

由館藏標本探討溫度變化對臺灣熱帶及溫帶 植物花期之影響

Using herbarium collections to evaluate the influence of air temperature on plant flowering time in tropical and temperate Taiwan

王玉婷¹ 林奐宇² 陳建文² 王相華^{1,*}

Yu-Ting Wang¹, Huan-Yu Lin², Chien-Wen Chen² and Hsiang-Hua Wang^{1,*}

¹行政院農業委員會林業試驗所-恆春研究中心 94606屏東縣恆春鎮公園路203號

²行政院農業委員會林業試驗所植物園組 10066台北市南海路53號

¹Hengchun Research Center, Taiwan Forestry Research Institute, Pingtung, Taiwan

²Division of Botanical Garden, Taiwan Forestry Research Institute, Taipei, Taiwan

*通訊作者：hhwang@tfri.gov.tw

*Corresponding author: hhwang@tfri.gov.tw

摘 要

全球暖化已逐漸改變許多生物的物候現象，雖然大多數地區仍缺少長期的植物物候調查紀錄，但是透過植物標本館保留的採集標本，仍可評估過往至現今的植物物候變化情形。本研究以恆春半島、蘭嶼的熱帶植物及高山地區的溫帶植物為對象，藉由查閱台灣主要植物標本館之館藏標本及氣象站紀錄，檢驗氣溫變化對於這些地區植物花期的影響情形，並找出具有潛力的指標性物種。分析的結果顯示高山地區的植物開花期集中於夏季，且有較高比例的物種開花日與氣溫呈現明顯的負相關，亦即氣溫升高容易導致植物出現提前開花現象，因此推測高山地區之溫帶物種比恆春半島、蘭嶼的熱帶物種更適合作為氣候變遷的指標。本研究初步評估，具有氣候變化指標潛力的物種有6種，包括分布在蘭嶼的貝木，以及分布在高山地區的玉山卷耳、臺灣龍膽、玉山薄雪草、短距粉蝶蘭、臺灣黎蘆。

Abstract

Global warming has influenced many animal and plant phenological phenomena. Although most areas lack long-term plant phenological records, researchers can still estimate plant phenological changes from the past to present through the specimens reserved in herbarium. Our study focused on tropical species of Hengchun Peninsula, Orchid Island, and temperate species in high mountain areas. Based on the specimens in Taiwan's main herbariums and weather station records, we examined the influence of air temperature change on plant flowering time in tropical and temperate Taiwan, and tried to find potential indicator species. The results show that the flowering time of high mountain species were more synchronized and concentrated in the summer, and higher proportion of species showed negative correlation between mean annual flowering date and annual mean temperature. We propose that the flowering time of high mountain area species is more sensitive to climate change than the Hengchun Peninsula and Orchid Island species. Six species were evaluated as having the potential to be indicator species of climate change. They are *Timonius arboreus* on Orchid Island, and *Cerastium trigynum*, *Gentiana davidii*, *Leontopodium microphyllum*, *Platanthera brevicarata*, *Veratrum formosanum* in high mountain areas.

關鍵詞：氣候暖化、植物標本館、開花日、物候、臺灣

Key words: climate warming, herbarium, flowering date, phenology, Taiwan

收件日期：2014 年 08 月 29 日 接受日期：2014 年 12 月 26 日

Received: August 29, 2014

Accepted: December 26, 2014

緒 言

聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 2007 年評估報告中指出，過去 100 年間地表溫度已上升 0.74°C 左右。地表溫度上升造成許多動植物物候和分佈的改變，像是長距離遷徙的鳥類在春季遷徙與繁殖的時間提早

(Both and Visser 2001, Cotton 2003)，植物、昆蟲、鳥類等物種海拔分佈上移 (Sekercioglu *et al.* 2008; Chen *et al.* 2011)，在植物物候方面，近年來也有許多研究證實溫帶地區植物開花期出現提早的情形 (Sparks *et al.* 2000; Fitter and Fitter 2002; Miller-Rushing and Primack 2008)，也因此植物的開花物候變化常被視為是偵測氣候變遷的重要指標之一 (Amano *et al.* 2010; Tooke and Battey 2010)。

國科會於 2011 年所發布的「臺灣氣候變遷科學報告 2011」中指出，臺灣年平均溫度在 1911-2009 年期間上升 1.4°C，且近 30 年(1980-2009)每 10 年的上升幅度為 0.29°C，幾乎是過去百年趨勢的 2 倍左右(許等 2011)；透過植物物候調查的長期研究，可告訴我們臺灣的生態環境是否也正受到全球暖化的影響。在宜蘭福山植物園已累積有 10 年植栽物候紀錄，由於聖嬰與反聖嬰現象導致 2011 年年初 1~3 月均溫低於 2010 年 2.8°C，調查在這兩年在 2~6 月都有開花植株的物候記錄，平均首次記錄到開花的時間在 2011 年較 2010 延遲約 12 天左右，推測是受溫度影響而導致 2011 年春季開花時間出現延遲(王等 2014)；相同的時期，在雪山地區進行的物候調查研究也發現，有些 3~5 月開花的早花型物種像是玉山杜鵑、玉山櫻草等，在 2011 年始花期晚於 2010 年，此外玉山杜鵑的始花期亦有隨海拔上升而延後的情形(潘 2012)。上述的短期物候調查結果，皆顯示臺灣部分植物物種花期確實會受到溫度變化的影響，然而臺灣過去的物候調查仍多以短期物候調查為主，缺少長時間的物候觀測，無法得知植物物候在過去數十年的變化情況，以及受溫度變化影響之詳細情形。

雖然大多數地區普遍缺乏長期物候調查紀錄，所幸有許多歷史悠久的植物標本館保留了不同時期採集的標本、影像和文字紀錄，可藉由館藏標本與氣象紀錄來檢測全球暖化對於植物長期物候之影響，在北美洲與西藏等地區的館藏標本研究，也發現部分物種花期有往前提早之情形(Calinger *et al.* 2013; Li *et al.* 2013; Miller-Rushing *et al.* 2006; Primack *et al.* 2004)。臺灣植物調查歷史超過一百多年，特別是日治時期(1895-1945)開始

大規模的植物資源調查，成立於 1904 年的臺灣林業試驗所植物標本館與成立於 1929 年國立臺灣大學植物標本館內，收藏大量日治時期至今的標本，藉由收集台灣各標本館的館藏資料，並與過去的氣象資料進行比對，即可檢測臺灣植物開花物候是否受到溫度上升的影響。

臺灣島雖然面積不大，然而受到季風、洋流、颱風等因素影響，又有中央山脈橫亙其中，山勢起伏落差大，導致不同地區出現明顯的氣候差異，為減低區域間氣候差異對植物物候的影響，本研究篩選調查物種時，儘量以侷限分佈之物種作為調查對象，同時考慮植物分布地點鄰近區域是否有設立時間較長的氣象站，可提供長期的氣象資料。

蘭嶼及恆春半島的植物組成與臺灣本島有顯著差異，許多物種僅侷限分布於此區(Li 1953; 謝等 2009)。此外，臺灣高海拔植物特有種比率高(Hsieh 2002)，部分物種亦有侷限分布的現象。本研究即以台灣地區年均溫較高的蘭嶼、恆春半島地區，以及年均溫最低的高山地區植物做為調查對象，檢測上述地區物種開花期與不同年代溫度變化間之相關性，並嘗試找出對溫度變化較為敏感之指標物種(indicator species)。

材料與方法

一、資料收集

(一) 標本資料收集與篩選

本研究於臺灣幾個重要的標本館進行，包含臺灣林業試驗所植物標本館(標本館代碼：TAIF)、國立台灣大學植物標本館(標本館代碼：TAI)、國立中興大學森林系標本館(標本館代碼：TCF)、中央研究院生物多樣性研

究中心植物標本館(標本館代碼：HAST)、屏東科技大學植物標本館(標本館代碼：PPI)、國立自然科學博物館植物標本館(標本館代碼：TNM)。此外在國科會「數位典藏國家型科技計畫」、「數位典藏與數位學習國家型科技計畫」、「臺灣大學植物標本與歷史文獻典藏數位化計畫」的支持下，中央研究院生物多樣性研究中心植物標本館、林業試驗所植物標本館及臺灣大學植物標本館已建立數位化資料庫，植物標本的採集資訊、標本數位影像等可自臺灣本土植物資料庫(<http://taiwanflora.sinica.edu.tw/>)、臺灣植物資訊整合查詢系統(<http://tai2.ntu.edu.tw/index.php>)與林業試驗所植物標本館網站(<http://taif.tfri.gov.tw>)進行查詢。在進行標本查閱之前，先參考相關文獻、調查紀錄，以及上述標本館數位化資料，挑選出花期較短、花朵顯眼，分布地區侷限在恆春、蘭嶼，或在高山地區分布海拔範圍較小，較適合進行分析之物種，由於擔心物種會有樣本數量不足的問題，臺大、林試所與中研院 3 個標本館的標本份數加起來需超過 50 份以上之物種才列入候選名單，篩選出適合物種後，即依據名單至標本館進行實體標本查閱與資料收集。

在標本館進行現地查閱時，記錄每份標本是否出現花芽、開花、未熟果、成熟果這 4 種物候現象，並記錄標本的標本館代號、館號、採集者、採集編號、採集日期、採集地點、海拔、經緯度等資訊。至少必須有明確的採集時間(包含完整的年、月、日)和地點之標本才列入記錄。同一天在相同地點採集之複份標本視為一份有效標本；如果在相同地點連續採集多日，則 3 日之內皆視為是同一份有效標本，並取最早的採集日期作為採集日，超過 3 日則可視為是不同份的有效標本。

本研究將焦點放在有開花的標本，標本的開花日期以儒略日(Julian date)表示之，採集日期若為 1 月 1 日，則開花日為 1，1 月 31 日為 31，12 月 31 日為 365，以此類推。符合前述標準的植物標本被挑選出來後，經過資料建置整理，進行後續分析

(二) 氣象資料收集

氣象資料則採用中央氣象局之恆春(設立於 1897 年)、蘭嶼(設立於 1941 年)、玉山(設立於 1943 年)氣象站之年均溫與月均溫資料。由於台灣高山地區除玉山氣象站外，其餘測站成立時間均較短，故僅以玉山氣象站的資料作為高山地區氣候變化之代表。

二、資料分析

(一) 各測站年均溫變化情形

以 3 個氣象站皆有氣溫紀錄的年份為準則，決定分析的起訖年份，以年為橫軸，年均溫為縱軸，繪製年與年均溫之散佈圖，並進行迴歸分析，觀察各測站年均溫變化之趨勢。

(二) 分析用之有效標本

對有開花現象的有效標本進行篩選，挑選出採集自蘭嶼、恆春半島與高山地區，且採集年份已有測站氣象紀錄之標本，恆春半島和蘭嶼都有分佈的物種，只選取擁有標本份數較多的地區進行分析，高山地區物種只選採集自海拔 3,000 m 以上之標本進行分析。

(三) 有效標本之逐月分布

根據篩選出來的有開花物候的有效標本，計算恆春半島、蘭嶼、高山地區各月份開花物種數與有效標本數之累計份數，繪製柱狀圖。

(四) 單一物種迴歸分析

以各月份物種有開花的有效標本累積份數為依據，挑選出可看出有一明顯開花高峰的物種；並參考盒鬚圖(boxplot)去除極端值之後，使用夏皮羅-威爾克(Shapiro-Wilk)檢定挑選有效標本開花日是否符合常態分佈之物種。在經過上述篩選過程之後，若物種有效標本數量仍有 20 份以上，且採集的時間至少分布於 10 個不同的年份，則可用於進行物種開花日與年均溫間之線性迴歸分析，檢測各物種開花日與年均溫是否具有相關性。假設溫度上升會導致植物開花日期提早，預期物種的開花日與年均溫會呈現負相關。

(五) 高山物種開花日合併分析

挑選出所有採集自海拔 3,000m 以上，且採集年份有玉山氣象站氣溫觀測資料的有效標本，並計算各物種在不同年份的年平均開花日。將所有物種的年平均開花日與年和年均溫進行迴歸分析，檢視開花日是否有隨時間呈現逐漸提早的趨勢，以及隨氣溫上升而出現花期提早的情形。

結 果

一、各測站年均溫變化情形

蘭嶼與玉山氣象站剛設立時各有數年缺值，分析採用 3 個氣象站皆有完整氣溫資料紀錄，也就是 1952-2013 年間的年均溫進行分析。年均溫與年迴歸分析的結果(圖 1)，3 個地區僅玉山年均溫與年代為顯著正相關，顯示年均溫有逐年上升之趨勢($P < 0.05$)，平均每 10 年上升約 0.1°C 。

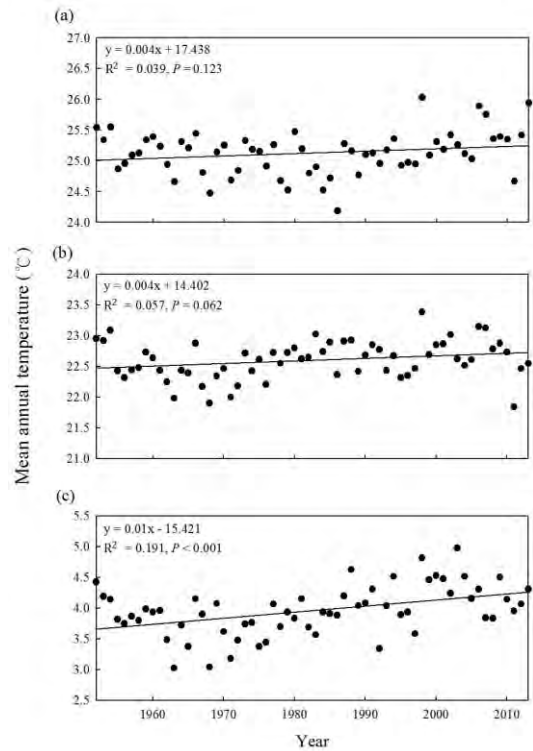


圖 1. (a)恆春、(b)蘭嶼與(c)玉山 1952 到 2013 年地表氣溫變化之情形。

Fig. 1. Patter of surface air temperature change from 1952 to 2013 in (a) Hengchun, (b) Orchid island and (c) Yushan.

二、篩選適合進行分析之標本

本研究總共查閱 105 種共 18,907 份標本，其中各標本館查閱標本數為，TAIF 共計 6,111 份，TAI 共計 4,351 份，HAST 共計 2,295 份，PPI 共計 1,520 份，TCF 共計 971 份，TNM 共計 3,659 份。已查閱標本的採集起訖年份在恆春半島與蘭嶼標本皆為 1898-2013 年，高山地區則是 1900-2013 年。

有開花且採集年份有氣象紀錄之有效標本數採集至恆春半島的有 55 種 977 份，蘭嶼地區有 40 種 631 份，高山地區海拔 3,000m 以上的有 32 種 1,120 份。

三、有效標本之逐月分布

根據不同月份所累計的物種數與有效標本數(圖 2)，恆春及蘭嶼之物種樹及有效標本數最多的月份均為 4 月，高山物種數與有效標

本累積份數明顯集中於 6-8 月的夏季(940 份，占總數 83.93%)，7 月為開花高峰(445 份，占總數 39.73%)。

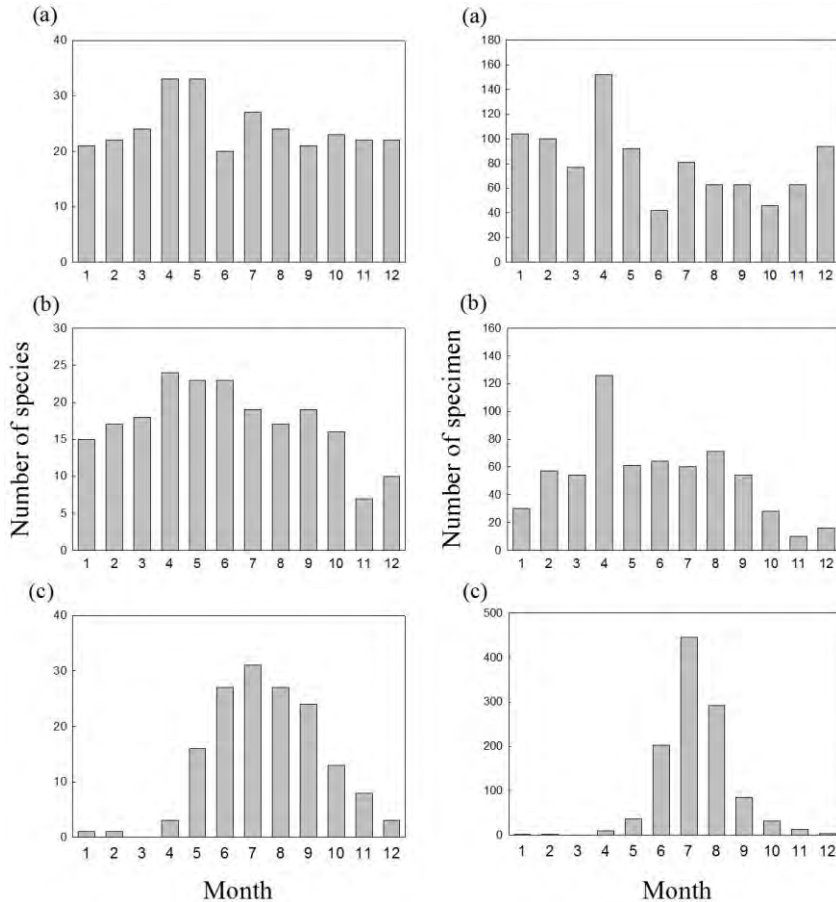


圖 2. 採集自(a)恆春半島、(b)蘭嶼以及(c)高山地區館藏標本的開花期記錄。

Fig. 2. Flowering period records of herbarium specimens collected in (a) Hengchun Peninsula, (b) Orchid Island and (c) high mountain areas.

四、單一物種迴歸分析

符合單一物種迴歸分析篩選條件而列入分析之物種有蘭嶼 5 種 175 份標本，恆春 12 種 322 份標本、高山 18 種 786 份標本(表 1)。迴歸分析的結果顯示(圖 3)，蘭嶼的貝木(*Timonius arboreus*)與高山的玉山卷耳

(*Cerastium trigynum* var. *morrisonense*)、臺灣龍膽(*Gentiana davidii* var. *formosana*)、玉山薄雪草(*Leontopodium microphyllum*)、短距粉蝶蘭(*Platanthera brevicalcarata*)、臺灣藜蘆(*Veratrum formosanum*)等 6 個物種之平均開花日與年均溫間呈現負相關($P < 0.1$)。

表 1. 開花日與年均溫線性迴歸分析。

Table 1. Linear regression analysis between flowering date and mean annual temperature.

Chinese name	Scientific name	No. of specimen	No. of years	R ²	P	Change (day/°C)	Flowering months
蘭嶼 Orchid Island							
白木蘇花	<i>Dendrolobium umbellatum</i>	64	32	0.001	0.827	-3.31	3-9
交趾衛矛	<i>Euonymus cochinchinensis</i>	29	21	0.012	0.572	-9.38	5-10
基尖葉野牡丹	<i>Melastoma affina</i>	30	22	<0.001	0.930	1.60	2-7
日本賽衛矛	<i>Microtropis japonica</i>	22	14	0.002	0.840	-5.55	1-4
貝木	<i>Timonius arboreus</i>	24	17	0.255	0.012**	-17.56	3-5
恆春半島 Hengchun Peninsula							
止宮樹	<i>Allophylus timorensis</i>	24	16	0.110	0.113	38.63	4-12
細葉茶梨	<i>Anneslea lanceolata</i>	26	14	0.038	0.340	-12.25	12-4
印度栲	<i>Castanopsis indica</i>	30	22	0.028	0.376	7.61	1-4
嶺南青剛櫟	<i>Cyclobalanopsis championii</i>	24	18	0.038	0.362	-19.77	2-5
十子木	<i>Decaspermum gracilentum</i>	23	21	0.060	0.259	-8.01	4-6
恆春福木	<i>Garcinia multiflora</i>	25	20	0.001	0.893	-1.41	2-5
白樹仔	<i>Gelonium aequoreum</i>	24	18	0.005	0.742	-4.80	2-5
日本賽衛矛	<i>Microtropis japonica</i>	33	20	0.008	0.623	6.04	11-3
武威山新木薑子	<i>Neolitsea buisanensis</i>	29	19	<0.001	0.959	-0.83	10-2
恆春石斑木	<i>Rhaphiolepis indica</i>	32	25	0.007	0.652	5.61	2-5
毛苦參	<i>Sophora tomentosa</i>	25	21	0.075	0.186	-38.50	6-12
高士佛赤楠	<i>Syzygium kusukusense</i>	26	17	0.003	0.804	-3.26	5-8
高山 High mountain							
臺灣烏頭	<i>Aconitum fukutomei</i>	31	20	0.001	0.875	1.38	7-10
玉山卷耳	<i>Cerastium trigynum</i> var. <i>morrisonense</i>	50	31	0.153	0.005***	-31.16	6-11
高山露珠草	<i>Circaea alpina</i>	32	22	<0.001	0.922	1.14	6-10
臺灣龍膽	<i>Gentiana davidii</i> var. <i>formosana</i>	21	17	0.163	0.070*	-31.80	7-11
玉山龍膽	<i>Gentiana scabrada</i>	62	21	0.001	0.865	-1.32	5-9
單花牻牛兒苗	<i>Geranium hayatanum</i>	62	32	0.030	0.180	-8.49	6-9
玉山金絲桃	<i>Hypericum nagasawai</i>	55	30	0.042	0.129	-11.31	6-9
玉山薄雪草	<i>Leontopodium microphyllum</i>	27	19	0.140	0.055**	-22.83	5-8
馬先蒿	<i>Pedicularis verticillata</i>	53	23	0.011	0.451	5.353	5-8
玉山茴香	<i>Pimpinella nitakayamensis</i>	38	18	0.073	0.100*	14.81	5-9
短距粉蝶蘭	<i>Platanthera brevicalcarata</i>	53	27	0.130	0.008***	-15.90	6-8
玉山櫻草	<i>Primula miyabeana</i>	31	23	0.031	0.342	14.36	5-9
蓬萊毛茛	<i>Ranunculus formosa-montanus</i>	42	25	0.052	0.146	-11.96	5-8
玉山佛甲草	<i>Sedum morrisonense</i>	40	28	0.061	0.125	-14.53	6-9
大籽當藥	<i>Swertia macrosperma</i>	38	25	0.020	0.400	-6.06	7-9
南湖附地草	<i>Trigonotis nankotaiensis</i>	27	23	0.069	0.169	-11.47	6-9
臺灣藜蘆	<i>Veratrum formosanum</i>	34	22	0.117	0.048**	-16.67	6-9
玉山水苦買	<i>Veronica morrisonicola</i>	90	33	0.022	0.160	-8.807	5-9

Note: *Marginally significant at α level of $P = 0.1$, **significant at α level of $P = 0.05$, *** highly significant at α level of $P < 0.01$.

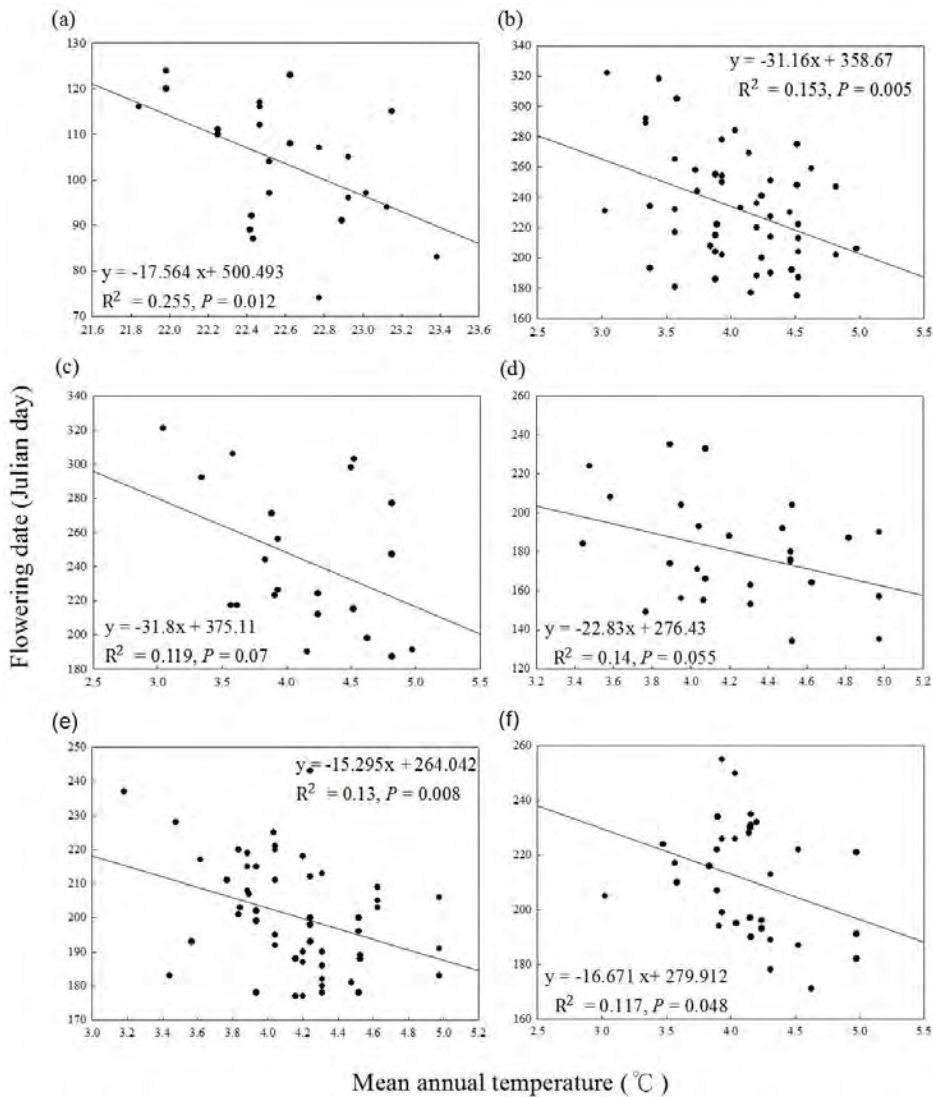


圖 3. (a)貝木、(b)玉山卷耳、(c) 臺灣龍膽、(d) 玉山薄雪草、(e) 短距粉蝶蘭和(f) 臺灣藜蘆開花日與年均溫迴歸。

Fig. 3. Linear regression of the flowering date and mean annual temperature for (a) *Timonius arboreus*, (b) *Cerastium trigynum* var. *morrisonense*, (c) *Gentiana davidii* var. *formosana*, (d) *Leontopodium microphyllum*, (e) *Platanthera brevicealcarata*, and (f) *Veratrum formosanum*.

五、高山物種合併分析

將高山地區 32 種物種資料合併，進行開花日與年度和年均溫迴歸分析，結果皆呈

現負相關(圖 4)，開花日平均每 10 年提早約 2.9 天，年均溫每上升 1°C，開花日提早約 18 天($P < 0.05$)。

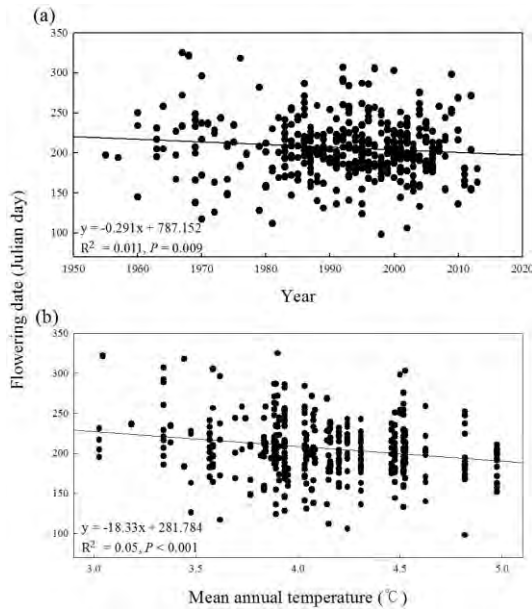


圖 4. 高山地區物種年平均開花日與(a)年和(b)年均溫的線性迴歸。

Fig. 4. Linear regression model of the mean annual flowering date of species with (a) year and (b) mean annual temperature of herbarium specimen collected from high mountain areas.

討 論

觀察 3 個地區不同月份的開花物種數與有效標本累積數量，高山植物開花週期明顯，主要花期明顯集中在溫度較高的夏季時期，7 月份有最多的物種開花(共 32 種，占有物種數 100%)，在冬季 12~2 月期間幾乎沒有植株開花，可能與冬季的低溫、降雪等植物生長的限制因子導致高山地區植物普遍生長季節較短，故多數物種偏好在夏季高溫多雨的時期開花(Huelber *et al.* 2006; Zhang *et al.* 2010)。恆春與蘭嶼各物種普遍開花期較長，有些物種像是土樟 (*Cinnamomum reticulatum*)、臺灣栲

(*Castanopsis formosana*)在一年之中似乎不只一次開花，或是像水芫花(*Pemphis acidula*)、假鐵莧(*Claoxylon brachyandrum*)幾乎全年皆有開花的情形，開花日與溫度呈現負相關的也僅有花期相對較短的貝木(3-5 月)這一個物種，推測蘭嶼與恆春半島植物近似於其它熱帶地區植物，擁有較多不同的開花物候型式，且雨量與日照可能是比溫度更重要的影響因子(Calle 2010; Newstrom *et al.* 1994; Hamann 2004; Van schaik 1993)，也因此較難察覺全球暖化對於恆春、蘭嶼等熱帶地區植物物候之影響(Stevenson 2008)。

一般來說，溫帶地區年均溫每上升 1°C，植物花期平均提早 2~10 天左右(Fitter *et al.* 1995; Sparks *et al.* 2000; Fitter and Fitter 2002; Miller-Rushing *et al.* 2006)，然而本研究所估算出來的結果卻是高山地區年均溫每上升 1°C，花期平均會提早 18 天，提早的幅度似乎高於其它研究，原因尚待釐清。推測臺灣高山地區植物花期確實有應溫度上升而出現提早的趨勢，然而可能需要更精準的監測調查、大量的樣本與更詳細的溫度資料，才有辦法推估花期與溫度變化間的明確關係。

參考溫帶地區的研究，大致上早花植物比晚花植物較容易受到融雪時間、積雪量及年初溫度變化的影響(Fitter and Fitter 2002; Miller-Rushing and Inouye 2009)，預期未來隨著年初的溫度持續上升，早花植物花期提前的情況會比晚花植物更為明顯。由於葉芽、花芽開始萌發之後，休眠時的耐寒機制已解除，對於較為敏感的物種來說，提早開始生長季，也會使花芽遭受霜害(frost damage)的比率提高，並影響其結實率。由於近年來溫帶地區植物在春季遭受霜害的機率與嚴重性增加，Cannell 與 Smith's 在 1986 曾提出全球暖化現

象有增加植物遭受霜害的情形，並且持續有研究支持其論點(Hänninen 2006; Inouye 2008)，推測未來隨著氣溫持續上升，早花植物將比晚花植物受到較嚴重的影響。

有些物種在進入休眠後，需要經過春化作用(vernalisation)才能解除休眠，促使花芽發育(Pagter and Arora 2013; Hennessy and Clayton-Greene 1995)，若未來冬季低溫不足，亦可能會使物種萌芽、開花出現異常的情形，長時間下來將可能導致局部地區的族群消失。

植物物候的改變亦可能影響植物的繁殖率、存活率，並間接影響其分布。在國外已有研究證實全球暖化改變了植物的緯度與海拔分佈(Aerts *et al.* 2006; Pauli *et al.* 2012; Rabasa *et al.* 2013)，而國內學者所進行的研究也發現合歡山與玉山地區已出現物種海拔分布上移的情形，且預期玉山抱莖籜簾(*Anaphalis morrisonicola*)、細葉山艾(*Artemisia morrisonensis*)、大籽當藥(*Swertia randaiensis*)、玉山金絲桃(*Hypericum nagasawai*)、阿里山薊(*Cirsium arisanense*)、玉山當歸(*Angelica morrisonicola*)等物種若持續上移可能會面臨滅絕的威脅(Chou *et al.* 2011)。推測暖化現象已對台灣的高山植物物候與海拔分佈產生明顯影響，未來應持續進行相關的調查與監測。

在進行館藏標本查閱時，會發現大多數物種普遍皆有館藏標本量不足的情形，特別是花期長的物種，需要更多樣本才可反映實際之物候變化情況，樣本量的不足會導致於許多物種之分析結果無法達統計顯著，或是出現 R^2 值偏低的情形。有些前人研究中推測為對溫度敏感的物種，例如玉山櫻草等，也可能因樣本數不足，無法反映物種開花物候的實際變化情況，而導致分析結果並沒有出現開花日與年均

溫呈現負相關的情形，因此不能夠僅以本研究結果即判定個別物種花期是否對溫度變化反應敏感。未來若能將標本館藏資料與近期實際觀測的物候調查記錄一起進行分析和比對的話，應該能夠獲得更明確的物候變化訊息。

以往植物標本館的館藏標本多運用在與分類學相關的研究上面，提供學者進行物種型態與親緣關係的鑑定與比較，並紀錄物種生育地、地理分布、引入時間等相關資訊。事實上標本館內的植物標本亦保存長期的植物物候變動資訊，可說是十分珍貴的歷史記錄資料，應予以妥善建檔、保存。

經由本研究之結果，以及相關文獻資料彙整，可初步評估，未來隨著全球暖化氣溫升高，高山地區植物物候對於溫度變化反應較為敏感，較容易找出適合作為監測溫度變化的指標物種。而分布在蘭嶼的貝木，高山地區的玉山卷耳、臺灣龍膽、玉山薄雪草、短距粉蝶蘭、臺灣黎蘆等可能是適合作為監測全球氣候變遷的指標物種，應進行持續監測。

謝 誌

感謝行政院農業委員會提供研究經費讓研究可以順利進行；感謝中央研究院植物所標本館(HAST)、屏東科技大學森林系植物標本館(PPI)、國立中興大學森林系標本館(TCF)、國立自然科學博物館植物標本館(TNM)、國立臺灣大學植物標本館(TAI)、臺灣林業試驗所植物標本館(TAIF)提供標本資料與協助，謹此致謝。

參考文獻

王玉婷、田玉娟、李孟諭、陳萬賓、王相華。
2014。年初氣溫變化對於福山植物園栽植

- 樹種花期之影響。台灣生物多樣性研究 16:63-76。
- 許晃雄、吳宜昭、周佳、陳正達、陳永明、盧孟明。2011。台灣氣候變遷科學報告。行政院國家災害防救科技中心。
- 潘振彰。2012。溫度對雪山地區玉山杜鵑開花物候之影響。中興大學森林學系所碩士論文。
- 謝光普、楊勝任、葉富雅。2009。綠島山地植群組成與環境因子之研究。中華林學季刊 42:481-501。
- Aerts, R., J. H. C. Cornelissen, and E. Dorrepaal. 2006. Plant performance in a warmer world: general responses of plants from cold, northern biomes and the importance of winter and spring events. *Plant Ecology* 182:65-77.
- Amano, T., R. J. Smithers, T. H. Sparks, and W. J. Sutherland. 2010. A 250-year index of first flowering dates and its response to temperature changes. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 277:2451-2457.
- Both, C. and M. E. Visser. 2001. Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. *Nature* 411:296-298.
- Calle, Z., B. O. Schlumpberger, L. Piedrahita, A. Leftin, S. A. Hammer, A. Tye, and R. Borchert. 2010. Seasonal variation in daily insolation induces synchronous bud break and flowering in the tropics. *Trees-Structure and Function* 24:865-877.
- Calinger, K. M., S. Queenborough, and P. S. Curtis. 2013. Herbarium specimens reveal the footprint of climate change on flowering trends across north-central North America. *Ecology letters* 16:1037-1044.
- Cannell, M. and R. Smith. 1986. Climatic warming, spring budburst and forest damage on trees. *Journal of Applied Ecology* 23:177-191.
- Chen, I. C., J. K. Hill, R. Ohlemüller, D. B. Roy, and C. D. Thomas. 2011. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* 333:1024-1026.
- Chou, C.-H., T.-J. Huang, Y. P. Lee, C. Y. Chen, T. W. Hsu, and C. H. Chen. 2011. Diversity of the alpine vegetation in central Taiwan is affected by climate change based on a century of floristic inventories. *Botanical Studies* 52:503-516.
- Cotton, P. A. 2003. Avian migration phenology and global climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100:12219-12222.
- Fitter, A. H. and R. S. R. Fitter. 2002. Rapid changes in flowering time in British plants. *Science* 296:1689-1691.
- Fitter, A. H., R. S. R. Fitter, I. T. B. Harris, and M. H. Williamson. 1995. Relationships between first flowering date and temperature in the flora of a locality in central England. *Functional Ecology* 9:55-60.
- Hamann, A. 2004. Flowering and fruiting phenology of a Philippine submontane rain forest: climatic factors as proximate and ultimate causes. *Journal of Ecology* 92:24-31.

- Hänninen, H. 2006. Climate warming and the risk of frost damage to boreal forest trees: identification of critical ecophysiological traits. *Tree physiology* 26:889-898.
- Hennessy, K. J. and K. Clayton-Greene. 1995. Greenhouse warming and vernalisation of high-chill fruit in southern Australia. *Climatic change* 30:327-348.
- Hsieh, C. F. 2002. Composition, endemism and phytogeographical affinities of the Taiwan flora. *Taiwania* 47:298-310.
- Huelber, K., M. Gottfried, H. Pauli, K. Reiter, M. Winkler, and G. Grabherr. 2006. Phenological responses of snowbed species to snow removal dates in the Central Alps: implications for climate warming. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 38:99-103.
- Inouye, D. W. 2008. Effects of climate change on phenology, frost damage, and floral abundance of montane wildflowers. *Ecology* 89:353-362.
- IPCC. 2007. *Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Li, H. L. 1953. Floristic Interchanges Between Formosa and the Philippines. *Pacific Science* 7:179-186.
- Li, Z., N. Wu, X. Gao, Y. Wu, and K. P. Oli. 2013. Species-level phenological responses to 'global warming' as evidenced by herbarium collections in the Tibetan Autonomous Region. *Biodiversity and Conservation* 22:141-152.
- Miller-Rushing, A. J., R. B. Primack, D. Primack, and S. Mukunda. 2006. Photographs and herbarium specimens as tools to document phenological changes in response to global warming. *American Journal of Botany* 93:1667-1674.
- Miller-Rushing, A. J. and D. W. Inouye. 2009. Variation in the impact of climate change on flowering phenology and abundance: an examination of two pairs of closely related wildflower species. *American Journal of Botany* 96:1821-1829.
- Newstrom, L. E., G. W. Frankie, and H. G. Baker. 1994. A New Classification for Plant Phenology Based on Flowering Patterns in Lowland Tropical Rain-Forest Trees at La-Selva, Costa-Rica. *Biotropica* 26:141-159.
- Pagter, M. and R. Arora. 2013. Winter survival and deacclimation of perennials under warming climate: physiological perspectives. *Physiologia plantarum* 147:75-87.
- Pauli, H., M. Gottfried, S. Dullinger, O. Abdaladze, M. Akhalkatsi, J. L. B. Alonso, G. Coldea, J. Dick, B. Erschbamer, R. F. Calzado, P. Moiseev, D. Moiseev, U. Molau, J. M. Mesa, L. Nagy, G. Pelino, M. Puşcaş, G. Rossi, A. Stanisci, A. O. Syverhuset, J.-P. Theurillat, M. Tomaselli, P. Unterluggauer, L. Villar, P. Vittoz, and G.

- Grabherr. 2012. Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336:353-355.
- Primack, D., C. Imbres, R. B. Primack, A. J. Miller-Rushing, and P. Del Tredici. 2004. Herbarium specimens demonstrate earlier flowering times in response to warming in Boston. *American Journal of Botany* 91:1260-1264.
- Rabasa, S. G., E. Granda, R. Benavides, G. Kunstler, J. M. Espelta, R. Ogaya, J. Peñuelas, M. Scherer-Lorenzen, W. Gil, W. Grodzki, S. Ambrozy, J. Bergh, J. A. Hódar, R. Zamora, and F. Valladares. 2013. Disparity in elevational shifts of European trees in response to recent climate warming. *Global change biology* 19:2490-2499.
- Sekercioglu, C. H., S. H. Schneider, J. P. Fay, and S. R. Loarie. 2008. Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. *Conservation Biology* 22:140-150.
- Sparks, T. H., E. P. Jeffree, and C. E. Jeffree. 2000. An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological records from the UK. *International Journal of Biometeorology* 44:82-87.
- Stevenson, P. R., M. C. Castellanos, A. I. Cortes, and A. Link. 2008. Flowering patterns in a seasonal tropical lowland forest in western Amazonia. *Biotropica* 40:559-567.
- Tooke, F. and N. H. Battey. 2010. Temperate flowering phenology. *Journal of Experimental Botany* 61:2853-2862.
- Van Schaik, C. P., J. W. Terborgh, and S. J. Wright. 1993. The Phenology of Tropical Forests - Adaptive Significance and Consequences for Primary Consumers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24:353-377.
- Zhang, L., R. Turkington, and Y. Tang. 2010. Flowering and fruiting phenology of 24 plant species on the north slope of Mt. Qomolangma (Mt. Everest). *Journal of Mountain Science* 7:45-54.