

研究報告

臺灣半乾旱區域與潛在疏林植群之探討

邱清安¹⁾ 王志強²⁾ 呂金誠³⁾ 林博雄⁴⁾ 曾喜育^{3,5)}

摘 要

氣候對植群之類型與分布具有決定性的影響，但臺灣之半乾旱區域的範圍及其潛在自然植群仍有待探討。本研究以地理資訊系統計算各種可表示乾旱狀態的生態氣候指標並展示其圖層，結果表明臺灣半乾旱區域在氣溫最高、冬半年降水最少之西南部低地，及氣溫較高、年降水量最少之西部近海一帶，其中，西部近海一帶曾被認為具有疏林植群。本研究將疏林定義為分布於熱帶及亞熱帶之氣候形塑的極相植群，氣候分析結果表明臺灣半乾旱區域之缺水逆境並不嚴重，再配合現生殘存植群之觀察，發現臺灣有形相為疏林的現生局部性植群，但其潛在自然植群應為參雜有乾旱落葉之闊葉樹種的森林，並不存在較大面積之潛在的氣候型極相疏林。

關鍵詞：生態氣候指標、半乾旱、潛在自然植群、疏林、地理資訊系統。

邱清安、王志強、呂金誠、林博雄、曾喜育。2008。臺灣半乾旱區域與潛在疏林植群之探討。台灣林業科學23(Supplement):S23-36。

Research paper

Examination of Semi-arid Regions and Potential Savanna Vegetation in Taiwan

Ching-An Chiu,¹⁾ Chih-Chiang Wang,²⁾ King-Cherng Lu,³⁾
Po-Hsiung Lin,⁴⁾ Hsy-Yu Tzeng^{3,5)}

【 Summary 】

Climate is the main determinant of natural vegetation types and their distributions. Yet, the range and potential vegetation of semi-arid regions in Taiwan have not been extensively explored. In this paper, various ecoclimatic indices related to drought and their spatial layers were calculated

¹⁾ 雪霸國家公園管理處，36443苗栗縣大湖鄉富興村水尾坪100號 Shei-Pa National Park Headquarters, 100 Shueiweiping, Fusing Village, Dahu, Miaoli County 36443, Taiwan.

²⁾ 國立澎湖科技大學觀光休閒學系，88046澎湖縣馬公市六合路300號 Department of Tourism and Leisure, National Penghu University, 300 Liu-Ho Rd., Penghu 88046, Taiwan.

³⁾ 國立中興大學森林學系，40227台中市南區國光路250號 Department of Forestry, National Chung Hsing University, 250 Kuokuang Rd., Taichung 40227, Taiwan.

⁴⁾ 國立臺灣大學大氣科學系，10617台北市羅斯福路四段1號 Department of Atmospheric Science, National Taiwan University, 1 Roosevelt Rd., Sec. 4, Taipei 10617, Taiwan.

⁵⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail:erecta9283@yahoo.com.tw

2007年3月送審 2007年5月通過 Received March 2007, Accepted May 2007.

and mapped using a geographical information system. The results illustrate that semi-arid regions in Taiwan include: (1) southwestern lowland with the highest temperature as well as the lowest winter half-year precipitation; and (2) an area on the west coast with a higher annual temperature as well as the lowest annual precipitation. Some researchers believe that the latter area possesses savanna vegetation. Savannas are closely associated with seasonal drought, and they may be defined by climatic climax vegetation in tropical and subtropical areas. Based on the ecoclimatic analyses as well as the surviving vegetation in Taiwan, we inferred that the potential natural vegetations of these 2 semi-arid regions were not savanna but forest with some drought-deciduous trees. In conclusion, the physiognomic type of grassland dotted with trees may occur in small areas at present, but Taiwan lacks climate-shaped savanna climax vegetation.

Key words: ecoclimatic index, semi-arid, potential natural vegetation, savanna, geographical information system (GIS).

Chiu CA, Wang CC, Lu KC, Lin PH, Tzeng HY. 2008. Examination of semi-arid regions and potential savanna vegetation in Taiwan. *Taiwan J For Sci* 23(Supplement):S23-36.

緒言

氣候對植群之類型與分布具有決定性的影響(Tuhkanen 1980, Walter 1994)，大尺度的植群與氣候係處於平衡或準平衡(quasi-equilibrium)狀態，因此每種植群類型均有一套相對應的氣候類型；其中，疏林(savanna)是世界主要生態系類型之一，為介乎森林與草原之間的植群類型，其最重要的環境特徵為季節性乾旱(Nix 1983, Cole 1986, Solbrig et al. 1996)。

臺灣之潛在自然植群(potential natural vegetation)是否存在疏林植群類型與本地之氣候環境有絕對之相關性；Su (1985a)考慮雨量之區域性差異與季節性，將臺灣之地理氣候區劃分為恆濕性(everwet)及在冬半年有不同乾旱程度的夏雨型(summer rain)，夏雨型之中西部近海區(central west coastal region)因蒸發量甚高，曾被認為潛在植群係為疏林(Liu 1968, 1970, Su 1978, Liu et al. 1994)，而其西南區(southwest region)則因有顯著的冬乾現象，曾被描述為季風林(monsoon forest) (Su 1978)，或包含於Song et al. (2003)所提之亞熱帶季節常綠闊葉林(subtropical seasonal evergreen forest)。然目前有關臺灣可能發生乾旱之區域多為早期所繪製(Chen 1957)，有必要以近年快速發展之地理資訊系統(geographic information system, GIS)；縮寫對照表如Appendix 1)計算及繪製各種可表示

乾濕狀態的生態氣候指標(ecoclimatic index)及其區域範圍，並繪製其生態氣候圖(ecoclimatic diagram)，藉以探討臺灣最可能發生乾旱之區域，再進一步探討在此較乾燥的氣候環境下是否存在潛在的疏林植群。

乾旱之指標與疏林之定義

氣候環境為可否形成疏林植群類型之主要決定因子(Cole 1986, Scholes and Walker 1993)，慎選氣候指標有助於瞭解疏林之存在與否及其分布範圍(Nix 1983)，以下謹就相關的生態氣候指標及疏林之定義加以說明。

一、乾旱之指標

在表徵水分境制(moisture regime)或乾旱狀態(drought condition)之氣候指標中，與植群生態較具相關者包括：(1)平均年降水量(average total annual precipitation, Pa)；(2) Thornthwaite (1948)之水分指標(moisture index, MI)與潛在蒸發散量(potential evapotranspiration, PET)；(3) Penman (1956)之潛在蒸發量(potential evaporation, PE)；(4) Kira (1945, cited in Ni 1997)之乾濕指標(humidity/aridity index, HAI)；(5) Xu (1983)之濕潤指標(humidity

index, HI) ; (6) Ni (1997)之生物乾濕指標 (biological aridity/humidity index, BAHI) ; (7) Holdridge (1967)之年平均潛在蒸發散量比例 (annual potential evapotranspiration ratio, PER) ; (8) Box (1981)之年水分指標 (annual moisture index, AMI) ; (9) Su (1985a)之冬半年降水率 (ratio of winter precipitation to annual precipitation, 本文簡稱之為 winter half-year precipitation ratio, PRw) ; (10) Chiu (2006)之冬乾指標 (winter drought index, WDI) 。

參照Walter (1994)以各月均溫與降水量綜合繪製之生態氣候圖所表達的意涵，上述表徵水分境制之指標可概分為年度內總量、水熱平衡、降水之季節分配等3種概念，其中Pa是某地之年度降水總量，也是最通俗的表達方式，但Pa並無法表示水熱平衡及季節性分配的狀況；因此Thornthwaite (1948)為評估降水之有效性與季節性而提出MI，藉以強調土壤之缺水與剩水狀況，而其PET的概念則係由熱量與水分之收支而出發，藉以表徵水熱綜合狀況，PET後來亦被許多其他氣候分類模型採用(Tuhkanen 1980)，可視為氣候與植群之相關分析及分類的綜合指標(Ni and Song 1998)，目前PET之估算方法以業經多次檢測評估及改版的Penman-Monteith估算式最受認可推薦(Huang 2003)，然此估算式須有氣溫、溼度、輻射能及風速等資料，臺灣多數氣象站的觀測資料多不具備這種條件，因此估算臺灣全面性的PET目前僅能採用如Holdridge (1967)等較簡單的估算方式；除PET之外，前述HAI、HI、BHI等亦為表徵水分與熱量之綜合狀況的指標。另外，有關表示降水之季節性分配的指標，緣於臺灣之氣候顯著的冬夏季風更替與山體阻隔造成雨蔭效應 (rainshadow effect)，Su (1985a)設計可表達冬半年降水量 (winter half-year precipitation, Pw，即11~12月及1~3月的總降水量) 佔Pa之比例的PRw，此一指標可用來表示降水之季節性及其分布區域，而Chiu (2006)將Su (1985a)之Pw進一步與冬半年之Kira (1945)溫量指標 (warmth index, WI)相結合，同時考量降水之季節性與水熱平衡，設計可表達冬半年乾旱狀態的WDI。

二、疏林之定義

疏林之原文savanna (savannah)，最早於16世紀被用來描述無樹草地 (treeless grassland) 之生態系，但迄今已被用於描述介於森林與草原之中間型植物群落，而有各種不同形相及植相組成 (physiognomy and floristic composition) (Cole 1986)；目前普遍接受的疏林形相特徵為「散生不同比率林木的連續性草原」(Bourlière and Hadley 1983)，然此種概念式定義常造成認知上的混淆，也因而造成科學上紛歧的定義，狹義者僅指分布於熱帶與亞熱帶、散生少量耐旱林木之禾草 (graminoids) 草原、具明顯的旱季及降水較沙漠多的雨季、為森林與草原之過渡帶、常藉週期性火燒來維持；而廣義的疏林泛指散生林木之草原，並不侷限於熱帶與亞熱帶，例如Nelson (2002)即曾將林木覆蓋小於30%的溫帶山地植群描述為疏林，且許多出現於溫帶 (temperate)、地中海 (Mediterranean)、洪泛區 (flooded)、山地 (montane) 等環境下的林木稀疏植群亦曾被描述為疏林 (e.g., Cole 1986)；因此，疏林依形相外貌、組成結構、擾動因子 (disturbance factors) 的不同，致使在世界各地具有多種不同的形式，也因而各地及各學者間對疏林有不同的認知，也常給予不同之描述術語和定義，甚至再對疏林細分為疏林林地 (savanna woodland)、疏林公園地 (savanna parkland)、疏林草地 (savanna grassland)、矮樹與灌木疏林 (low tree and shrub savanna)、矮密林與灌叢疏林 (thicket and scrub savanna) 等多種次類型 (參見Sarmiento 1984: table 2, Cole 1986: fig. 9.3, Solbrig et al. 1996: table 2.1, Nelson 2002: table 1)；因此Wilhelm (2002)在探討何謂疏林時，即認為自然有多種多樣的變化而人類語言學的描述能力卻有侷限性，因而造成自然在人類認知上的藩籬。

疏林之認定常隨著所強調的氣候、土壤、火燒、人為活動、野生動物影響等成因而異，其中植物可利用水分、植物可利用養分、火燒，及草食動物等被認為是最重要的趨動因子 (Solbrig et al. 1996)。疏林被視為封閉的熱帶森林 (closed tropical forest) 至開放的沙漠草原

(open desertic steppes)之間的連續變化植群類型，在此種推移帶之形相梯度中，林木所佔比率隨著可利用水分的增加而增加(Bourlière and Hadley 1983)，致使常據以定義疏林的林木冠層覆蓋率有小於20、30、40、50%等不同見解，也因此疏林之分布地點含括了相當廣泛的氣候環境變化梯度，其年降水量可介於250~2000 mm、乾季自3~9個月不等、最暖月均溫介於25~35°C、最冷月均溫自8~18°C不等(Cole 1986)；在不同長度與程度的乾旱期間，季節性缺水乃為疏林植群之一致性的環境特徵，且其濕期的溫度比乾期較高，而與地中海型氣候之硬葉矮密林(sclerophyllous thicket)有所區隔(Scholes and Walker 1993)。因此就氣候特徵而言，一般共同接受的潛在疏林環境(potential savanna environment)為介於潮濕熱帶與乾旱中緯度(humid tropics and dry mid-latitudes)之間的廣闊推移帶或中間型，具有交替的乾濕季節(Nix 1983)；臺灣之恒濕型氣候區並不具備形成疏林植群之條件，但在夏雨型氣候區則尚待進一步探討。本研究僅關注在較乾燥的氣候環境之下，是否可形成疏林植群，並將疏林界定為較狹義的「分布於熱帶及亞熱帶之氣候形塑的極相植群(climate-shaped climax vegetation)」，至於有關人為活動與動物影響、火燒、土壤養分等因子則暫不予討論。

材料與方法

本研究採用1960~2002年通過檢定程序之長期氣象資料，再經適當的空間推估方法所得之各月份月均溫(monthly mean temperature, T_m)與月降水量(monthly precipitation, P_m)的100 m網格圖層(Chiu and Lin 2004, Chiu et al. 2005)，以做為生態氣候指標之計算材料；地形資料採用農林航測所製作之數值高程模型(digital elevation model, DEM)，對空白網格進行修補後再重新取樣為100 m網格；相關計算與製圖係利用GIS軟體ArcGIS 8.1及其Spatial Analyst、Geostatistical Analyst等模組，所涉及之數值圖層全部以ArcGIS之ToolBox統一定義

為TWD67大地基準之TM二度分帶座標。

臺灣多數氣象站欠缺品質較高之輻射能及風速等資料，為配合目前較為可信且實際可得之氣候資料只有 T_m 及 P_m 圖層，故本研究僅選用 P_a 、 HAI 、 HI 、 $BAHI$ 、 PER 、 PR_w 、 WDI 等表徵水分境制的生態氣候指標，其相關計算式如下所示(以下各式中， T_m 之單位為°C， P_m 之單位為mm)：

$$P_a = \sum P_m ; \quad (1)$$

$$HAI = \frac{P_a}{WI + 20} \text{ 若 } WI \leq 100 ; \quad (2)$$

$$HAI = \frac{2P_a}{WI + 140} \text{ 若 } WI > 100 ; \quad (3)$$

$$WI = \sum (T_m - 5) \text{ 若 } T_m \geq 5 ; \quad (4)$$

$$HI = \frac{P_a}{WI} ; \quad (5)$$

$$BAHI = \frac{P_a}{WI + 40} \text{ 若 } WI \leq 80 ; \quad (6)$$

$$BAHI = \frac{2P_a}{WI + 120} \text{ 若 } WI > 80 ; \quad (7)$$

$$PER = \frac{PET}{P_a} = \frac{58.93 \times BT}{P_a} ; \quad (8)$$

$$BT = \frac{1}{12} \sum T_m \text{ 若 } 0 \leq T_m \leq 30 ; \quad (9)$$

$$PR_w = \frac{P_w}{P_a}$$

$$P_w \text{ 表冬半年(11~12月及1~3月)的降水量；} \quad (10)$$

$$WDI = \frac{WI_w}{P_w}$$

$$WI_w \text{ 表冬半年(11~12月及1~3月)的溫氣指標。} \quad (11)$$

上述各指標為不同研究者(e.g., Holdridge 1967, Xu 1983, Su 1985a, Ni 1997, Chiu 2006)表達環境乾濕狀況的不同方式，最簡單的 P_a 為各月 P_m 之總和，而 HAI 、 HI 、 $BAHI$ 、 PER 為全年內之降水量(P_a)與熱量(WI 、 BT 等)的不同組合方式， PR_w 是考量臺灣之季節性降水的比例，而 WDI 則是組合冬半年之降水量與熱量。

結果與討論

一、半乾旱區域之界定

Figs.1~7係以ArcGIS計算各種生態氣候指

標之結果圖層，這些指標可從不同面向來反映環境之乾濕狀態；其中，Pa介於1023~4880 mm (Fig. 1)，顯示臺灣年降水量之分布，整體而言，以東北部之東北季風迎風面具有最高的年降水量，而西部近海地區的年降水量最少。其次，HAI (介於5.8~110.1 mm °C·month⁻¹, Fig. 2)、HI (介於4.8~419.1 mm °C·month⁻¹, Fig. 3)、BHAI (介於7.5~84.9 mm °C·month⁻¹, Fig. 4)、PER (介於0.08~1.31°C mm⁻¹, Fig. 5)等指標之計算方式雖有不同，但均在反映熱量境制與水分境制共同作用下的植物可利用水分，在海拔較高處因氣溫較低通常水分不虞匱乏，而在低海拔之西部近海一帶則因氣溫較高且降水最少，明顯可見較為乾燥(Figs. 2~5)。

另外，Su (1984a, 1985a)分析臺灣氣候之變化趨勢與局部變異，發現東北部之降水季節性變化不明顯，但在西部(尤其西南部)之低海拔地區則因東北季風受中央山脈阻隔產生雨蔭效應，冬半年的雨水顯著少於夏半年，因而提出PRw來說明此一現象，並據以劃分臺灣之

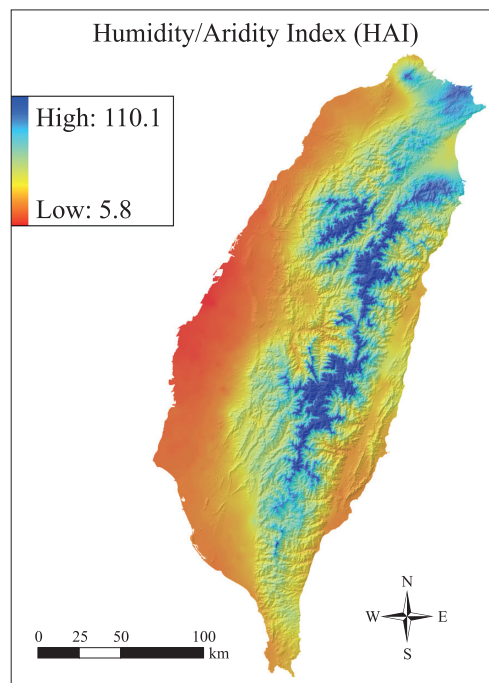


Fig. 2. Humidity/aridity index (HAI, mm °C·month⁻¹) layer of Taiwan.

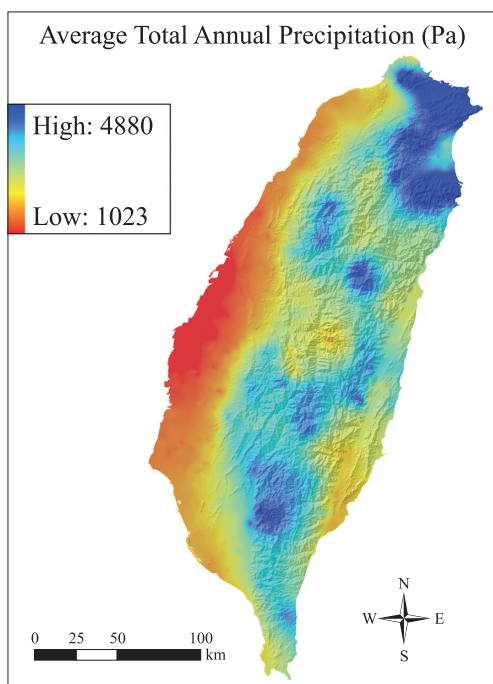


Fig. 1. Average total annual precipitation (Pa, mm) layer of Taiwan.

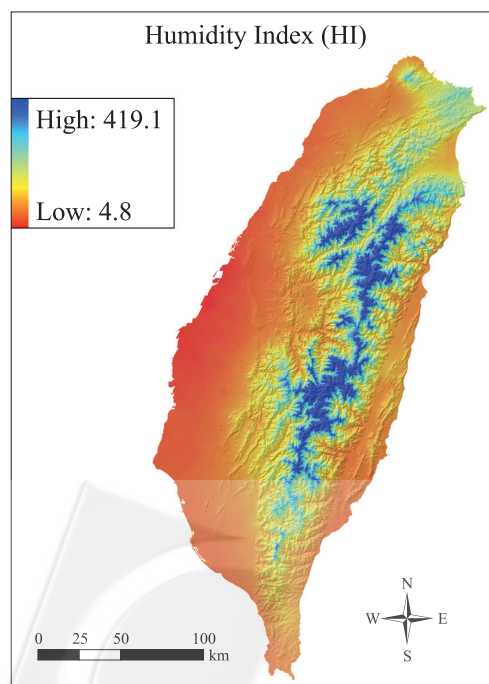


Fig. 3. Humidity index (HI, mm °C·month⁻¹) layer of Taiwan.



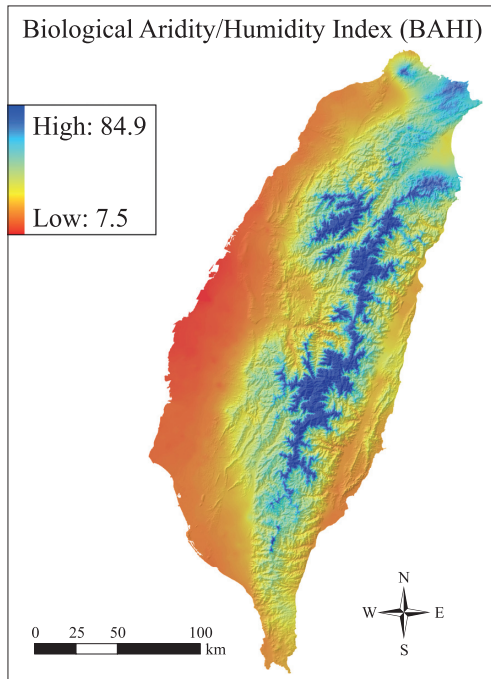


Fig. 4. Biological aridity/humidity index (BAHI, $\text{mm } ^\circ\text{C}\cdot\text{month}^{-1}$) layer of Taiwan.

地理氣候區，Fig. 6為PRw之空間網格分布圖(介於0.03~0.53)，可知東北部之冬夏降水約相當，冬半年降水最少處在東北季風之背風面的西南部(可參見Chiu and Lin 2004: fig. 10)，具有明顯的冬乾現象，此亦同Chen (1957)所言：「設平均候雨不足10 mm者為早期之開始，平均候雨超出10 mm時為早期之終止，則台灣東北部實無早期，西南部之早期乃長達150天以上。」；Chiu (2006)為表明水分境制在生態上的意義，考量降水之季節性分配，也考量水熱綜合狀況，提出WDI (如式11)，WDI (Fig. 7)可被理解為降水之總量(Fig. 1)、熱量境制(thermal regime)下的可用水分(Figs. 2~5)、降水之季節性分配(Fig. 6)等3種概念的融合，由Fig. 7之WDI空間網格分布(介於0.00~1.17 $^\circ\text{C mm}^{-1}$)顯示台灣冬半年最乾燥之處在西南部低地，西部平原至西南部背風面山麓及花東縱谷南段則為次乾燥之環境，而雲霧帶及其上方之高海拔地區因氣溫較低故整體環境上並不缺水，在東北部迎風面區域則因受冬季東北季風帶來雨量之滋

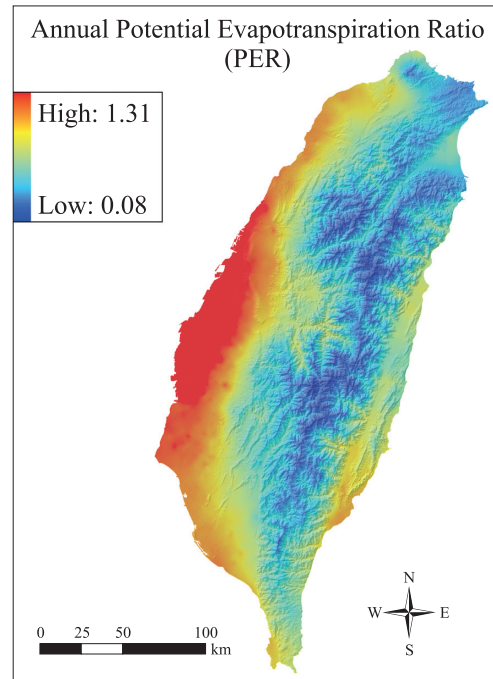


Fig. 5. Annual potential evapotranspiration ratio (PER, $^\circ\text{C mm}^{-1}$) layer of Taiwan.

潤亦不缺水。

綜上所述，臺灣之半乾旱區域(semi-arid region)可界定於：(1)西部近海一帶，其範圍可由HAI、HI、BAHI、PER等指標之分布圖(Figs. 2~5)看出，本研究以 $\text{PER} > 1.00^\circ\text{C mm}^{-1}$ 來加以界定，亦即Fig. 8黃色區域(氣候資料如Table 1所示)，此區由於年降水量最少且氣溫較高，而導致PER最高，可反映全年度內高溫少雨所造成之高蒸發散現象；(2)西南部低地，其範圍可由PRw、WDI等指標之分布圖(Figs. 6, 7)看出，本研究藉由ArcGIS之Spatial Analyst計算Su (1984b)定義之熱帶($\text{WI} > 216^\circ\text{C}\cdot\text{month}$)，即Fig. 8紅線範圍)及冬季少雨($\text{PRw} < 0.1$)，即Fig. 8藍線範圍)，將二者疊合藉以代表高溫、冬乾的區域，亦即Fig. 8紅線範圍與藍線範圍交集的斜線區域(氣候資料如Table 1所示)，其範圍及氣候狀態與 $\text{WDI} > 0.55^\circ\text{C mm}^{-1}$ 之區域(Fig. 8綠色區域，其氣候資料如Table 1所示)大致符合，因此本研究以 $\text{WDI} > 0.55^\circ\text{C mm}^{-1}$ 來加以界定，此區

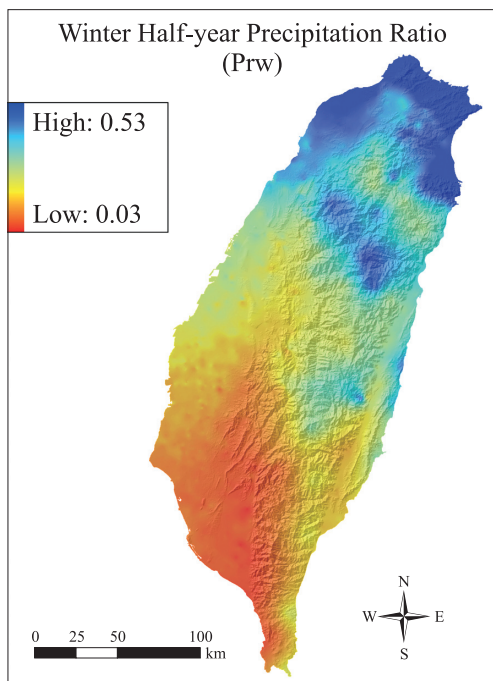


Fig. 6. Winter half-year precipitation ratio (PRw) layer of Taiwan.

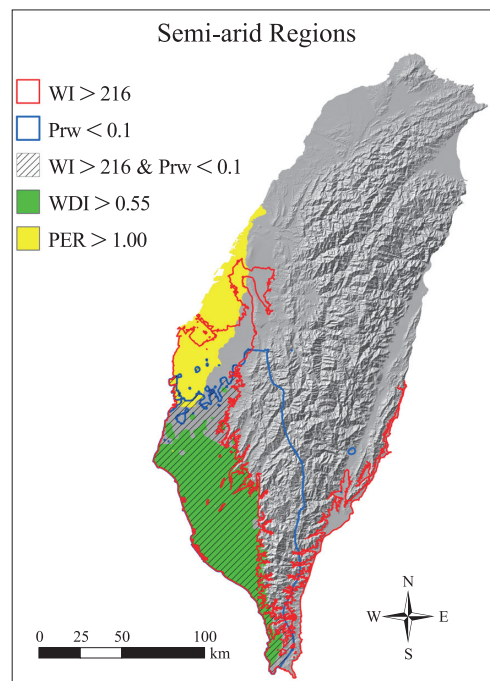


Fig. 8. Semi-arid regions in Taiwan. Warmth index (WI) > 216°C·month in the red-line polygon, winter half-year precipitation ratio (PRw) < 0.1 in the blue-line polygon, their overlap in the oblique area; green-colored area, winter drought index (WDI) > 0.55°C mm⁻¹; yellow-colored area, annual potential evapotranspiration ratio (PER) > 1.00°C mm⁻¹.

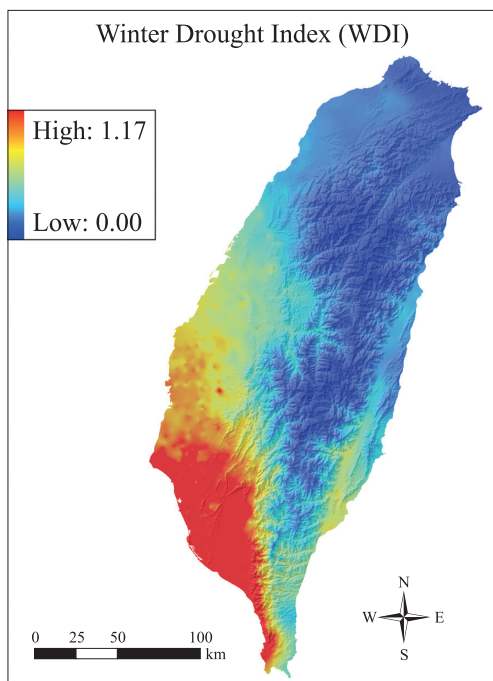


Fig. 7. Winter drought index (WDI, °C mm⁻¹) layer of Taiwan.

由於冬半年降水最少且氣溫最高，可反映冬半年期間較為乾旱之現象。

西部近海一帶半乾旱區的界定係源自全年內之降水量與熱量的組合(見HAI、HI、BHA1、PER計算式)，而西南部低地半乾旱區的界定則是源自冬半年之降水量與熱量的組合(見WDI計算式)，均可用來表示植群生長在全年內或在冬半年內可能遭遇的乾旱現象。

二、半乾旱區域出現疏林之可能性

潛在自然的疏林植群主要係由特定之氣候環境所形成(Bourlière and Hadley 1983, Cole 1986)，因此可由氣候觀點來商榷其潛在植群

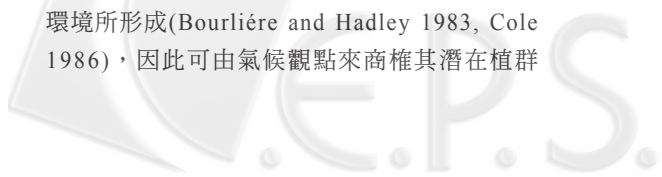


Table 1. Climatic data of 3 semi-arid regions

| | PRw < 0.1 and WI > 216 | | WDI > 0.55 | | PER > 1.00 | |
|-----------|------------------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| | Tm (°C) | Pm (mm) | Tm (°C) | Pm (mm) | Tm (°C) | Pm (mm) |
| January | 17.8 | 19.1 | 17.9 | 17.6 | 16.1 | 21.8 |
| February | 18.8 | 30.1 | 18.9 | 26.4 | 16.7 | 50.0 |
| March | 21.3 | 40.3 | 21.4 | 37.1 | 19.2 | 66.1 |
| April | 24.3 | 74.6 | 24.4 | 71.9 | 22.9 | 88.5 |
| May | 26.7 | 190.1 | 26.7 | 192.6 | 25.8 | 166.7 |
| June | 27.8 | 391.5 | 27.8 | 406.0 | 27.7 | 258.0 |
| July | 28.3 | 392.1 | 28.2 | 405.7 | 28.6 | 195.2 |
| August | 27.9 | 490.8 | 27.8 | 509.8 | 28.3 | 231.4 |
| September | 27.2 | 234.6 | 27.2 | 244.8 | 27.2 | 91.1 |
| October | 25.5 | 59.5 | 25.5 | 61.5 | 24.7 | 14.2 |
| November | 22.6 | 15.7 | 22.6 | 14.4 | 21.5 | 12.1 |
| December | 19.3 | 12.5 | 19.4 | 11.1 | 18.1 | 15.3 |
| Annual | 24.0 | 1951.0 | 24.0 | 1999.0 | 23.1 | 1210.4 |

Note: PRw, WI, PER etc. abbreviations see Appendix 1.

是否為疏林類型。若依Trewartha (1980)修正之Köppen氣候分類，臺灣為無乾季之潤濕亞熱帶，Kira (1991)也認為由於喜馬拉雅高地之影響，亞洲大陸東岸及東南岸缺乏在世界其他地區能藉以區隔溫帶林與潮濕熱帶的亞熱帶乾燥帶，但臺灣位處東南亞之典型的季風區，氣候深受冬夏季風與山嶽地形影響，水分境制於南北及冬夏的差異極為明顯(e.g., Su 1984a, 1985a)，於局部區域仍較為乾燥；Chen (1957)分析100個氣象站資料，依Thorntwaite氣候分類將臺灣劃分為20個副區，較乾者為出現於大安溪口與北港溪口間的中西部沿海之狹長地帶的熱帶潤次濕氣候(C₂A'ra')，可參見Figs. 2~5，約與Fig. 8之PER最高的黃色區域相吻合)；Su (1985a)則依據205個測站降水資料，將本島劃分為6個地理氣候區，包含冬半年最乾燥的西南區及次乾燥的中西區；本研究利用全面性的生態氣候指標網絡圖層，將臺灣之半乾旱區域界定於西部近海一帶及西南部低地，然而，此兩種不同型式之半乾旱區域的潛在自然植群是否為疏林仍須進一步討論並可從氣候觀點來加以商榷。

臺灣之西南部低地已有許多調查研究(e.g., Su 1985b, Su and Su 1988)指出其主要林型為

多發生於較潮濕處的榕楠林型，於海拔較高之亞熱帶，楠木及其他樟科植物增多，可稱為楠木林型；而在平原及乾燥山坡則由常綠樹及落葉樹混合組成半落葉混淆林型(mixed semideciduous forest type)，雖然此一林型或伴有草原出現，但學者間多不視之為疏林，而常以季風林加以描述，其潛在自然植群並不屬於疏林。從氣候資料之分析結果來看，計算Su (1984b)定義之熱帶(Fig. 8紅線範圍)的各月均溫及降水圖層，顯示熱帶全區之平均屬於Walter (1994)生態氣候圖之相對濕潤(relative humid)及重濕(perhumid)，但再進一步疊合求算其中PRw < 0.1 (Fig. 8藍線範圍)之區域，藉以代表有可能形成疏林之高溫、冬季少雨的區域(西南部低地，即Fig. 8斜線區域)，結果顯示其整體平均之年均溫達24.0°C、最暖月均溫28.3°C、最冷月均溫17.8°C，但Pa亦達1951 mm (Table 1)，此區之範圍及氣候與WDI > 0.55°C mm⁻¹之區域(西南部低地，即Fig. 8綠色區域，參見Table 1)大致符合，此係由於WDI之計算式結合了熱量境制與降水季節性分配之概念(式11)，Fig. 9為WDI > 0.55°C mm⁻¹冬乾區之生態氣候圖，顯示除重濕及相對濕潤外，於冬半年亦有相對乾燥(relative drought)發生，勉強可列入

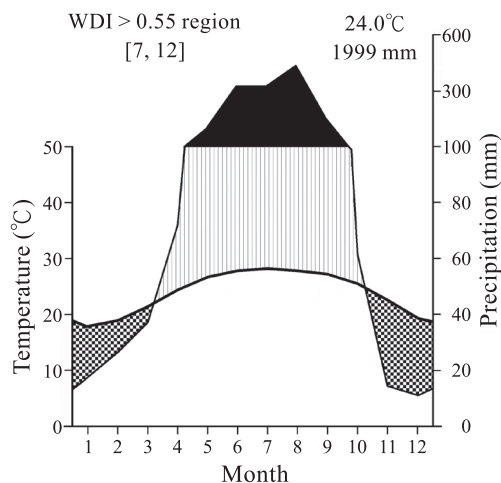


Fig. 9. Ecoclimatic diagram of the winter drought index (WDI) > 0.55°C mm⁻¹ region (i.e., the green-colored area in Fig. 8, in the southwestern lowlands of Taiwan); dark area, perhumid season; vertical hatching, relatively humid season, dotted area: relative drought.

Walter (1994)定義的熱帶落葉林或疏林(tropical deciduous forests or savannas), 但由Holdridge (1967)反映濕度級(humidity provinces)的PER來看(Fig. 5), 臺灣之西南部低地屬於潤濕級(humid, $0.50 < \text{PER} < 1.00^\circ\text{C mm}^{-1}$), 顯示缺水之情況並不嚴重, 由於土壤之季節性缺水為疏林植群之特徵(Cole 1986), 依Thorntwaite (1948)認為土壤某一時期剩水可補償下一季缺水之見解, 因此西南部低地夏半年之充沛降水多少可以補償冬半年之缺水境況, 其潛在自然植群應尚不致形成疏林。

Liu (1968)曾謂：「本省之疏林群落分佈於海岸地帶故為熱帶疏林群系(tropical savanna formation)...本群系在本省分佈於本島西海岸自北港溪至大安溪之間及澎湖群島...屬於熱帶冬季乾旱氣候...」, 且Liu (1970)又謂：「本省之熱帶疏林(tropical savanna)或稱為乾燥林(savanna woodland)應為氣候性之極群社會(climatic climax)」; Su (1978)論及熱帶雨林群系時, 曾謂：「除南部恆春半島之季風林及本島西部臨海地區之疏林兩型外, 其他之臺灣低

海拔山麓及平地殆為熱帶雨林之分佈區。」; Liu et al. (1994)亦認為臺灣存在熱帶疏林, 曾謂：「疏林為界於森林與草原之中間型植物群系, 樹木矮小而零落, 下層植物多與樹木層同高。臺灣之疏林群落出現於北港溪與大安溪間之西海岸地帶與澎湖列島, 植物以禾本科與莎草科之高草類為優勢種, 樹木僅散生其間...」。因此, 綜合上述學者之意見, 認定疏林出現之地點主要為西部近海一帶, 且呈局部性出現或其面積可能並不大, Su (1985b)亦認為大安溪以南至北港溪以北之近海平原, 「...目前本區之天然植物群雖難以考證, 然臺灣若有疏林發生, 最可能之地點無疑是在這一區域」。從氣候資料來分析, 臺灣PER (與HAI、HI、BHI之計算結果類似, 見Figs. 2~5之比較)最高之區域出現於西部近海一帶(Fig. 8黃色區域, PER介於 $1.00\sim 1.31^\circ\text{C mm}^{-1}$), 此區可代表全年度內高溫少雨所造成之高蒸發散環境, 其整體平均之年均溫達 23.1°C 、最暖月均溫 28.6°C 、最冷月均溫 16.1°C , 但Pa亦達1210 mm, Table 1也顯示西部近海一帶基本上符合疏林之雨季與熱季同期的氣候特徵(Scholes and Walker 1993), 此區於Holdridge (1967)生命帶方案中雖然較西南部低地更為乾燥, 但仍屬於略濕級(subhumid, $1.00 < \text{PER} < 2.00^\circ\text{C mm}^{-1}$, 參見Fig. 5); Fig. 10為西部近海一帶整體平均之生態氣候圖, 亦可列入Walter (1994)定義的熱帶落葉林或疏林之列, 但對照其圖示之濕度級別則屬略濕(subhumid)至半濕(semihumid), 植群為介於季節林(seasonal forest)至半常綠林(semievergreen forest), 缺乏著生植物(epiphytes), 主要由軟葉常綠(soft leaved evergreen)、雨綠(green in rain)等樹種組成(Walter 1994), 其極相植物社會並不屬於疏林。

綜合上述論見可知, 臺灣不論全年降水量最少且氣溫較高可代表蒸發散最強的西部近海一帶, 或冬半年降水最少且氣溫最高可代表冬乾現象的西南部低地, 由生態氣候指標及生態氣候圖來看, 植群之缺水逆境並不嚴重, 足以支持森林之發育; 且臺灣夏半年高蒸發散期間常有颱風帶來可觀之雨量, 補充植物生長及植群發育所需之水分, 同時乾季發生於林木生長

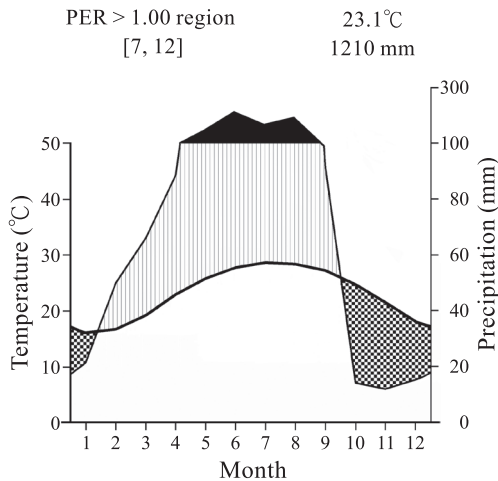


Fig. 10. Ecoclimatic diagram of the annual potential evapotranspiration ratio (PER) $> 1.00^{\circ}\text{C mm}^{-1}$ region (i.e., the yellow-colored area in Fig. 8, on the west coast of Taiwan); dark area, perhumid season; vertical hatching, relatively humid season; dotted area, relative drought.

減緩之冬季，且Shen (1997)也指出臺灣西部海拔500 m以下區域(南抵屏東平原)，在冬季乾月時常有持續濃霧可以補充水平降水，因此將本區植群類型列為半常綠闊葉林，而非疏林植群。

三、現生與潛在之疏林植群

現生植群係基於現今植群的組成和結構，潛在植群則強調自然植群發展之推論的/假設的成熟或穩定終點，因此現生植群考慮各演替階段，而潛在植群僅強調最終階段；對極相植群而言，現生植群即為生育地之潛在植群，但在嚴重擾動的地區，由於植群演替進展被破壞，而減少成熟或極相植群的存在，以致降低了現生植群與潛在植群在形相及植相上的相似性(Chiu 2006)。Liu (1968, 1970)雖認為臺灣存在氣候性極相疏林，其亦提及「...本區年雨量2000 mm以上，故得以形成森林之群落...」，又曾謂：「...亦有部分熱帶疏林為過渡期之群落(seral community)或為土壤性的極群社會(edaphic climax)或火災性的極群社會(fire climax)...雖然依據此等地區之氣候有別於相鄰

之熱帶雨林或季風林之分佈地區而應為乾燥性之植物群落，但焉知其非由於原始植被之破壞後加以週期性火災而使土壤裸露蒸發特大而形成乾旱之情況...故此一群落是否為一氣候性之極群社會尚有待進一步之檢討。」因此，臺灣是否存在疏林植群之歧見，應是源自於對現生植群與潛在植群的不同認知，其中也常涉及植群類別空間尺度之認定。

本研究之氣候資料分析顯示，西部近海一帶(尤其在大肚山面海一側及臨海區域)對植物生長之有效水分的整體生態氣候環境較西南部低地更為乾燥，潛在自然植群應更偏向於疏林，過往所描述之疏林植群亦位於此區(e.g., Liu 1968, Su 1985b, Liu et al. 1994)；然而，對照於氣候更乾旱、生態條件更嚴苛之澎湖，於蔽風、土壤水分較多之處尚見林木生長，因此較澎湖不缺水、風沙及鹽沫較低的西部近海一帶，應更適宜林木之生長。被認為最可能出現疏林之西部近海一帶，目前原始植群已被破壞殆盡，且並無完整報告可資印證；本研究實地觀察二水臺灣獼猴保護區、八卦山、大肚山等地之現生殘存植群，非人為灌溉區域尚可見相思樹(*Acacia confusa*)、血桐(*Macaranga tanarius*)、苦楝(*Melia azedarach*)、黃槿(*Hibiscus tiliaceus*)、榕樹(*Ficus microcarpa*)、九芎(*Lagerstroemia subcostata*)、茄苳(*Bischofia javanica*)、楓香(*Liquidambar formosana*)、構樹(*Broussonetia papyrifera*)、無患子(*Sapindus mukorossii*)、牛奶榕(*Ficus erecta* var. *beeheyana*)、破布烏(*Ehretia dicksonii*)、糙葉樹(*Aphananthe aspera*)、沙朴(*Celtis sinensis*)、白匏子(*Mallotus paniculatus*)、樟樹(*Cinnamomum camphora*)、香楠(*Machilus zuihoensis*)、小梗木薑子(*Litsea hypophaea*)、山黃麻(*Trema orientalis*)、細葉饅頭果(*Glochidion rubrum*)、烏桕(*Sapium sebiferum*)、白葉釣樟(*Lindera glauca*)、野桐(*Mallotus japonicus*)、黃荊(*Vitex negundo*)等(亦可參見Liu 1970, Liu et al. 1994, Tsai 2005)，這些樹種於二水、八卦山等較無干擾之地常可見森林群落之形成，在大肚山、鐵崁山等地更

常見到許多較落葉樹更耐旱的相思樹林(Su and Su 1988)。目前在大肚山面海一側的現生植群，可見到灌叢、枯木或獨立木、樹群點綴於大黍(*Panicum maximum*)草地的類似疏林之景觀，但類受干擾之地的現生植群並不能代表潛在自然植群，Tsai (2005)即認為大肚山荒地若降低火燒的發生，則草地最後可逐漸演替為森林；Shen (1997)亦曾論斷「臺灣島上(在未受到種種人類活動的干擾或破壞前)，近千年來極可能從未存在過作為單純氣候極相植生的稀木草原，但近千年來在臺灣島西部若干土質鹽鹼而且各季雨水都最少(全島而言)的沿海平地地點的潛在極相植生可能在外觀上無異於潤次濕平地-稀喬木高草原(moist-subwet plain tall-grass tree-savanna)的一般情況」。目前西部近海一帶之廢耕地、溪床、大肚山等局部地點在景觀上近似於疏林，然推測其或為沿海之海風鹽霧、土壤鹽鹼加諸明顯冬乾之生理旱地，或係溪床洪泛淤積、開墾後荒地、放牧地、週期性火燒等擾動後之演替初期植群，若無開墾、火燒等干擾，即能形成較為耐旱的森林。描述臺灣存在疏林之論見，一方面可能肇因於西部近海一帶半乾旱氣候接近可形成疏林之環境，另一方面更可能係學者基於現生干擾後疏林景觀之觀察與判斷，甚至係受近海鹽鹼地之植群景觀的影響，但並不屬於氣候狀態下之極相社會，即便此區局部性極乾旱之小面積區域有可能無法演替至森林階段，但仍稱不上本研究所認知的“點綴著林木的廣袤草原”之疏林外貌，因此西部近海一帶之全區性的潛在自然植群，較宜使用半落葉林或乾旱落葉林來加以描述，目前許多在大肚山、八卦山、大坑等淺山出現的樹種，其分布海拔的最低限有可能一直被太高估了，這些樹種極可能曾繁衍於西部近海一帶。

本研究基於生態氣候觀點並配合現生植群觀察，推論臺灣並不存在大面積的疏林自然植群，然若環境之乾旱程度加劇，森林中之乾旱落葉樹種的數量將隨之增加，若環境缺水逆境更趨嚴重，則林木也將逐漸由草原取代，而產生中間類型之疏林植群(Su 1985b)；若考慮擾動之影響，則隨著擾動程度的加重與擾動頻

率的增高，夾雜於半落葉林間的草原也隨之增加(Beckage et al. 2006)；若縮小描述植群之尺度，臺灣之局部性現生植群確呈疏林之形相；若採用多極相(polyclimax)觀點，則週期性火燒所形成之疏林景觀也可視極相；若考量早期大量臺灣梅花鹿(*Cervus nippon taiouanus*)繁衍於西部沿海一帶等平原(Su 1985b)，則此等草食動物亦有可能造成疏林之極相；然而，上述各項因素所形成之疏林景觀均不屬於本研究所定義的疏林植群。另外，有關於中海拔植群，Su (1978)曾記載「山地松林一型，景觀上與疏林相似…」，此多係週期性火燒所造成之次極相，在景觀形相上與疏林植群相似，但並非氣候環境所形塑之極相疏林，Beckage et al. (2006)即認為火燒等重複性擾動(repeated disturbances)阻卻了植群由開放草原演替至封閉森林，而其間之過渡形式即形成疏林之景觀；雖然Nelson (2002)亦曾將林木覆蓋小於30%的溫帶山地植群描述為疏林，然若依此現生植群之景觀觀點，臺灣高海拔之林緣推移帶，玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)植物社會常呈點綴著臺灣冷杉(*Abies kawakamii*)、臺灣鐵杉(*Tsuga chinensis* var. *formosana*)之草原的外貌，即可稱之為疏林，但目前臺灣尚未曾有報告使用此種描述。本研究將疏林定義為：分布於熱帶及亞熱帶之氣候形塑的極相植群，認為分布於亞熱帶以上之中高海拔植群，若非僅強調其林型之景觀外貌，應避免使用疏林來描述其潛在自然植群。

探討臺灣之半乾旱區域的範圍，可再進一步由氣候觀點來商榷其潛在植群是否為疏林類型；降水之總量、水熱平衡、季節性分配等面向的生態氣候指標均可闡明水分境制，而生態氣候圖雖可綜合呈現此3種面向，但其圖示化的表達方式不利於電腦化計算及植群分類。本研究基於氣候控制植群類型與分布之觀點，將疏林定義為分布於熱帶及亞熱帶之氣候形塑的極相植群，不著重於土壤鹽鹼、火燒、放牧及野生動物、人為活動等成因，亦由於臺灣低海拔已被開發殆盡，並不存在真實、完整、自然的極相植群，而無法由自然的極相植群討論

其結構及形相，因此僅分析影響潛在自然植群類型之最重要的生態氣候指標，並觀察西部近海一帶之現生殘存植群，綜合討論氣候與植群之關係，認為臺灣或有局部性小面積的現生植群呈現稀木草原之形相，但整體區域仍宜視為開發及擾動後所形成的林地、灌木叢、草原之鑲嵌植群，屬於演替初期之現生植群，其潛在自然植群為參雜有冬季乾旱之落葉闊葉樹種的森林，並不具潛在的氣候型極相疏林植群。本研究以氣候觀點初步探討臺灣半乾旱區域之潛在自然植群類型，未來應更進一步釐清有關季風林、季風雨林(monsoon rain forest)、季節林(seasonal forest)、半常綠林(semi-evergreen forest)、半落葉混淆林(semi-deciduous mixed forest)等術語的定義及適用性，同時對於低海拔殘存植群也應仔細搜尋實際調查，分析其生育地環境因子，除可找出能自然繁衍於低海拔的原生植物種類外，此亦為樹種選擇與生態造林、植栽綠美化與景觀設計、生態工程等應用的基礎工作。

結論

代表水分境制的生態氣候指標可從降水之總量、水熱平衡、季節性分配等3種面向來說明，臺灣之半乾旱區域主要為氣溫最高、冬半年降水最少，代表冬半年較為乾旱的西南部低地，以及氣溫較高、年降水量最少，代表全年度內高溫少雨造成高蒸發散環境的西部近海一帶；其中，西部近海一帶被許多學者認為其潛在植群係為疏林，但由於此區缺水之逆境並不嚴重，配合臺灣西部低海拔地區殘存植群之觀察，可發現目前臺灣呈現草原或疏林之景觀的小面積植群，多發生於局部特殊生育地，且常見火燒、放牧、人為開墾等擾動，其潛在自然植群應為參雜有乾旱落葉之闊葉樹種的森林，並不具潛在的氣候型極相疏林植群。

謝誌

感謝東勢林區管理處廖敏君技士及南投縣

政府農業局林鴻志技士共同前往西部低海拔地區勘查，中興大學森林系曾彥學助理教授提供潤稿意見。特別感謝臺灣大學森林系蘇鴻傑名譽教授提供諸多寶貴意見，增益本文之思考與撰稿。

引用文獻

- Beckage B, Gross LJ, Platt WJ. 2006.** Modelling responses of pine savannas to climate change and large-scale disturbance. *Appl Veg Sci* 9:75-82.
- Bourlière F, Hadley M. 1983.** Present-day savannas: an overview. In: Bourlière F, editor. *Tropical savannas*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing. p 1-17.
- Box EO. 1981.** Macroclimate and plant forms: an introduction to predictive modeling in phytogeography. The Hague: Dr. W. Junk Publishers. 258 p.
- Chen TH. 1957.** The classification of climate and climatic regions. *Forestry Series no. 7*. Exp For Taiwan Univ. 174 p. [in Chinese].
- Chiu CA. 2006.** Applying the ecoclimatic indices to predict the potential natural vegetation of Taiwan [dissertation]. Taichung, Taiwan: National Chung-Hsing Univ. 280 p. [in Chinese with English summary].
- Chiu CA, Lin PH. 2004.** Spatial interpolation of air temperature and precipitation from meteorological stations at Taiwan. *Atmos Sci* 32(4):329-50. [in Chinese with English summary].
- Chiu CA, Lin PH, Heih MK. 2005.** Data quality checking for metadata, mean daily temperature and precipitation of meteorological stations in Taiwan. *Meteor Bull* 45(3):33-45. [in Chinese with English summary].
- Cole MM. 1986.** The savannas: biogeography and geobotany. London: Academic Press. 438 p.
- Holdridge LR. 1967.** Life zone ecology. San Jose, Costa Rica: Tropical Science Center. 54 p.
- Huang CC. 2003.** Establishment and evalua-

tion on the local parameters in the relationship between solar radiation and sunshine duration in Penman-Monteith equation. *J Chin Agric Engin* 49(3):79-91. [in Chinese with English summary].

Kira T. 1945. A new classification of climate in eastern Asia as the basis for agricultural geography. Kyoto: Horticultural Institute, Kyoto. 23 p. [in Japanese].

Kira T. 1991. Forest ecosystems of east and southeast Asia in a global perspective. *Ecol Res* 6:185-200.

Liu T. 1968. Studies on the classification of the climax vegetation communities of Taiwan. I. Classification of the climax formation of the vegetation of Taiwan. *Bull Taiwan For Res Inst* 166:1-25. [in Chinese with English summary].

Liu T. 1970. Studies on the classification of the climax vegetation communities of Taiwan. III. Study on the formations of broad-leaved forests and tropical woodlands in Taiwan. *Ann Rep Natl Sci Comm* 4(2):1-36. [in Chinese with English summary].

Liu YC, Lu FY, Ou CH. 1994. Trees of Taiwan. Taichung, Taiwan: National Chung-Shing Univ. p 31-3. [in Chinese].

Nelson PW. 2002. Classification and characterization of savannas and woodlands in Missouri. In: Hartman G, Holst S, Palmer B, editors. SRM 2002: Savanna/Woodland Symposium; 2002 Feb 13-19; Jefferson City, MO. p 9-25.

Ni J. 1997. Development of Kira's indices and its application to vegetation-climate interaction study of China. *Chin J Appl Ecol* 8(2):161-70. [in Chinese with English summary].

Ni J, Song YC. 1998. Relationship between Kira's indexes and distribution of dominants and companions of subtropical evergreen broadleaved forest in China. *Acta Ecol Sin* 18(3):248-62. [in Chinese with English summary].

Nix HA. 1983. Climate of tropical savannas. In: Bourlière F, editor. *Tropical savannas.*

Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing. p 37-62.

Penman HL. 1956. Estimating evaporation. *Trans Am Geophys Union* 37(1):43-50.

Sarmiento G. 1984. The ecology of neotropical savannas. (Translated by Otto Solbrig) Cambridge, MA: Harvard Univ Press. 235 p.

Scholes RJ, Walker BH. 1993. An African savanna: synthesis of the Nylsvley study. New York: Cambridge Univ Press. 306 p.

Shen CF. 1997. The biogeography of Taiwan (2): Some preliminary thoughts and studies. *Ann Taiwan Mus* 40:361-450. [in Chinese with English summary].

Solbrig OT, Medina E, Silva JF 1996. Determinants of tropical savannas. In: Solbrig OT, Medina E, Silva JF, editors. *Biodiversity and savanna ecosystem processes: a global perspective.* Berlin: Springer. p 32-41.

Song YC, Hsu KS, Chen WL, Wang XH, Da LJ, et al. 2003. Evergreen broad-leaved forest in Taiwan and its relationship with counterparts in mainland China. *Acta Phytoecol Sin* 27(6):719-32. [in Chinese with English summary].

Su HJ. 1978. Investigation on the vegetation and landscape along the Central Cross Highway. In: Chen CM, Lin YH, Su HJ, editors. *Investigation on the ecological resources and tourists along the Central Cross Highway.* Cooperative Research Report of National Taiwan University and Tourism Bureau. Taipei: National Taiwan Univ. p 95-176. [in Chinese].

Su HJ. 1984a. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (1): analysis of the variation in climatic factors. *Q J Chin For* 17(3):1-14.

Su HJ. 1984b. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (2): altitudinal vegetation zone in relation to temperature gradient. *Q J Chin For* 17(4):57-73.

Su HJ. 1985a. Studies on the climate and

vegetation types of the natural forests in Taiwan (3): a scheme of geographical climate regions. *Q J Chin For* 18(3):33-44.

Su HJ. 1985b. Vegetation analysis on the native habitat of Formosan sika deer and proposal of its reintroduction area in Kenting National Park. In: Wang Y, editor. Restoration of Formosan sika deer. Pingtung, Taiwan: Kenting National Park. p 63-101. [in Chinese with English summary].

Su HJ, Su CY. 1988. Multivariate analysis on the vegetation of Kenting National Park. *Q J Chin For* 21(4):17-32. [in Chinese with English summary].

Thornthwaite CW. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr Rev* 38:57-94.

Trewartha GT, Horn LH. 1980. An introduction to climate (5th edn). New York: McGraw-Hill. 416 p.

Tsai JH. 2005. The relationship between the distribution of plant community and environ-

ment factor in the belt plot in Jhukeng-Beikeng of Dadu Terrace, Taichung: a four-years study [thesis]. Taichung: Tunghai Univ. 95 p. [in Chinese with English summary].

Tuhkanen S. 1980. Climatic parameters and indices in plant geography. Stockholm: Almqvist & Wiksell International. 110 p.

Walter H. 1994. Vegetation of the earth: the ecological systems of the geo-biosphere (3rd Rev Ed). Berlin: Springer. 318 p.

Wilhelm G. 2002. What is a savanna? In: Hartman G, Holst S, Palmer B, editors. SRM 2002: Savanna/Woodland Symposium; 2002 Feb 13-19; Jefferson City, MO. p 3-8.

Woodward FI. 1987. Climate and plant distribution. Cambridge, UK: Cambridge Univ Press. 174 p.

Xu WD. 1983. A study on relationship between distribution of major dominant species and climates in zonal vegetation types of East China. *Acta Bot Sin* 25:264-74. [in Chinese with English summary].

Appendix 1. The abbreviations of nomenclatures and their references

| Abbreviations | Nomenclatures and their references |
|---------------|---|
| AMI | 年水分指標(annual moisture index) (Box 1981) |
| BAHI | 生物乾濕指標(biological aridity / humidity index) (Ni 1997) |
| DEM | 數值高程模型(digital elevation model) |
| GIS | 地理資訊系統(geographic information system) |
| HAI | 乾濕指標(humidity / aridity index) (Kira 1945) |
| HI | 濕潤指標(humidity index) (Xu 1983) |
| MI | 水分指標(moisture index) (Thornthwaite 1948) |
| Pa | 平均年降水量(average total annual precipitation) |
| PE | 潛在蒸發量(potential evaporation) (Penman 1956) |
| PER | 年平均潛在蒸發散量比例(annual potential evapotranspiration ratio) (Holdridge 1967) |
| PET | 潛在蒸發散量(potential evapotranspiration) (Thornthwaite 1948) |
| Pm | 月降水量(monthly precipitation) |
| PRw | 冬雨率(winter half-year precipitation ratio) (Su 1985a) |
| Pw | 冬半年降水量(winter half-year precipitation) |
| Tm | 月均溫(monthly mean temperature) |
| WDI | 冬乾指標(winter drought index) (Chiu 2006) |
| WI | 溫量指標(warmth index) (Kira 1945) |
| WIw | 冬半年溫量指標(winter half-year warmth index) |