

微氣象對海岸防風林群落之影響

林 信 輝

陳 明 義

國立中興大學水土保持學系副教授

國立中興大學植物學研究所教授

摘 要

本研究旨在探討微氣象因子對黃欖與木麻黃防風林群落諸生理現象之影響。曾於桃園縣沙崙海岸防風林區長期調查砂丘地風速、光度、溫度、濕度、土壤水分等環境因子，並測定植物體內之水分狀況、擴散阻抗、蒸散作用等生理現象之日變化與季節變化。經分析比較並建立其反應模式，所得結果摘錄如下：

1. 黃欖氣孔阻抗具明顯之日變化，冠層不同部位之葉片阻抗差異小，其葉片導度 (CL) 之最大值約為 $0.25 \text{ cm} / \text{sec}$ 。另由葉片導度剩餘值分析結果，在夏季、氣溫 $33 \sim 35^\circ\text{C}$ 、冠頂風速非介於 $2 \text{ m} / \text{s}$ 至 $5 \text{ m} / \text{s}$ 間各種情況下，黃欖具有較大之葉片導度。

2. 木麻黃木質部壓力潛勢 (XPP) 具明顯之日變化，黎明前之 XPP 測值 (BP) 與土壤含水量呈顯著相關；晝間之 XPP 測值則與最高氣溫間與最大濕度飽和差間均呈顯著負相關，但與風速、光照及土壤含水量等之相關性不顯著。

3. 黃欖與木麻黃之葉片水分潛勢 (LWP) 均無明顯之日變化趨勢，冠層不同取樣部位之差異亦大。黃欖 LWP 之測值介於 $-0.43 \sim -2.42 \text{ MPa}$ 間，晝間測得 LWP 之平均值與光量 (PPFD) 間呈顯著相關，而與其他環境因子間相關性不顯著，與葉片導度相關性亦不顯著。木麻黃晝間 LWP 之平均值與光照度及最高氣溫呈顯著負相關，而與其他環境因子間之相關性不顯著。

4. 木麻黃之 XPP 與 LWP 關係曲線與其等值線相交叉，其中 XPP 之日變化幅度較大。由於木麻黃 XPP 之測定簡易準確，以其做為 LWP 之指標，藉以探討其水分生理現象，係一簡易可行之方法。

5. 本研究所提供之基本資訊，期能作為海岸砂丘生態系基礎研究及海岸林經營管理之參考。

前 言

台灣沿海地區，特別是西海岸砂丘地，每年因冬季季風與夏季颱風之吹襲，受害甚大。而西海岸防風林群落具減低風速、防止風蝕、過濾鹽霧等功能，對沿海地區居民生活品質、農業生產、港埠及機場營運等具顯著之改善作用。

惟海岸生育地環境因子特殊，其氣象因子之日變化及季節性變化頗大，各單項因子及其交感作用對防風林群落之影響甚為複雜。由於有關群落植物反應性之研究，需具各種測定儀器與設備之配合，經長期觀測、試驗、研究才能加以理解，故有關之試驗資料與文獻迄今尚極為缺乏（*Brandle & Hintz, 1986*）。

有鑑於此，本研究於桃園縣大園鄉沙崙防風林試區，選取木麻黃與黃槿防風林群落分別調查土壤含水量、光度、氣溫、相對濕度、冠層結構及風速剖面等砂丘生育地環境特性，測定木麻黃與黃槿之葉片水分潛勢、氣孔阻抗、木質部壓力潛勢及樹液流速等生理現象之日變化與季節性變化，並進一步綜合探討海岸砂丘氣象因子對防風林群落水分傳導、擴散及蒸散量之影響，期能建立基本資訊，以供海岸防風林選種、栽培、經營與管理之參考。

材料與方法

一、群落植物材料之選擇

木麻黃（*Casuarina equisetifolia* L.）與黃槿（*Hibiscus tiliaceus* L.）為目前台灣海岸防風林最重要之植物種類，本研究以其為測定植物生理反應之對象。

二、調查地點之選定

防風林群落試區位於桃園縣大園鄉沙崙海岸砂丘地。本區海岸沿線與冬季季風吹襲方向成直角，風及飛沙為害極為嚴重。砂丘土壤屬紅壤母質沖積土南崁下系。該區以往曾有良好之造林成果，木麻黃林相甚佳，但民國56~58年間，木麻黃相繼死亡（李，1984）。民國61年開始，林務單位於此區逐年再種植木麻黃與扦插黃槿，爾後由於植物間之消長，目前木麻黃與黃槿分別形成小面積之群落狀態。木麻黃防風林群落樹高約5 m，枝下高約1.3 m，胸高直徑約10 cm。黃槿防風林群落樹高5 m，原扦插母枝之胸高直徑約10 cm¹。

三、試驗項目與方法

1. 氣溫與濕度之測定與計算

採用德國Barigo公司之小型毛髮溫濕度計，在遮蔭情況下測定防風林群落內地面上1公尺高之氣溫與相對濕度。

2. 光照之測定

以LI - COR公司之LI - 193 SB感體與LI - 188 B測光儀測定防風林冠層上方光合作用有效日照量（Photosynthetic photon flux density, PPFD, $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ ）。此項測定，每10至30分鐘進行一次，每次為10秒並以其平均值計數之。

3. 土壤含水量測定

於試區之地面下10公分、30公分、50公分及70公分處埋設石膏塊，由Kett J - 3型土壤水分測定儀測定之。

4. 葉面積之測定與推算

以群落相對光度計（日本三紳 NS - II 型）所測得之群落相對光度（ I/I_0 ）與葉面積指數之關係式（林等，1986）計算之。

5. 冠層風速剖面之測定

以小型多層微風速計同時測定試區地面上2 m、3 m、4 m、5 m、6 m等5個不同高度5分鐘之風程，然後求出各高度之風速，俾便於分析冠層風速剖面之特性。

6. 木麻黃木質部壓力潛勢（xylem pressure potential, XPP）之測定

以壓力箱（Pressure chamber，日本理化株式會社 DIK - P.C. - 1）所測得木麻黃小枝切口處水珠出現時之壓力值示之（以負值表示）。

7. 氣孔阻抗與葉片導度之測定

黃槿之氣孔阻抗係以擴散阻力計（LI - COR LI - 20 S）（林等，1985）測定之。由於黃槿之氣孔僅存於葉片下表面，故葉片上表面擴散阻抗較大，經由擴散阻力計測得葉片下、上表面擴散阻抗之比值約為1/9。故將黃槿下表面擴散阻抗測值之倒數乘以10/9，即為葉片導度。試區各調查日連續測定由黃槿冠層上方至下方10個葉片下表面之擴散阻抗（ r_{ab} ，sec/cm），並依下式計算平均葉片導度（leaf conductance, C_L ，cm/sec）。

$$r_L = 10 / \left(\sum_{i=1}^{10} \frac{10}{9 r_{abi}} \right)$$

8. 葉部水分潛勢（Leaf Water Potential, LWP）之測定

木麻黃與黃槿之葉片水分潛勢係利用水勢計（Psychrometer, Wescor HR - 33 T & C - 52 Sample Chamber）測定之。

結果與討論

本研究自民國72年5月至74年12月間，長期調查及測定試區之氣象因子及其對防風林群落諸生理現象之影響。有關試區內之氣溫、相對濕度、光合成有效日照量、木麻黃與黃槿之冠層結構、冠層內風速剖面之測定分析資料，及各調查日木麻黃與黃槿諸生理現象之實測值，因限於篇幅，無法一一表列，如擬進一步瞭解，可參考相關之文獻資料（林1987；林等1988）。

有關海岸砂丘地微氣象對其防風林群落生理現象之影響，茲分述如下：

一、木麻黃之木質部壓力潛勢

各調查日木麻黃 XPP 之日變化已如林（1987）之論文所述，木麻黃木質部壓力

潛勢 (XPP) 之測值約在每日下午 1 時左右達到最低，並於日落后 1 小時左右升高至黎明前之測值 (BP)。此顯示木麻黃 XPP 具典型之日變化曲線，此結果表示本試區木麻黃根系之吸水能力強，導管水分傳遞快速，水分遲滯 (absorption lag) 現象不嚴重。然木麻黃 XPP 之變化幅度則因調查日不同而發生明顯差異。

各調查日中，木麻黃 XPP 之最低測值約為 -2.0 MPa (1984 年 8 月 11 日測值)，該日中午 12 時至下午 3 時之 XPP 測值幾呈等值，此值 (-2.0 MPa) 似可視此為木麻黃氣孔反應之臨界植物體水分點。若依圖 5. (後述) 木麻黃 XPP 與 LWP 之相關曲線計算之，此臨界水分點之 LWP 約為 -1.80 MPa。另以 1984 年 8 月 11 日所測得之木麻黃 XPP 為例，說明其日變化趨勢及其有關數值之計算方法如圖 1。

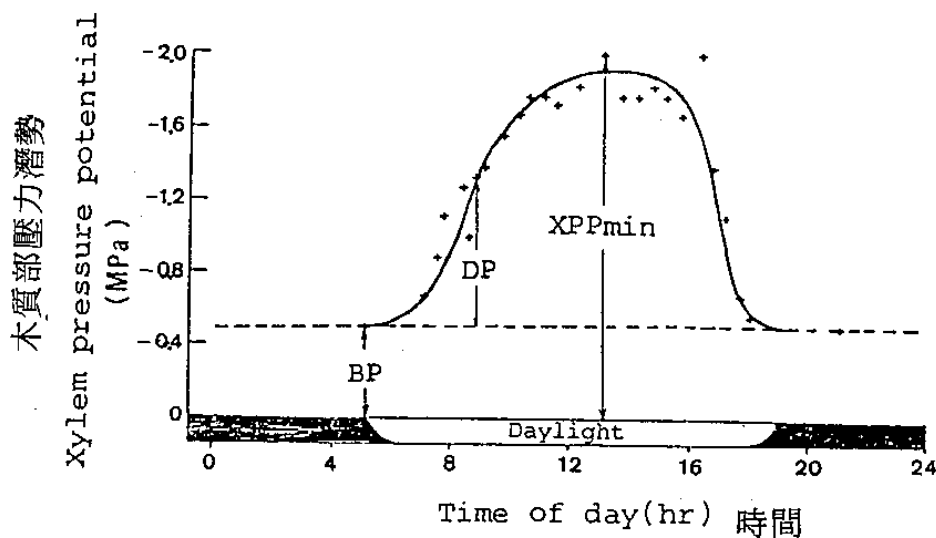


圖 1. 木麻黃木質部壓力潛勢之日變化曲線 (1984 年 8 月 11 日之測值)

Fig. 1. Diurnal curve of xylem pressure potential of Casuarina.

黎明前植物蒸散尚不明顯，植物枝條內水分充足，故其 XPP 最高，此測值又稱 Base - XPP (簡稱 BP)。BP 因植物種類、土壤性質及植物根系吸水能力而異。當日出後光照漸次增強，蒸散作用漸趨增大，植物枝條之水分潛勢漸趨減少，因而 XPP 降低，至下午 1~2 時之測值減至最低點 (XPP min)。由於植物 XPP 之日變化係自 BP 開始，亦即於黎明時 XPP 開始趨於減低，故實際因日照及蒸散作用而產生之 XPP 之減低值僅為 DP (即 $XPP - BP$) 而已。累積 DP 值可得 ΣDP 。 ΣDP 與 ΣBP 之和即為 XPP 測值之總和 ΣXPP 。惟由於晝間之時間長短因季節不同而異，致木麻黃 XPP 之測值升高至 BP 之時間亦有差異，為簡化試驗資料分析，本試驗 ΣXPP 之計算均以晝夜 10 小時之測值為計算基準，即 $\Sigma XPP = \Sigma DP + 10 [BP]$ 。

各調查日木麻黃 XPP 測值與各環境因子測值列於表 1，依此計算各變數間之直線迴歸分析得表 2 所示結果。由表可知，XPP 之各計算值 ΣDP 、 ΣXPP 、XPPmin 與日間最高溫度 (T_{max}) 及最大濕度飽和差 (DAH_{max}) 呈顯著相關 (表 2)。由於冬季期間 T_{max} 較小，木麻黃 XPP 之各計算值 ΣDP 、 ΣXPP 與 XPPmin 因溫度降低

而顯著增大，此正說明冬季期間具有較高之 XPP 測值，亦即表示冬季期間蒸散率較小。DAHmax 愈大則 ΣXPP 、 ΣDP 及 XPPmin 均愈小，此顯示木麻黃之蒸散率受 DAHmax 影響，較高之 DAHmax 會造成木麻黃小枝缺水現象。至於全日濕度飽和差累計值 (ΣDAH) 與 ΣXPP 及 ΣDP 之相關性不顯著，此或因 ΣDAH 係桃園中正機場全日所測得之 DAH 累加值，而實際主要影響 XPP 測值僅晝間之 DAH 而已。此現象或由於試驗區之微氣候可能已有某種程度之改變，故以氣象站之觀測資料做為探討木麻黃 XPP 反應之依據，會有相關性較低之情形。

表 1. 木麻黃木質部壓力潛勢與各環境因子之測值

Table 1. The measured values of environment factors and xylem pressure potential of Casuarina.

項 目	1984			1985						
	Aug. 11	Sep. 5	Dec. 9	Jan. 24	May. 20	Sep. 10	Nov. 8	Nov. 26	Dec. 28	Apr. 28
(1) BP (MPa)	-0.45	-0.40	-0.35	-0.38	-0.60	-0.42	-0.45	-0.59	-0.40	-0.39
(2) XPP min (MPa)	-2.00	-1.90	-0.88	-0.70	-2.00	-1.90	-1.40	-1.05	-0.86	-
(3) ΣDP (MPa)	-11.52	-9.36	-2.70	-1.73	-8.54	-5.91	-5.44	-1.82	-2.46	-
(4) ΣXPP (MPa)	-16.02	-13.36	-6.20	-5.53	-14.54	-10.11	-9.94	-7.72	-6.46	-
(5) T max (°C)	44.0	40.0	22.0	17.0	33.0	34.0	24.0	26.0	22.0	20.5
(6) SMC (%)	5.1	5.8	6.4	6.4	3.8	5.7	4.8	3.6	5.2	6.6
(7) PPFD ($\mu E/m^2/s$)	2250	1200	1950	600	2180	2020	1720	1650	2080	-
(8) PPFD (E/m^2)	61.25	22.99	53.49	6.17	67.44	61.40	32.14	40.82	50.72	-
(9) DAH max ($\mu g/cm^3$)	20.36	12.48	5.38	2.46	13.65	12.52	8.06	10.73	8.16	-
(10) ΣDAH ($\mu g/cm^3$)	269.8	128.8	89.9	13.8	118.5	227.4	107.3	177.5	109.6	56.7
(11) U max (m/s)	13.1	5.1	8.6	12.1	7.1	5.1	10.1	11.1	6.6	7.1
(12) ΣU (km)	523.8	216.4	370.9	619.9	312.8	229.0	492.8	363.6	558.4	321.8

(1)~(4) 依圖 1 推算

(5) 調查日之最大氣溫

(6) 土壤含水量

(7)~(8) 調查日之最大光量及全日累積光量

(9) 調查日之最大絕對濕度飽和差

(10)~(12) 依桃園中正機場氣象站全天(24小時)資料計算

表2 木麻黃木質部壓力潛勢與各環境因子之相關性

Table 2. Correlation between xylem pressure potential of Casuarina and each environment factor.

項 目	BP	Σ XPP	Σ DP	XPP min
T max	N. S.	**	**	**
SMC	**	N. S.	N. S.	N. S.
Σ PPF _D	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.
PPFD max	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.
DAH max	N. S.	**	**	**
Σ DAH	N. S.	N. S.	N. S.	*
U max	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.
Σ U	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.

*, ** 相關性達 5% 或 1% 之顯著水準

N. S. 相關性不顯著

直線迴歸方程式：

(BP)	= -0.850 + 0.076 (SMC)	r = 0.935**
(Σ DP)	= 0.660 - 0.591 (DAH max)	r = -0.849**
(Σ DP)	= 5.236 - 0.369 (T max)	r = -0.925**
(XPP min)	= 0.183 - 0.055 (T max)	r = -0.910**
(XPP min)	= -0.486 - 0.089 (DAH max)	r = -0.845**
(XPP min)	= -0.759 - 0.047 (Σ DAH)	r = -0.660*
(Σ XPP)	= 1.350 - 0.389 (T max)	r = -0.914**
(Σ XPP)	= -3.093 - 0.662 (DAH max)	r = -0.889**

光照與風速諸變數與木麻黃之 XPP 之間均無顯著相關，此可能由於光照對木麻黃蒸散率之影響不如 T_{max} 與 DAH_{max} 大所致，此外，由於木麻黃氣孔型態特殊且數量較少，經表皮所發出之蒸散量或占相當大之比例，因而導致光照與木麻黃 XPP 之各計算值間相關不顯著。另風速之資料分別為冠層上方及標準風速之測值，實際冠層內之風速較小，且渦流係數較大（林等，1986）因此導致 XPP 測值與風速之相關性不顯著之結果。

以往有關 XPP 與諸環境因子間之相關性研究，如 Haas 與 Dodd 等（1972）曾報導牧豆樹（*Prosopis glandulosa*）之 Σ DP 與各環境因子間之相關性均達極顯著水準，而 Σ XPP、XPP_{min} 及 BP 與各環境因子之相關性則較低。Sucoff（1982）亦曾報導在土壤之有效水分為 70~80% 左右時，紅松（*Pinus resinosa*）之 BP 與土壤含水量關係不顯著，但少於此含水量時則成直線相關。本試驗木麻黃 XPP 之反應性與上述諸學者之報導有所不同，此現象或因木麻黃小枝構造特殊及海岸砂丘環境之特殊性所致。另可能亦與海岸砂丘環境因子間，日變化與季節變化相互影響，造成各獨立因子與 XPP 測值間之相關性較低有關。

二、黃槿之氣孔阻抗與葉片導度

不同日期所測得黃槿平均下表皮葉片阻抗 (\bar{r}_L) 及平均葉片導度 (C_L) 及有關之環境因子測值已如林 (1987) 之論文所述。冬季期間黃槿之氣孔阻抗較大，夏季較小。同一時間所測得不同冠層部位氣孔阻抗之差異則不顯著。一般而言，諸環境因子中，以光量 (PPFD) 及絕對濕度飽和差 (DAH) 對氣孔開度之影響最大 (Kaufmann, 1982a)。本試驗測得黃槿 C_L 與 PPFD、DAH 呈顯著之正相關 (圖 2. 及圖 3.)，PPFD 及 DAH 愈大，則 C_L 愈大。

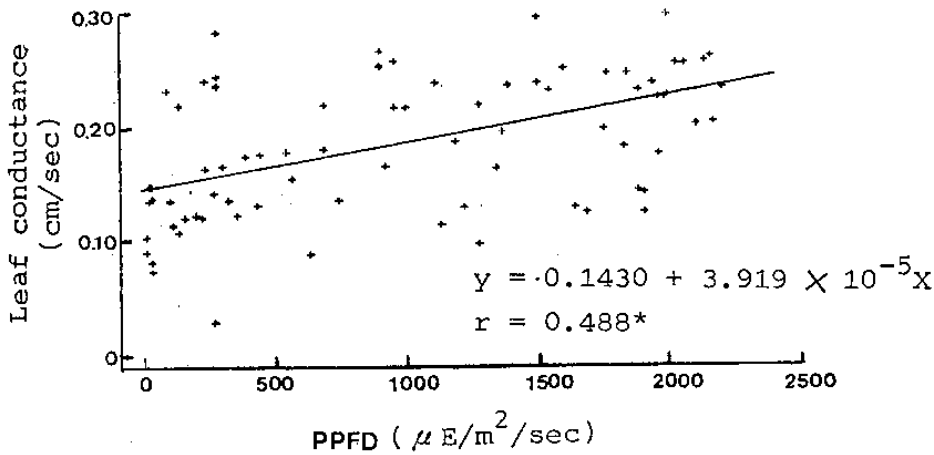


圖 2 黃槿葉片導度與光量 (PPFD) 之關係

Fig. 2. Relationship between leaf conductance of sea hibiscus & photosynthetic photon flux density.

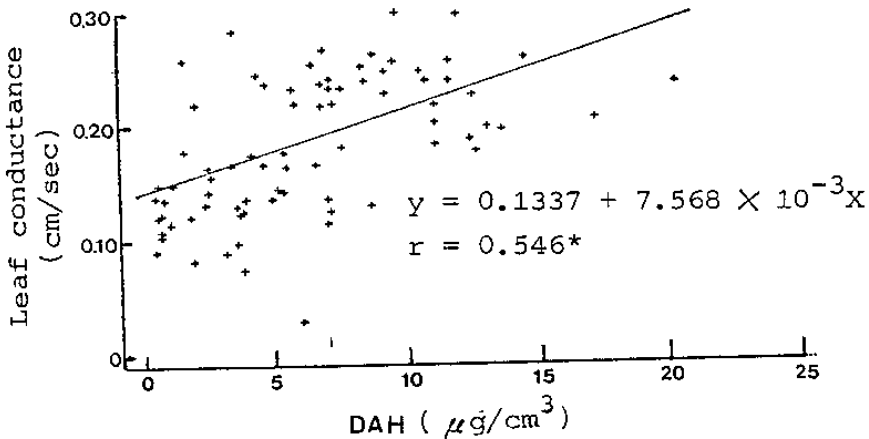


圖 3 黃槿葉片導度與絕對濕度飽和量 (DAH) 之關係

Fig. Relationship between leaf conductance of sea hibiscus & absolute humidity deficit.

Jarvis 與 Manfield (1981) 曾指出野外植物氣孔開閉之行爲無法由氣孔對某一環境因子之反應性來解釋，植物氣孔開閉對環境因子變化之反應亦具有緩衝時間。如在同化箱控制環境下相對濕度由 78% 降爲 50%，氣孔之開度約需 1 小時才能達到穩定，然此時野外之風速、光度已大幅度之改變。本試驗雖無實測短暫時間內黃槿之氣孔反應，但由 74 年 4 月 9 日及 5 月 20 日上午 10 時至 11 時之測定資料，光量從 $2000 \mu\text{E} / \text{m}^2 / \text{sec}$ 降至 $800 \mu\text{E} / \text{m}^2 / \text{sec}$ ，而其葉片阻抗並無明顯之增減現象，可謂在此光照範圍內，短時間光照強度變化對黃槿氣孔開閉影響甚小，亦即氣孔對光度之反應性不算靈敏。

葉片導度 (C_L) 隨光量 (PPFD) 增加而增大，係一般木本植物之反應方式 (Tan et al., 1977; Hinckley et al., 1978; Jarvis & Manfield, 1981)，然 C_L 隨絕對濕度飽和差 (DAH) 變化之反應模式則各有不同。Kaufmann (1982) 曾發現 C_L 隨 DAH 增加而減少，而本試驗却得到相反之結果。此或因黃槿氣孔對濕度之反應較不靈敏，在中午相對濕度較低時，氣孔仍無關閉之現象，因此葉片導度反而增加。又黃槿葉片導度與其他闊葉樹種比較算是偏小者，葉片導度較小則蒸散率較小，因此低相對濕度引起黃槿葉片缺水 (Water stress) 之情形較不嚴重，而且低相對濕度時通常有較大之光量，葉片導度因光量而變化將使相對濕度對葉片導度之影響程度降低。

爲進一步探討 C_L 與 DAH、PPFD 之相互關係，試將 PPFD 及 DAH 等單項因子經數值轉換，計算黃槿 C_L 與 PPFD、DAH 之複迴歸方程式，列於表 3。不同迴歸式間以模式 [5] 及 [7] 之相關係數最高。然因模式 [5] 較爲單純，故試以模式 [5] 之迴歸方程式爲依據，進一步探討其他環境因子對黃槿 C_L 之影響。即依模式 [5] 之複迴歸方程式進行剩餘值分析 (residual analysis)，探討季節、氣溫、風速等變化對黃槿葉片導度之影響。其方法係依模式 [5] 之複迴歸方程式，代入 PPFD 與 DAH 測值，計算葉片導度估計值 (\hat{C}_L)，將實測葉片導度減去葉片導度估計值 ($C_L - \hat{C}_L$)，即爲葉片導度剩餘值。而後依據不同日期、不同溫度、不同風速之測值爲橫座標，點繪導度剩餘值，如圖 4。

由圖 4.A 可知，黃槿在 11 月至翌年 2 月間導度剩餘值爲負值，亦即實測之 C_L 值偏低。4 月至 9 月間則 C_L 之實測值偏高。然其中民國 74 年 5 月 20 日所測得之資料却有 C_L 偏低之情形。推測可能係因民國 74 年 5、6 月間黑角舞蛾幼蟲噬食黃槿之部分葉片，造成桃園防風林嚴重之爲害，雖然測定黃槿葉片阻抗係以完整之葉片爲測點，但其葉片之導度及其他生理機能或已受到影響。由於本試區八、九月間土壤水分並非最大 (林, 1987; 林等, 1988)。因此季節上之差異，可能係由其他因素所致，如夏季溫度較高，風速較小及太陽角度較大等等。就溫度對葉片導度之影響而言，Kaufmann 與 Troendle (1981) 及 Running (1976) 認爲在野外情況下，溫度並非控制松柏類植物葉片導度之獨立變數。有多篇報告 (Hinckley et al., 1975; Warrit et al., 1980) 曾指出，在其他重要環境因子固定時，闊葉樹種之葉片導度受溫度之影響甚小。然由本試驗之結果可知，溫度小於 25°C 情況下，氣溫並非控制黃槿葉片導度之獨立因

表 3. 黃槿 C_L 與 PPF D 、DAH 之各類轉換值複迴歸方程式之相關係數比較

Table 3. Comparison on values for various multiple regression equations relating leaf conductance of sea hibiscus (C_L) to PPF D and DAH

複迴歸 方程式	X_1	X_2	X_3	r
1	PPFD(28.8) ⁽¹⁾	DAH(71.1)	—	0.557**
2	$\sqrt{\text{PPFD}}$ (39.9)	DAH(60)	—	0.570**
3	PPFD(29.0)	ln DAH(70.9)	—	0.568**
4	$\sqrt{\text{PPFD}}$ (34.1)	ln DAH(65.8)	—	0.570**
5	$\sqrt{\text{PPFD}}$	$\sqrt{\text{DAH}}$	—	0.579**
6	PPFD	$\sqrt{\text{DAH}}$	—	0.574**
7	$\sqrt{\text{PPFD}}$ (43.0)	PPFD(33.3)	DAH(23.5)	0.579**
8	PPFD(40.0)	PPFD ² (30.4)	DAH(29.4)	0.567**
9	$\sqrt{\text{PPFD}}/\sqrt{\text{DAH}}$ (29.4)	$\sqrt{\text{PPFD}}/\text{DAH}$ (48.1)	$\sqrt{\text{PPFD}}/\text{DAH}^2$ (22.4)	0.522**
10	$\text{PPFD}/\sqrt{\text{DAH}}$ (57.2)	PPFD/DAH (41.2)	PPFD/DAH^2 (1.5)	0.497**

(1) 括號內之數字代表該項之偏相關係數

複迴歸方程式：

$$[1]: \hat{C}_L = 0.1317 + 1.356 \times 10^{-5} x_1 + 5.777 \times 10^{-3} x_2$$

$$[2]: \hat{C}_L = 0.1198 + 1.052 \times 10^{-3} x_1 + 5.069 \times 10^{-3} x_2$$

$$[3]: \hat{C}_L = 0.1269 + 1.405 \times 10^{-5} x_1 + 2.710 \times 10^{-2} x_2$$

$$[4]: \hat{C}_L = 0.1185 + 8.921 \times 10^{-4} x_1 + 2.510 \times 10^{-2} x_2$$

$$[5]: \hat{C}_L = 0.0936 + 7.468 \times 10^{-4} x_1 + 2.855 \times 10^{-2} x_2$$

$$[6]: \hat{C}_L = 0.0989 + 9.596 \times 10^{-5} x_1 + 3.125 \times 10^{-2} x_2$$

$$[7]: \hat{C}_L = 0.0968 + 3.378 \times 10^{-3} x_1 - 4.858 \times 10^{-3} x_2 + 5.929 \times 10^{-3} x_3$$

$$[8]: \hat{C}_L = 0.1221 + 4.752 \times 10^{-5} x_1 - 1.665 \times 10^{-3} x_2 + 6.021 \times 10^{-3} x_3$$

$$[9]: \hat{C}_L = 0.1491 + 9.935 \times 10^{-3} x_1 - 1.645 \times 10^{-2} x_2 + 4.269 \times 10^{-3} x_3$$

$$[10]: \hat{C}_L = 0.1566 + 1.871 \times 10^{-4} x_1 - 2.806 \times 10^{-4} x_2 + 1.335 \times 10^{-5} x_3$$

子，但高溫（大於35°C）導致黃槿葉片導度下降之情形則較為顯著。由圖 4. B 可知氣溫對 C_L 亦有所影響。在氣溫42°C時導度剩餘值較小，顯示高溫情況下黃槿氣孔關閉之現象。氣溫由42°C漸漸減低，則導度剩餘值漸漸增大，至氣溫33° ~ 35°C時達最高。此溫度點可視為黃槿氣孔開度最大之臨界溫度。若氣溫比33°C更小時，導度剩餘值再次減小，至氣溫約為25°C時，導度剩餘值最小。然氣溫比25°C更低時，導度剩餘值又再次增大，即實測葉片阻抗較估計值高。

由於在同化箱內黃槿對溫度之反應性試驗結果，葉溫小於31°C之情況下，葉片導度因葉溫之降低而減少（林，1987）。而群落狀況導度剩餘值分析結果，氣溫25°C時導

表 4 木麻黃與黃槿葉片水分潛勢與各環境因子之測值

Table 4 The measured values of environment factors and leaf (branchlet) water status of Casuarina and sea hibiscus

日 期	LWP (bar)		T _{ma} (°C)	SMC (%)	PPFD (E/m ²)	DAH (g.hr/cm ³)	ΣU (Km)
	木麻黃	黃 槿					
Jan. 7, 1984	-1.93	-12.1	17.0	4.7	12.22	71.5	705.5
Jan. 8, 1984	-2.62	-1.78	22.0	4.7	26.81	90.1	569.1
Fed. 7, 1984	-1.90	-1.36	10.0	6.7	1.02	60.1	783.6
Fed. 8, 1984	-2.43	-1.33	14.0	6.7	3.22	58.1	667.3
Apr. 8, 1984	-1.45	-0.49	—	6.3	—	19.8	363.6
Aug. 10, 1984	-1.21	-1.17	39.0	5.1	57.42	164.2	230.9
Aug. 11, 1984	-1.39	-1.03	44.0	5.1	61.52	269.8	523.8
Aug. 12, 1984	-1.53	-0.99	—	5.1	—	249.2	594.5
Sep. 5, 1984	-1.24	-1.56	40.0	5.8	22.99	128.8	216.4
Sep. 6, 1984	-1.46	-2.04	—	5.8	—	149.8	209.1
Apr. 9, 1985	-1.58	-0.98	25.0	6.5	49.70	63.9	245.4
Apr. 28, 1985	-1.89	-1.14	—	6.6	—	56.7	321.8
May. 19, 1985	-1.27	-1.00	—	3.8	—	115.2	205.5
May. 20, 1985	-1.78	-0.92	33.0	3.8	67.44	118.5	312.8
Sep. 9, 1985	-1.14	-0.96	—	5.7	—	242.7	256.4
Sep. 10, 1985	-1.12	-1.14	34.0	5.7	61.40	227.4	229.0

* 各環境因子之資料計算如表 1。

* 以各調查日期 (7:00—18:00) 測得 LWP 之平均值代替。

* LWP : Leaf Water potential (bar)

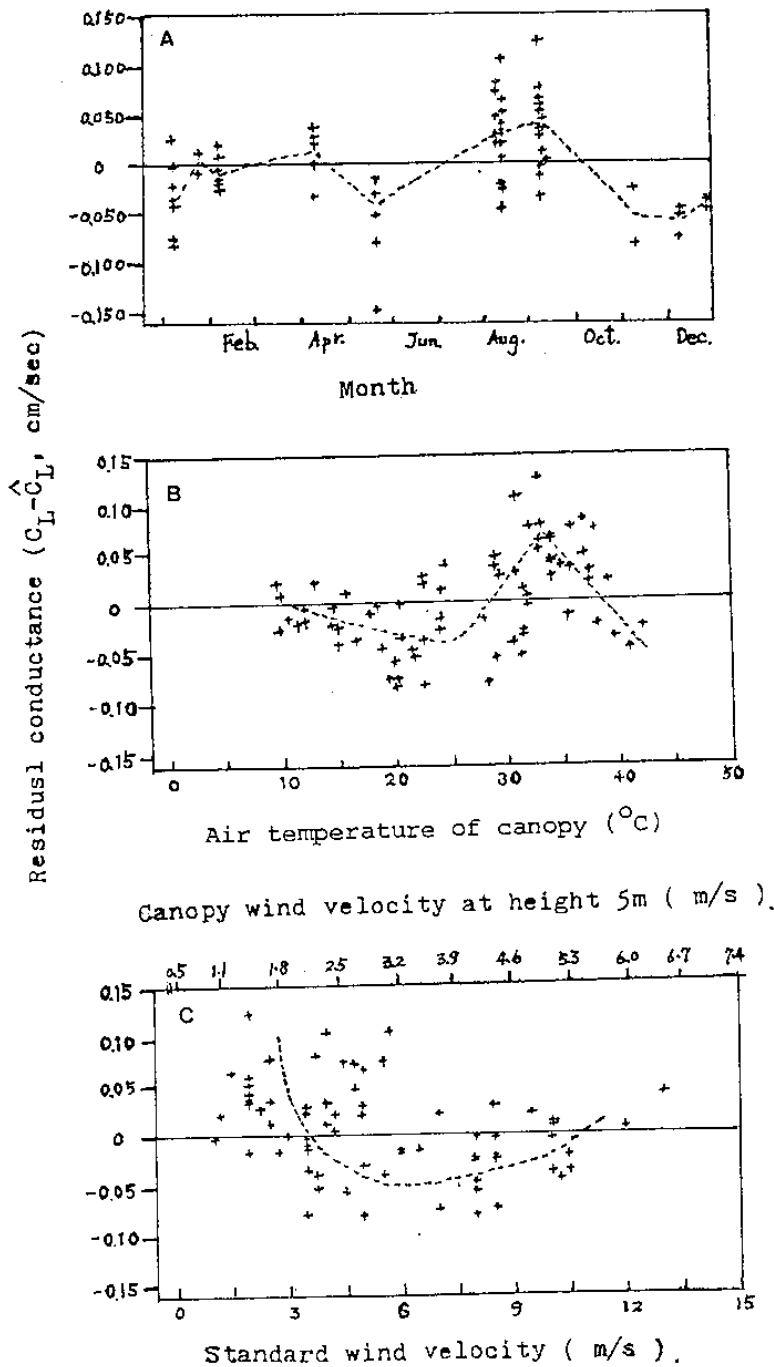


圖 4. 各月份、冠層氣溫與風速狀況下黃槿葉片導度剩餘值

Fig. 4. Residual leaf conductances of sea hibiscus for different month, canopy temperature and wind velocity.

度剩餘值最小。此差異可能係因試區之低溫期為冬季季風時期，通常溫度愈低其相對濕度愈高（DAH 愈小），光度亦較小，DAH 之日變化較不顯著。加上老葉數量較多，及風、鹽霧等之為害，氣孔反應性較低。因此低溫情況下依模式〔5〕計算之 \hat{C}_L 可能有因高相對濕度及低光度而造成 \hat{C}_L 偏低之估計。然實際 C_L 並無大量下降之現象。另一方面，低溫時測得之 C_L 較小，導度剩餘值亦較小，因此在葉溫各 $10^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 範圍內，導度剩餘值雖有差異，但差異較小且均為負值。因此亦可視為在此溫度範圍內，因

溫度不同所造成導度剩餘值之變化甚小。由於實際影響氣孔運動之溫度因素係葉片溫度而非氣溫。惟葉溫之測定較為不便，筆者曾以紅外線溫度計 (Everest infrared thermometer) 在夏季晴天光照最強時測定葉溫結果，黃槿冠層頂端葉片之下表皮溫度比冠層內實測氣溫約高 1°C ，上表皮溫度則約高 2.5°C 。但在陰天或冠層下方所測得之葉溫與冠層內氣溫無明顯差異。由於群落內葉片溫度有所差異，故本試驗暫以氣溫為比較分析之依據。

由圖 4 C 可知，當冠層頂端 (高 5 m 處) 風速較小時，葉片導度剩餘值因風速增大而減小。冠層頂端高風速約為 2 m/s 時，導度剩餘值為 0，可視為平衡點。風速大於 2 m/s 後導度剩餘值為負值，亦即實際黃槿葉片導度有偏小之情形。此後風速增加對導度剩餘值之影響甚小，在冠層頂端風速介於 $3\text{ m/s} \sim 5\text{ m/s}$ 時，導度剩餘值近似。然風速大於 5.0 m/s 時 (桃園中正國際機場氣象站之標準風速為 9.9 m/s) 導度剩餘值又呈現因風速增加而增加之趨勢，此或係因風速較大造成葉片擦傷而 C_L 增大之故。若依氣象站風速統計資料，推測全年大於 10 m/s 風速約有 850 小時，亦即全年有 850 小時風力之作用可能會造成黃槿葉片之摩擦與破損之為害。此為防風林經營管理上值得重視之問題。

三、木麻黃與黃槿葉片水分潛勢

不同日期，經採取冠層高 3 ~ 4 m 處之木麻黃小枝與黃槿葉部，測定其 LWP 之日變化。

各調查日不同時間所測得木麻黃與黃槿之 LWP 雖有所差異，但由於日出時木麻黃及黃槿葉片仍具有露珠，無法測得完整之日變化曲線，做為探討植物在不同環境下葉片之水分生理現象之依據。

為瞭解木麻黃與黃槿 LWP 與諸環境因子之關係，將各調查日白晝 (7:00 ~ 18:00) 所測得之平均值與諸環境因子列於表 4。依此資料計算 LWP 與各項環境因子之相關性及直線迴歸方程式，如表 5。木麻黃之 LWP 與 T_{max} 呈顯著相關，溫度愈高則 LWP 愈高。由於 T_{max} 受季節變化之影響，冬季溫度較低而夏季較高，故可謂木麻黃在冬季期間具較低之 LWP，即其葉片具較明顯之缺水現象。黃槿之 LWP 則與 T_{max} 無顯著相關，即冬季期間黃槿之 LWP 並無顯著降低之情形。此或係黃槿在冬季具落葉特性，冠層上方葉片掉落，而存留於冠層下方之葉片具較高 LWP 之故。另木麻黃與黃槿之 LWP 均與 ΣPPFD 顯著相關，此顯示光照增強所導致蒸散量之增加會造成植物 LWP 降低現象，此現象亦正說明 LWP 日變化之大小受光度左右。至於木麻黃及黃槿 LWP 與 ΣU 之相關性，因風速之變化甚大，而 LWP 之反應較緩，有待進一步探討。

表 5. 木麻黃與黃槿葉片水分潛勢與各環境因子之相關性
 Table 5. Correlation between each environment factor and leaf water potential of Casuarina and sea hibiscus

變 數	LWP	
	木 麻 黃	黃 槿
Tmax	**	N.S.
SMC	N.S.	N.S.
ΣPPFD	*	*
ΣDAH	N.S.	N.S.
Σ U	N.S.	N.S.

* Significant at 5 % level

** Significant at 1 % level

N.S. No significant

直線迴歸方程式：

$$\text{木麻黃 [LWP]} = 0.03189 [\text{Tmax}] - 2.607 \quad r = 0.7370^{**}$$

$$\text{木麻黃 [LWP]} = 0.01178 [\Sigma \text{PPFD}] - 2.148 \quad r = 0.594^*$$

$$\text{黃 槿 [LWP]} = 0.006385 [\Sigma \text{PPFD}] - 1.480 \quad r = 0.6179^*$$

理論上，黎明前植物之葉片水分潛勢（LWP）最大，不同日期之黎明前測值受到土壤含水量所影響。Halvorson 與 Patten（1974）曾測定北美沙漠灌木（*Franseria deltoidea*）之 LWP，發現土壤含水量較小時，LWP 之日變化較大。Hinckley 等（1975）亦報告在土壤含水量較高時，LWP 之日變化受影響蒸散量之諸環境因子所左右，但土壤乾燥或氣溫太低時，其影響程度減低。本試驗由於黎明前木麻黃及黃槿葉片沾有露珠，無法測其 LWP，且不同取樣部位之 LWP 差異甚大，故難藉 LWP 之日變化量探討植物在不同環境下葉片之水分生理現象。然依實測資料，木麻黃之 LWP 測

值介於 $-0.65 \text{ MPa} \sim -3.25 \text{ MPa}$ 之間，黃槿介於 $-0.43 \text{ MPa} \sim -2.42 \text{ MPa}$ 之間。此值與其他諸學者在不同立地條件下測得木本植物之最低 LWP 值 (Kozlowski, 1982) 加以比較，算是屬於中等。另由斷水處理試驗結果 (林, 1987)，蒸散率與淨光合成率開始降低之 LWP，木麻黃為 $-0.9 \text{ MPa} \sim -1.7 \text{ MPa}$ 及 $-1.7 \text{ MPa} \sim -2.2 \text{ MPa}$ ；黃槿為 -3.5 MPa 及 $-1.4 \text{ MPa} \sim -2.0 \text{ MPa}$ 。蒸散率與淨光合成率減半之 LWP，木麻黃為 -2.2 MPa 及 $-2.7 \sim -3.0 \text{ MPa}$ ；黃槿 -5.0 MPa 及 -2.6 MPa 。可知在大部分之情況下，防風林群落葉片之缺水及其生理影響不算嚴重。

由於實驗室內各環境因子較易控制，可測得較易解釋之水分生理現象。故植物 LWP 與各環境因子之相關性研究大多以實驗室內盆栽植物材料進行 (Kozlowski, 1982)。本試驗防風林群落內以水勢計測得之 LWP 值，因取樣部位不同及各環境因子交感作用之影響，較難用以探討其與諸環境因子間之相關性。

四、葉片水分潛勢、木質部壓力潛勢及葉片導度間之相關性

木麻黃之木質部壓力潛勢 (XPP) 在不同取樣部位之測值差異較小，其日變化之趨勢及其與諸環境因子間之相關性較為顯著，適宜用來替代葉片水分潛勢 (LWP) 及解釋防風林群落對環境之反應性。然 XPP 測值雖可做為植物對水分應力 (Water stress) 之指標，但在植物生理反應上較不具絕對意義 (Ritchie & Hinckley, 1975)，故需依 XPP 與 LWP 之相關曲線解釋植物之實際水分生理現象。茲比較不同日期所測得木麻黃 XPP 與 LWP 之相關性如圖 5。XPP 與 LWP 測值間呈顯著正相關。在測值之變化範圍內，其迴歸曲線與 XPP=LWP 等值線相交，即木麻黃在水分充足時 XPP 測值高於 LWP，缺水情況時 XPP 低於 LWP。此現象正可說明木麻黃 XPP 在一日間之變化較 LWP 為大。

有關野外植物 XPP 與 LWP 之相關性，Ritchie 與 Hinckley (1975) 曾將其歸納為六種。其中合於圖 5. "X" 型曲線之植物約佔 39% (在 49 種植物中有 19 種)，喬木植物大多屬於此種曲線。XPP 與 LWP 相關曲線接近等值線之植物約佔 41% (49 種植物中有 20 種)，一年生植物大都屬於此種。其他四種關係曲線係屬少數特殊植物之情況。本試驗之結果，木麻黃符合一般喬木植物之特性。然對木麻黃而言，XPP 可做為 LWP 之指標，或替代 LWP 以解釋植物生理現象係可確定且值得推廣應用的。

有關野外植物 CL 與 LWP 之相關性，部分學者認為其間不具直接相關 (Willmer, 1983)。亦有部分學者認為 LWP 會間接影響 CL 對空氣濕度、光量等環境因子之反應性，但在土壤水分充足或 DAH 較小時，CL 不受 LWP 之影響 (Lange et al., 1971)；

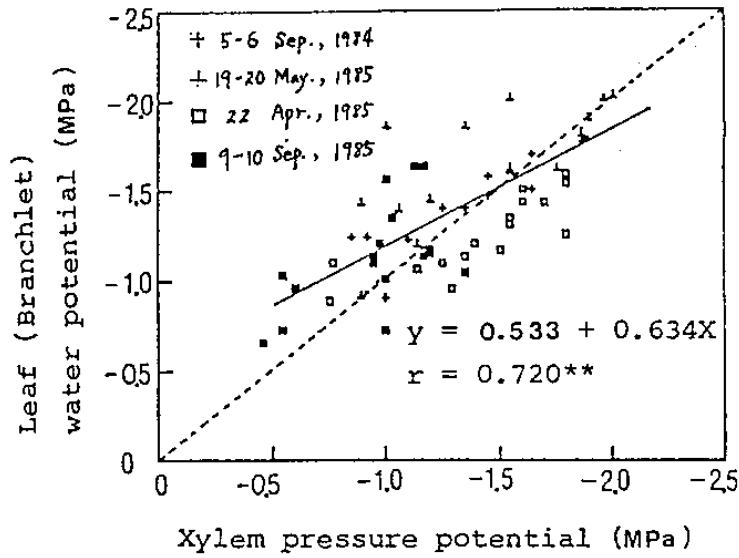


圖 5. 木麻黃木質部壓力潛勢與葉片（小枝）水分潛勢之關係

Fig. 5. Relationship between xylem pressure potential & branchlet Water potential of Casuarina.

Schulze et al., 1972)。本試驗木麻黃無法直接測定其葉片導度，而黃槿葉片導度（CL）與葉片水分潛勢之相關性如圖 6。其間之相關性不顯著。此現象或與黃槿不具敏銳之氣孔反應及 LWP 取樣變異較大有關。

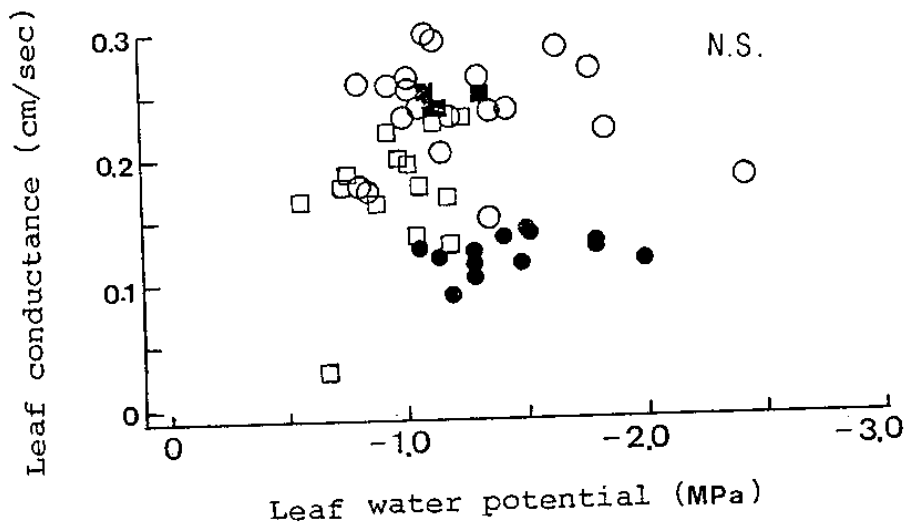


圖 6. 黃槿葉片導度與葉片水分潛勢之關係
（不同符號代表不同日期之測定資料）

Fig. 6. Relationship between leaf water potential & leaf Conductance of sea hibiscus.

參考文獻

1. 李遠欽 1984 桃園海岸林被害原因探討及應加強之措施。台灣林業10(1): 4 - 7。
2. 林信輝、江永哲, 1979, 沙體含水量與飛沙量之關係試驗, 中華水土保持學報10(2): 173 - 193。
3. 林信輝、江永哲, 1986, 海岸防風林冠層與風速剖面關係試驗, 水土保持學報第18輯 p.p. 1 - 23。
4. 林信輝, 1987, 三種防風林植物在海岸環境下之生理生態反應, 國立中興大學植物研究所博士論文, p. 238。
5. 林信輝、陳明義、陳清義, 1987, 木麻黃生理及生態特性之研究, 現代育林 3(1): 41 - 48。
6. 林信輝、陳明義、陳清義、李遠欽, 1988, 木麻黃防風林群落對海岸砂丘地環境應力之反應。中華林學季刊21(3): 3 - 16。
7. Brandle, J. R. and D. L. Hintz (compil.) 1986 Bibliography, International Symposium on Wind-break Technology in Lincoln, Nebraska, U.S.A., June 23-27, 1986, p. 305.
8. Cohen, Y., M. Fuchs and G. C. Green 1981 Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. *Plant, Cell and Environ.* 4: 391-397.
9. Goode, J. E. and K. H. Higgs 1973 Water, osmotic and pressure potential relationship in apple leaves. *J. Hort. Sci.* 48: 203-215.
10. Haas, R. H. and J. D. Dodd 1972 Water stress patterns in honey mesquite. *Ecol.* 53: 674-680.
11. Hinckley, T. M., M. O. Schroeder, J. E. Roberts and D. N. Bruckerhoff 1975 Effect of several environmental variables and xylem pressure potential on leaf surface resistance in white oak. *For. Sci.* 22: 201-211.
12. Jarvis, P. G. and T. A. Manfield 1981 *Stomatal Physiology*. Cambridge Univ. pp. 247-280.
13. Kaufmann, M. R. 1982 Leaf conductance as a function of photosynthetic photon flux density and absolute humidity difference from leaf to air. *Plant. Physiol.* 69: 1018-1022.
14. Kozlowski, T. T. 1961 The movement of water in trees. *For. Sci.* 7: 177-192.
15. Kozlowski, T. T. 1982 Water supply and tree growth. Part I. Water deficits. *For. Abstracts* 43(2): 57-95.
16. Lange, O. L., R. Losche, E. D. Schulze and L. Kappen 1971 Responses of stomata to changes in humidity. *Planta* 100: 76-86.
17. Lassoie, J. P. 1977 Transpiration studies in Douglas-fir using the heat pulse technique. *For. Sci.* 23(3): 377-389.

18. Midgley, S. J., J. W. Turnbull and R. D. Johnston (ed.) 1981 *Casuarina Ecology, Management and Utilization*, Proceedings of an International Workshop, Canberra. Aust. 17–21 Aug, 1981. p. 286.
19. Ritchie, G. A. and T. M. Hinckley 1975 *The Pressure Chamber as an Instrument for Ecological Research*, *Advances in Ecological Research*. Vol. 9 Academic Press pp. 165–254.
20. Running, S. W. 1976 Environmental control of leaf water conductance in conifers. *Can. J. For. Res.* 6: 104–112.
21. Schulze, E. D., O. L. Lange, U. Buschbom, L. Kappen and J. Evanari 1972 Stomatal response to changes in humidity in plants growing in the desert. *Planta* 108: 259–270.
22. Sucoff, E. 1982 Water relation of the aspens. *Agric. Exp. Stat. Tech. Bull.* 338, Univ. of Minnesota. p. 35.
23. Swanson, R. H. 1972 Water transpired by trees is indicated by heat pulse velocity. *Agric. Met.* 10: 277–281.
24. Warrit, B., J. J. Landsberg and M. R. Thorpe 1980 Responses of apple leaf stomata to environmental factors. *Plant, Cell and Envir.* 3: 12–22.
25. Willmer, C. M. 1983 *Stomata*. Longman. p. 166.
26. Zaerr, J. 1971 Moisture stress and stem diameter in young Douglas-fir, *For. Sci.* 17: 466–469.
27. Zimmerman, M. H. 1983 *Xylem Structure and the Ascent of Sap*. Springer-Verlag. p. 143.

EFFECTS OF MICROCLIMATE ON COASTAL WINDBREAK COMMUNITIES

Shin-Hwei Lin^{*}

Associate Professor,
Dept. of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing Univ., Taichung, Taiwan, R.O.C.

and

Ming-Yih Chen

Professor,
Graduate Institute of Botany,
National Chung-Hsing Univ., Taichung, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

For studying the responses of coastal windbreak forest to the main microclimate factors, wind velocity, light intensity, temperature, humidity and soil moisture as well as the diurnal and seasonal variation of leaf water status, diffusive resistance and transpiration of *Casuarina* (*Casuarina equisetifolia* L.) and sea hibiscus (*Hibiscus tiliaceus* L.) were investigated at Salum sand dune in Tao-Yuan County, Taiwan, from May, 1983 to December, 1986. The results obtained are summarized as follows:

1. Xylem pressure potential (XPP) of *Casuarina* showed obvious diurnal cycle. Predawn XPP was significantly correlated with soil moisture content. Daytime XPP was significantly correlated with both maximal air temperature and maximal absolute humidity deficit (DAH).
2. The maximal leaf conductance (CL) of sea hibiscus was 0.25cm/sec. which was lower than that of general woody plants. CL of sea hibiscus could be estimated by the multiple regression equation of photosynthetic photon flux density (PPFD) and DAH. Based on residual analysis of leaf conductance, sea hibiscus showed higher CL in summer, or between 33–35°C air temperature, or wind velocity of top canopy beyond the range 2–5m/s.
3. The leaf water potential (LWP) of *Casuarina* branchlet was between 0.65~–3.25 MPa and sea hibiscus was –0.43~–2.42 MPa. Both were intermediate in woody plants. CL and LWP of sea hibiscus were not significantly correlated. This might be due to non-sensitive stomatal response or non-serious water stress.
4. XPP-LWP regression curve of *Casuarina* intersected with the line of equal values. The diurnal change of XPP was greater than LWP. Because XPP of *Casuarina* could be measured more easily and accurately, it could be practically used as indicator of LWP and transpiration.
5. All these informations obtained would be referable to the basic research as well as to the establishment and management of windbreaks at the coastal sand dune ecosystems in Taiwan.