

## 年初氣溫變化對於福山植物園栽植樹種花期之影響

# Influences of temperature in early months on the first flowering dates of the planted trees in Fushan Botanical Garden

王玉婷 田玉娟 李孟諭 陳萬賓 王相華\*

Yu-Ting Wang, Yu-Chuang Tien, Meng-Yu Lee, Wan-Bin Chen, Hsiang-Hua Wang<sup>1\*</sup>

林業試驗所福山研究中心 26445 宜蘭縣員山鄉湖西村雙埤路福山 1 號

Fushan Research Center, Taiwan Forestry Research Institute, Yilan, Taiwan

\*通訊作者：hhwang@tfri.gov.tw

\*Corresponding author: hhwang@tfri.gov.tw

## 摘要

溫帶地區的植植物候研究已證實，全球暖化現象已導致溫帶地區植物的開花期提早。然而，全球暖化對於亞熱帶地區植物開花物候所造成的影響仍尚未明朗。受到聖嬰與反聖嬰現象的影響，位居亞熱帶的福山植物園在 2010 年(聖嬰年)1-3 月的均溫較 2011 年(反聖嬰年)高 2.8°C。根據園區內植栽物候調查的結果，於 2010 及 2011 年 2-6 月期間皆有開花紀錄的 37 科、102 種、244 株樣木，在聖嬰年平均首次開花日較反聖嬰年提前約 2 週，顯示年初的溫度變化確實對於園區植栽的春季開花時間造成影響，故推測亞熱帶地區植物開花物候亦會受到全球暖化的影響。從園區栽植樹種中篩選出在聖嬰年開花日明顯早於反聖嬰年的 16 個物種以及 3 個科別，其中烏皮九芎和黑星櫻普遍分布於台灣中低海拔地區，鐘萼木花大且易於觀察，而冬青科、殼斗科、薔薇科植物則普遍分布於全台灣，上述物種與分類群有潛力成為台灣地區監測氣候暖化的指標物種與科別。

## Abstract

Flowering phenology researches conducted in temperate regions demonstrate that increased surface temperature caused by global warming can significantly influence the flowering time of plants. However,

the impacts of global warming on subtropical plant flowering phenology remain unclear. According to temperature records of subtropical Fushan Botanical Garden, the El Niño event in 2010 and La Niña event in 2011 had caused the mean temperature during January to March in 2010 2.8°C higher than in 2011. The flowerings of 37 families, 102 species and 244 trees in Fushan Botanical Garden were investigated between February and June, and their mean first flowering dates in 2010 were about two weeks earlier than in 2011. This result suggests that the flowering phenology of subtropical plants may be also influenced by global warming. Sixteen species and three families were selected as potential indicator species and families for monitoring the influence of global warming on flowering phenology in subtropical Taiwan. *Styrax formosana* and *Prunus phaeosticta*, commonly distributed in Taiwan, and *Bretschneidera sinensis*, having big flowers, are suggested as indicator species. Families Aquifoliaceae, Fagaceae and Rosaceae which dominate low to middle elevation forests in Taiwan might be good indicator families.

**關鍵詞：**全球暖化、聖嬰現象、反聖嬰現象、物候、首次開花日

**Key words :** global warming, El Niño Event, La Niña Event, phenology, first flowering date

收件日期：2013年08月28日

接受日期：2013年12月24日

Received: August 28, 2013

Accepted: December 24, 2013

## 前 言

近年來全球暖化造成地球表面溫度逐年上升的現象，已引起人們廣泛的關注。聯合國跨政府氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)在2007年所發表的評估報告中指出，過去100年地球表面平均溫度約上升0.74°C左右。然而，近年來溫度上升的情況有較過去快速的趨勢(Jones *et al.* 1999; Hansen *et al.* 2010)。

植物物候學(plant phenology)主要是探討植物生命週期中的循環出現事件，例如抽芽、展葉、開花、著果、落葉等現象發生的時間，

以及影響其變化的生物與非生物因素(Lanza 1976; Pierce 1984)。由於植物物候與農林業等經濟產業密切相關，又容易受到外在氣候條件變化的影響，常被視為是全球暖化的觀察指標(Cleland *et al.* 2007; Way 2011)。在溫帶的歐美地區，許多研究均顯示植物物候受到溫度上升的影響而出現展葉、開花時間提早，落葉時間延後及生長季延長的現象(Menzel and Fabian 1999; Cleland *et al.* 2007; Way 2011)，在各項植物物候現象中，又以開花物候最容易被研究者所觀察和紀錄，也因此格外受到研究者的重視(Miller-Rushing and Primack 2008; Clark and Thompson 2010; Tooke and Battey 2010)。然而在

四季溫度變化差異不大的熱帶地區，植物物候受溫度變化影響的情形較不明顯。乾濕季變化、日照和物種本身的花粉與果實傳播機制，反而是影響物種開花時間的主要因子(Borchert 1998; Sakai 2001; Hamann 2004; Singh and Kushwaha 2006; Calle *et al.* 2010)，也使得研究者較難評估全球暖化對於熱帶植物開花物候影響的情況。相較於溫帶地區與熱帶地區，亞熱帶地區有關植物物候的研究仍十分缺乏，全球暖化對於亞熱帶植物物候影響的情況，也尚未明朗，因此有必要開始進行相關物候研究調查，以了解亞熱帶地區受到全球暖化的影響情況。

由於不同物種對於溫度變化的反應不一致，若能從中找出對於溫度變化敏感，可反應溫度變化影響的指標性物種與分類群，並以其物候變化作為偵測全球暖化影響的有利工具，有助於對全球暖化影響的情形作更精確的

紀錄、分析和預測，並擬定因應之策略。然而植物物候調查所面臨的另一項難題，即是缺乏長期的物候調查紀錄。由於全球暖化造成的溫度上升是緩慢而漸進的進行，研究者不易在短時間內就察覺植物物候受全球暖化影響的情形，或是進行指標性物種的篩選，通常必需累積長期的物候觀察紀錄。現今只有歐洲、美國及中國等少數地區擁有數十年以上的物候調查資料(Bradley *et al.* 1999; Menzel *et al.* 2006; Ge *et al.* 2011)，大多數地區尚未能夠累積長期的開花物候紀錄。除了全球暖化造成地表溫度上升，聖嬰現象(El Niño Event)與反聖嬰現象(La Niña Event)發生也會使溫度出現異常變化。因此聖嬰與反聖嬰現象發生提供了難得的機會，讓研究者可在短期內觀察溫度變化可能對植物物候產生的影響(Beaubien and Freeland 2000; Dech and Nosko 2004)。

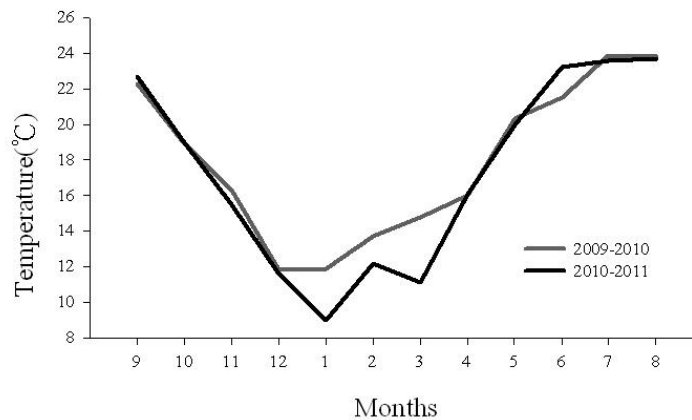


圖 1. 2009年9月到2011年8月各月份的月均溫變化。

Fig. 1. Monthly mean temperature during September 2009 - August 2011.

位居亞熱帶台灣的福山植物園因栽植多種台灣中、低海拔的原生樹種，適合同時針對多種分類群及物種進行物候觀察。由於2009~2011年聖嬰現象與反聖嬰現象的發生，

福山在2010年與2011年兩年年初1~3月溫度出現明顯的差異(圖 1)，因此預期在春季開花的物種，開花日可能會受到年初溫度變化的影響而導致兩個年度的開花日出現差異。本研究藉

由分析2010年與2011年福山植物園內植栽的春季開花物候資料，藉以瞭解聖嬰與反聖嬰現象所造成的年初溫度變化是否會對福山植物園春季開花植物的首次開花日期造成影響，以瞭解氣候暖化對亞熱帶植物及生態系的可能潛在影響。此外，也嘗試從中篩選出對於溫度變化較敏感、未來有潛力成為偵測溫度變化影響的指標性分類群與物種，爾後可針對這些物種或分類群進行更詳細的物候調查分析，以期早日找到亞熱帶台灣地區適用於全球暖化監測的指標物種或分類群。

## 材料與方法

### 一、試驗地概況

研究地點位於北緯 $24^{\circ}34'$ ，東經 $121^{\circ}34'$ ，新北市烏來區福山村和宜蘭縣員山鄉湖西村交界處之福山植物園。調查區域之海拔高約630 m，夏季暖熱潮溼，冬季陰濕多雨。依據福山植物園氣象站於2000-2009年間的觀測紀錄，當地年均溫 $18.2^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度93.2%，年平均雨量4,516 mm(陸等 2009)，屬於亞熱帶潮溼型氣候(subtropical wet climate)。植物園區周邊之原生植群是以樟科、殼斗科植物為主的天然闊葉林，常見樹種包括長尾尖葉槲(*Castanopsis cuspidata* var. *carlesii*)、豬腳楠(*Machilus thunbergii*)、黃杞(*Engelhardtia roxburghiana*)、長葉木薑子(*Litsea acuminata*)、台灣雅楠(*Phoebe formosana*)、三斗石櫟(*Pasania hancei* var. *ternaticupula*)、短尾柯(*P. harlandii*)等。植物園設有植栽展示區，於1989年起陸續引進栽植台灣各地區中低海拔的原生植物，合計有134科707種。從2001年開始，植物園管理單位挑選出71科、403種樹種，共1,810單株，進行長期的物候調查。

### 二、調查方法

#### (一) 溫度資料

2009年末到2011年年初受到聖嬰現象與反聖嬰現象的影響，溫度出現明顯差異。植物園設有氣象站，故本研究調閱了2009年9月至2011年8月之日均溫資料，用以比對聖嬰年與反聖嬰年各月份溫度有何差異，並找出其中溫度差異最明顯的幾個月份。

#### (二) 花期調查及樣木篩選

從2010年開始，以半個月為單位，於每月的10日與25日及其前後3天以內，各進行1次物候觀察，紀錄樣木展葉、開花、結果及落葉等物候現象，但本研究僅針對花期進行分析。

一般開花物候研究大多鎖定物種的首次開花日期(first flowering date, FFD)，也就是第一朵花完全綻放的時間(Tooke and Battey 2010)；本研究因物候調查之植株數量龐大，每半個月紀錄1次物候現象，故採用第1次紀錄到開花現象的日期為首次開花日期。參考前人的研究，春季開花物種開花期較容易受到花開前幾個月的溫度變化影響(Fitter *et al.* 1995; Fitter and Fitter 2002; Miller-Rushing and Primack 2008)，本研究挑選在聖嬰年與反聖嬰年2-6月間皆有開花的植株，共計有37科、102種、244株，並配合園區氣象站之氣候資料，進行溫度變化對首次開花日期影響之相關分析。首次開花日期以1-365表示之，1月1日為1，1月31日為31，12月31日為365。

#### (三) 溫度變化對花期之影響

以半個月為單位，統計2010年(聖嬰年)及2011年(反聖嬰年)2-6月首次開花樣木數，計算二年間各月份的平均溫度及首次開花樣木數，比較所有樣木平均開花日在聖嬰年與反

聖嬰年之差異。由於調查的時間間隔為半月，並以每月 10 號與 25 號為基準日，但實際調查日期可能會有 1-3 天的誤差，因此樣木的平均首次開花期延遲的情形改以週為單位進行計算，若提前或延遲天數在 3.5 天之內則視為無提前或延遲，超過 3.5 天即視為 1 週，以此類推。由此計算各植株、各物種及各分類群的平均首次開花日在聖嬰年提前或延遲的週數。

(四) 指標樹種篩選

篩選樣木數大於或等於 3 株且各單株在 2010 年(聖嬰年)首次開花日皆早於或等於 2011 年(反聖嬰年)之物種，並計算各物種在 2010 年(聖嬰年)平均首次開花日提前週數。該

物種於 2010 年(聖嬰年)平均首次開花日較 2011 年(反聖嬰年)提早 2 週或以上，視為對溫度變化敏感且反應較為穩定之指標樹種。

(五) 指標科別篩選

篩選每科至少具有 4 種物種，共計有 8 株以上樣木之科別，且各單株在 2010 年(聖嬰年)首次開花日皆早於或等於 2011 年(反聖嬰年)之樣木，並計算其 2010 年(聖嬰年)平均首次開花期提前之週數，如該科別於 2010 年(聖嬰年)之平均首次開花日較 2011 年(反聖嬰年)提早 2 週或以上，則視為對於溫度變化較為敏感之指標科別。

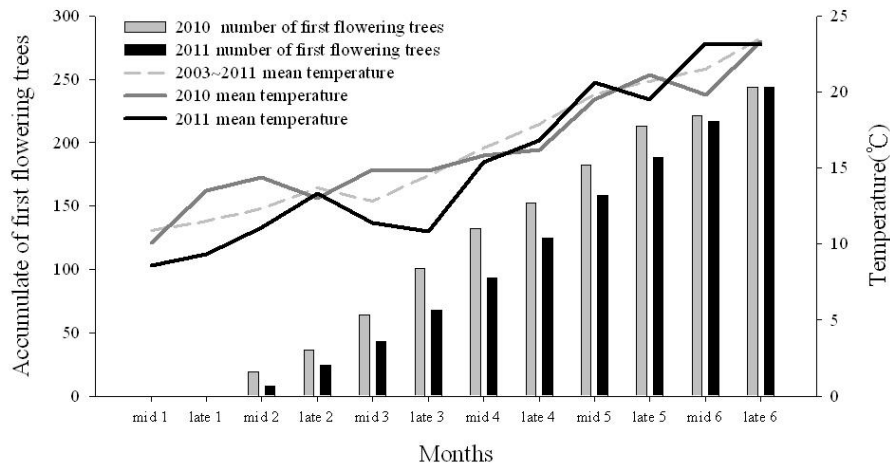


圖 2. 福山植物園於 2010 及 2011 年 1 至 6 月份月中及月底平均氣溫與累積首次開花樣木株數。

Fig. 2. Mean temperature and cumulative number of the first flowering individuals in Fushan Botanical Garden during January-June in 2010 and 2011.

結 果

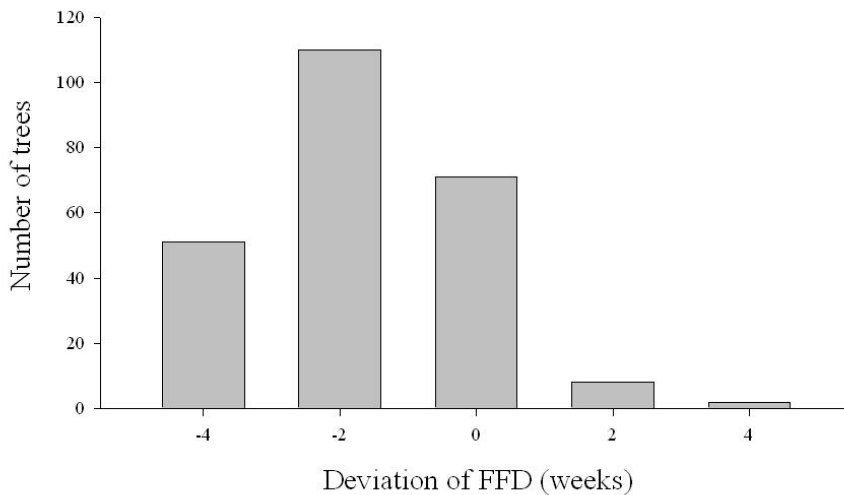
一、年初溫度變化及其對花期之影響

園區氣象站的溫度資料顯示，2010 年 1-3 月平均溫度為 13.5°C，2011 年 1-3 月平均溫度為

10.7°C，這兩年相差 2.8°C。開花物候調查的結果顯示，聖嬰年 2-6 月開花樣木株數累計較反聖嬰年快(圖 2)。比較在 2010 年(聖嬰年)與 2011 年(反聖嬰年)皆有開花的 244 株樣木在 2010 年(聖嬰年)與 2011 年(反聖嬰年)的開花日期(圖 3)，在

2010年(聖嬰年)首次開花日期沒有差異的有71株，在2010年提前2週的有110株，提前4週的有51株，延後2週的有8株，延後4週的有2株，另外有2株樣木提前與延後超過8週視為是異常偏差，不列入計算。結果顯示園區樣木的首次開花日在2010年(聖嬰年)相較2011年(反聖嬰年)有往前提早的趨勢，提前2週的樣木株數

最多，2010年(聖嬰年)平均首次開花日較2011年(反聖嬰年)提早了約1.7週(即12.0日)，由於聖嬰年1-3月平均溫度較反聖嬰年高 $2.8^{\circ}\text{C}$ ，也就是1-3月平均升高 $1^{\circ}\text{C}$ ，開花日約提早4.25天左右。顯示年初溫度變化的確會對福山植物園栽植樹木的花期造成影響。



**圖 3.** 觀察樣木之首次開花日在 2010 年相較於 2011 年提前與延後的情形。0 代表 2010 年花期無提前或延後，負值代表 2010 年花期提前，正值代表 2010 年花期延後。

**Fig. 3.** Variations of the trees' first flowering dates (FFD) between 2010 and 2011. Zero indicates no variations in FFD, the negative values indicate earlier FFD in 2010, while the positive values indicate later FFD in 2010.

## 二、指標樹種的篩選

在聖嬰年(2010年)與反聖嬰年(2011年)的2-6月期間皆有開花，且樣木數量超過3株的樹種共計有18科39種(表1)。在聖嬰年(2010年)平均首次花期較反聖嬰年(2011年)延後1週的物種有1種，無提前或延後的物種有7種，提前1週的有6種，提前2週的有13種，提前3週的有6種，提前4-5週的有6種(圖4)，多數物種花期往前提早，花期提前2週的物種數最多。符合指標物種篩選條件的樹種共

計16種，其中烏皮九芎(*Styrax formosana*)、鐘萼木(*Bretschneidera sinensis*)、黑星櫻(*Prunus phaeosticta*)、山黃皮(*Murraya euchrestifolia*)、大葉越橘(*Vaccinium wrightii*)的平均首次開花日在2010年較2011年提前4-5週。小葉樹杞(*Ardisia quinquegona*)平均首次開花日在2010年雖較2011年提前4週，但有少數單株沒有提前現象，不符合篩選條件，故未列入為指標樹種。

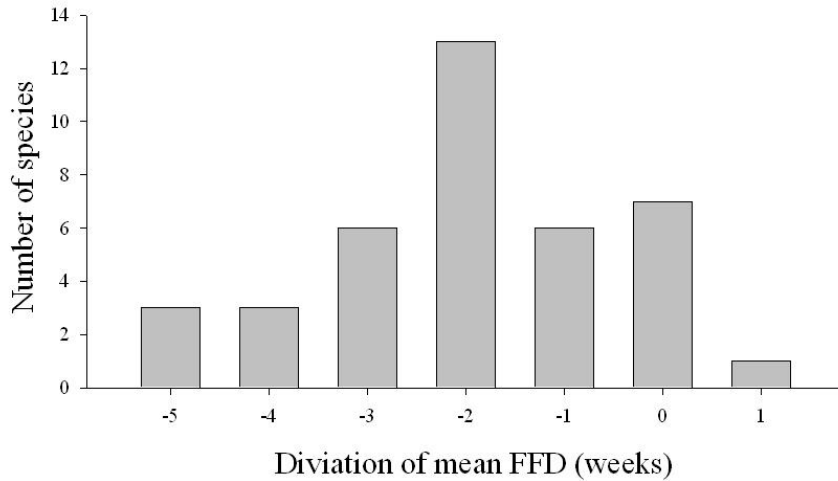


圖 4. 觀察物種之平均首次開花日在 2010 年較 2011 年提前或延後的情形。0 代表花期無提前或延後，負值代表 2010 年花期提前，正值代表 2010 年花期延後。

Fig. 4. Variations of the species' first flowering dates (FFD) between 2010 and 2011. Zero indicates no variations in FFD, the negative values indicate earlier FFD in 2010, while the positive values indicate later FFD in 2010.

表 1. 福山植物園栽植樹種在聖嬰年(2010 年)與反聖嬰年(2011 年)之開花日變化

Table 1. Variations in mean first flowering dates (FFD) of planted species in Fushan Botanical Garden between 2010 and 2011

Chinese Name	Scientific Name	No. of Individual	Mean FFD $\pm$ SD		FFD Change (weeks)
			2010	2011	
臺灣雅楠	<i>Phoebe formosana</i>	5	179.0 $\pm$ 0.0	172.4 $\pm$ 7.7	1
蚊母樹	<i>Distylium racemosum</i>	5	55.0 $\pm$ 0.0	53.0 $\pm$ 0.0	0
青葉楠	<i>Machilus zuihoensis</i>	3	64.3 $\pm$ 8.1	63.0 $\pm$ 8.7	0
烏皮茶	<i>Pyrenaria shinkoensis</i>	3	179.0 $\pm$ 0.0	178.0 $\pm$ 0.0	0
臺東石楠	<i>Photinia serratifolia</i>	4	145.0 $\pm$ 0.0	144.0 $\pm$ 0.0	0
森氏紅淡比	<i>Cleyera japonica</i> Thunb	3	179.0 $\pm$ 0.0	178.0 $\pm$ 0.0	0
秀柱花	<i>Eustigma oblongifolium</i>	4	40.0 $\pm$ 0.0	43.3 $\pm$ 6.5	0
九芎	<i>Lagerstroemia subcostata</i>	5	179.0 $\pm$ 0.0	178.0 $\pm$ 0.0	0
鐵冬青	<i>Ilex rotunda</i>	3	130.0 $\pm$ 0.0	134.7 $\pm$ 8.1	-1
尾葉灰木	<i>Symplocos caudate</i>	3	83.0 $\pm$ 0.0	88.3 $\pm$ 11.0	-1
紅楠	<i>Machilus thunbergii</i>	4	62.0 $\pm$ 8.1	67.8 $\pm$ 11.8	-1

狹瓣八仙花	<i>Hydrangea angustipetala</i>	3	120.7±8.1	130.0±0.0	-1
白校欖	<i>Castanopsis cuspidate</i>	4	105.5±7.0	115.0±0.0	-1
短尾柯	<i>Pasania harlandii</i>	4	133.8±7.5	144.0±0.0	-1
圓葉冬青	<i>Ilex goshiensis</i>	3	140.0±8.7	150.7±11.6	-2
三斗石櫟	<i>Pasania hancei</i>	7	114.0±5.3	125.7±7.3	-2
天臺烏藥	<i>Lindera aggregata</i>	3	69.0±0.0	82.0±0.0	-2
五掌楠	<i>Neolitsea konishii</i>	4	47.5±8.7	60.5±8.7	-2
青楓	<i>Acer serrulatum</i>	4	83.0±0.0	96.3±9.5	-2
臺灣三角楓	<i>Acer buergerianum</i>	5	83.0±0.0	97.2±8.5	-2
大葉溲疏*	<i>Deutzia pulchra</i>	3	102.0±0.0	115.0±0.0	-2
菱果石櫟*	<i>Pasania synbalanos</i>	3	165.0±0.0	178.0±0.0	-2
倒卵葉冬青*	<i>Ilex maximowicziana</i>	4	130.0±0.0	144.0±0.0	-2
廣東瓊楠*	<i>Beilschmiedia tsangii</i>	5	130.0±0.0	144.0±0.0	-2
香葉樹*	<i>Lindera communis</i>	6	69.0±0.0	85.2±7.8	-2
山桂花*	<i>Maesa japonica</i>	3	73.7±16.2	90.0±19.5	-2
臺灣柿	<i>Diospyros oldhamii</i>	5	102.0±0.0	115.0±0.0	-2
山櫻花	<i>Prunus campanulata</i>	5	45.8±13.0	68.0±0.0	-3
合歡*	<i>Albizia julibrissin</i>	3	145.0±0.0	164.0±0.0	-3
油葉石櫟*	<i>Pasania konishii</i>	3	145.0±0.0	164.0±0.0	-3
星刺栲*	<i>Castanopsis stellato-spina</i>	3	102.0±0.0	125.0±8.7	-3
山紅柿*	<i>Diospyros morrisiana</i>	5	145.0±0.0	164.0±0.0	-3
大丁黃*	<i>Euonymus laxiflorus</i>	5	145.0±0.0	166.8±6.3	-3
小葉樹杞	<i>Ardisia quinquegona</i>	4	146.3±14.4	171.0±8.1	-4
烏皮九芎*	<i>Styrax formosana</i>	4	72.5±7.0	101.0±0.0	-4
鐘萼木*	<i>Bretschneidera sinensis</i>	5	83.0±0.0	112.2±6.3	-4
黑星櫻*	<i>Prunus phaeosticta</i>	4	83.0±0.0	115.0±0.0	-5
山黃皮*	<i>Murraya euchrestifolia</i>	4	130.0±0.0	164.0±0.0	-5
大葉越橘*	<i>Vaccinium wrightii</i>	5	98.2±17.4	132.8±6.3	-5

\* 所有樣木的首次開花日在聖嬰年(2010年)皆較反聖嬰年(2011年)提前。

\* All individual's FFD in 2010 were earlier than in 2011.

### 三、指標科別的篩選

以科別來進行分析的結果，符合4種8株以上的科別共有9科(表2)，符合指標科別篩選條件的分類群只有薔薇科、冬青科、殼斗科3科。比較園區內冬青科、薔薇科與殼斗科樣木首次

開花日分布的時間(圖5)，可發現園區內薔薇科不同物種樣木的開花期較為分散，相較之下，冬青科與殼斗科各個物種的樣木首次開花時間較為集中。

表 2. 福山植物園主要植栽科別在聖嬰年(2010 年)與反聖嬰年(2011 年)平均首次開花日變化

Table 2. Variations in mean first flowering dates (FFD) of dominate planted families in Fushan Botanical Garden between 2010 and 2011

Family	Scientific Name	No. of Species	No. of Specimen	Mean FFD±SD		FFD Change (weeks)
				2010	2011	
茶科	Theaceae	4	9	166.8±36.7	164.1±41.7	0
金縷梅科	Hamamelidaceae	4	11	50.8±9.5	52.1±11.6	0
樟科	Lauraceae	15	40	92.4±48.8	100.3±45.3	-1
衛矛科	Celastraceae	4	9	137.6±17.4	146.7±38.0	-1
虎耳草科	Saxifragaceae	5	11	119.8±24.1	130.3±14.2	-2
杜鵑花科	Ericaceae	6	10	100.7±31.6	113.0±27.6	-2
冬青科*	Aquifoliaceae	6	14	124.5±20.5	137.2±14.3	-2
殼斗科*	Fagaceae	7	26	123.4±21.3	137.6±21.2	-2
薔薇科*	Rosaceae	7	19	84.6±37.6	99.6±31.3	-2

\* 代表所有樣木的首次開花日在聖嬰年(2010年)皆較反聖嬰年(2011年)提前。

\* All individual's FFD in 2010 were earlier than in 2011.

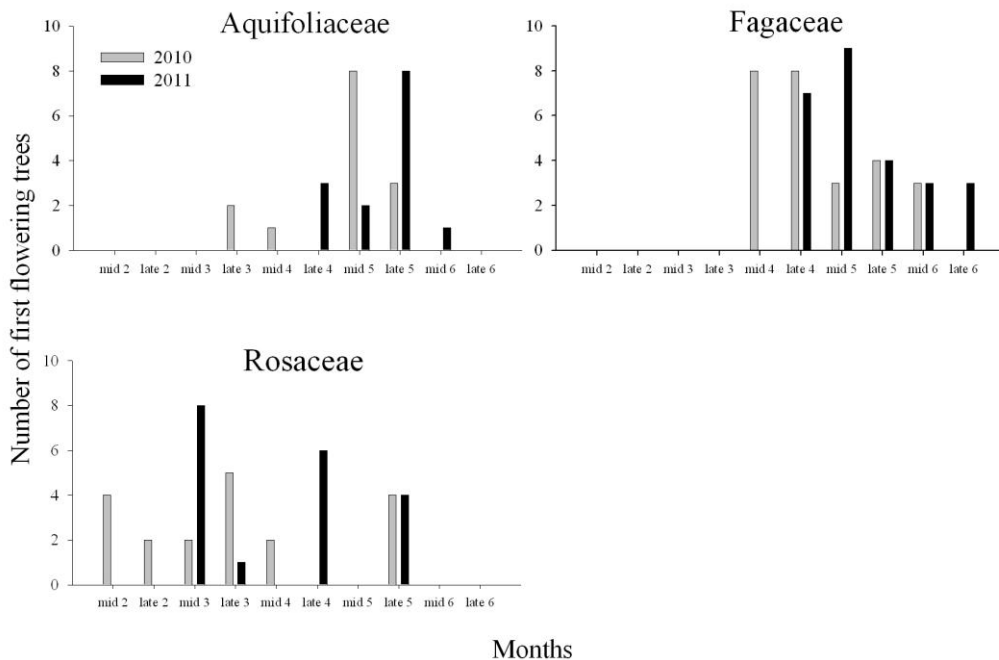


圖 5. 2010 與 2011 福山植物園栽植之冬青科、殼斗科、薔薇科樣木首次開花出現時間。

Fig. 5. Distributions of the first flowering dates of Aquifoliaceae, Fagaceae and Rosaceae trees in Fushan Botanical Garden during 2010- 2011.

## 討論

在溫帶地區，由於冬季的低溫及降雪，迫使大多數物種在冬季落葉並進入休眠期，等到春季溫度回暖，才開始進行展葉和開花(Burke *et al.* 1976; Ramos *et al.* 2005; Rohde and Bhalerao 2007)。因此溫帶地區物種開花期較為集中在春夏季，且春季開花時間明顯受到年初溫度變化的影響(Fitter *et al.* 1995)。在植物物候記錄累積年份較多的地區，許多研究已找出地區性可反應溫度變化的指標性物種(Primack and Higuchi 2007; Miller-Rushing and Primack 2008; Orlandi *et al.* 2010)，國際氣象生物協會(International Society of Biometeorology)在1993年所發起的全球物候監測計畫(Global Phenological Monitoring Programs, GPM)更進一步挑選出有經濟價值、對於溫度反應敏感的特定物種，藉由統一種源和無性繁殖的方式，在不同國家的植物園建立物候監測站，以監測全球暖化對於各地區的植物物候所造成的影響(Bruns *et al.* 2003)，相較之下，亞熱帶地區少有長期性的物候調查，仍缺少文獻指出適合做為全球暖化指標性的物種。亞熱帶位於溫帶和熱帶的過渡地區，冬季低溫期較短，植物物候不像溫帶地區具有明顯季節性變化，但也不像熱帶植物的開花期類型多樣而無明顯規律性，在印度東北 Meghalaya 和巴西南方 Paraná 的亞熱帶森林，大多數物種物候現象會受到乾濕季週期變化的影響，溫度對植物物候的影響相對小於降雨和日照變化，顯示當地的植物物候與溫帶地區植物有相當大的差異(Shukla and Ramakrishnan 1982)，且似乎較近似於熱帶地區的植物物候。

參考前人在福山地區的所做的研究，不論是園區內原生樹種之物候調查或是天然林動

態樣區的種子網調查結果，皆顯示福山地區植物開花期具有明顯的季節性，且大多數物種開花期主要集中在春夏季開花(林 1997; Chang- Yang *et al.* 2012)。一般而言，降雨的時間分布會比降雨量對於植物物候影響更為重要(Reich 1995)，由於福山地區全年潮濕多雨，各月份都有一定的降雨量，並無明顯的乾季(圖 6)，雖然聖嬰年與反聖嬰年各月份的降雨量並非一致，但推測降雨量變化並不是影響福山地區植物物候的主要因子。溫度和光週期在福山會隨著季節更替而有明顯的週期性變化，可能是造成福山地區植物物候呈現明顯季節性的主要因子。然而光週期變化主要是受到地球自轉與地球繞太陽公轉所造成，不同年度間的光週期可說幾乎無差異，故推測光週期亦不是聖嬰年與反聖嬰年樣木開花期出現差異的主要影響因子。因此，聖嬰與反聖嬰現象導致的溫度變化，即 2010 年 1~3 月均溫明顯高於 2011 年，可能才是造成 2010 年春季開花樣木首次開花日期往前提早的主要原因。

參考溫帶地區植物物候的研究，春季開花植物的開花期會大多受到開花前數月的溫度變化影響(Fitter *et al.* 1995, Tooke and Battey 2010; Ge *et al.* 2011)，且年初特定月份溫度每升高 1°C，植物的開花期平均會提早 3~5 天(Fitter *et al.* 1995; Fitter and Fitter 2002; Miller-Rushing and Primack 2008; Primack *et al.* 2009)。福山於 2010 聖嬰年 1~3 月均溫比 2011 反聖嬰年高了 2.8°C，244 株樣木之平均首次開花期亦提早約 12.6 天，故平均溫度升高 1°C 提前開花約 4.25 天，開花物候受溫度變化所影響的情形與溫帶地區大致類似。

台灣島的面積雖小，但由於其地理位置特殊，加上地形與地質複雜，而擁有多樣性的生育環境和植被類型，若要了解溫度變化對於台

灣各地區的植物物候影響，必須在多個地點同時進行調查，需要花費許多的人力和經費。福山植物園內收集大量來自台灣中低海拔不同地區的樹種，可利用較精簡的人力，在同一處

同時對來自不同地區的物種進行物候調查，以了解溫度變化對台灣中低海拔物種可能的影響，並進行全球暖化指標物種的篩選。

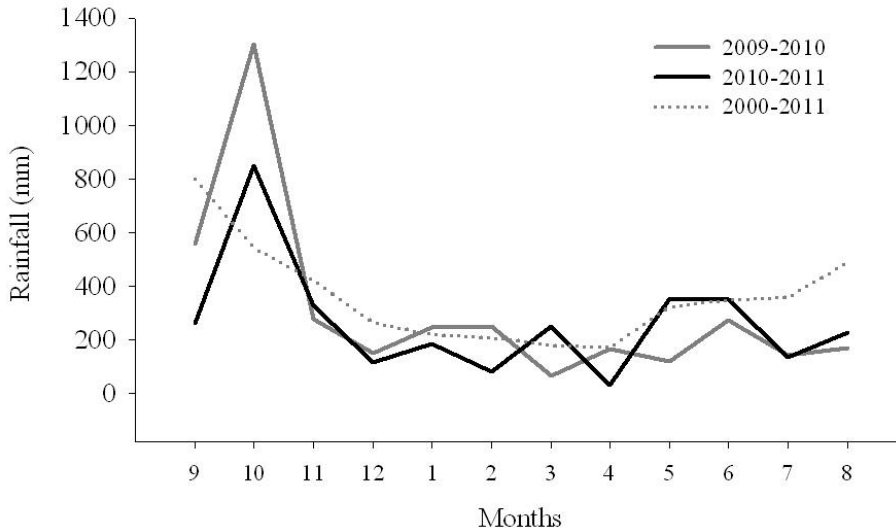


圖 6. 2009年9月到2011年8月各月份的月降雨量。

Fig. 6. Monthly rainfall during September 2009 - August 2011.

挑選適合作為監測溫度變化的指標性物種，除了要對溫度變化反應敏感之外，也必須考量物種是否具有常見且分布廣泛，以及花朵或花序是否容易被觀察到等特性。本次調查在聖嬰年(2010年)較反聖嬰年(2011年)開花期提早 4~5 週的樹種中，安息香科的烏皮九芎和薔薇科的黑星櫻為台灣各地區中、低海拔地區常見的樹種，開花的現象容易被觀察和紀錄；鐘萼木雖然分布範圍侷限在北部山區，但花朵大且易於觀察，推測這 3 樹種應可作為偵測溫度變化對台灣亞熱帶森林物候影響之指標樹種。

植物開花期除了受到外在環境因子的影響，同時也會受到物種本身過去演化歷程的影

響，理論上相同分類群的植物開花時間應較為一致，且對於溫度變化反應相近(Kochmer and Handel 1986; Davis *et al.* 2010)。園區冬青科、殼斗科和薔薇科的樣木在2011年平均首次開花日皆比2010年延遲2週，且無樣木出現首次開花提前的情況，而這3個科別之物種皆普遍分布在全台灣各地區。薔薇科植物中有許多具有食用性和觀賞價值，目前已經有不少物種被視為是物候觀測的指標物種。國際物候監測網即採用杏仁(*Prunus dulcis*)、甜櫻(*P. avium*)、蘋果(*Malus domestica*)和洋梨(*Pyrus communis*)等薔薇科的果樹作為觀測物種(GPM 2013)。在日本的櫻花(*P. jamasakura*)開花物候已累積有千

年以上的觀測紀錄，被視為是日本重要的物候觀測指標(Primack 2007, 2009)，因此推測薔薇科可能是一適合作為反應氣候變遷的分類群。比較園區內冬青科、薔薇科與殼斗科樣木首次開花日期分布的時間(圖5)，發現園區內薔薇科不同物種的開花期較為分散。相較之下，園區內冬青科與殼斗科各個物種的首次開花時間較為集中。殼斗科首次開花的高峰期集中在4-5月份，這與過去2003-2009在福山地區所進行的殼斗科植物物候調查結果相似(王等2011)，而殼斗科植物也是台灣中低海拔闊葉林的主要優勢分類群，果實是許多野生動物的重要食物來源，對於中低海拔地區生態系的影響力極大。本研究認為殼斗科植物應比薔薇科更適合作為偵測溫度變化對於台灣亞熱帶森林物候及生態系影響之指標分類群。未來應持續針對這些初步篩選出來的科別及物種持續進行調查，以期早日找出台灣地區適合監測全球暖化影響的指標物種。

## 引用文獻

- 王相華、劉家如、林則桐、陳萬賓、李孟諭、蘇聲欣。2011。福山試驗林樟科及殼斗科植物的開花結實物候。中華林學季刊 44: 32-44。
- 林國銓。1997。福山試驗林天然闊葉樹之物候現象。臺灣林業科學 12:347-353。
- 陸象豫、黃良鑫、黃惠雪。2009。林業試驗所福山研究中心氣象資料彙編(2000年1月-2009年6月)。行政院農委會林業試驗所。
- Beaubien, E. G. and H. J. Freeland. 2000. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *International Journal of Biometeorology* 44:53-59.
- Borchert, R. 1998. Responses of tropical trees to rainfall seasonality and its long-term changes. *Climatic change* 39:381-393.
- Bradley, N. L., A. C. Leopold, J. Ross, and W. Huffaker. 1999. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96:9701-9704.
- Bruns, E., F.-M. Chmielewski, and A. H. vanVliet. 2003. The Global Phenological Monitoring Concept. pp. 93-104 *In* Schwartz M. D (ed.). *Phenology: an integrative environmental science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Burke, M. J., L. V. Gusta, H. A. Quamme, C. J. Weiser, and P. H. Li. 1976. Freezing and Injury in Plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 27:507-528.
- 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.
- Chang-Yang, C. H., C. L. Lu, I. Sun, and C. F. Hsieh. 2012. Flowering and Fruiting Patterns in a Subtropical Rain Forest, Taiwan. *Biotropica* 45:165-174.
- Clark, R. M. and R. Thompson. 2010. Predicting the impact of global warming on the timing of spring flowering. *International Journal of Climatology* 30:1599-1613.
- Cleland, E. E., I. Chuine, A. Menzel, H. A. Mooney, and M. D. Schwartz. 2007.

- Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution* 22:357-365.
- Davis, C. C., C. G. Willis, R. B. Primack, and A. J. Miller-Rushing. 2010. The importance of phylogeny to the study of phenological response to global climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 365:3201-3213.
- Dech, J. P. and P. Nosko. 2004. Rapid growth and early flowering in an invasive plant, purple loosestrife (*Lythrum salicaria* L.) during an El Nino spring. *International Journal of Biometeorology* 49:26-31.
- 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.
- Global Phenological Monitoring Programs. Retrieved July 1, 2013, from [http://gpm.hu-berlin.de/gpm/faces/list\\_planttypes.xhtml?jsessionid=319e33041f2e95580e295c7a9fd0](http://gpm.hu-berlin.de/gpm/faces/list_planttypes.xhtml?jsessionid=319e33041f2e95580e295c7a9fd0).
- Ge, Q. S., J. H. Dai, J. Y. Zheng, J. Bai, S. Y. Zhong, H. J. Wang, and W. C. Wang. 2011. Advances in first bloom dates and increased occurrences of yearly second blooms in eastern China since the 1960s: further phenological evidence of climate warming. *Ecological Research* 26:713- 723.
- 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.
- Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, and K. Lo. 2010. Global Surface Temperature Change. *Reviews of Geophysics* 48. doi:10.1029/2010RG000345.
- 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., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jones, P., M. New, D. Parker, S. Martin, and I. Rigor. 1999. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics* 37:173-199.
- Kochmer, J. P. and S. N. Handel. 1986. Constraints and Competition in the Evolution of Flowering Phenology. *Ecological Monographs* 56:303-325.
- Lanza, B. 1976. Phenology and Seasonality Modeling - Lieth, H. *Scientia* 111:518- 520.
- Matzneller, P., K. Blümel, and F.-M. Chmielewski. 2013. Models for the beginning of sour cherry blossom. *International Journal of Biometeorology*. doi:10.1007/s00484-013- 0651-1.
- Menzel, A. and P. Fabian. 1999. Growing season

- extended in Europe. *Nature* 397:659-659.
- Menzel, A., T. H. Sparks, N. Estrella, E. Koch, A. Aasa, R. Ahas, K. Alm-Kubler, P. Bissolli, O. Braslavská, A. Briede, F. M. Chmielewski, Z. Crepinsek, Y. Curnel, A. Dahl, C. Defila, A. Donnelly, Y. Filella, K. Jatcza, F. Mage, A. Mestre, O. Nordli, J. Penuelas, P. Pirinen, V. Remisova, H. Scheifinger, M. Striz, A. Susnik, A. J. H. Van Vliet, F. E. Wielgolaski, S. Zach, and A. Zust. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12:1969-1976.
- Miller-Rushing, A. J. and R. B. Primack. 2008. Global warming and flowering times in Thoreau's Concord: a community perspective. *Ecology* 89:332-341.
- Orlandi, F., H. Garcia-Mozo, C. Galan, B. Romano, C. D. de la Guardia, L. Ruiz, M. D. Trigo, E. Dominguez-Vilches, and M. Fornaciari. 2010. Olive flowering trends in a large Mediterranean area (Italy and Spain). *International Journal of Biometeorology* 54:151-163.
- Primack, R. and H. Higuchi. 2007. Climate change and cherry tree blossom festivals in Japan. *Arnoldia* 65:14-22.
- Primack, R. B., H. Higuchi, and A. J. Miller-Rushing. 2009. The impact of climate change on cherry trees and other species in Japan. *Biological Conservation* 142:1943-1949.
- Ramos, A., E. Pérez-Solís, C. Ibáñez, R. Casado, C. Collada, L. Gómez, C. Aragoncillo, and I. Allona. 2005. Winter disruption of the circadian clock in chestnut. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102:7037-7042.
- Rohde, A. and R. P. Bhalerao. 2007. Plant dormancy in the perennial context. *Trends in Plant Science* 12:217-223.
- Reich, P. B. 1995. Phenology of tropical forests: Patterns, causes and consequences. *Canadian Journal of Botany* 73: 164-74.
- Pierce, S. M. 1984. A synthesis of plant phenology in the fynbos biome. South African National Scientific Programmes report 88. CSIR, Pretoria.
- Sakai, S. 2001. Phenological diversity in tropical forests. *Population Ecology* 43:77-86.
- Shukla, R. and P. Ramakrishnan. 1982. Phenology of trees in a sub-tropical humid forest in north-eastern India. *Plant Ecology* 49:103-109.
- Singh, K. P. and C. P. Kushwaha. 2006. Diversity of flowering and fruiting phenology of trees in a tropical deciduous forest in India. *Annals of Botany* 97:265-276.
- Tooke, F. and N. H. Battey. 2010. Temperate flowering phenology. *Journal of Experimental Botany* 61:2853-2862.
- Way, D. A. 2011. Tree phenology responses to warming: spring forward, fall back? *Tree Physiology* 31:469-471.