	29.00	7693.00
101-200	17.90	5510.70	101-200	21.20	6295.70	101-200	20.00	6075.90
201-300	17.20	5212.40	201-300	18.90	5809.00	201-300	18.70	5683.40
301-400	16.00	4819.90	301-400	18.10	5432.20	301-400	17.50	5322.30
401-500	14.70	4427.40	401-500	16.50	5086.80	401-500	16.40	4929.80
501-600	13.50	3956.40	501-600	15.90	4710.00	501-600	15.00	4458.80
601-700	11.70	3249.90	601-700	14.10	3972.10	601-700	13.40	3909.30
701-800	9.00	2276.50	701-800	11.20	3265.60	701-800	11.50	2998.70
801-900	5.50	1256.00	801-900	9.60	2606.20	801-900	7.60	2130.76
901-1000	2.50	392.50	901-1000	7.00	1695.60	901-1000	5.97	1429.75
1001-	0.00	0.00	1001-	3.80	628.00	1001-	3.14	492.20
TREE 10			TREE 11					
0-100	33.60	9288.17	0-100	42.00	11084.20			
101-200	25.56	7561.17	101-200	28.60	8069.80			
201-300	22.60	7011.45	201-300	22.80	7127.80			
301-400	22.06	6461.95	301-400	22.60	6656.80			
401-500	19.10	5777.60	401-500	19.80	6028.80			
501-600	17.70	5227.66	501-600	18.60	5620.60			
601-700	15.60	4447.74	601-700	17.20	4757.10			
701-800	12.73	3394.78	701-800	13.10	3893.60			
801-900	8.89	2377.25	801-900	11.70	2763.20			
901-1000	6.25	1405.35	901-1000	5.90	1475.80			
1001-	2.70	455.30	1001-	3.50	580.90			

附錄 5 重力沉降在採樣期間的水量以及其離子濃度。(劉美娟, 2004)

DATE	hr	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Mn ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺	tN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	DON	H ⁺
	[mm]														
2003/02/26	9.000	0.123	0.709	0.371	0.216	0.957	7.833	0.115	0.038	0.052	0.121	0.023	0.054	0.050	0.012
2003/03/13	39.433	0.994	0.661	0.970	0.319	0.932	5.586	0.083	0.029	0.042	0.646	0.263	0.278	0.105	0.034
2003/03/27	27.500	0.440	0.231	0.284	0.172	0.328	1.258	0.021	0.034	0.074	0.560	0.195	0.257	0.108	0.016
2003/04/13	118.700	0.294	0.539	0.298	0.108	0.259	2.270	0.013	0.028	0.039	0.747	0.505	0.166	0.076	0.011
2003/05/01	58.500	0.163	0.140	0.223	0.115	0.245	0.908	0.010	0.029	0.067	0.330	0.068	0.224	0.038	0.023
2003/05/15	12.467	0.178	0.175	0.232	0.161	0.414	1.154	0.031	0.027	0.065	0.132	0.021	0.030	0.081	0.006
2003/05/28	33.000	0.270	0.804	0.421	0.162	0.212	0.929	0.012	0.088	0.020	0.121	0.008	0.026	0.087	0.009
2003/06/12	164.400	0.061	0.770	0.372	0.290	0.356	0.806	0.014	0.044	0.042	0.089	0.000	0.025	0.067	0.004
2003/06/26	234.000	0.003	1.004	0.527	0.228	0.408	0.292	0.021	0.167	0.050	0.108	0.013	0.063	0.035	0.010
2003/07/10	70.000	0.344	0.135	0.236	0.107	0.327	1.684	0.022	0.029	0.052	0.472	0.534	0.254	0.066	0.014
2003/07/24	82.400	0.060	0.106	0.200	0.122	0.286	1.220	0.010	0.033	0.063	0.453	0.179	0.218	0.055	0.013
2003/08/11	26.233	0.117	0.169	0.204	0.126	0.497	1.210	0.010	0.034	0.062	0.262	0.040	0.142	0.079	0.006
2003/08/26	98.400	0.202	0.169	0.254	0.125	0.365	0.978	0.006	0.029	0.063	0.378	0.124	0.197	0.057	0.006
2003/09/08	412.067	0.893	0.474	0.251	0.165	0.188	0.297	0.003	0.026	0.063	0.015	0.008	0.025	0.000	0.001
2003/09/19	135.333	0.270	0.122	0.213	0.121	0.188	0.455	0.004	0.026	0.060	0.041	0.010	0.022	0.009	0.001
2003/10/02	119.600	0.287	0.212	0.207	0.126	0.246	0.895	0.004	0.028	0.064	0.107	0.022	0.084	0.002	0.004
2003/10/16	375.633	0.270	0.139	0.215	0.121	0.148	0.487	0.003	0.027	0.063	0.123	0.027	0.058	0.038	0.002
2003/10/30	14.167	6.149	3.804	0.389	0.627	0.942	5.156	0.021	0.036	0.062	1.192	0.924	0.643	0.037	0.007
2003/11/13	124.767	0.270	0.122	0.211	0.108	0.206	0.501	0.003	0.025	0.054	0.000	0.030	0.071	0.000	0.002
2003/11/27	336.200	0.263	0.091	0.028	0.000	0.045	0.288	0.000	0.000	0.000	0.058	0.013	0.042	0.007	0.001
2003/12/11	147.100	0.642	0.187	0.032	0.032	0.112	1.074	0.001	0.002	0.000	0.144	0.147	0.094	0.000	0.005
2003/12/25	20.400	1.777	1.112	0.089	0.072	0.444	4.297	0.005	0.015	0.000	0.931	0.505	0.504	0.023	0.025
2004/01/09	12.800	1.792	1.175	0.156	0.130	0.724	5.896	0.009	0.026	0.001	1.220	0.550	0.668	0.041	0.030
2004/02/02	68.800	0.448	0.239	0.017	0.005	0.163	1.946	0.002	0.003	0.000	0.442	0.221	0.202	0.028	0.015
2004/02/19	172.433	0.186	0.197	0.031	0.025	0.110	0.795	0.001	0.001	0.001	0.129	0.041	0.085	0.008	0.004

附錄 6 雲霧沉降在採樣期間的降水量與離子濃度。(劉美娟, 2004)

DATE	FG [mm]	[mg l ⁻¹]										tN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	DON	H ⁺
		Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Mn ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺						
2003/02/26	8.900	0.997	0.413	0.222	0.152	0.500	2.472	0.044	0.033	0.000	0.855	0.501	0.291	0.063	0.037	
2003/03/13	18.500	1.082	0.170	0.180	0.088	0.253	0.851	0.018	0.028	0.013	1.837	1.086	0.697	0.055	0.043	
2003/03/27	16.100	1.452	0.348	0.746	0.198	0.265	1.247	0.058	0.032	0.084	4.570	2.592	1.754	0.225	0.083	
2003/04/13	13.200	0.429	0.698	0.225	0.143	0.602	2.258	0.086	0.032	0.029	1.542	0.911	0.512	0.119	0.052	
2003/05/01	15.000	1.111	0.664	1.523	0.278	0.512	0.000	0.036	0.093	0.000	1.615	1.565	0.826	0.000	0.100	
2003/05/15	6.600	1.565	0.514	0.495	0.203	0.209	3.068	0.019	0.106	0.000	2.050	1.163	0.856	0.032	0.098	
2003/05/28	13.900	0.315	0.387	0.400	0.287	0.227	1.609	0.021	0.092	0.030	2.805	1.746	0.929	0.130	0.085	
2003/06/12	10.600	0.685	0.659	0.289	0.146	0.152	0.348	0.015	0.101	0.095	3.887	2.134	1.460	0.294	0.135	
2003/06/26	9.700	0.969	0.352	0.285	0.105	0.207	0.727	0.004	0.026	0.000	0.600	0.230	0.221	0.150	0.148	
2003/07/10	3.900	3.185	0.494	0.267	0.150	0.261	2.032	0.021	0.186	0.390	0.000	0.000	0.000	0.000	0.427	
2003/07/24	3.600	3.242	0.450	0.277	0.144	0.156	1.662	0.019	0.172	0.185	7.802	2.249	4.434	1.120	0.200	
2003/08/11	5.600	4.492	0.440	0.418	0.127	0.302	4.676	0.015	0.195	0.290	18.810	5.824	7.659	5.327	0.174	
2003/08/26	9.600	2.929	0.465	0.213	0.128	0.233	1.880	0.013	0.140	0.057	3.527	1.311	2.239	0.000	0.117	
2003/09/08	7.300	1.849	0.208	0.298	0.216	0.362	0.547	0.010	0.063	0.038	0.899	0.335	0.537	0.028	0.018	
2003/09/19	4.300	3.242	0.433	0.573	0.162	0.204	2.077	0.012	0.323	0.106	5.390	1.680	2.930	0.780	0.162	
2003/10/02	15.400	0.628	0.731	0.392	0.123	0.146	4.777	0.011	0.163	0.049	0.232	0.039	0.225	0.000	0.041	
2003/10/16	21.200	1.281	0.643	0.381	0.082	0.123	5.713	0.009	0.209	0.059	0.670	0.541	0.431	0.000	0.043	
2003/10/30	14.500	9.690	0.712	0.305	0.086	0.150	17.305	0.014	0.166	0.164	4.982	2.099	2.460	0.423	0.170	
2003/11/13	13.100	1.196	0.614	0.193	0.177	0.391	2.503	0.005	0.032	0.063	0.000	0.257	0.501	0.000	0.043	
2003/11/27	15.600	0.422	0.428	0.225	0.063	0.229	2.427	0.008	0.004	0.001	0.450	0.151	0.253	0.046	0.031	
2003/12/11	17.800	2.120	1.675	0.584	0.258	0.636	10.431	0.022	0.036	0.032	1.469	0.817	0.617	0.035	0.145	
2003/12/25	23.100	2.811	0.683	0.455	0.110	0.296	9.600	0.014	0.090	0.024	2.466	1.439	0.956	0.071	0.100	
2004/01/09	23.900	1.774	1.036	0.498	0.153	0.524	10.193	0.021	0.084	0.027	3.206	1.786	1.246	0.175	0.107	
2004/02/02	17.300	0.327	0.341	0.246	0.123	0.701	5.561	0.024	0.066	0.009	0.970	0.429	0.436	0.106	0.066	
2004/02/19	20.800	0.956	0.528	0.174	0.073	0.369	5.104	0.024	0.059	0.004	1.384	0.695	0.609	0.081	0.049	