

臺灣地區 Holdridge 生命帶之繪製

邱清安^{1,2,4}、呂金誠²、林博雄³、廖敏君²

(收稿日期：2004 年 10 月 17 日；接受日期：2005 年 4 月 6 日)

摘 要

氣候是影響植群類型與分布的主要因子，因此可藉由氣候-植群分類模型使用氣候資料來預測植群類型。本文以 Holdridge 生命帶系統為例，使用臺灣各月平均氣溫、降水分布圖為分析材料，以地理資訊系統軟體 ArcGIS 計算 Holdridge 生命帶的 3 個氣候參數，劃分出 13 種生命帶，並與前人研究相比較，最後本文對氣候-植群分類模型在臺灣應用時可能存在的問題亦加以討論。

關鍵詞：氣候-植群分類模型，Holdridge 生命帶，地理資訊系統(GIS)

一、前 言

環境與生物之關係的研究長久以來一直受到生態學、氣候學、地理學的關注，尤其近年來全球變遷議題的興起，以氣候代表環境變遷、以植群代表陸地生態系的簡化方式，被大量地用來探究過去、現在、未來之環境，也成為國際地圈-生物圈計畫(international geosphere-biosphere programme, IGBP)的重點研究項目，各種預測模型被大量的提出(Franklin, 1995; Guisan & Zimmermann, 2000)，這些模型首先面臨的問題是氣候與植群之關係的建立。研究氣候與植群之關係的模型可概分為靜態(static)、動態(dynamic)兩大類，靜態模型係基於氣候-植群間處於平衡狀態之概念上，而動態模型則更為強調氣候-植群間交互作用的過程(Peng, 2000)。雖然動態模型已包含了氣候-植群之靜態平衡為其一可能狀態，而更為貼近真實生態系(Pickett *et al.*, 1994)，但也因此須要更多的氣候-植群交互作用之背景知識(Brovkin, 2002)，然現實上目前大部分的植群/生態系之動態機理(mechanisms)不甚清楚(Foley *et al.*, 1998)，且僅有少數的生物種類對

-
1. 雪霸國家公園管理處。
 2. 國立中興大學森林學系。
 3. 國立台灣大學大氣科學系。
 4. 通訊作者。E mail: fagus@spnp.gov.tw

環境改變之動態反應曾被研究過，因此靜態模型仍為目前研究氣候-植群關係的常用方法(Woodward & Cramer, 1996)。Peng(2000)將靜態模型分為氣候-植群分類模型(climate-vegetation classification models)與植物功能型模型(plant functional type models)兩大類，Cramer & Leemans(1993)在研究氣候變遷對植群之影響時，即分別以 Holdridge(1947, 1967)生命帶(life zone)及 Box(1981)植物功能型(plant functional type)為兩者之代表。

氣候-植群分類模型基於任何地區的主要植群是現時環境因子之反映的概念，認為氣候佔決定性角色(Tuhkanen, 1980)，特別是熱量和水分及二者的配合狀況(Woodward, 1987; Brovkin *et al.*, 1997)。Holdridge 生命帶系統以氣象站基本觀測項目之氣溫及降水資料，即可計算出其 3 個氣候指標，藉以闡明自然植群之類型，因其所使用之氣候參數易於氣象觀測資料獲得，且圖示化分類簡單易懂(Holdridge, 1967)，目前仍為研究生態系分類、生物多樣性、氣候變遷等議題常用之選擇(如 Lugo *et al.*, 1999; Powell *et al.*, 2000; Yue *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2003)。

臺灣為一近臨亞洲大陸之海島，北迴歸線橫貫中部，境內海拔落差達近 4,000 m，是以熱、暖、溫、寒帶氣候均具，且與東北、西南季風斜交，復為夏秋颱風常經之途，加上地質年代之氣候、板塊變遷，因而育出極其豐富的植物資源與複雜生態系(邱清安, 1996)，目前臺灣之植群帶與氣候區曾有多位學者分別提出其劃分法，其中以 Su(1984a, b; 1985)之系列研究所做之劃分，最為被廣為接受與運用(如蘇鴻傑&陳子英, 1991；謝宗欣&黃增泉, 1999)，主要是由於 Su 使用較多的山區氣象站資料進行分析，在空間上以垂直性的山地植群帶狀分化及水平性的地理氣候區劃分，分別探究氣候與植群之關係，其概念如同分離式植群觀點較容易理解，但如能嘗試結合地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)進行分析與製圖，將可更完整說明臺灣三維表面上的氣候與植群之變化。馮豐隆&高堅泰(2001)、羅悅心&關秉宗(1999)即曾分別結合 GIS、第五代中尺度數值氣候模式(5th Generation Penn. State/NCAR Mesoscale Model, MM5)，以 Holdridge 生命帶探討氣候變遷對臺灣植物群系之影響，然臺灣為面積約僅 36,000 km² 之高山島嶼，是否適用於全球性、大尺度的 Holdridge 生命帶方法仍待更進一步的實作研究。本文將以臺灣各月平均氣溫、降水分布圖為分析材料，計算 Holdridge 生命帶之氣候參數，進行其生命帶之劃分與繪製，並討論其在臺灣應用時可能存在的問題。

二、材料與方法

Holdridge(1947, 1967)認為氣候可客觀反映當地自然植群，因此使用 3 個氣候參數：年平均生物溫度(annual biotemperature, BT)、年平均降水量(average total annual precipitation, P)、年平均潛在蒸發散量比例(annual potential evapotranspiration ratio, PER)製成蜂巢狀圖解(如圖一)，定義出 37 種生命帶，藉以表現氣候數值與生命帶或植物群系(plant formations)之對應關係，其中 BT 可與海拔帶(altitudinal belts)、緯度區(latitudinal regions)相對應，而 PER 則可反映出濕度級(humidity provinces)。以下為本研究所使用之 Holdridge 生命帶的氣候參數，其中年平均生物溫度(BT)，係以月平均氣溫計算，與 Holdridge(1967)之原始計算方式略有差異：

$$BT = \frac{1}{12} \sum_1^{12} T_i \quad (0 \leq T_i \leq 30, T_i \text{ 為月平均氣溫, 單位 })$$

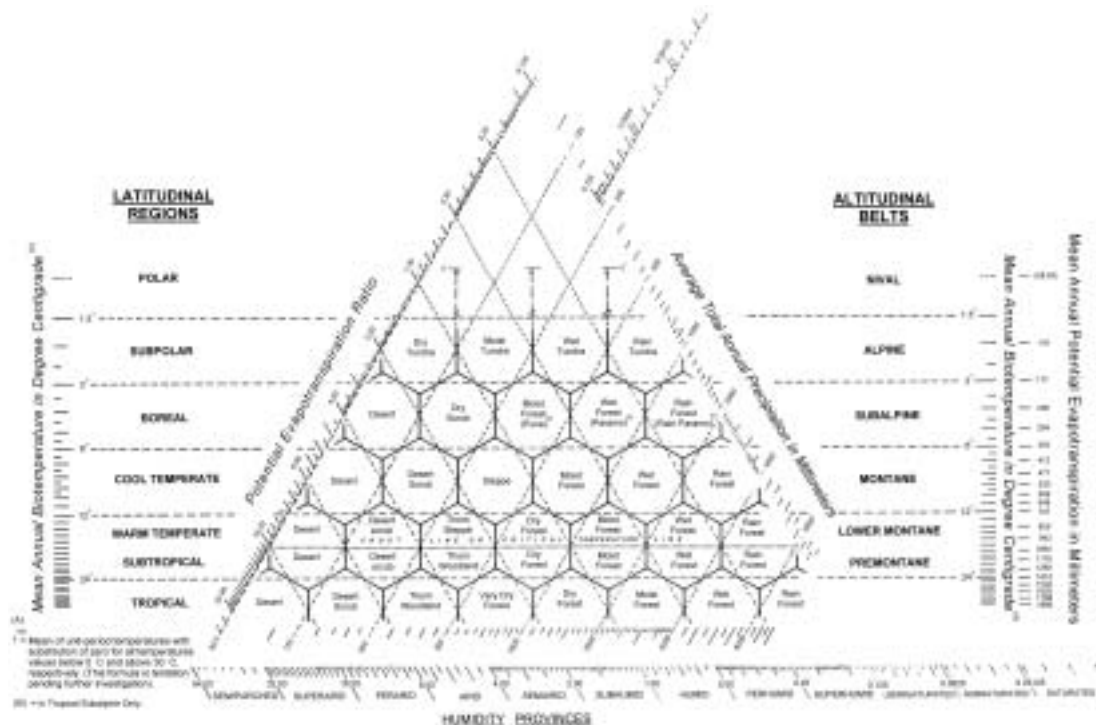
$$P = \sum_1^{12} P_i \quad (P_i \text{ 為月降水量, 單位 mm})$$

$$PER = \frac{PET}{P} = \frac{58.93 \times BT}{P} \quad (PET \text{ 即潛在蒸發散量, 為 } BT \text{ 之函數})$$

為瞭解 Holdridge 年平均生物溫度(BT)在臺灣山地植群垂直變異之應用,本文也對 Su(1985b)所使用之 Kira 的溫量指數(warmth index, WI)進行繪製,其計算方式如下(Yim & Kira, 1975):

$$WI = \sum_1^{12} (T_i - 5)$$

本文使用通過檢定程序之長期氣象資料(邱清安等, 2005), 結合迴歸分析與地理統計方法(Geostatistics)推估而得之 100 m 網格的各月平均氣溫、降水分布圖(邱清安&林博雄, 2004)為材料, 以地理資訊系統軟體 ArcGIS 8.1 及 Spatial Analyst 模組為操作平台, 進行氣候參數計算、植群類別劃分與製圖。

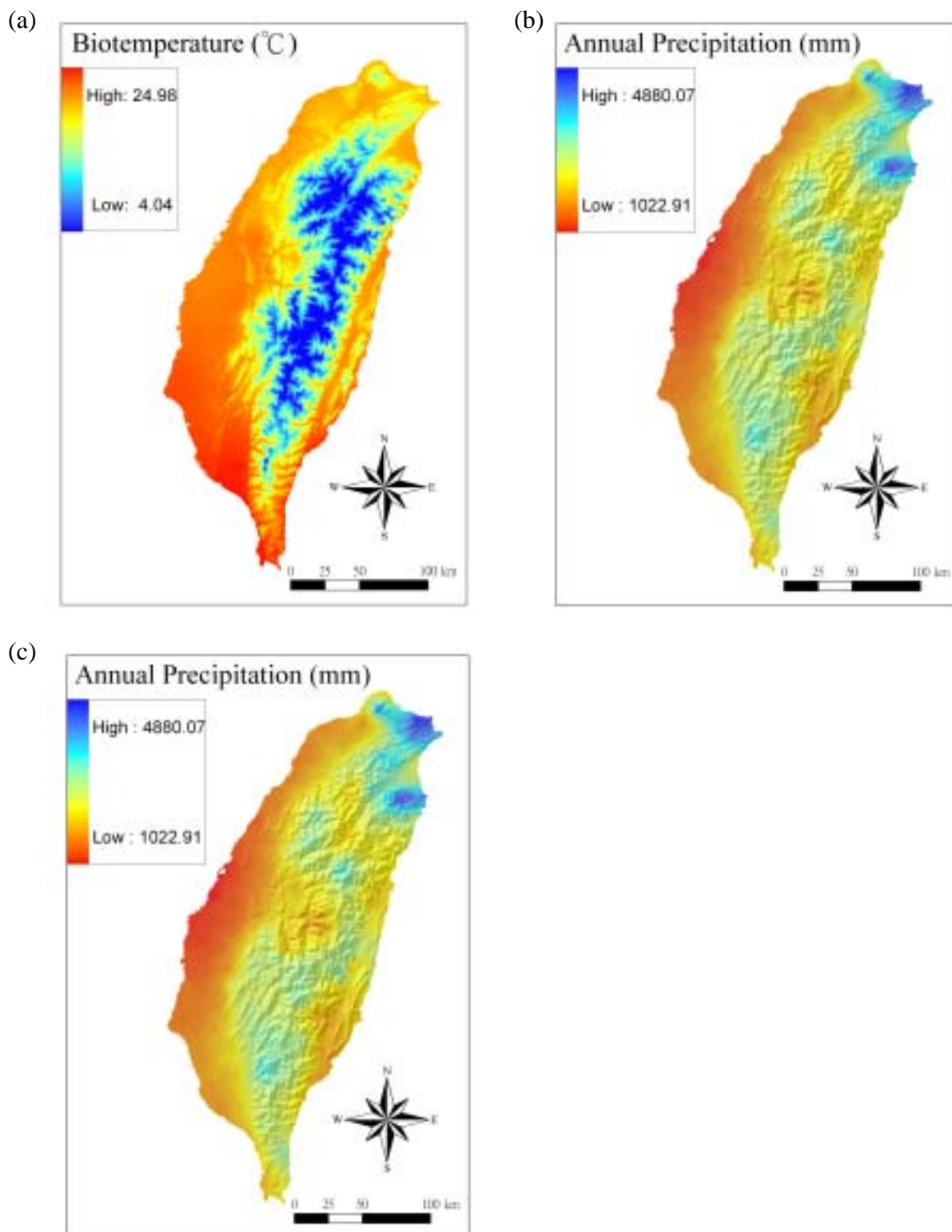


圖一. Holdridge 世界生命帶或植物群系類型(重繪自 Holdridge, 1967, figure 1)。

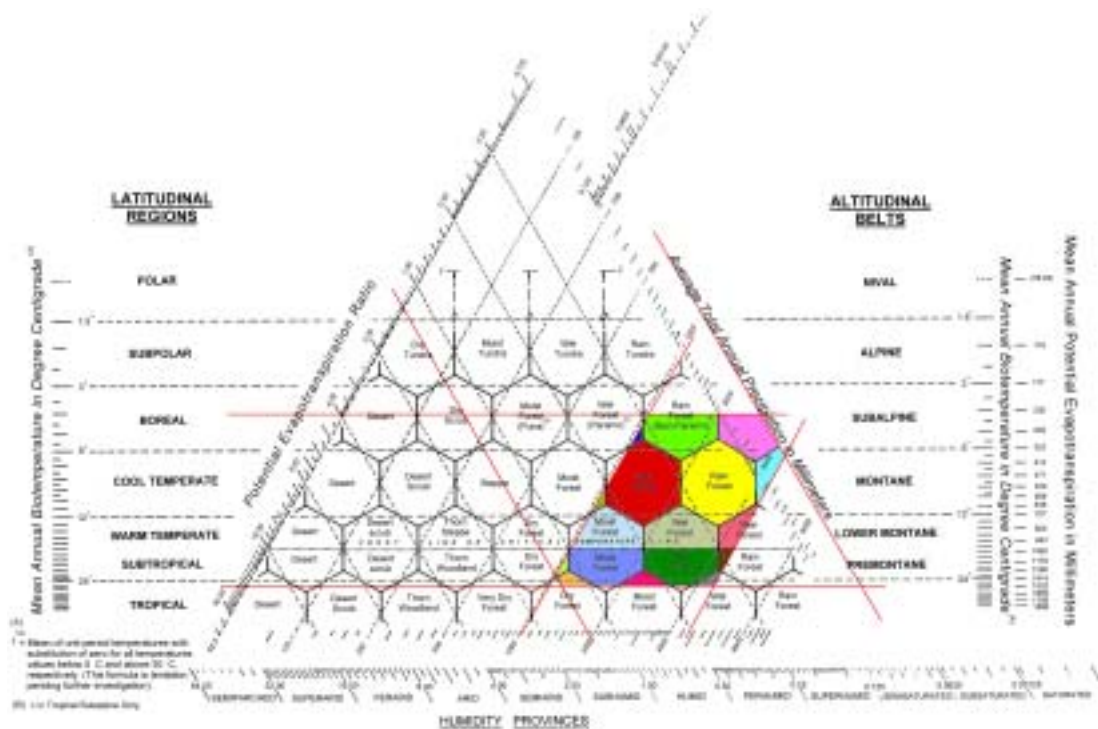
三、結果與討論

(一) Holdridge 生命帶之製圖結果

本研究利用臺灣各月平均氣溫、降水分布圖計算 Holdridge 生命帶系統的 3 個氣候參數，結果顯示 BT 之範圍介於 4.04 ~ 24.98 (圖二-a)，對應於 Holdridge 系統海拔帶的平地與亞高山(subalpine)之間，及其緯度區的熱帶與北方(boreal)之間；P 之範圍介於 1022.91 ~ 4880.07 mm(圖二-b)，PER 之範圍介於 1.31 ~ 0.08(圖二-c)，對應於 Holdridge 系統濕度級的亞潤濕(subhumid)與半飽和(semisaturated)之間；將此 3 個參數之範圍標示於 Holdridge 生命帶圖示上，顯示最多可能有 17 種生命帶出現於臺灣(如圖三)。進一步依據 Holdridge 定義將臺灣 100 m 網格之 BT、P、PER 值指定到所屬之蜂巢狀生命帶並加以製圖，發現實際出現於臺灣之生命帶僅有 13 種(如圖四、表一)，其中圖三之右上角粉紅色部分是 Holdridge 未定義之更潮濕的區域與生命帶，本文依其氣候參數併入於最相近的亞高山北方雨林(Subalpine Boreal Rain Forest)。圖五及表一為依 Holdridge 生命帶系統所劃分出之臺灣各類生命帶，其中亞高山北方雨林(Subalpine Boreal Rain Forest，圖五-a)僅出現於玉山、雪山、南湖大山等高山頂峰附近；山地涼溫帶潮濕森林(Montane Cool-Temperate Wet Forest，圖五-b)，主要位於海拔 2,000 ~ 2,400 m 以上之中央山地軸；山地涼溫帶雨林(Montane Cool-Temperate Rain Forest，圖五-c)分布於七家灣溪集水區稜脊下方與濁水溪上游；淺山暖溫帶雨林(Low-Montane Warm-Temperate Rain Forest，圖五-d)分布於七星山、金瓜石、大元山附近；淺山暖溫帶潮濕森林(Low-Montane Warm-Temperate Wet Forest，圖五-e)則沿著山地涼溫帶潮濕森林向下延伸至海拔 1,100 ~ 1,600 m 的中央山地；淺山暖溫帶潤濕森林(Low-Montane Warm-Temperate Moist Forest，圖五-f)僅於丹大溪、卡社溪間之加年瑞山附近 1,400 m 左右山麓；山前亞熱帶雨林(Premontane Subtropical Rain Forest，圖五-g)僅於淺山暖溫帶雨林金瓜石、大元山下方之山麓附近；山前亞熱帶潮濕森林(Premontane Subtropical Wet Forest，圖五-h)沿著淺山暖溫帶潮濕森林向下延伸，廣泛分布於全臺山前坡地；山前亞熱帶潤濕森林(Premontane Subtropical Moist Forest，圖五-i)廣泛分布於全臺丘陵平原；山前亞熱帶乾燥森林(Premontane Subtropical Dry Forest，圖五-j)位於彰化、雲林近海低地；熱帶潮濕森林(Tropical Wet Forest，圖五-k)僅出現於金瓜石山的山前亞熱帶雨林臨海之局部地區；熱帶潤濕森林(Tropical Moist Forest，圖五-l)則夾於山前亞熱帶潤濕森林與山前亞熱帶潮濕森林之間；熱帶乾燥森林(Tropical Dry Forest，圖五-m)分布於彰化、雲林山前亞熱帶乾燥森林靠內陸一帶。綜上所述，淺山暖溫帶潮濕森林(圖五-e)、山前亞熱帶潮濕森林(圖五-h)、山前亞熱帶潤濕森林(圖五-i)三類合計佔臺灣面積 81.76%，由圖四、圖五可看出 Holdridge 生命帶概略地反映出臺灣之氣候變異，但其中仍存在一些不合理之處，如山前亞熱帶乾燥森林(圖五-j)分布於海拔較低的彰化雲林沿海，而熱帶乾燥森林(圖五-m)卻在更內陸呈帶狀分布；另如熱帶潤濕森林(圖五-l)處於兩種亞熱帶森林(圖五-h、圖五-i)之間亦不合理。另 Holdridge 生命帶系統之 BT 可與海拔帶、緯度區相對應，許多研究忽略山區海拔帶之氣溫變異(Liu et al., 1998)，僅計算水平之緯度區的氣溫變化，此在大尺度區域研究時或能適用，但對臺灣顯著的山地氣溫與植群變化卻有嚴重之偏差，Holdridge(1967)估算海拔帶之生物溫度係採用氣溫海拔遞減率-6 /1,000 m，但由於本文使用的月平均氣溫分布圖，係以所有測站之氣溫-海拔迴歸模型為主，再疊合其殘差空間推估值而來，因此可較 Holdridge(1967)更準確估算全臺各網格之 BT。



圖二. 臺灣 Holdridge 生命帶之(a)年平均生物溫度(BT)；(b)年平均降水量(P)；(c)年平均潛在蒸發散量比例(PER)。



圖三. 臺灣之 BT、P、PER 氣候參數可能出現於 Holdridge 生命帶之範圍。

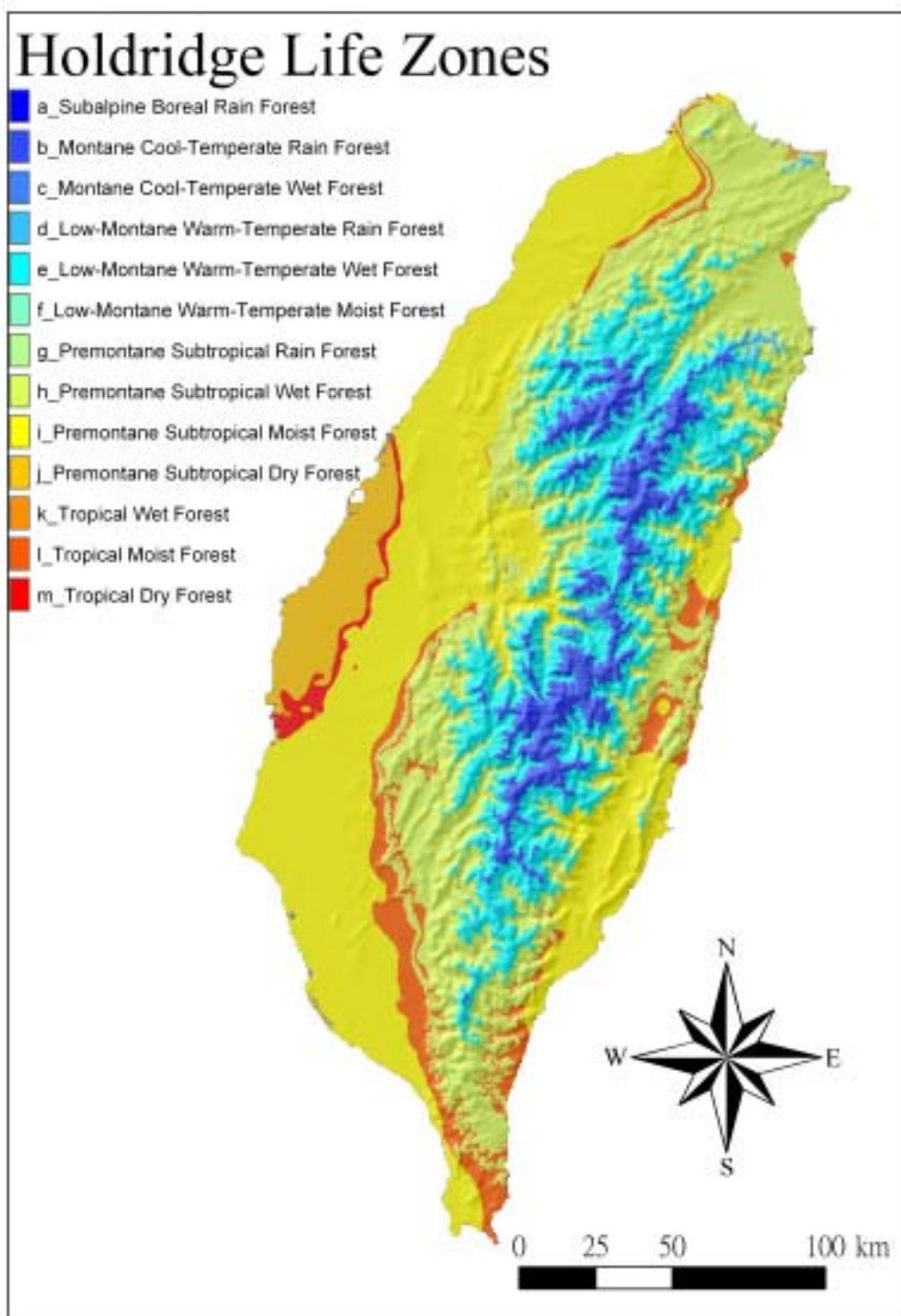
(二) 本文與前人研究之分類結果的比較

馮豐隆&高堅泰(2001)、羅悅心&關秉宗(1999)均曾以 Holdridge 生命帶劃分臺灣之植群，本研究之結果與其差別之處在於：

1. 測站資料與估計方法：本研究採用臺灣所有測站與 1960~2002 年長期氣象數據之通過檢定程序的資料(邱清安等，2005)，篩選出 219 個氣溫測站及 877 個降水測站資料，以 100 m 數值高程模型(digital elevation model, DEM)結合迴歸分析與地理統計方法推估之月平均氣溫、降水分布圖(邱清安&林博雄，2004)，本研究採用之氣候空間推估應較馮豐隆&高堅泰(2001)使用 26 個測站之氣溫資料以趨勢面法(Trend method)估計氣溫、使用 818 個測站之降水資料以克利金法(Kriging)推估降水量，及羅悅心&關秉宗(1999)研究臺灣中部高山(1,700 m 以上)使用 3 個測站與第五代中尺度數值氣候模式(MM5)之估計值為精細。

2. 網格大小：馮豐隆&高堅泰(2001)使用 1 km 網格，羅悅心&關秉宗(1999)使用 MM5 模式，其網格大小應至少在 5 km 以上。而本研究之網格大小為 100 m，較能闡明臺灣山岳地形之氣候與植群的急劇變化。

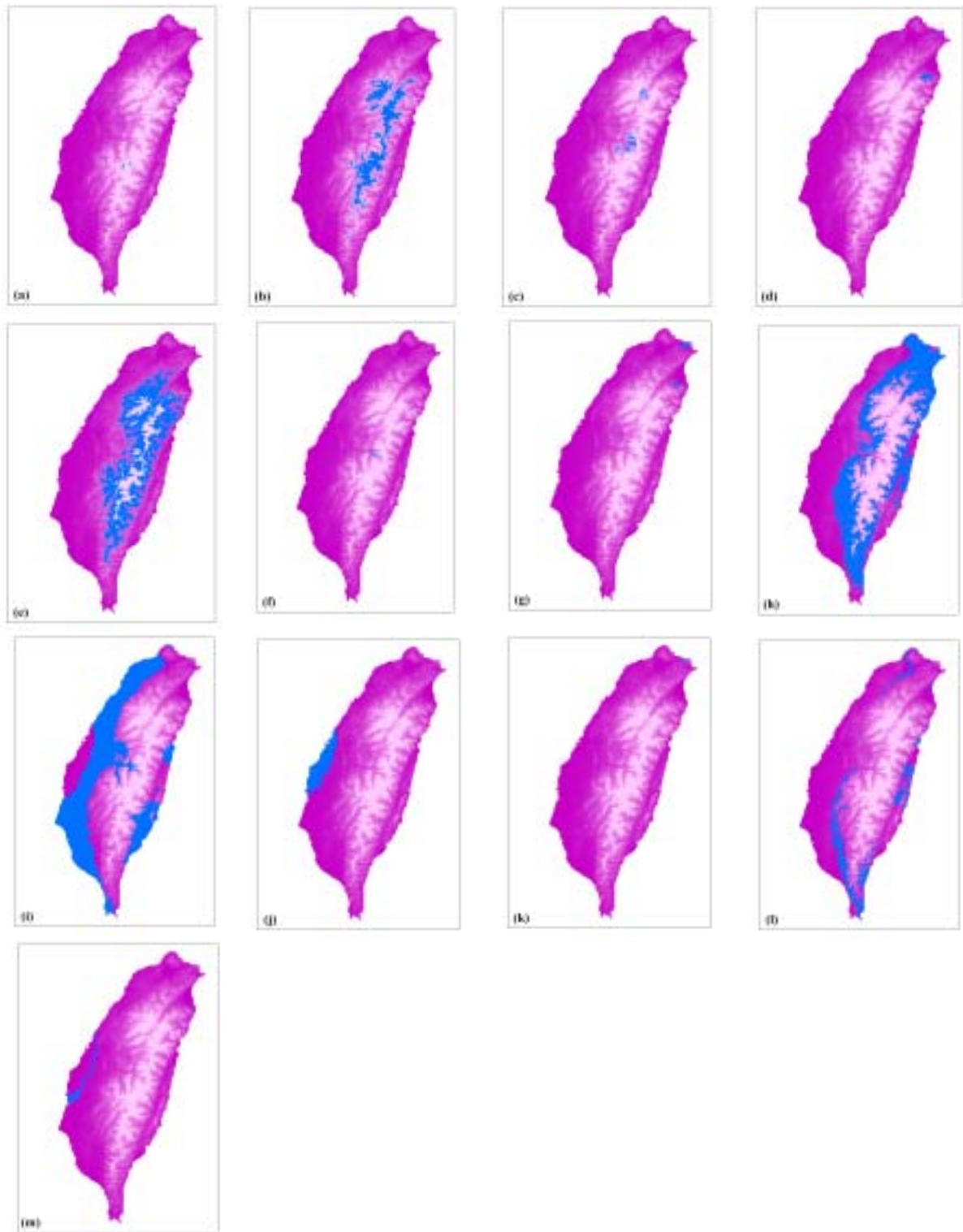
3. 生命帶類型：本文採用 Holdridge(1967, figure 2)以 $BT = 18$ 為界線，代表可用來劃分暖溫帶與亞熱帶之霜線(frost line)、關鍵溫度線(critical temperature line)的意見，區別出在臺灣佔有 86.11%面積的暖溫帶-亞熱帶之生命帶類型，故較馮豐隆&高堅泰(2001)所劃分出 10 型為細；但本文對羅悅心&關秉宗(1999)所論及之各生命帶類型間的過渡型則不予討論，因為本文目的在研究更基本的問題—Holdridge 系統的生命帶類型是否適用於臺灣。



圖四. 臺灣之 Holdridge 生命帶的類別圖。

表一. 實際出現於臺灣之 Holdridge 生命帶類型與面積。

代碼 code	生命帶 life zone	面積(ha) area	百分率(%) percent
a	亞高山北方雨林 Subalpine Boreal Rain Forest	2,327	0.06
b	山地涼溫帶雨林 Montane Cool-Temperate Rain Forest	238,526	6.62
c	山地涼溫帶潮濕森林 Montane Cool-Temperate Wet Forest	15,896	0.44
d	淺山暖溫帶雨林 Low-Montane Warm-Temperate Rain Forest	8,734	0.24
e	淺山暖溫帶潮濕森林 Low-Montane Warm-Temperate Wet Forest	662,207	18.37
f	淺山暖溫帶潤濕森林 Low-Montane Warm-Temperate Moist Forest	1,610	0.04
g	山前亞熱帶雨林 Premontane Subtropical Rain Forest	6,951	0.19
h	山前亞熱帶潮濕森林 Premontane Subtropical Wet Forest	1,082,869	30.03
i	山前亞熱帶潤濕森林 Premontane Subtropical Moist Forest	1,202,641	33.36
j	山前亞熱帶乾燥森林 Premontane Subtropical Dry Forest	139,820	3.88
k	熱帶潮濕森林 Tropical Wet Forest	1,808	0.05
l	熱帶潤濕森林 Tropical Moist Forest	207,441	5.75
m	熱帶乾燥森林 Tropical Dry Forest	34,703	0.96



圖五. Holdridge 之各種生命帶類型於臺灣之分布。紅色部分為數值高程模型(DEM)；藍色部分為 Holdridge 之 a~m 生命帶類型，參見圖四、表二及內文。

(三) 生命帶之命名問題

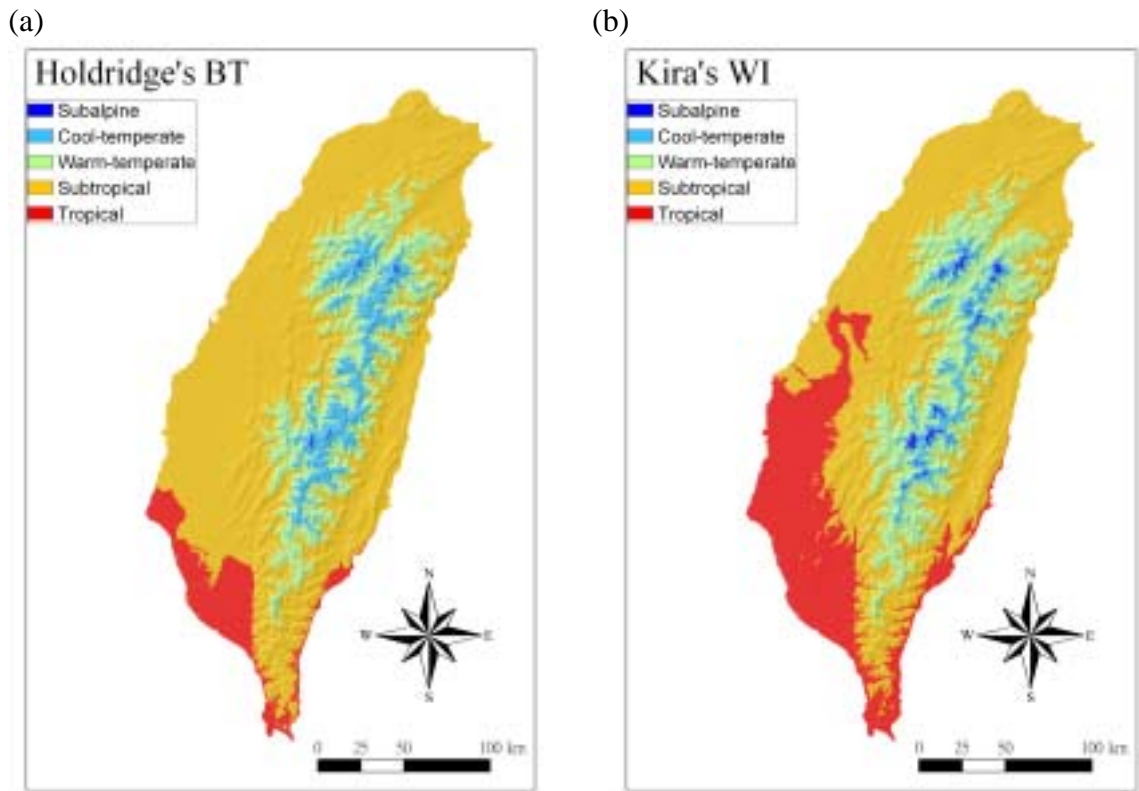
Holdridge(1967)將生命帶視為植物群系(plant formation)之同義詞，但其所劃分出之生命帶/植物群系的術語多與臺灣植群研究所慣用者相異，比如亞高山北方雨林約相當於 Su(1984b)之亞高山冷溫帶冷杉林帶，而山地涼溫帶潮濕森林約相當於 Su(1984b)之上層山地涼溫帶鐵杉雲杉林帶，二者之差異主要是由於 Su(1984b)以森林樹種組成分進行植群帶之命名，而 Holdridge(1967)則以植群之形相(physiognomy)為生命帶命名，在應用上 Holdridge 系統所能提供的訊息遠不及 Su(1984b)來得貼切，且不易表明植群類型，如亞高山北方雨林、山地涼溫帶潮濕森林這類的名詞，並不易被理解，甚至造成混亂，因此本研究認為 Su(1984b)之植群帶命名方式較有利於臺灣之生態學研究、自然資源管理的應用。

(四) 與 Su(1984b)之山地植群帶的比較

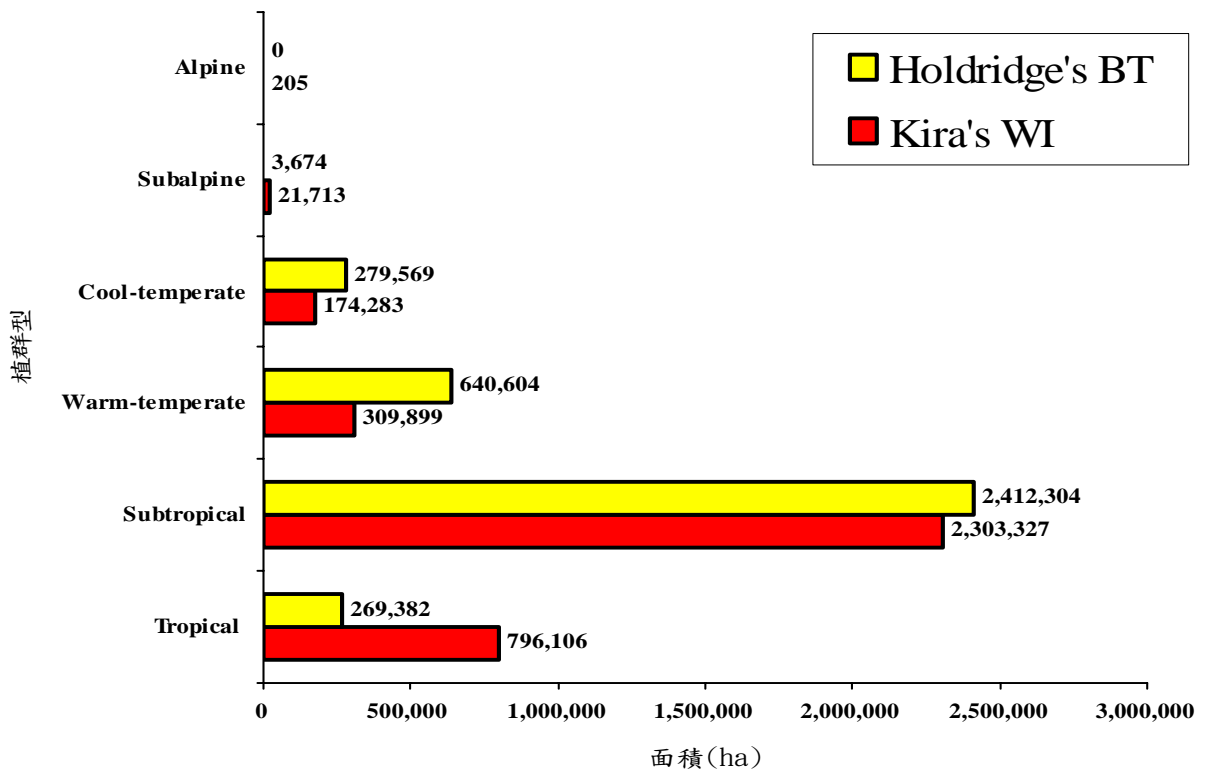
為瞭解 Holdridge 生命帶是否適用於臺灣，本文以目前最被接受與運用的 Su(1984b)山地植群帶狀分化之研究為比較對象。雖然 Su(1984b)之山地植群帶劃分主要是以熱量為依據，而 Holdridge(1967)生命帶則同時考慮熱量與水分，但由於當水分因子尚不至對植物生長形成明顯之限制時，植群之變異主要仍由熱量因子所控制(Liu *et al.*, 1998)，因此 Su(1984b)與 Holdridge(1967)之熱量劃分方式在山地植群變異上仍具有比較的價值。Su(1984b)使用的 Kira 溫量指數(WI)與 Holdridge(1967)之 BT 兩者均屬積溫(thermal-time)之生長度日法(degree days)，較簡單的平均溫度(mean temperature)，對植物生長有更直接的關係(Cramer & Leemans, 1993)，也較傳統的生長日數法(calendar days)具有更高的精確性(Wang, 1960)，但 WI 與 BT 兩者計算方法並不相同，WI 加總了某地全年內各月平均氣溫大於 5 之度數，BT 則總計了 0 ~ 30 間的度數。另外由於 Su(1984b)與 Holdridge(1967)對植群之命名術語不同，因此本研究由兩者之海拔帶與氣候帶的對應關係，定義出可茲比較之術語基準(如表二)。圖六為臺灣山地植群依 Su(1984b)之 WI 與 Holdridge(1967)之 BT 所劃分植群帶的比較，圖七為兩者各植群帶所佔之面積的比較，其中依 Holdridge 之 BT 所劃分出的亞高山帶範圍遠少於 Su 之 WI，僅出現於玉山、阿里山、雪山、南湖大山等山峰頂點附近；涼溫帶範圍則是 BT 大於 WI；兩者之暖溫帶範圍大致相當；BT 所劃分出的熱帶範圍亦遠少於 WI，僅分布於臺灣南部平原與近海區域。綜合言之，Kira 溫量指數(WI)與 Holdridge 生物溫度(BT)均可用來代表植物/植群生長發育之熱量需求，但兩者仍有明顯之差異，此雖與兩者之計算方式的不同有關，但更大的差別在於兩者定義各植群類型之積溫的值域不同所致。Holdridge 系統起源於中美洲熱帶的哥斯大黎加(Costa Rica)，在應用上卻屬於全球性大尺度的植群-氣候分類系統，因此對區域性之氣候-植群關係可能不適用，張新時(1993)認為 Holdridge 系統在中國大陸應用時須加以修正，羅悅心&關秉宗(1999)也指出臺灣高海拔山區因有低溫多雨之特點，由 Holdridge 生命帶模式觀之，可能屬於特殊地帶，並不一定適用；而 Kira 溫量指數係起源於日本，經日本、韓國、澳洲等地的應用(Yim & Kira, 1975, 1977；Kira, 1977；Federici & Pignatti, 1991；倪健，1997；劉春迎，1999)，顯示其更適用於位處東南亞的臺灣。

表二. 臺灣山地植群之帶狀分化及溫度範圍(取自 Su, 1984b ; Holdridge, 1967 , 灰底部分為兩者之對應帶)

Su(1984b)							Holdridge(1967)			
Altitude zone 海拔帶	Vegetation zone 植群帶	Alt.(m) 海拔高度	Tm() 年均溫	WI() 溫暈指數	Equivalent Climate 相當氣候帶	Area(ha)(%) 面積比例	BT() 生物溫度	latitudinal regions 緯度區	Altitudinal belts 海拔帶	Area(ha)(%) 面積比例
-	-	-	-	-	-	-	<1.5	Polar 極地	Nival 冰雪帶	-
Alpine 高山帶	Alpine vegetation 高山植群帶	>3600	<5	<12	Subarctic 亞寒帶	205 (0.01)	1.5-3.0	Subpolar 亞極地	Alpine 高山帶	-
Subalpine 亞高山帶	Abies zone 冷杉林帶	3100-3600	5-8	12-36	Cold- temperate 冷溫帶	21713 (0.60)	3.0-6.0	Boreal 北方	Subalpine 亞高山帶	3674 (0.10)
Upper montane 山地上層帶	Tsuga-Picea zone 鐵杉冷杉林帶	2500-3100	8-11	36-72	Cool- temperate 涼溫帶	174283 (4.83)	6.0-12.0	Cool- temperate 涼溫帶	Montane 山地帶	279569 (7.75)
Montane 山地帶	Quercus (upper) zone 櫟林帶(上層)	2000-2500	11-14	72-108	Temperate 溫帶	309899 (8.60)	12.0-17.0	Warm- temperate 暖溫帶	Lower-montane 淺山帶	640604 (17.77)
	Quercus (lower) zone 櫟林帶(下層)	1500-2000	14-17	108-144	Warm- temperate 暖溫帶					
Submontane 山地下層帶	Machilus-Castanopsis zone 楠櫟林帶	500-1500	17-23	144-216	Subtropical 亞熱帶	2303327 (63.88)	17.0-24.0	Subtropical 亞熱帶	Premontane 山前帶	2412304 (66.91)
Foothill 山麓帶	Ficus-Machilus zone 榕楠林帶	<500	>23	>216	Tropical 熱帶	796106 (22.08)	>24.0	Tropical 熱帶	-	269382 (7.47)



圖六. 依 Holdridge 生物溫度(BT)與 Kira 溫量指數(WI)所劃分之植群帶的分布圖。



圖七. 依 BT 與 WI 所劃分之植群帶的面積比較。

(五) Holdridge 生命帶系統在臺灣之適用性評析

Cramer & Leemans(1993)認為 Holdridge 系統最大的優點在於完全的數量化分類依據，而有利於電腦之應用，但 Holdridge 生命帶未能顯示植群對氣候之反饋(feedback)(Yates *et al.*, 2000)，亦未考慮生理之改變，僅能顯示大尺度的生命帶反應(Chen *et al.*, 2003)，即使僅做為靜態的氣候-植群分類模型，在使用時常須加以修正(Lugo *et al.*, 1999)，Prentice(1990)將其改良後在全球應用的精度仍不超過 60%。倪健(1998)認為 Holdridge 系統以氣溫之 0 及 30 做為植物生長之溫度上下限亦值得商榷，也未考慮水平帶和山地帶之 BT 的差異，以 $BT = 18$ 作為劃分亞熱帶和暖溫帶之霜線(frost line)不是對任何地區都適用，Lugo *et al.*(1999)即以實際的長期日最低氣溫(daily minimum air temperature)來決定美國之霜線的分布。Liu *et al.*(1998)認為 Holdridge 系統潛在蒸發散量(PET)與土壤水份、空氣濕度、風速等因子有關，而非僅為 BT 單一因子之函數，定義 $PET = 58.93 \times BT$ 僅是基於有限觀測的半經驗函數(pseudo-empirical function)而非物理原理(Cramer & Leemans, 1993)，與 Thornthwaite(1948)系統相較，Holdridge 系統之 PET 在高海拔地區較低，在亞熱帶、熱帶地區則較高(Tuhkanen, 1980)。

本研究藉由 Holdridge 生命帶系統的繪製及上述的比較討論，可發現目前臺灣在應用氣候-植群分類系統或指標的一些問題：

1. 氣候參數的選用與計算：Box(1981)認為 Holdridge 系統之氣候指標過於簡化，Prentice(1990)也認為 Köppen(1931)、Thornthwaite(1948)、Troll & Paffen(1963)等系統，比 Holdridge 系統更能說明氣候對植物的乾旱壓力與季節變化。然相對的，愈複雜的模型可能更貼近真實狀態，但所需之資料愈多愈精細，在實務上某些氣候參數並不易獲得或估計，比如 Penman(1956)之 PET 估算式被認為最具合理性(Tuhkanen, 1980)，但其風速、淨輻射等多項估算因子卻極不易取得。
2. 氣候-植群分類系統或指標的尺度與選用：至今已超過 100 種以上的氣候分類系統被發表(Essenwanger, 2001)，其中與植物/植群有關之重要的氣候-植群分類系統或指標，多被使用於全球性的大尺度的應用，臺灣為位處東南亞之亞熱帶高山小島，現有氣候-植群分類系統或指標仍待逐一在本地實作繪製與探討其適用性。
3. 氣候與植群之劃分類別的對應：由本文及 Cramer & Leemans(1993)、Yates *et al.*(2000)、Pan(2003)之研究可知，不同的氣候-植群分類系統便有不同的分類準則，產生的植群類型之名稱與定義常有不同，進行比較前的對照轉換仍不免有主觀成分。
4. 缺乏可驗證的資料：比較不同的氣候-植群分類系統/指標之結果，應有可供驗證之資料，Lugo *et al.*(1999)評估 Holdridge 系統在美國之適用性時，即以其製圖結果與衛星影像分類圖、Bailey(1995)生態區(ecoregion)、BIOME 模型輸出(Prentice *et al.*, 1992)、潛在植群圖相(potential vegetation map)比較，然臺灣之植群圖預計在 2008 年完成(陳明義等, 2004)，亦尚無全臺之遙測影像植群分類結果，在目前仍缺乏可茲驗證的資料。

四、結 論

在進行氣候-植群之類型的劃分時，不可能考慮所有的氣候因子及其間的交互作用，在實務上可獲取的氣候資料亦常有限制，因此常以劃分之目的為導向。Holdridge 系統以簡單易得的氣溫與降水資料，即能計算出 3 個氣候參數，並以簡單易懂的蜂巢狀生命帶圖解進行植群之劃分，因此廣為相關研究所使用，本文利用 GIS 計算並繪製臺灣之 Holdridge 氣候參數及其生命帶，認為 Holdridge 系統之尺度過大，且生命帶與植物群系的命名並不適用於臺灣這一類亞熱帶高山島嶼。本文同時也繪製了 Holdridge 生物溫度(BT)與 Su(1984b)使用之 Kira 溫量指數(WI)在臺灣的劃分結果，指出兩者計算方式的不同，及對應植群類型之值域的差異；由於 Holdridge 系統將水平緯度帶與垂直海拔帶之氣候指標值視為相同意義，但山區與全球性帶狀氣候之典型仍有所不同(Lydolph, 1985)，因此應用於全球尺度的 Holdridge 生命帶系統並不適用於亞熱帶高山島嶼的臺灣。

均質的生態系單元對環境變化具有較一致的反應，也便於管理措施之擬定，因此對生態系分類為科學研究與經營管理的基礎工作，其中氣候-植群分類系統為最常被用來分類生態系的方法之一，Lugo *et al.*(1999)曾提出生態系分類系統的要件，包括：(1)基於地理參照(geo-referenced)資料、(2)盡可能客觀、(3)盡可能反映最嚴密的生態系趨動力、(4)階層式的(hierarchical)、(5)便於擴展或縮減複雜尺度(expanding or contracting complexity scale)、(6)能用於預測全球氣候變遷研究、(7)具全球適用性、(8)可驗證其有效性、(9)符合氣候分類與植群功能之原理、(10)能接受有利於分析的新資料。對臺灣而言，目前首要工作應是逐一繪製、實作研究各種氣候-植群分類系統或指標，找出適於本地的方法，以做為未來潛在植群圖、氣候變遷等研究的基礎。

五、引用文獻

- 邱清安，1996。插天山自然保留區植相與植群之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文，共 162 頁。
- 邱清安、林博雄，2004。由測站資料推估臺灣之氣溫與降水之空間分布，大氣科學 **34**(4): 329-350。
- 邱清安、林博雄、謝旻耕，2005。臺灣地區氣象測站之詮釋資料與日氣溫、日降水量之資料檢定，氣象學報 **45**(3): 33-45。
- 倪健，1997。KIRA 指標的拓展及其在中國植被與氣候關係研究中的應用，應用生態學報，**8**(2): 161-170。
- 張新時，1993。研究全球變化的植被-氣候分類系統，第四紀研究，**2**: 157-169。

- 陳明義、方國運、俞秋豐，2004。臺灣植群多樣性調查與製圖計畫之推動，第二屆臺灣植群多樣性研討會論文集，第 1-8 頁。台北市，林務局。
- 馮豐隆、高堅泰，2001。Holdridge 生態區分類方法在臺灣的應用與模擬，林業研究季刊，**23**(1): 83-100。
- 劉春迎，1999。KIRA 指標在中國植被與氣候關係研究中的應用，植物生態學報，**23**(2): 125-138。
- 謝宗欣、黃增泉，1999。臺灣產風輪菜屬之地理分布及氣候環境，國立臺灣博物館年刊，**42**: 1-10。
- 羅悅心、關秉宗，1999。氣候變遷對臺灣中部山區植物群系之影響(一)以 Holdridge 生物區帶模式評估，臺大實驗林研究報告，**13**(3): 241-253。
- 蘇鴻傑、陳子英，1991。臺灣根節蘭及鶴頂蘭之地理分布及氣候環境，臺大農學院研究報告，**31**(4): 40-55。
- Bailey, R. G., 1995. *Description of the Ecoregions of the United States*. USDA Forest Service Miscellaneous Publication 1391. Washington, D.C.
- Box, E. O., 1981. *Macroclimate and Plant Forms: a Introduction to Predictive Modeling in Phytogeography*. Hague: Dr. W. Junk Publishers, 258pp.
- Brovkin, V., 2002. Climate-vegetation interaction, *Journal de Physique IV – Proceedings* **12**: 10-57.
- Brovkin, V., A. Ganopolski and Y. Svirezhev, 1997. A continuous climate-vegetation classification for use in climate-biosphere studie, *Ecological Modelling* **101**: 251-261.
- Chen, X., X. S. Zhang and B. L. Li, 2003. The possible response of life zones in China under global climate change, *Global and Planetary Change* **38**: 327-337.
- Cramer, W. P. and R. Leemans, 1993. Assessing impacts of climate change on vegetation using climate classification systems. In: Lolomon, A. M. and H. H. Shugart (eds.). *Vegetation Dynamics & Global Change*. pp. 190-217. Chapman and Hall, New York.
- Essenwanger, O. M., 2001. *World Survey of Climatology. General Climatology 1C: Classification of Climates*. Amsterdam: Elsevier, 113pp.
- Federici, F. and S. Pignatti, 1991. The warmth index of Kira for the interpretation of vegetation belts in Italy and SW. Australia two regions with Mediterranean type bioclimates, *Vegetatio* **93**: 91-99.
- Foley, J. A., S. Levis, I. C. Prentice, D. Pollard and S. L. Thompsons, 1998. Coupling dynamic models of climate and vegetation, *Global Change Biology* **4**: 561-579.

- Franklin, J., 1995. Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients, *Progress in Physical Geography* **19**(4): 474-499.
- Guisan, A. and N. E. Zimmermann, 2000. Predictive habitat distribution models in ecology, *Ecological Modelling* **135**: 147-186.
- Holdridge, L. R., 1947. Determination of world plant formations from simple climatic data, *Science* **105**: 367-368.
- Holdridge, L. R., 1967. *Life Zone Ecology*. San Jose, Costa Rica: Tropical Science Center, 54pp.
- Kira, T., 1977. A climatological interpretation of Japanese vegetation zones. In: Miyawaki, A. and R. Tüxen (eds.). *Vegetation Science and Environmental Protection*. pp. 21-30., Maruzen, Tokyo.
- Köppen, W., 1931. *Grundriss der Klimakunde*, Berlin: DeGruyter. 388pp.
- Liu, P. J., A. Kondoh and N. Takeuchi, 1998. Study of changes in life zone distribution in north-east China by climate-vegetation classification, *Ecological Research* **13**: 355-365.
- Lugo, A. E., B. R. Dodson, T. S. Smith and H. H. Shugart, 1999. The Holdridge life zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping, *Journal of Biogeography* **26**: 1025-1038.
- Lydolph, P. E., 1985. *The Climate of the Earth*. Roman & Allanheld, Totowa, 386pp.
- Pan, Y., X. Li, P. Gong, C. He, P. Shi and R. Pu, 2003. An integrative classification of vegetation in China based on NOAA AVHRR and vegetation-climate indices of the Holdridge life zone, *International Journal of Remote Sensing* **24**(5): 1009-1027.
- Peng, C., 2000. From static biogeographical model to dynamic global vegetation model: a global perspective on modelling vegetation dynamics, *Ecological Modelling* **135**: 33-54.
- Penman, H. L., 1956. Estimating evaporation. *Transaction of American Geophysical Union*. **37**(1): 43-50.
- Pickett, S. T. A., G. Kolasa and C. G. Jones, 1994. *Ecological Understanding: the Nature of Theory and the Theory of Nature*. Academic Press, New York. 206pp.
- Powell, G. V. N., J. Barborak and S. M. Rodriguez, 2000. Assessing representativeness of protected natural areas in Costa Rica for conserving biodiversity: a preliminary gap analysis, *Biological Conservation* **93**: 35-41.
- Prentice, K. C., 1990. Bioclimatic distribution of vegetation for general circulation model, *Journal of Geophysical Research* **95**(D8): 11,811-11,830.

- Prentice, K. C., W. Cramer, S. P. Harrison, R. Leemans, R. A. Monserud and A. M. Solomon, 1992. A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate, *Journal of Biogeography* **19**: 117-134.
- Su, H. J., 1984a. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (). Analysis of the variations in climate factors, *Quarterly Journal of Chinese Forestry* **17**(3): 1-14.
- Su, H. J., 1984b. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (). Altitudinal vegetation zones in relation to temperature gradient, *Quarterly Journal of Chinese Forestry* **17**(4): 57-73.
- Su, H. J., 1985. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (). A Scheme of geographical climatic regions, *Quarterly Journal of Chinese Forestry* **18**(3): 33-44.
- Thorntwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate, *The Geographical Review* **38**: 57-94.
- Troll, C. and K. Pfaffen, 1963. Seasonal climate of the Earth. In: Landsberg, H. E., H. Lippmann, K. H. Pfaffen and C. Troll (eds.) *World Map of Climatology*. Berlin: Leipzig.
- Tuhkanen, S., 1980. *Climatic Parameters and Indices in Plant Geography*. Almqvist and Wiksell International, Sweden, 110pp.
- Wang, J. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology* **41**:785-790.
- Woodward, F. I. and W. Cramer, 1996. Plant functional types and climatic change: introduction. *Journal of Vegetation Science* **7**:306-308.
- Woodward, F. I., 1987. *Climate and Plant Distribution*. Cambridge University Press, Cambridge, 174pp.
- Yates, D. N., T. G. F. Kittel and R. F. Cannon, 2000. Comparing the correlative Holdridge model to mechanistic biogeographical models for assessing vegetation distribution response to climatic change, *Climatic Change* **44**: 59-87.
- Yim, Y. J. and T. Kira, 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula. . Distribution of some indices of thermal climate, *Japanese Journal of Ecology* **25**: 77-88.
- Yue T., J. L. Liu, S. E. Jorgensen, Z. Gao, S. Zhang and X. Deng, 2001. Change of Holdridge life zone diversity in all of China over half a century, *Ecological Modelling* **144**: 153-162

Mapping Holdridge's life zones at Taiwan

Ching-An Chiu^{1, 1,4}, King-Cherng Lu², Po-Hsiung Lin³, Min-Chun Liao²

(Manuscript received 17 October 2004 ; accepted 6 April 2005)

ABSTRACT : The climate exerts the dominant control on the spatial distribution of the major vegetation types. Consequently, climatic data can predict vegetation types relying on climate-vegetation classification model. This study manipulated air temperature and precipitation data in ArcGIS software to calculate three parameters of Holdridge's life zone and map life zones / vegetation formations. There were 13 life zones at Taiwan. We compared the results of Holdridge's life zones with the predecessors, also gave discussion on the future work of applying climate-vegetation classification model.

KEYWORDS : climate-vegetation classification model, Holdridge life zone, Geographic Information System (GIS)

-
1. Shei Pa National Park.
 2. Department of Forestry, National Chung Hsing University.
 3. Department of Atmospheric Science, National Taiwan University.
 4. Corresponding author. E mail: fagus@spnp.gov.tw