

太魯閣國家公園長期生態物候  
監測計畫（四）

受委託者：國立東華大學

研究主持人：陳毓昫副教授

太魯閣國家公園管理處委託辦理報告

中華民國104年12月

本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見。



## 目次

摘要 .....	vii
Abstract .....	ix
第一章 前言與研究目的 .....	1
第二章 研究方法 .....	7
第一節 氣象資料整理 .....	7
第二節 中橫沿線特定植物種類之開花、結果物候之監測 .....	9
第三節 評估影像物候監測方法之可行性 .....	11
第四節 指標物種的花期預測及即時信息發佈的可行性評估 .....	13
第五節 志工參與物候監測的可行性評估及培訓教材之擬訂 .....	13
第三章 研究成果 .....	15
第一節 中橫沿線氣象站設施之維護及氣象資料整理 .....	15
1. 氣象設施維護 .....	15
2. 氣象資料整理及檢視 .....	16
第二節 中橫沿線特定植物種類之開花、結果物候監測調查 .....	21
1. 開花物候之年間比較 .....	25
2. 開花強度之模擬 .....	28
第三節 評估影像監測方法之可行性 .....	33
第四節 指標物種的花期預測及即時信息發佈的可行性評估 .....	39
第五節 志工參與物候監測的培訓 .....	43
第四章 建議事項 .....	45
附錄 .....	47
附錄一 植物繁植物候監測志工培訓手冊 .....	47
附錄二 期中簡報審查會議紀錄 .....	67
附錄三 期末簡報審查會議紀錄 .....	71
參考書目 .....	75



## 圖次

圖 1.	太魯閣國家公園地形圖(資料來源：太魯閣國家公園網站).....	5
圖 2.	立霧河流域區域植被圖 (資料取自林務局 2009) .....	5
圖 3.	立霧河流域各氣象、雨量、氣溫測站位置圖 .....	8
圖 4.	植物樹冠影像處理與分析流程 .....	12
圖 5.	日溫度遞減率月變化圖 (°C/100 m) .....	20
圖 6.	花期在海拔梯度上之變化：高-中海拔段落.....	22
圖 7.	花期在海拔梯度上之變化：中-低海拔段落.....	23
圖 8.	單一海拔樹種花期比例之比較.....	24
圖 9.	山櫻花 (重瓣) 之均溫模型 .....	29
圖 10.	山櫻花 (單瓣) 之均溫模型 (溫度間隔=0.5) .....	30
圖 11.	青葉楠花朵及背景三元色分布之比較 (陰天) .....	36
圖 12.	青葉楠花朵及背景三元色分布之比較 (晴天) .....	36
圖 13.	青葉楠花朵及背景綠-藍光差值 (G-B) 分布：晴天與陰天之比較。.....	37
圖 14.	日本櫻前線預報圖 .....	42



## 表次

表 1. 太魯閣國家公園植物物候調查樣樹及計量 .....	10
表 2. 園區內氣溫測站及氣溫資料獲取時間 .....	16
表 3. 日氣溫資料獲取率 .....	16
表 4. 逐月溫度變化 .....	18
表 5. 平均溫度遞減率變化 (每百公尺) .....	19
表 6. 各物種在 2012-2015 年間各花季的開花植株比例 .....	26
表 7. 主要物種之平均開花時間比較 .....	27
表 8. 花苞至開放花朵所需時間 .....	27
表 9. 開花擬合模型參數 .....	32
表 10. 青葉楠前景與背景之 G-B 差值分布界線 .....	37
表 11. 山櫻花前景與背景之 R-G 差值分布界線 .....	38



## 摘要

關鍵詞：開花物候、影像分析、RGB、太魯閣國家公園

### 一、重要發現

本研究針對太魯閣國家公園境內的物種（含人工栽培之山櫻花）進行長期開花及結果物候之監測。利用將近四年的物候及氣象監測資料，我們發現各物種的平均開花日期（盛開）有延後的現象，花朵發育至盛開所需的平均時間在三年的花季間也有相當程度的變化。利用統計模型擬合，我們發現溫量的累積雖未能準確預測所有時間點的開花強度，但是對於盛開時間的估算有相當高的一致性，可供未來花期預測之參考。日本擁有最佳的櫻花季發佈系統，這項工作奠基於日本氣象廳及民間團體長期監測氣象及櫻花的開花物候。國內的花季資訊發佈多仰賴現場人員的觀察，資訊整合不易，我國若能持續觀測樣樹物候、收集相關氣象資料，假以時日亦能達到相當之預測水準，以為生態系經營管理及生態旅遊規劃之用。在影像分析上，我們針對粉紅色系與黃綠色系的花進行解析，建議分別以紅-綠光差值（R-G）及綠-藍光差值（G-B）進行花色與其背景的切割。

### 二、建議事項

#### （中長期建議）

無論是系統觀點的生態系經營策略，或是國家公園引導遊客之遊憩規劃，均仰賴對自然系統的深入且全盤的瞭解。在生態系統中，各環節之間都有緊密的關係，然而，遇到系統或環境的波動時，有些物種或現象會立即產生明顯的反應，有些則經由其他生物系統緩衝，變化較緩。這些變化迅速的現象或物種，可以視為先驅指標，而變化較緩的現象或生物，則為長期的生態穩定度指標。無論是哪一種指標，如要明確指出變化的劇烈程度，都需要累積長期的資料。物候變動是植物對環境變化所呈現的生理反應，屬於迅速的變動，適於作為中期的監測指標。物候變化會導致物種的更新受限或領域擴張，族群和群落變化儘管較慢，卻是一個區域基礎資源變動的來源。本研究提出幾種物候變化的指標，也嘗試發展、簡化物候監測的流程。然而，這些工作確實需要長期資料的支持，以提高準確度。

我們建議管理處持續對區內的重要物種及相關的氣象因子進行長期物候監測。

（立即可執行之建議）

太魯閣國家公園幅原寬廣，加上地形陡峭，許多地區難以到達，實為長期監測工作之一大阻礙。要克服此等障礙，無非是增加人手或運用新科技的協助。本研究主要焦點為氣象資料及物候資料的長期累積。對於前者，坊間已經有成熟的技術可針對大部分的資訊進行自動收集的工作；對於後者，儘管本研究針對花期的自動監測已有部分技術上的突破，但距離此技術的推廣仍有一段距離，需多方收集資料，對技術的穩定性再三加以確認，方可作為實測之工具。針對以上兩大類資料之收集工作，本團隊提出以下建議：

一、氣象站的維護：本研究因為使用園區內氣象資料之故，不定期地拜訪蓮華池及碧綠兩個固定式氣象站，發現部分零件逐漸老化，且站旁植被逐漸有干擾資料收集之嫌。目前資料收集雖不至被這些情況影響，然宜未雨綢繆，及早對各項設備作檢驗與維護，以免在重要時刻有資料遺漏之憾。我們建議太魯閣國家公園管理處安排固定之人力進行巡視與資料下載之工作，以確保氣象站之運作與資料之周全性。

二、利用自動相機監控物候：本研究對於利用簡易型數位相機取得影像進行物候監測之工作漸有心得，且此法已逐漸成為全球各地監測物候之常設方法。國際上長期之物候監測常使用定時之數位自動相機，對於單一樹木或固定可辨識之數個樹冠進行定時攝影的工作，亦有部分監測單位使用監控錄影機進行全天候監控，並即時將影像資料傳回工作站，以隨時進行分析。這些新的資料收集方式不但可降低野外人力需求，也部分解決了交通不便的問題。惟此法需尋求適當的位置架設監視設備，以符合分析之需求。太魯閣國家公園區內不乏適於架設相機的監測點，在人力缺乏的條件下，如欲持續監測工作，此法亦不失為良方。

## Abstract

Keywords: flowering phenology, image analysis, RGB, Taroko National Park

### 1. Important findings

The study monitored reproductive phenology in several species, including one cultivated cherry species. We analyzed climatic and phenological data cumulated in the past 3.5 years. In the past three flowering seasons, we found delayed flowering through the years. We also found substantial difference in the bud-to-flower time. We conducted regressions with maximum likelihood method. Parameters estimated did not predict the behavior precisely but had good projection on peak flowering time. These models could provide reference for future forecasting of flowering. Japan has the best system for cherry blossom forecast, which built upon the grand foundation of long monitoring, in both environmental factors (especially climatic factors) and flowering phenology. In Taiwan, we relied on personal observations before flowering time for such forecast. This reduced accuracy for the difficulty of information integration. Therefore, it is important to continue the work of long term monitoring, for the service of ecosystem management as well as eco-tourism. We have conducted image analyses aiming at pink and greenish yellow flowers. We found proper RGB color combinations to resolve the issues. Stable thresholds are found for both colors (species).

### 2. Suggestions

(Suggestion of long-term)

Comprehensive understanding on our natural system is crucial for both ecosystem management and planning for tourism and eco-tourism. In any ecosystem, elements are connected directly or indirectly. When disturbance occurs, some species respond quickly to generate visible change while others may be buffered by neighboring species or through multiple linkage. Species or phenomenon that respond quickly could serve as an early warning index. On other hand, slow response should not be ignored and could serve as long term indicator of ecosystem stability. Identification of changes in the system, with either indices, requires long term monitoring. Phenological fluctuation is the outcome of plant physiological response to the changing environment,

which will result in population and community dynamics. Therefore, phenology is a mid-term index for plants respond to environmental fluctuations in no time. We explored changes in plant reproductive phenology and proposed several ways to extract information regarding phenological fluctuations. Aids to such monitoring were also proposed in the study. Despite various ways to carry out such work, the most important key to build solid foundation for management is long term data. Therefore, we recommend the Park continue the monitoring on plant phenology as well as climate.

(Suggestion of short-term)

Main focuses of the study requires long term climatic and phenological data. Mature automatic methods are implemented in the collection of climatic data. We have explored some feasible approach for the phenological monitoring. To ensure such long term collection is carried on efficiently, we list the following suggestions:

1. Maintenance of weather station: two permanent weather station within the Park (Bi-Lu and Lienhuachih) were visited by the research team during the year. We spot sign of aging in some parts of the equipment. In addition, growth of vegetation near the station is likely to affect the function of the stations in near future. We urge the Park to conduct some maintenance work to prevent loss of important data.

2. Automatic photographing on individual canopies or a patch of canopies become a popular approach in phenological monitoring. Such method solves the issue of traffic and manpower for the work of phenological monitoring. Taroko National Park is a good place to implement such approach. We recommend such approach to the Park if longer term monitoring is to be carried out.

## 第一章 前言與研究目的

工業革命及經濟發展全球化後，工業活動及對土地及資源的需求遽增，造成大氣二氧化碳等溫室氣體的濃度增加、臭氧層稀薄化及森林砍伐等大規模環境變化。這些變化迅速地演變成爲全球暖化、環境變遷、及生物多樣性喪失等等問題，並提高了未來氣候的不確定性。為了評估這些變化對各地區造成的影響，各國無不紛紛啟動大規模且長期的氣候及生態系監測工作，並積極尋求有效之環境指標，以期能更準確地預測環境變遷對自然生態系統的衝擊。然而，正由於快速經濟發展對環境資源的需求極高，多數自然環境已遭破壞而無法用於全球變遷的評估工作。相較之下，國家公園管理下的自然區域承受較少的直接人爲干擾及破壞，可提供較單純的監測平台，在臺灣永續發展的研究課題上日形重要。氣候的變化對於植物的影響層面甚廣，研究卻甚爲稀少，其中尤以植物的繁殖行爲資料最爲缺乏。本計畫爲補足這方面的資訊缺口，使基礎生態資料更爲完備，特於太魯閣國家公園中橫公路展開物候監測工作。

近年來國家公園與自然資源的經營管理者體認到生態系統的複雜特性，以及社會價值、經濟發展及人爲活動特性之變動，逐漸由以往的「指令—控制」式的經營，轉而著重生態系服務（ecosystem services）與彈性（resilience）發展，以應對不可預期的意外造成的衝擊。要瞭解複雜的生態系，往往需要借重模擬工具來對情境模擬及風險評估，而生態基礎資料及生態系過程建模提供了參數化生態模式的機會，使模擬的結果更貼近現實，且模擬不同經營策略或可降低經營管理上不確定性的風險（Kendall 2001），此點凸顯長期生態監測與研究在自然資源經營管理上的重要性。

在未受干擾的自然區域進行長期生態研究，一方面可以提供評估環境變遷的基線資料，另一方面則提供了對生態系過程或機制的理解。根據前人對太魯閣國家公園園區內各海拔位置的觀測，隨著地理與海拔位置的變化，氣象因子的變化程度在各海拔間多有差異（夏禹九 2011）。各地區氣候的變化影響了許多生態過程，例如聖嬰現象等氣候劇變發生時，植物受氣候變動的影響而改變初級生產力，多數的動物族群則會因為植物生產力的變動而有行爲或族群上的變化（黃美秀等 2009；Curran and Leighton 2000）。在既有的氣候梯度下，全球變遷導致的氣候變動強度也可能有海拔上的差異。例如，立霧河流域內之植被由低至高涵括了常

綠闊葉林、針闊葉混淆林、針葉林、針闊葉灌叢、及高山草本植群等。在該流域範圍中，低海拔的植被較少經歷低溫及霜期，中高海拔的植被則有較明顯的冬季低溫期，居於其間的霧林帶植被則偶有低溫之經歷。在全球氣候變動漸趨極端的狀況下，以往可為植物控制蟲害的極低或極高溫，可能加劇而對植物本身產生直接的衝擊，進而對生態系中的生物產生多重影響。極端氣候的發生可能意味著低海拔植物逐漸暴露在越來越常出現的低溫之下，而中高海拔植物則要面對夏季高溫的挑戰。由於這些極端氣候發展的時間極短，極端現象出現的頻度也相當難以預測，因此動植物的演化無法快速產生適性。在評估生態系所受的衝擊和預測其未來變化方向時，這些動植物間的交互作用和氣象因子對植物的直接及交互作用的相對重要性均需列入考量。在了解生態系多樣的過程與機制時，我們期望先觀測基礎生產者—植物的繁殖行為與氣候的關係，以作為其他各種生態系過程（process）研究之基礎資料。為因應本區的地形並配合特定地區的生態研究，本案將持續利用太魯閣國家公園新建置的兩個固定氣象站（碧綠神木、蓮花池）所建立的資料庫；並使用可移動式的氣象資料收集器，對立霧溪沿岸植被進行山地氣象參數之短期收集，以輔助局部氣候資料的不足（夏禹九等 1989）。

太魯閣國家公園內的立霧溪為區內主要河川系統，流域涵蓋峽谷、雲霧帶及合歡山高海拔等地區，約佔太魯閣國家公園範圍的三分之二（圖 1）。該流域西高東低，上游呈扇形，在天祥附近匯流後，湍急奔流東下於新城附近注入太平洋。立霧溪主流全長 53 公里，在這極短的距離中，高度卻從河口的海平面急速拔升至 3000 餘公尺的合歡山與奇萊北峰之間，河川坡度陡峻為其特色。流域內之植被隨海拔由高山草本植群、針闊葉灌叢、亞高山針葉林、上部山地針葉林、山地針葉林、山地常綠至下部常綠闊葉林（圖 2），變化相當大。立霧溪流域複雜的地形使氣候變化產生明顯的海拔梯度，進而影響植物的繁殖行為。本區的陡峭地形提供了天然的控制條件，使研究人員得以專注研究溫度等氣象因子對植物、動物的影響，而不受緯度帶來的變化所擾。

本研究針對太魯閣國家公園區內各海拔的樹木進行繁植物候的監測，並期望建立物候基礎資料，以因應未來花期預測及生態系統變動評估所需。物候學著重於瞭解各物種或生態系統的生理或行為是否有固定循環，以及影響這些循環的可能原因，常用以描述物候的特性指標有時機（timing）、持續時間（duration）、

及週期性 (periodicity) (Newstrom *et al.* 1994, Bawa *et al.* 2003)。在一個植物群落中,植物繁殖物候特性因物種而多有不同(Borchert 1983, Borchert *et al.*, 2004);群落之間的物候組成也有相當的差異(Sakai 2001)。有些物種的開花行為受到雨量的影響,如熱帶季節性森林的林下物種(Augspurger 1981);有些物種的花季則與氣溫有明顯的關係,如雪山地區的玉山杜鵑(潘振彰 2012)。大部分的繁殖物候觀察都集中在草本植物,而木本植物的物候研究則多為短期研究或群落層級的研究,僅有少數研究能集中並長期地觀察特定物種(Brearley *et al.* 2007; Sakai 2002)。嚴謹的分析工作需要確實而充足的資料作為基礎,方能闡明物候與氣候的關係,進而利用這些模型進行預測或評估的工作(Aono *et al.* 2008)。

在觀光活動盛行的地區,重要賞花物種(如日本的櫻花和薰衣草)的花期預測對於旅遊業的重要性不下於對生態學家的吸引力。更甚者,不同地區的族群可能因區域性環境的差異而展現花季的時差。因此,花期的預測必須考量具有影響力的各項因子。花期的預測有幾個主要的方式:(1)利用長期的觀察,找出影響花期的重要因子,如光週期、溫度、或雨量等;再進一步找出這些因子與花季的相關性,以之建立模型後進行預測。(2)對群落中多個物種的物候(包括展葉、落葉、開花等多個階段)進行相關性分析,利用這些相關性來選擇指標物種,並以該指標物種及其物候變化作為花季預測。(3)檢驗環境因子與開花相關的基因表現及開花時間之間的關聯性,建立對應之模型來進行預測。其中,第三種方法包含了開花機制(Satake *et al.* 2013),在研究方法上較為繁細,且需要大量經費,然而所建立的模型較為精準。前兩種方法僅利用氣候與物候事件之間的相關性來進行預測,是目前較為盛行的方法。例如,利用日本百年來的櫻花祭記錄,生態學者們建立了物種之間的關聯性,並試著利用這些長期記錄來瞭解野外族群與都會族群的花期差異(Primack *et al.* 2009)。然而,要將同樣的方法應用於花期預測上,長期的數據累積是不可或缺的。

長期野外觀察需要足夠的人力物力支援,且常常因為天候及其他地理素因而受到限制。在新的科技趨勢影響下,生態研究工作也開始應用新的工具來彌補人力之不足。近十年來,受惠於新興科技,物候研究亦開始使用數位相機進行影像攝取,並利用各種分析軟體及理論來實驗影像物候監測的可能性(Granados *et al.* 2013a; Granados *et al.* 2013b)。目前既有的影像分析軟體對於數位影像的色彩特

性分析有一定的可行性（張逸群及鍾文貴 2012），但是多數的分析仍侷限在一定的天候下的影像。在物候的研究中，調查時間是不可更動的，因此，克服天候對影像分析的影響成為此技術在野外應用上最重要的挑戰。

近年來，開發國家民眾的自然意識高升，許多人選擇在閒暇之餘擔任國家公園及保護區的志工，以達到親近並保護自然資源的目的。這些志工對於自然科學的研究工作也有一定的熱誠與好奇心。因此，各國政府開始推動公民科學家的計畫，將非全職的志願工作者放在長期監測工作的規劃之中，協助進行大規模的監測工作（Kaartinen *et al.* 2013）。這個策略可減少長期工作所需的經費支出，提高公民對該項計畫的關心與參與程度，並達到環境教育的目的。然而，公民科學也有一定的風險與不確定性。因此，在管理和工作規劃上，如流程簡化，需要更多的心力；在科學研究的嚴謹度上也需要適當的精確度檢驗（Roy *et al.* 2012）。

本年度太魯閣國家公園區內的植物繁殖物候調查已進入第四年。結合前三年的資料與經驗，本案期望完成下列工作目標：

1. 針對區內的氣溫變化梯度進行細部探討，並建立海拔梯度的溫度遞減率模型，作為立霧溪谷沿線各物候監測站點氣溫估計的基礎。
2. 瞭解園區內主要植物的繁殖物候學，包括物候變動模式，以及溫度變動與物候模式的關係。
3. 評估提升研究規模的方式，包括數位影像分析及物候種子志工的培訓。
4. 評估即時發佈物候訊息的可行性。





## 第二章 研究方法

### 第一節 氣象資料整理

台灣東部山地地形複雜，局部氣候變化甚大，不同海拔高度的氣象監測提供重要的資訊。在區域尺度的研究顯示，以一般慣用的垂直遞減率  $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  推算高海拔的大氣溫度並不合宜，特別是在濃霧經常發生的霧林帶中，其氣溫垂直遞減率僅  $0.4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  (夏禹九 2011)，如以慣用遞減率估算無法呈現山地氣溫格局。此外，小尺度因地形變化或微棲地條件的差異，對於植物物候學或植被學上的影響則屬未知。為此，本計畫利用慈母橋（海拔 380 m）、西寶（海拔 915 m）、新白楊（海拔 1644 m）等三處的簡易型氣溫觀測站（Onset Hobo(R) U23 Pro v2. 溫度探針與紀錄器），持續以每 10 分鐘一次的頻率紀錄氣溫的變化，補充固定式氣象站間的資訊。計劃期間內每兩個月對這些簡易氣象站設施進行檢查、下載資料、判定現場儀器狀況與保養，以確保儀器的正常運作。在山區路況許可的情形下，我們也前往蓮花池（海拔 1050 m）、碧綠神木（海拔 2212 m）等固定氣象站下載資料，並紀錄環境與儀器的運作情況。

本計劃整理所有可取得的測站氣溫資料，經合併、除錯等資料品管手續，仍有缺漏的部分則以相鄰的測站資料推估後填補。推估方式是以測站間的高程差，經春（3-5 月）、夏（6-8 月）、秋（9-11 月）、冬（12-2 月）四季之溫度遞減變化率換算而得，溫度遞減率的計算方式，以慈母橋為例：

慈母橋-蓮花池間遞減率 ( $/100\text{m}$ ) =  $100 * (\text{蓮花池氣溫} - \text{慈母橋氣溫}) / (\text{蓮花池海拔高度} - \text{慈母橋海拔高度})$ 。資料填補以相鄰氣象站為主，區分為三個海拔段落：慈母橋-蓮花池、蓮花池-新白楊、與新白楊-碧綠。

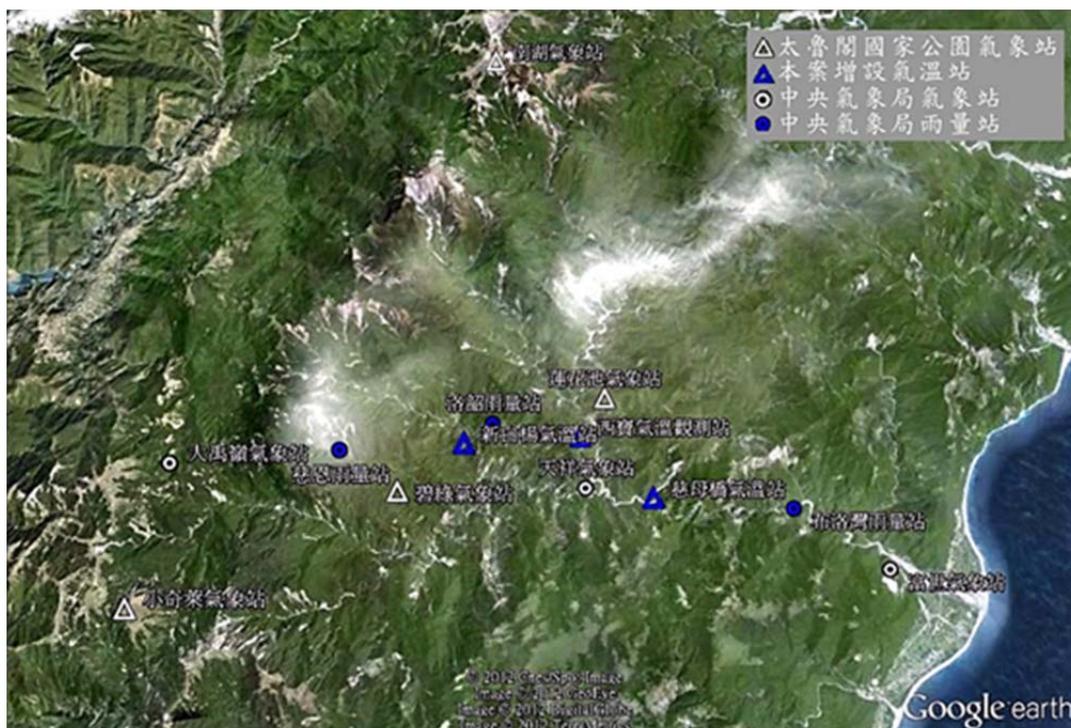


圖 3. 立霧河流域各氣象、雨量、氣溫測站位置圖。

## 第二節 中橫沿線特定植物種類之開花、結果物候之監測

植物的開花及結果物候與氣象因子往往有著密切的關係，因此，沿著緯度、海拔或濕度梯度的變動，即便是同一物種亦可能有不同的物候表現 (Richardson *et al.* 2005, Piovesan and Adams 2001)。為瞭解氣候變化的趨勢及植物繁植物候之間的關係，本案在立霧河流域、海拔 250 至 2500 公尺範圍內，選定常見物種之植株，對各植株定期進行物候調查 (表 1)。

定期物候調查內容包括花、果兩器官之發育及其不同成熟度的記錄、及全株花/果量之粗估：

花苞：含苞之花序及單花，僅含未開花之花苞。

花朵：已開放之花朵，以目視法鑑定為未凋萎者記之

未成熟果：花序上的花朵若有凋謝、且子房膨大為果實者，記錄為未熟果狀態

成熟果：依照各樹種的果實成熟特徵 (果實顏色或大小變化) 分別進行判別。

對於上述各個發育狀態，全株產量粗估以下述指標記之：

0 表示未開花

1-表示花量僅佔冠幅的 1% (少數花朵)

1 表示花量佔植株冠幅 2-25% 面積

2 表示花量佔植株冠幅 26-50% 面積

3 表示花量佔植株冠幅 51-75% 面積

4 表示花量佔植株冠幅 76-100% 面積

表 1. 太魯閣國家公園植物物候調查樣樹及計量。

物種名	株數	中文科名	科名	學名	樣區的海拔段落
山櫻花	220	薔薇科	Rosaceae	<i>Prunus campanulata</i>	高-中
青剛櫟	28	殼斗科	Fagaceae	<i>Cyclobalanopsis glauca</i>	中-低
太魯閣櫟	20	殼斗科	Fagaceae	<i>Quercus tarokoensis</i>	中-低
白雞油	15	木犀科	Oleaceae	<i>Fraxinus griffithii</i>	低
假長葉楠	14	樟科	Lauraceae	<i>Machilus japonica</i>	高-中
台灣枇杷	13	薔薇科	Rosaceae	<i>Eriobotrya deflexa</i>	中-低
西施花	13	杜鵑花科	Ericaceae	<i>Rhododendron ellipticum</i>	高-中
梧桐	13	梧桐科	Sterculiaceae	<i>Firmiana simplex</i>	低
阿里山千金榆	11	樺木科	Betulaceae	<i>Carpinus kawakamii</i>	低
石朴	11	榆科	Ulmaceae	<i>Celtis formosana</i>	低
昆欄樹	11	昆欄樹科	Trochodendraceae	<i>Trochodendron aralioides</i>	高-中
石楠	9	薔薇科	Rosaceae	<i>Photinia serratifolia</i>	低
賊仔樹	9	芸香科	Rutaceae	<i>Tetradium glabrifolium</i>	低
霧社楨楠	8	樟科	Lauraceae	<i>Machilus zuihoensis</i> var. <i>mushaensis</i>	高-中
杜英	7	杜英科	Elaeocarpaceae	<i>Elaeocarpus sylvestris</i>	中-低
錐果櫟	6	殼斗科	Fagaceae	<i>Quercus longinux</i>	高-中
烏心石	5	木蘭科	Magnoliaceae	<i>Michelia compressa</i>	高-中
狹葉櫟	4	殼斗科	Fagaceae	<i>Quercus stenophylloides</i>	高-中
玉山杜鵑	3	杜鵑花科	Ericaceae	<i>Rhododendron pseudochrysanthum</i>	高-中
阿里山榆	1	榆科	Ulmaceae	<i>Ulmus uyematsui</i>	
霧社山櫻花	1	薔薇科	Rosaceae	<i>Prunus taiwaniana</i>	

高：樣樹所在位置海拔>2100 公尺；中：樣樹所在位置海拔界於 1000-2100 公尺範圍內；  
低：樣樹所在位置海拔低於 1000 公尺。

### 第三節 評估影像物候監測方法之可行性

在電腦科技日新月異的發展下，數位影像的取得及分析技術較以往更為成熟，成本也大幅降低。理論上，影像分析技術可分離數位影像上的色譜，在花果與葉片之間色差明顯的物種上面，應可達成花果與葉片的辨識工作，並提供進一步的量化基礎。雖然現存於市面上的影像分析軟體多有去背景的功能，但是因為技術上多使用矩陣運算的方式來進行影像辨識及區分，對於細緻且分布不連續的圖形較不適用。本研究將延續上一年度已建立的影像分析流程（圖 4），針對尚未解決的問題，如天候對臨界值的影響、及其他花色的分析工作等進行後續的研發。若利用影像進行開花結實強度量化之工作是可行之法，我們將這項技術發展可以配合其他的設施和人力運用，進一步發展標準流程，讓專職與業餘的工作人員可以最快的速度完成影像擷取工作，減少人為誤差而提高物候生態研究的解析度。本計畫將持續探索目前常用的 RGB 色譜分析技術，找出適用的 RGB 計算式或將 RGB 轉為其他更恰當的色彩空間，對開花強度進行量化之估算。本案亦將比對影像分析結果與實際的物候評估，以瞭解此法的可行性。在花季期間，本計畫將會以每週一次的頻率對選定拍照的樣樹進行固定的拍攝工作，拍攝工具為一般常用的數位相機；在花季結束後，我們仍將對選定的樣樹進行每個月兩次的拍攝工作。所有照片將會以圖 4 的分析流程進行分析。

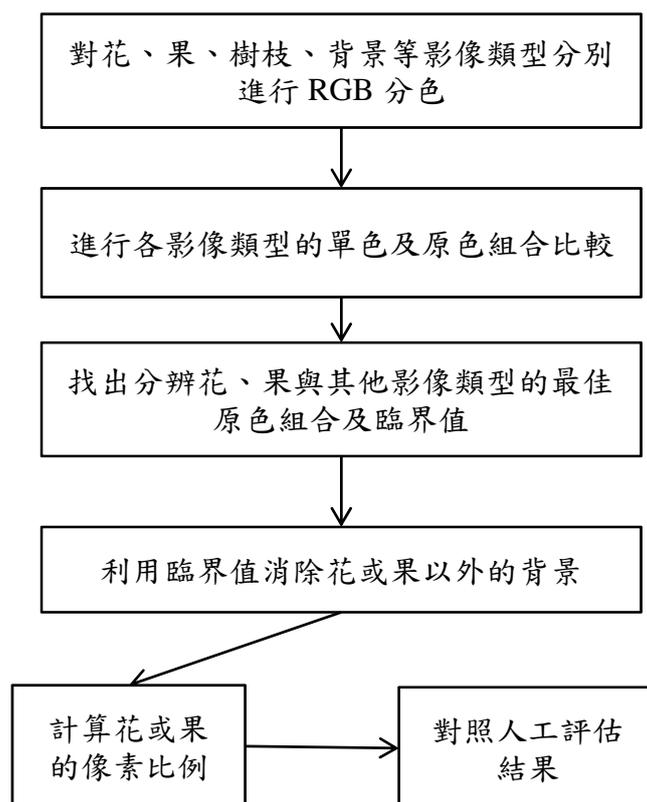


圖 4. 植物樹冠影像處理與分析流程。

#### 第四節 指標物種的花期預測及即時信息發佈的可行性評估

花期的物候節律不僅在生態學上有重要的功能，同時也一項重要的遊憩資源。全世界著名的日本賞櫻祭典，每一年都吸引著全世界大量的觀光人潮，創造相當規模的經濟效應。要能完善的規劃賞花觀光資源，首要步驟是建立可信的花期預報與資訊發佈措施，前者需要物候學研究，後者需要相關部門的經驗與合作。

花期的預報仰賴有效的評估模型，而評估模型的基礎是長期、規律的物候觀測與環境資料。本案的所進行規律、密集的花果調查，可以滿足物候學上「開花物候-環境因子」模型之需求，本團隊以此資料嘗試建立模型，並對該相關性的強度進行檢驗，以評估花期預測工作之可行性。本計畫將定期對部分樣樹進行樹冠的影像記錄，這些記錄雖無法直接作為預測的工具，但可作為即時的物候報導材料。

花期資訊發佈的措施方面，我們觀摩日本發佈櫻花季的資料，以瞭解國家層級的賞花資源之發佈方式，並同時以台灣規模最大的陽明山花季為區域層級案例，探索可操作的發佈方式。兩者的經驗可提供管理處於研擬發佈花季資訊的管道及管理辦法之參考。

#### 第五節 志工參與物候監測的可行性評估及培訓教材之擬訂

物候的監測是一個仰賴專職人力的工作，監測人員在受過訓練後，對開花結果的物候評估可保持一致性，這個專業性往往限制了可參與協助的對象。此外，物候監測工作要求極高的規律性，提高了工作時間分配的挑戰。然而物候監測過程，往往也是最好的生態觀察，對於喜愛大自然的自然志工而言，具有一定的吸引力。自然志工的最好特質在於高度參與率及好奇心，如能加以訓練，提高志工對物候監測工作及其目的之瞭解，使之樂於參與，將可成為耗力的生態監測工作上最有力的助力。志工們並非全職專業人員，透過多方輔導並利用較多的志工人力相互配合，可提高志工們在此工作上的專業度，使其工作時間得以滿足規律監測工作的需求。本計畫延續上一年度的培訓課程，對有興趣的志工提供物候研究現況的講習課程，同時在志工們可配合的範圍內，於野外實作調查。



## 第三章 研究成果

### 第一節 中橫沿線氣象站設施之維護及氣象資料整理

#### 1. 氣象設施維護

本計劃取得 2012 年至 2015 年間，太魯閣國家公園於不同海拔高度所設立之氣象站資料，包含慈母橋(380m 移動式)、西寶(915m 移動式)、蓮花池(1050m 固定式)、新白楊(1644m 移動式)、碧綠神木(2212m 固定式)等五個測站。在統整氣象格式之後，各測站有效的資料區間與資料獲取率如表 2、3 所示。移動型氣象站設立簡便，但由於儀器的保固設計較為簡陋，導致資料獲取上表現較差。2014 年新白楊站遺失 63% 的資料，主因便是紀錄器無法完全密封，加上該站位處雲霧帶，水氣容易在氣象紀錄器之保護盒內及電路板上凝結，造成短路。在加強了記錄器的密閉程度並置入乾燥劑後，已解決了電路板短路的問題，同時增加資料下載頻度，本年度新白楊氣象站的資料已可以正常記錄並取得。西寶站於 2012-2014 年間因鼠類啃咬電線與農業活動的干擾，致使簡易氣象站易損壞，導致資料損失率過高(63-83%)，因此於 2014 年撤站，本年度再度評估之後，決定不予復站。

固定式氣象站因儀器規格、電力供給等條件較佳，儀器的運作比移動式測站穩定，因此資料獲取率上有比較高的穩定性。然而，蓮花池與碧綠神木測站自 2009 年設立至今已六年，儀器長年經風吹雨打，部分材料開始有老化的現象，需要校正或是更換，才能維持數值正確性。本計畫進行資料下載工作時，注意到目前兩個測站的輻射儀皆出現儀器內部水氣凝結，同時綜合氣象儀與智慧型溫濕度計亦有讀值異常的紀錄。此外，太管處氣象主機在經過系統升級、網路位址變更後，無法正確設置連線，導致固定式氣象站原有的無線傳輸資料的功能目前無法正常運作，資料必須以人力方式取回，增加人力負擔及資料遺失之風險。氣象站周圍環境的維護是正確觀測氣象要素的重要環節，由於缺乏定期維護的人力，氣象站的雜草經常高過溫度計與雨量筒，使這些數值的正確性大幅降低，其中又以雨量資訊的遺漏最甚。

**表 2. 園區內氣溫測站及氣溫資料獲取時間**

站名	慈母橋(Cm)	蓮花池(H1)	新白楊(Xby)	碧綠(H2)
類別	簡易型移動式	固定式	簡易型移動式	固定式
海拔(m)	380	1050	1644	2212
2012 年	06/28-11/26 12/29-12/31	03/04-12/31	06/28-11/26	01/01-12/31
2013 年	01/01-12/31	01/01-12/31	03/22-06/27 08/09-12/31	01/01-12/31
2014 年	01/01-05/17 05/29-09/12 12/18-12/31	01/01-04/21 06/18-12/31	01/01-01/16 01/23-02/07 05/29-07/14 08/13-09/11 12/17-12/31	01/01-12/31
2015 年	01/01-10/28	01/01-07/30	01/01-10/28	01/01-10/28

**表 3. 日氣溫資料獲取率**

站名	慈母橋(Cm)	蓮花池(H1)	新白楊(Xby)	碧綠(H2)
2012 年	42%	83%	41%	100%
2013 年	100%	100%	66%	100%
2014 年	70%	84%	33%	100%
2015 年	100%	100%	100%	100%

## 2. 氣象資料整理及檢視

本計畫利用分佈在各海拔的氣象站（慈母橋、蓮花池、新白楊、碧綠）來瞭解溫度遞減率在各海拔區段之間的穩定性，並探索遞減率在季節間的變動情形。如果遞減率在季節間與各海拔段落之間的表現並不相近，這些經驗公式將可提供細部氣溫估算之合理基礎。為達此目的，我們整合 2012 年 6 月至 2015 年 5 月的資料，計算各氣象站的每日均溫、每日最高溫、及每日最低溫，並檢視這些溫度數

值在各站之間的變化率。西寶測站因有大量資料缺漏而有偏差，經過評估，本案將該站資料排除。剩餘各站可提供遞減率計算之海拔區段為：慈母橋-蓮花池、蓮花池-新白楊、新白楊-碧綠。

太魯閣國家公園內慈母橋至碧綠之間，2012-2015 年間大氣溫度的逐月變化詳列於表 4。從這些氣象站的資料看來，立霧河流域全區最暖月是七月。慈母橋站七月的月均溫約攝氏 23 度左右，單日最高溫可達攝氏 31.9 度；碧綠站七月月均溫則為攝氏 17.6 度，最暖月的單日最高溫可達攝氏 26.6 度。本流域最冷月是一月，低海拔的慈母橋站月均溫為攝氏 14 度左右，單日最低溫則可低至攝氏 5.8 度；碧綠測站一月月均溫約為攝氏 5 度，日絕對最低溫為攝氏 -5.3 度。

溫度遞減率不但在各海拔區段之間有差異，在季節間也有所差異（表 5）。低海拔區段（慈母橋-蓮花池）的日均溫遞減率高於其他兩個區段，且季節間的遞減率差異較小（表 5）；在這個海拔區段的每日極端溫度值（最高溫、最低溫）的遞減率亦為三個海拔區段中最高者，季節間的穩定度亦最高。相較於低海拔區段，新白楊-碧綠區段的日均溫、每日最高溫、最低溫的遞減率均較小，意味著高海拔區段有較大（海拔）區域經歷較相似的溫度環境，在低海拔區段，較小的海拔變動即會有清楚的溫度變化。

在三個海拔區段當中，蓮花池-新白楊區段的日均溫遞減率及每日最高溫遞減率介於上下兩區段之間，季節性變異亦與其他區段相似。然而，此區段的每日最低溫遞減率的季節性差異大，其中尤以夏季的遞減率為最低，意味著夏季時，本區段的上下段地區之日低溫幾無差異。冬季時，本區段的日低溫遞減模式則與高海拔相仿。蓮花池-新白楊段是從霧林帶以下進入霧林帶區段，起霧時分可能造成溫度的波動方式不同。加以立霧河流域四季的霧像不同，起霧時間與每日霧期長度不同，可能因此造成溫度遞減率的季節差異。

我們進一步比較各個溫度遞減率的月變化（圖 5），發現冬季至春季的各項溫度指標的變化較相似，夏季與秋季之間的差異也較小，但是前半年與後半年的氣溫遞減模式有明顯的差異，尤以每日最低溫為甚。

表 4. 逐月溫度變化

月份	慈母橋	蓮花池	新白楊	碧綠
1 月	14.4 (5.8~24.9)	9.7 (-2.3~21.0)	6.6 (-1.9~18.2)	5.3 (-5.3~15.7)
2 月	16.3 (8.7~26.9)	11.8 (3.3~23.2)	8.0 (-0.1~19.7)	7.4 (-2.1~21.1)
3 月	15.5 (7.3~26.5)	13.4 (3.7~28.4)	12.0 (3.1~24.9)	9.8 (-0.7~23.7)
4 月	16.6 (8.2~26.1)	15.8 (4.6~30.3)	13.6 (3.5~26.6)	12.3 (1.8~25.5)
5 月	20.1 (13.1~28.1)	19.1 (9.7~29.5)	16.9 (5.6~28.9)	15.0 (7.5~24.1)
6 月	22.3 (16.3~29.6)	21.5 (12.4~32.8)	19.6 (14.2~29.7)	17.3 (9.9~26.0)
7 月	23.0 (18.5~31.9)	21.6 (11.3~33.5)	19.7 (14.5~28.7)	17.6 (12.7~26.6)
8 月	22.3 (17.1~32.8)	21.3 (13.7~31.5)	19.1 (14.6~28.6)	17.0 (12.2~24.8)
9 月	21.7 (14.7~30.7)	20.1 (8.6~29.6)	17.4 (9.2~26.5)	15.6 (8.6~25.4)
10 月	17.9 (11.5~26.0)	16.9 (5.5~29.2)	14.6 (6.6~25.5)	13.1 (3.3~22.7)
11 月	15.6 (10.2~25.5)	14.6 (3.1~25.1)	11.9 (0.4~22.8)	10.5 (-1.0~20.9)
12 月	14.2 (8.0~24.4)	10.5 (0.9~22.4)	7.1 (0.1~19.5)	6.3 (-2.0~16.5)

表列數值為平均溫度（絕對最低溫～絕對最高溫），單位攝氏度。

表 5. 平均溫度遞減率變化 (每百公尺)

	慈母橋- 蓮花池	蓮花池- 新白楊	新白楊- 碧綠
海拔(m)	380-1050	1050-1644	1644-2212
有效日資料數 (日)			
春 (3-5 月)	235	163	166
夏 (6-8 月)	292	221	270
秋 (9-11 月)	190	189	247
冬 (12-2 月)	224	125	125
日平均溫度			
春 (3-5 月)	-0.62	-0.38	-0.20
夏 (6-8 月)	-0.63	-0.36	-0.36
秋 (9-11 月)	-0.66	-0.42	-0.32
冬 (12-2 月)	-0.68	-0.48	-0.28
日最低溫度平均			
春 (3-5 月)	-0.70	-0.26	-0.23
夏 (6-8 月)	-0.77	-0.04	-0.34
秋 (9-11 月)	-0.81	-0.14	-0.33
冬 (12-2 月)	-0.81	-0.36	-0.36
日最高溫度平均			
春 (3-5 月)	-0.55	-0.43	-0.29
夏 (6-8 月)	-0.55	-0.54	-0.59
秋 (9-11 月)	-0.58	-0.59	-0.45
冬 (12-2 月)	-0.65	-0.50	-0.33

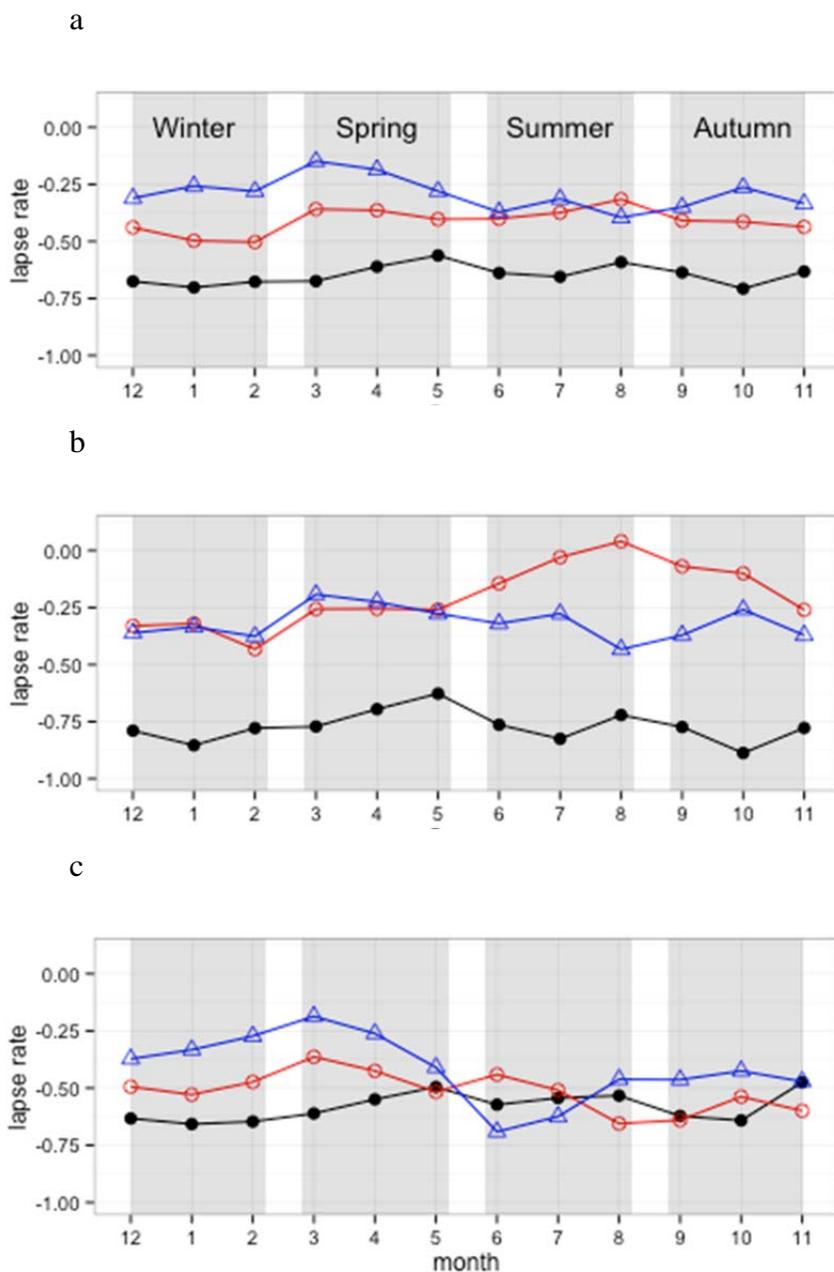


圖 5. 日溫度遞減率月變化圖 (°C/100 m)。每日均溫、日最低溫、及日最高溫海拔遞減率的每月變化分別示於(a)、(b)、(c)三小圖。各海拔區段之月變化分示如下：慈母橋與蓮花池 (•)、蓮花池與新白楊 (○)、新白楊與碧綠間 (Δ)。橫軸為月份，各季節則以陰影圖示：春 (3-5 月)、夏 (6-8 月)、秋 (9-11 月)、冬 (12-2 月)。

## 第二節 中橫沿線特定植物種類之開花、結果物候監測調查

本年度物候調查自 1 月 1 日起，對中橫沿線標定之 416 株樣樹進行定期調查。調查工作在主要花季期間（1 月 1 日至 5 月 21 日）採取每週 1 次的調查頻度；花季後至 10 月 29 日為止則採取雙週 1 次之調查頻度，共有 32 次的物候調查，並完成 15892 筆資料的輸入工作。在本年度的開花物候監測中，有 7 株樣樹沒有開花結果的情形，其餘的 409 株樣樹中有 352 株樣樹發育花芽、375 株樣樹有開花的情形；其中有 23 株植株有開花現象，但無花芽期之觀察；有 4 個植株則是在花芽期之後無開花之觀察。這些花芽期與花期資訊不一致的植株大多屬於開花較少，花期較短的個體。在結果物候的監測中，有 339 株樣樹有未熟果、267 株樣樹有熟果出現。在果實發育過程中，有 77 株樣樹沒有任何果實進入熟果期；另外，有 1 株石楠樣樹雖有成熟果的觀察資料，卻沒有果實發育期的觀察。這個觀察誤差的成因與花期的誤差相同，是該植株結果量稀少造成。在選定的 21 個物種中，除杜英之外，其餘 20 個物種均在本年度 1-5 月間開花；杜英的花期則為 6 月至 8 月。

由於部分物種的取樣跨越較大的海拔梯度，我們將所有樣點區分為三個海拔段落，以便比較不同海拔之間的物候變化。為了便於分辨，我們將這三個段落分別稱為高海拔、中海拔、低海拔段落：高海拔段落包括分佈在海拔 2100 公尺以上的樣站；中海拔段落包括分佈於海拔 2100 公尺以下、1000 公尺以上的樣站；低海拔段落則包括分佈於海拔 1000 公尺以下的樣站。

針對每一物種，我們計算各週的個體開花率（開花個體數 / 總個體數）以及該物種在每一個海拔段落的個體開花率。將個體開花率的時間序列資料會製成圖，即可比較物種之間的總體（overall）花期以及各海拔段落的花期差異。

在我們選取的 17 個物種中，有 6 種物種之樣樹跨越中、高海拔段落（圖 6）；3 種物種的樣樹跨越中、低海拔段落（圖 7）；8 個物種的樣樹則僅分佈於單一海拔段落（圖 8）。我們對橫跨兩個海拔段落之物種進行比較，發現在高-中海拔段的物種之中，僅有山櫻花（兩型）顯現出不同海拔間的花期差異（圖 6a、6b），其餘 4 種則未見花期有海拔段之間差異。在橫跨中-低海拔的物種之中，山枇杷與阿里山千金榆都顯現出海拔梯度上的差異（圖 7a、7c）。

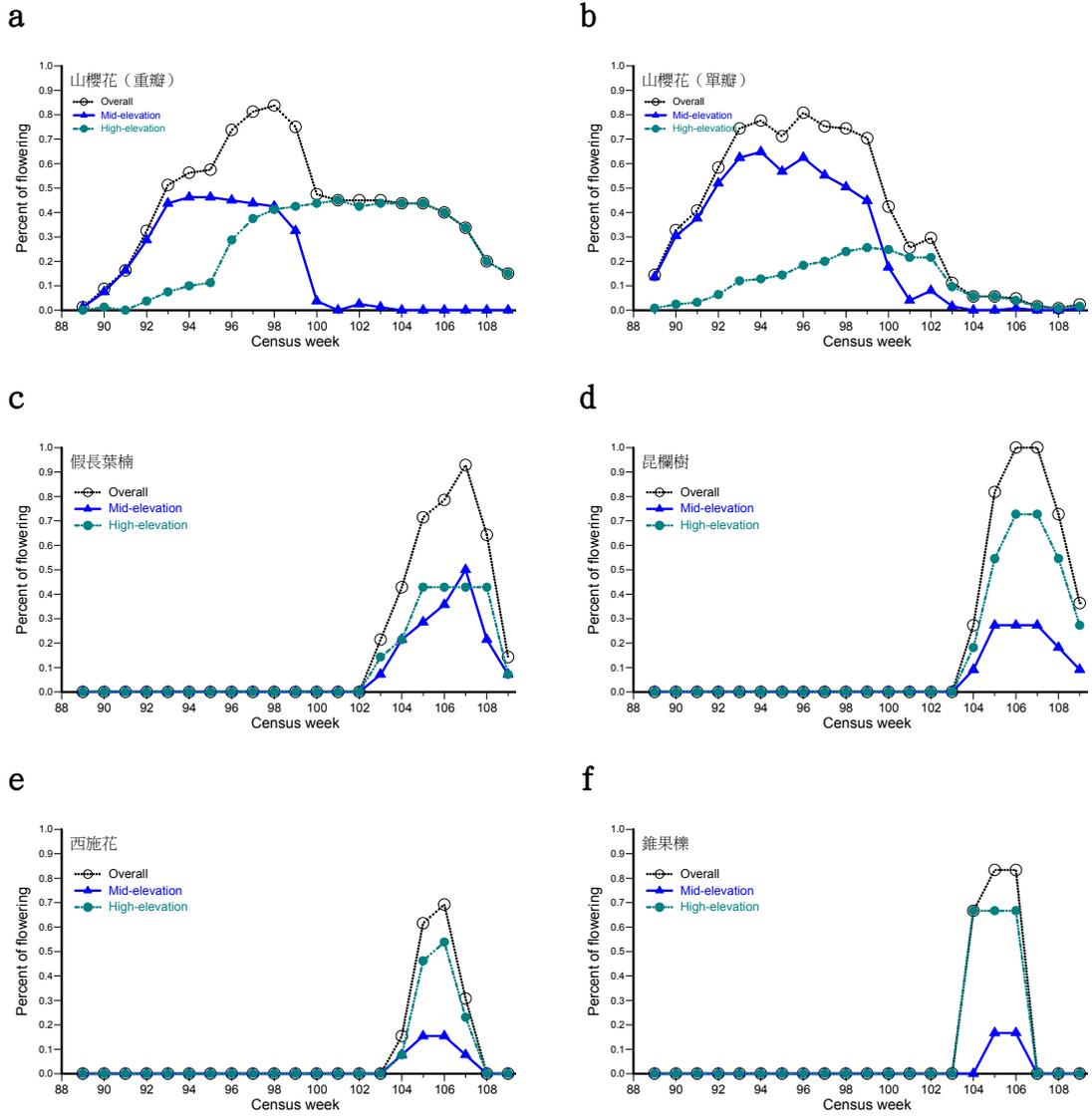


圖 6. 花期在海拔梯度上之變化：高-中海拔段落。

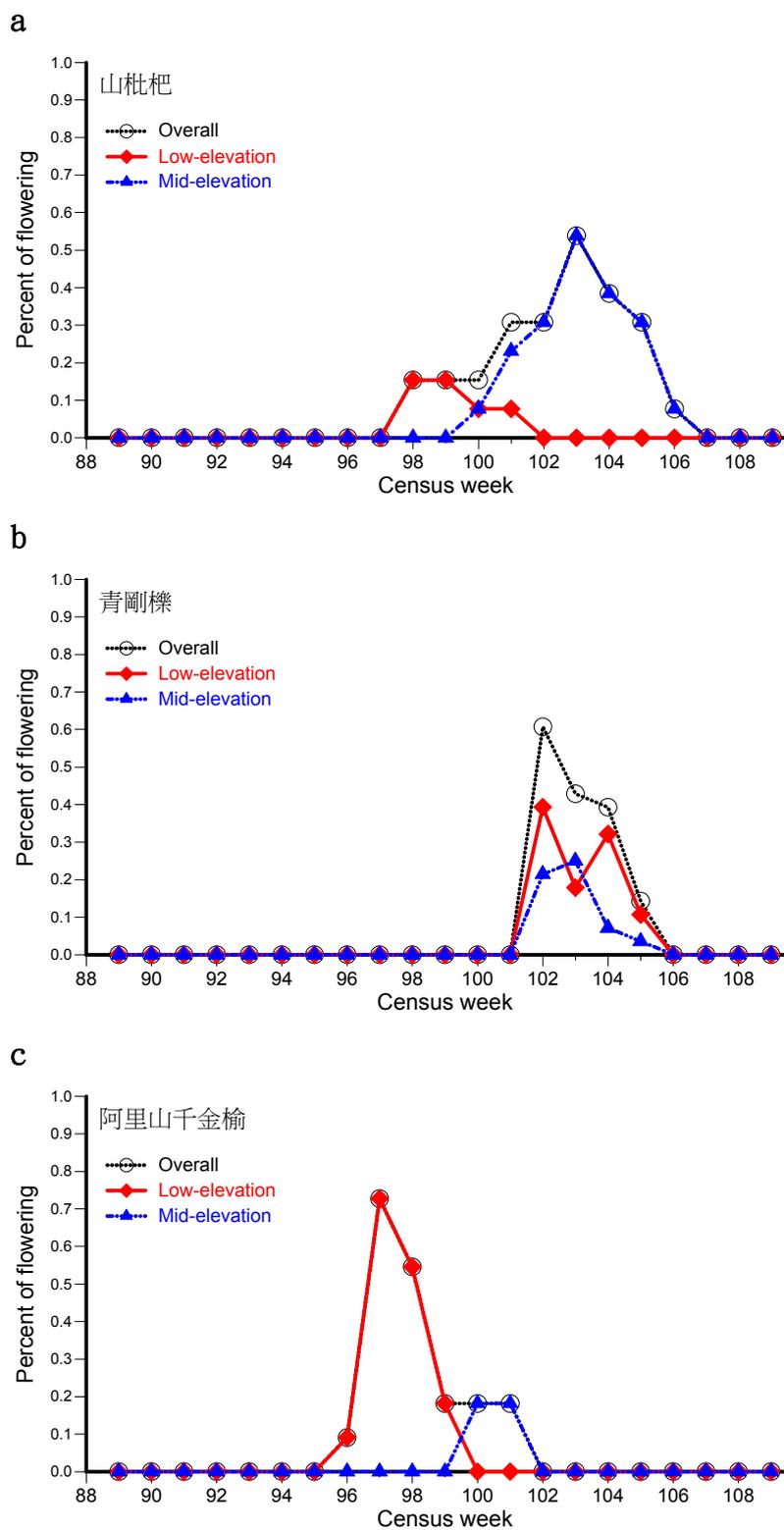


圖 7. 花期在海拔梯度上之變化：中-低海拔段落。

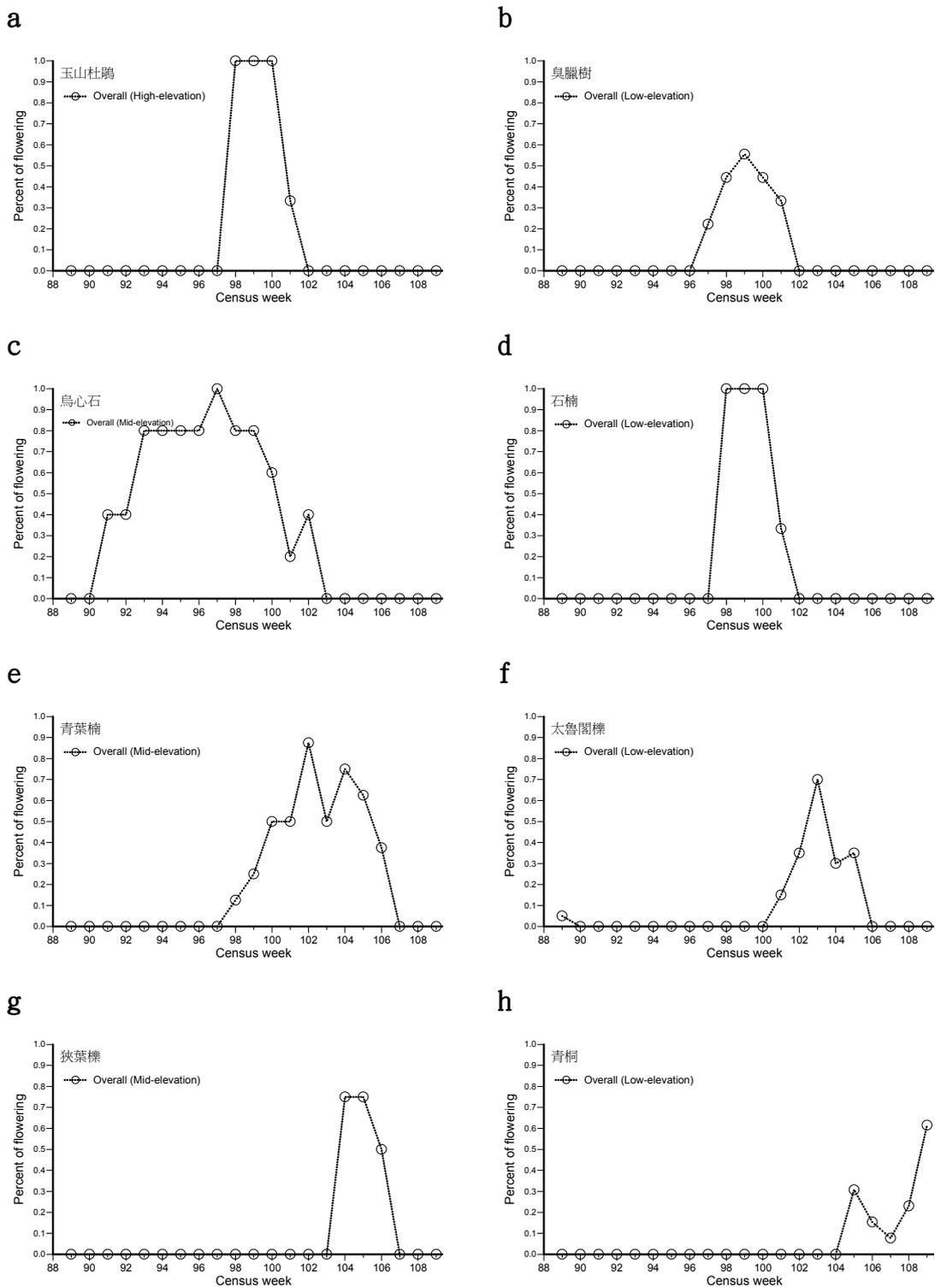


圖 8. 單一海拔樹種花期比例之比較。

## 1. 開花物候之年間比較

在物候資料的分析中，我們將 2012 年 5 月至 2015 年 10 月的物候調查資料合併，摒除了個體數較少的物種（霧社山櫻花、阿里山榆、白雞油、玉山杜鵑）。針對人為栽植的山櫻花，我們根據花型將之區分為兩種園藝型（單瓣、重瓣）。

我們以各花季開花植株數作為各物種在該花季的表現強度，並計算變異係數（coefficient of variation, CV），作為年間開花強度變化的指標。由於 2012 年標定樹種的工作跨越該年度主要花季（2-4 月），導致開花物候記錄不全，因此，變異係數計算僅包含 2012 年下半年至 2015 年 10 月的花季資料（3 個花季）。在本計畫選定之物種中，各年間開花比例較為穩定者（ $CV < 0.2$ ）有狹葉櫟、烏心石、錐果櫟、石朴、青桐、及人為栽植之山櫻花。各年之間花季不穩定的物種是臭蠟樹、西施花、假長葉楠、太魯閣櫟、青剛櫟（表 6）。

我們將開花日視為向量，將各物種的開花植株數和每一次調查所得之開花強度作為加權指數，利用環式統計（circular statistics）的計算法，算出每一物種在各年的平均開花日（近乎盛開時間中點）。大部分的物候預測工作以開花首日（first flowering date）作為指標（Primack 2009），與本研究採取的平均開花日不同。由於各物種的花朵開放強度在時間上的分配不盡相同，選擇不同的物候指標可能導致不一致的結論。本研究選擇使用平均開花日作為開花時間的指標，以配合野外調查的時間細緻度。開花首日的計算仰賴密集的觀察（以每日記錄為佳），或長期的資訊來降低誤差，不適用於本研究（每週或兩週一次之調查頻度）。

為確保估算的合理性，估算時，我們將開花植株數量不足的物種排除，僅對青葉楠、山枇杷、山櫻花（兩型）、假長葉楠、昆欄樹、錐果櫟、西施花、烏心石等物種進行平均開花日之計算，估算所得之平均開花日列於表 7。比較三個花季的平均開花時間，我們發現所有的物種的盛開時間都有逐漸延遲的現象，與一般預測相悖。其中，假長葉楠在 2013 年和 2015 年的平均開花時間延遲了 1.5 月；2013 年至 2015 年間開花時間變動較小的物種為山櫻花（重瓣：17 天；單瓣：13 天）及錐果櫟（15 天）。

上述的花期變動可能受多種因子影響，如氣候變動。在究因之前，我們針對花朵的發育期進行探討，以瞭解花苞至盛開的時間是否亦有相仿的年間變化。由於研究團隊對各物種的花苞辨識可信度不同，我們選取花苞及花朵均易於辨識之物

種（山櫻花、烏心石）進行初步探討。我們將花苞至花朵盛開所需的時間定義為花苞盛期至花朵盛期之間的時間，依據每一植株在單季中的花苞及花朵承載指數加權計算而得。重瓣之山櫻花從花苞至花朵盛開所需的時間在三年間變動最小，平均為 23.8-27 天；單瓣之山櫻花在三年間的變動時間則為 22 至 31.5 天；烏心石的花苞至盛開所需時間較長，三年間的差異為 51 至 63 天（表 8）。每個物種在各年間的平均值差異並不具統計上之顯著性。

**表 6. 各物種在 2012-2015 年間各花季的開花植株比例。變異係數（coefficient of variation, CV）僅以 2013-2015 年的開花比例進行計算。**

物種	2012 株數 (%)	2013 株數 (%)	2014 株數 (%)	2015 株數 (%)	個體數	CV (3 年)
狹葉櫟	3 (75.0)	3 (75.0)	4 (100)	3 (75.0)	4	0.17
烏心石	1 (20.0)	5 (100)	5 (100)	5 (100)	5	0.00
錐果櫟	4 (66.7)	5 (83.3)	5 (83.3)	5 (83.3)	6	0.00
杜英	3 (42.9)	4 (57.1)	6 (85.7)	6 (85.7)	7	0.22
青葉楠	3 (37.5)	3 (37.5)	4 (50.0)	7 (87.5)	8	0.45
石楠	4 (44.4)	3 (33.3)	6 (66.7)	8 (88.9)	9	0.44
臭蠟樹	4 (44.4)	7 (77.8)	1 (11.1)	5 (55.6)	9	0.71
石扑	11 (100)	9 (81.8)	10 (90.9)	9 (81.8)	11	0.06
昆欄樹	10 (90.9)	5 (45.5)	11 (100)	11 (100)	11	0.38
阿里山千金榆	4 (33.3)	9 (75.0)	8 (66.7)	8 (66.7)	12	0.07
山枇杷	7 (53.9)	4 (30.1)	6 (46.2)	7 (53.9)	13	0.27
西施花	10 (76.9)	2 (15.4)	4 (30.8)	9 (69.2)	13	0.72
青桐	12 (92.3)	10 (76.9)	11 (84.6)	11 (84.6)	13	0.05
假長葉楠	13 (92.9)	1 (7.1)	10 (71.4)	13 (92.7)	14	0.78
白雞油	1 (6.3)	2 (12.5)	5 (31.3)	5 (31.3)	16	0.43
太魯閣櫟	5 (25.0)	2 (10.0)	17 (85.0)	14 (70.0)	20	0.72
青剛櫟	4 (14.3)	19 (67.9)	1 (3.6)	23 (82.1)	28	0.82
*山櫻花（重瓣）	24 (28.6)	83 (98.8)	84 (100)	64 (76.2)	84	0.15
*山櫻花（單瓣）	98 (75.4)	117 (90.0)	114 (87.7)	89 (68.5)	130	0.14

\*花季界定使用開花強度指數高於 1 之個體。

表 7. 主要物種之平均開花時間比較。平均開花時間之計算係以開花強度進行加權而得。當年記日 (julian date) 係將每一年 1 月 1 日記為 1，依序計數而得。

物種	2013 年	2014 年	2015 年
	月/日 (當年記日)	月/日 (當年記日)	月/日 (當年記日)
青葉楠	1/29 (29)	2/17 (48)	2/19 (50)
山枇杷	2/3 (34)	2/19 (50)	2/25 (56)
山櫻花 (重瓣)	2/3 (34)	2/13(44)	2/20 (51)
山櫻花 (單瓣)	2/6 (37)	2/21 (52)	2/19 (50)
假長葉楠	2/14 (45)	3/27(87)	3/30 (90)
昆欄樹	2/23 (54)	3/31 (91)	3/19 (79)
錐果櫟	3/18 (78)	4/2 (93)	4/2 (93)
西施花	3/19 (79)	4/5 (96)	4/11 (102)
烏心石	3/21 (81)	3/28 (88)	4/10 (101)

表 8. 花苞至開放花朵所需時間。

		2013 年	2014 年	2015 年
山櫻花 (重瓣)	平均時間 (天)	23.8	24.8	27
	標準偏差	19.3	17.5	20.2
	樣本數	26	26	15
山櫻花 (單瓣)	平均時間 (天)	22.1	27.4	31.5
	標準偏差	15.6	20.6	22.5
	樣本數	74	82	77
烏心石	平均時間 (天)	51.0	55.0	60.3
	標準偏差	33.9	18.1	15.6
	樣本數	2	3	4

## 2. 開花強度之模擬

利用前述的海拔溫度遞減率，我們對本研究的 15 個站點求取每日均溫、每日最低溫、及每日最高溫之估算值，作為花期預測模型中的自變數。我們將每一個站點中某一物種的開花情形以植株數和各植株開花強度進行加權，計算每週的總開花強度做為模型之依變數。開花模擬之模型中包含兩個參數，一為溫度臨界值，二為溫量累積天數。以往利用溫量指數進行開花模擬的模型常假設一固定之低溫值，僅在累積時間上作變動，進行溫量累積的計算。然而，不同的物種以及生長在不同地區的植株，是否對同樣的低溫臨界值有所反應呢？目前仍無人確定該臨界值應如何選定。本研究不對此臨界值進行任何假設，而是將之設為參數之一（Akiko Satake，個人通訊），進行開花強度與低溫溫量指數（由兩個參數共同決定）之迴歸工作，並以 AIC 為依據選出最佳模型，將此模型之參數作為溫度臨界值和所需的溫量累積日數之估算值。

因考慮模型對樣本數及開花量的需求，本研究僅選擇對山櫻花（兩型）進行開花模擬工作。模型中的溫量累積日數以 1 日作為推進的單位，溫度區間則有  $1^{\circ}\text{C}$ ， $0.5^{\circ}\text{C}$ ， $0.1^{\circ}\text{C}$  三種。經過比較，三者所得的估算值相去不遠（圖 9）。以第 5 站點的山櫻花（重瓣）為例，三種模型所得的溫度臨界值分別為  $19^{\circ}\text{C}$ 、 $18.6^{\circ}\text{C}$ 、 $18.7^{\circ}\text{C}$ ，所得之溫量累積日數則均為 143 日。由於溫度變動區間對結果的影響微小，本小節的分析將以  $0.5^{\circ}\text{C}$  作為變動區間，進行各項模擬工作。

山櫻花（單瓣）的種植範圍較廣，共有 7 個站點標有樣樹。我們針對每一站點進行開花模擬，發現各站的擬合程度不一（圖 10）。這些模型在模擬開花高峰期的表現較好，但是於開花初期及末期則表現不佳，其中又以開花初期強度預測過高的情形較為嚴重。擬合度不佳的主要可能肇因於監測資料長度不足，使模型的評估資訊不足。另一個造成擬和度不佳的原因可能是模型過於單調，未能考慮雨量、日照等因子。目前，這些因子之量測資料甚少，因此本研究所用之模型仍以溫度為單因子行之。

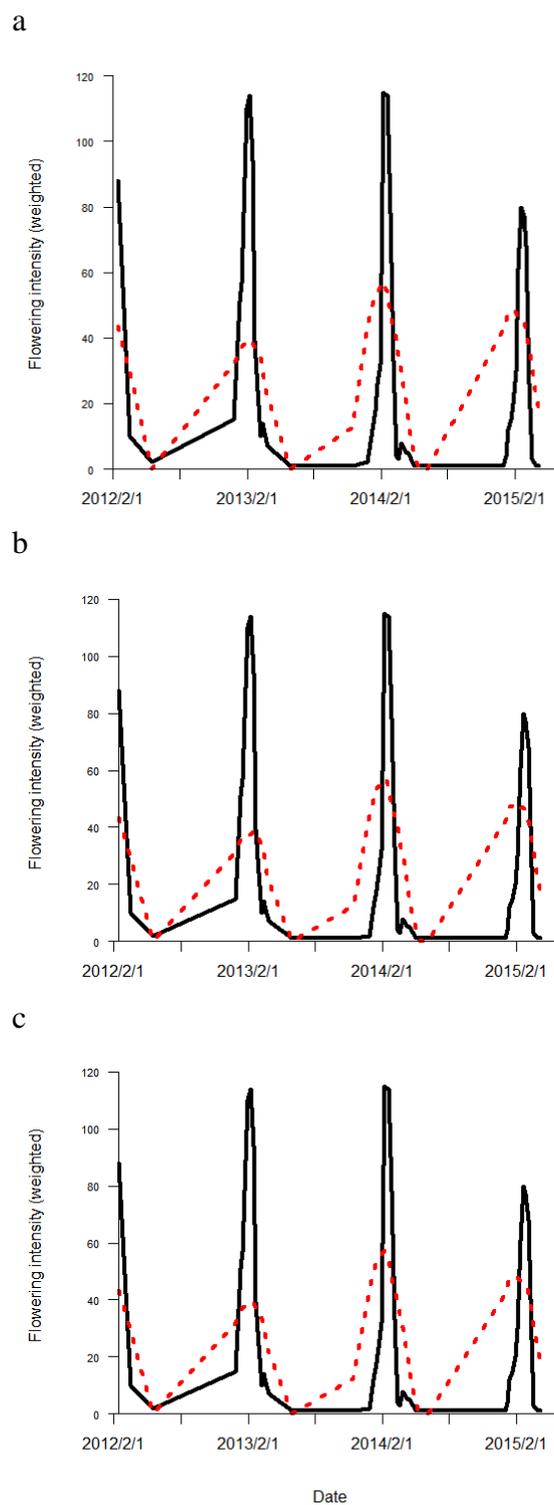


圖 9. 山櫻花（重瓣）之均溫模型。本圖使用第 5 站點之資料進行分析，溫度變動之間隔為 (a) 1°C，(b) 0.5°C，(c) 0.1°C。實線（—）為原始開花強度資料，虛線（…）為模型擬合情形。

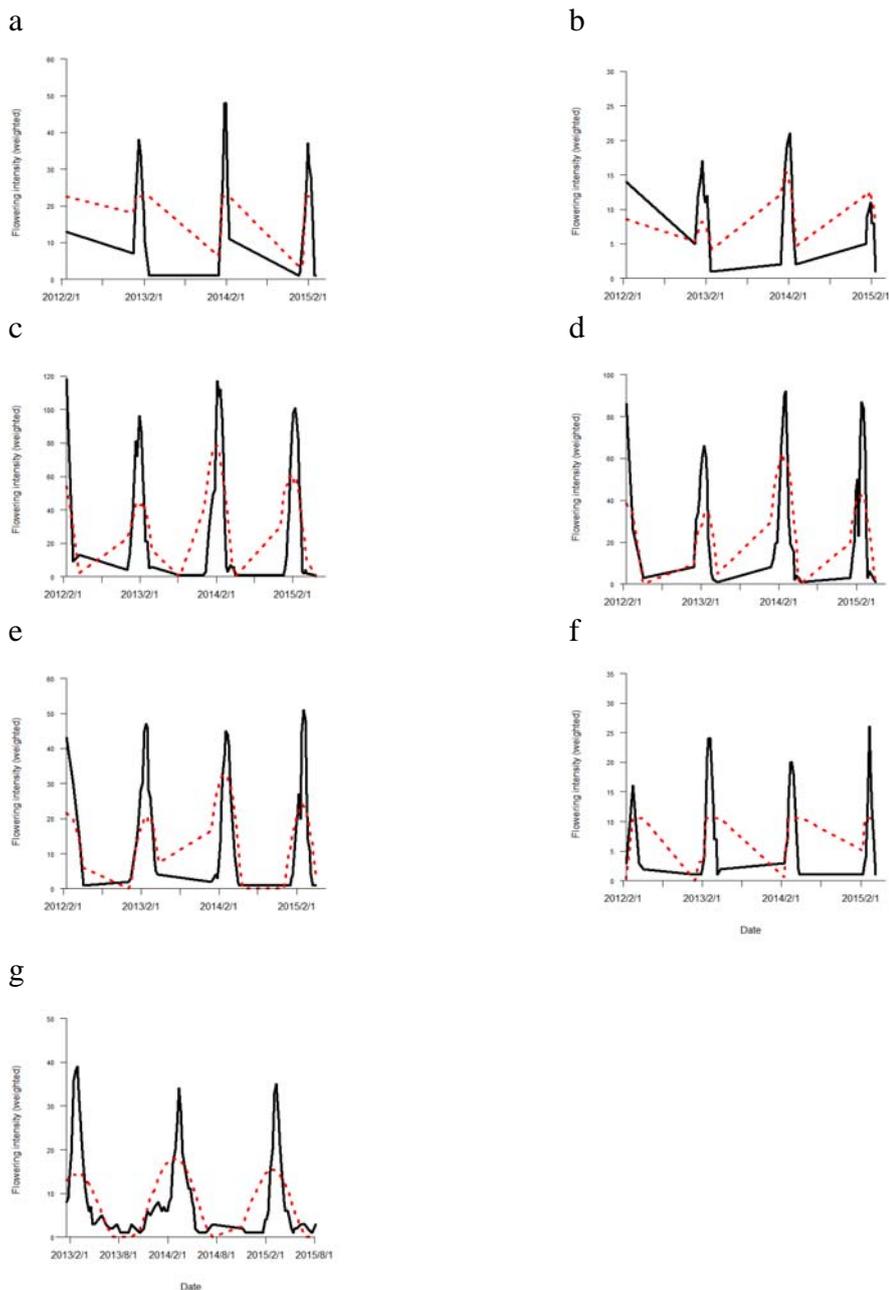


圖 10. 山櫻花（單瓣）之均溫模型（溫度間隔=0.5）。峽谷沿線各站之開花模擬。海拔分別為：(a) 第 7 站：1148 公尺，(b) 第 6 站：1291 公尺，(c) 第 4 站：1777 公尺，(d) 第 3 站：1946 公尺，(e) 第 2 站：2118 公尺，(f) 第 1 站：2189 公尺，(g) 第 15 站：2349 公尺。實線（—）為原始開花強度資料，虛線（…）為模型擬合情形。

利用每日均溫進行開花模擬所得的臨界溫度值在各站之間變化大(表 9)。以山櫻花(單瓣)為例,開花相關的臨界溫度從 5.8°C(第 7 站)變化至 20.7°C(第 15 站)。利用每日最低溫進行模擬所得的臨界溫度落在 12.8°C 至 18.0°C 之間,較每日均溫之模型所得參數穩定。在山櫻花(重瓣)部分,使用每日均溫進行模擬所得的臨界溫度變化(18.6°C-27.8°C)亦較每日最低溫之模型推估結果(15.3°C-17.3°C)為劇。以每日最高溫作為指標進行模擬時,各站所得之臨界溫度變化與每日均溫相仿,各站間的變化頗大。開花擬合模型推估各站植株累積低溫溫量所需時間不相同,但大致上都與臨界溫度成正比(表 9)。亦即,以較高溫為臨界溫度者,需要較長的時間累積溫量。

儘管以每日最低溫進行的擬合在各站間的表現較一致,以 AIC 對各站進行模型比較後,多以高溫模型為最佳模型。這些模型並非嘗試找出確實能影響植物生理反應的參數值,而是以這些容易取得的環境資訊與植物開花的情形相比,以期能夠從中獲得關於開花規律之新觀點,也提供花期預測之參考。

**表 9. 開花擬合模型參數。**均溫模型採取每日均溫進行擬合；低溫模型採取每日最低溫進行擬合；高溫模型則採取每日最高溫進行擬合工作。在每一個站點內，以最低 AIC 者為最佳模型（AIC 需至少比次高者低 2 個單位），以粗黑斜體字表之。\*表示該模型有兩組以上參數具有最低 AIC 值。

模型 物種	站點	海拔	個體數	均溫模型			低溫模型			高溫模型			
				Th	n1	AIC	Th	n1	AIC	Th	n1	AIC	
山櫻花（重瓣）	7	1148	15	27.8	143	297.83	17.3	141	299.81	7.1	41	298.42	
山櫻花（重瓣）	5	1291	26	18.6	143	<b>515.57</b>	15.3	141	<b>515.08</b>	23.4	139	519.62	
山櫻花（重瓣）	15	2349	40	20.7	217	863.61	17.2	217	<b>855.05</b>	26.2	209	860.03	
山櫻花（單瓣）	7	1148	14	5.8	32	<b>225.10</b>	17.3	128	255.82	*	7.1	25	<b>225.35</b>
山櫻花（單瓣）	4	1777	39	14.3	139	555.03	12.8	137	557.03	18.5	144	<b>552.44</b>	*
山櫻花（單瓣）	3	1946	30	18.4	183	475.61	16.7	183	477.95	22	174	<b>471.51</b>	
山櫻花（單瓣）	2	2118	16	19.4	196	517.15	18	202	520.30	*	21.9	189	<b>511.07</b>
山櫻花（單瓣）	15	2349	10	20.7	196	563.69	17.2	209	564.82	*	23.2	189	<b>561.15</b>

### 第三節 評估影像監測方法之可行性

本案除了持續以影像監測花色明顯的山櫻花（影像監測個體數：10）之外，也增加了昆欄樹（影像監測個體數：3）、青葉楠（影像監測個體數：3）、假長葉楠（影像監測個體數：1）、及錐果櫟（影像監測個體數：2）等物種。

在調查期間，我們對選定之 19 株樣樹進行定焦攝影，得到開花期間以及花期以外的樹冠影像，作為影像分析之用。延續上一年度已建立的影像分析流程，再次對上一年度選取的山櫻花的粉紅花色作為分析對象（照片 1），以增加各種天候下的取樣數。此外，本年度再增加了花色為黃色的青葉楠作為影像分析的對象（照片 2）。在建立分像（前景、後景）所需的臨界值時，需同時考慮天候的影響，因此所有的影像選取均包括不同天候狀況下拍攝所得的照片。我們於今年度的照片中選取兩株山櫻花及兩株青葉楠樣樹的影像各兩張（晴天及陰天），對其中的各種物件進行切割，以取得目標影像的色彩組成。利用 Image J 分別擷取相片中的花朵、枝條、天空、山景、及雲彩等區塊，匯出各區塊之三元色灰階亮度（或色度值，chromaticity）。

將青葉楠的影像分割為前景（花朵）和背景（枝條、山景、葉片、天空、雲彩）後，我們檢視前景與後景的三元色色度分布如圖 11、12、13。無論是晴天或陰天，紅光（R）、綠光（G）或藍光（B）均無法單獨作為分割前景與後景的基準。由於青葉楠的花色與葉片相當接近，因此，ImageJ 既有的各種影像色彩轉換方式無法適當地分離前景與背景。我們採取與山櫻花影像分離相同的策略，找到綠光（G）-藍（B）光組合作為新的影像色彩空間（表 10）。無論是何種天候下拍攝的照片，經過簡單運算後，背景像素的 G-B 值大多小於前景的 G-B 值。分析陰天的照片，我們發現前景（花朵）的 G-B 值的下界（2.5%）為 73（160 號樣樹）及 48（168 號樣樹），背景的上界（2.5%）則為 34（160 號樣樹）及 39（168 號樣樹）。在晴天的照片中，前景（花朵）的 G-B 值的下界（2.5%）為 62（160 號樣樹）及 38（168 號樣樹），背景的上界（2.5%）則為 44（160 號樣樹）及 36（168 號樣樹）。因此，以綠-藍光差值介於 34 至 38 之間的臨界值應可將青葉楠影像中的前景與後景分離。

綜合去年及今年度對山櫻花影像的分析，我們再次確認 R-G 值最適合用於切

割山櫻花影像前景與背景。在各種不同的天候下，山櫻花的背景 R-G 值大多小於前景之 R-G 值（表 11）。細觀山櫻花的前景 R-G 值，我們發現晴天所攝得之影像中，前景的 R-G 上、下界均較其他天候下的前景高，這個現象使得界定統一的 R-G 臨界值變的較困難。如以本研究中所舉之案例判之，取 R-G 值 20 作為臨界值應可用於大部分山櫻花影像。此臨界值對部分影像判別會造成誤差，其中尤以晴天所攝得的影像為甚。以 192 號及 422 號樣樹為例，臨界值 20 將會誤判部分的背景為花朵。不過，在更動我們對誤差的容忍度（5%）後，臨界值 20 亦可作為 422 號樣樹的判別依據。這個例子說明了，儘管 R-G 臨界值受天候影響，難以找到統一的應用值，但其所造成的誤差的範圍仍在可接受之範圍。



2014/01/23



2014/02/14



2014/02/19



2014/02/27



2014/03/06



2014/03/14

照片 1. 樣樹 (192 號) 開花期 (2014 年) 之樹冠影像。



2015/01/29



2014/02/26



2014/03/26



2014/04/23



2014/05/20

照片 2. 樣樹 (168 號) 開花期 (2015 年) 之樹冠影像。

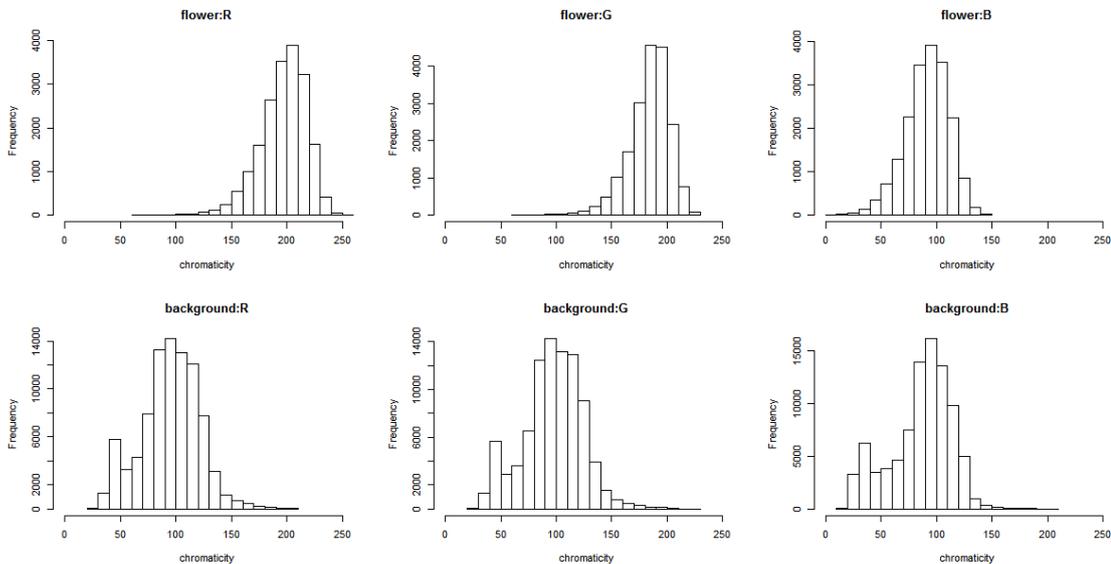


圖 11. 青葉楠花朵及背景三元色分布之比較（陰天）。

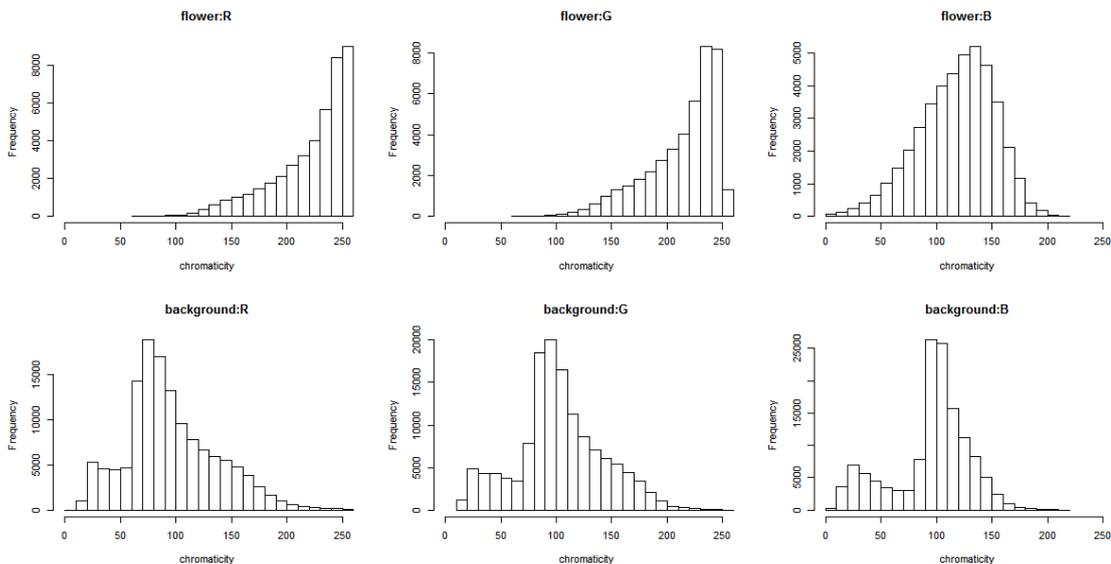


圖 12. 青葉楠花朵及背景三元色分布之比較（晴天）。

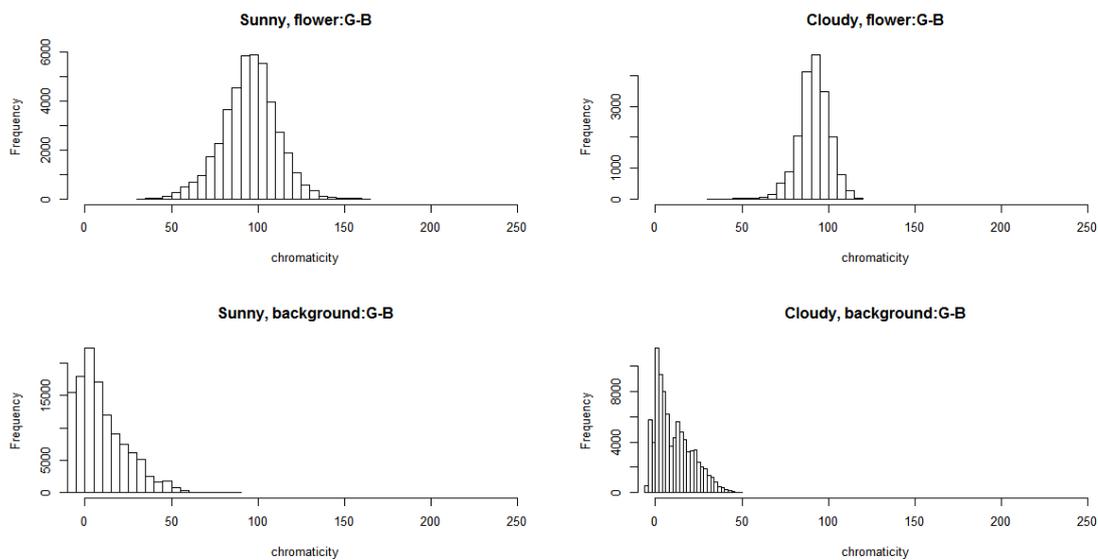


圖 13. 青葉楠花朵及背景綠-藍光差值 (G-B) 分布：晴天與陰天之比較。

表 10. 青葉楠前景與背景之 G-B 差值分布界線。

樣樹	光環境	2.50%		5%		背景		前景	
		下界	上界	下界	上界	下界	上界	下界	上界
160	cloudy	-2	34	73	108	-2	31	78	106
160	sun	-16	44	62	126	-14	36	69	121
168	cloudy	-8	39	48	83	-5	29	52	80
168	sun	-20	36	38	112	-19	31	43	107

表 11. 山櫻花前景與背景之 R-G 差值分布界線。

樣樹	光環境	2.50%				5%			
		背景		前景		背景		前景	
		下界	上界	下界	上界	下界	上界	下界	上界
190	cloudy	-18	7	20	52	-15	6	21	49
190	sun	-58	12	55	118	-58	10	61	114
192	cloudy	-13	5	20	58	-12	5	25	55
192	sun	-65	30	31	146	-64	28	39	140
422	cloudy	-8	9	16	60	-7	6	18	55
422	Sun	-21	33	34	144	-18	19	45	137
423	cloudy	-22	15	69	115	-18	11	74	113
423	sun	-21	15	48	122	-18	13	59	117
424-1	cloudy	-26	17	57	107	-23	13	61	104
424-1	sun	-17	19	67	116	-15	15	72	113
424-2	fog	-10	14	26	86	-8	9	30	80
424-2	sun	-52	24	57	165	-52	14	66	156
20	cloudy	-17	4	45	78	-15	4	48	76
20	fog	-14	4	23	57	-12	1	25	55
21	cloudy	-7	4	39	66	-6	3	42	64
21	fog	-12	5	22	53	-11	4	25	50

#### 第四節 指標物種的花期預測及即時信息發佈的可行性評估

日本是目前全世界賞花資源規劃最為完整的國家，民族性與賞櫻文化傳統使植物物候觀測得以長久持續進行。在賞櫻文化所帶動的觀光資源需求下，準確地預測每一年櫻花的綻放時間，成為花季發佈的一項重要措施，這個應用使長期物候監測成為必要的工作，也使相關評估模型得以發展。憑藉著擁有長期物候紀錄與氣溫觀測資料，日本氣象廳於 1950 年代開始預報全國性跨緯度的櫻花盛開日期，也就是每年 3-5 月的櫻前線（日文：sakura zensen、英文：cherry blossom front）預報（圖 14）。

櫻花開放預報的核心工具是 DTS(number of Days Transformed to Standard temperature)模型，其概念是假設物候發育率與日平均氣溫度間有指數相關性，也就是說，當一個地區符合特定氣溫條件的天數累積到達一定的閾值時，樹木會啟動開花、盛開與結果等物候特徵。將各地區長年的觀測資料經過模型運算出的 DTS，配合當年度的氣溫觀測，便可推估花朵盛開的日期（Aono 1993）達成預報的目標。不過由於各地區的氣候環境差異，DTS 模型預報的結果需要校驗，因此日本氣象廳在全國各地選取共 59 棵櫻花作為樣樹，長期進行物候觀測以校正預報模型。

花季發佈措施不僅只是對民眾說明開花日期而已，在以賞櫻為文化產業的日本，花期資訊的公佈已與後續觀光資源的規劃整合一起，創造極大的經濟效益。日本氣象廳目前仍然持續預報櫻前線，但相關的技術與資料已轉由私部門進行（Cherry blossom front 2015）。日本觀光局與私人遊憩公司將這些資料，透過網際網路、媒體等管道，預報每一年各地區的開花日期，同時宣傳結合在地的觀光、住宿、交通產業的賞櫻路線，活絡地區經濟。

在台灣賞花活動也逐漸成為民眾在休閒遊憩時，接觸大自然的方式。台灣目前沒有類似日本整體預報花期與遊憩規劃，但各地方政府也經常配合時節（如桐花、櫻花盛開時期）規劃遊憩活動，以台北市為例，較大規模的賞花活動便是每年舉辦的陽明山花季。陽明山的花季是由臺北市政府工務局公園路燈工程管理處（公園處）為主辦的活動，約於每年二月開始至四月底結束。花季消息發佈的管道多半透過網際網路（如北市府公園處網站）、社群網站、電視與平面媒體等，發佈的內容多半屬與旅遊指南、賞花地圖、交通管制訊息等，便利民眾前往參與。台

北市所規劃的陽明山花季包含陽明公園、士林官邸花園、花卉試驗中心、竹子湖等地點，搭配藝文與淨山的活動具相當規模(臺北市政府工務局公園路燈工程管理處新聞稿 2015)。除了花季時節外，陽明山國家公園管理處(陽管處)亦在不同季節提倡生態旅遊，如春天的花季、秋季賞芒等活動(陽明山國家公園 2015)，並規劃原生杜鵑及櫻花賞花步道(盧堅富與廖啟政 2009)提供民眾參與。

台灣各地的花季預報措施，並不像日本一樣是奠基於特定種類物候與氣候資料。在我們所蒐集到的有限資料裡，陽明山花季的預報方式，應是由公園處針對陽明山區栽種之櫻花、茶花等植栽觀察，依往年經驗所發布。而在國家公園範圍裡，物候觀測資料也同樣的缺乏，在陽管處委託的研究報告(盧堅富與廖啟政 2009)便曾建議園區內應建立櫻花、杜鵑之物候學監測與通報系統，對於特定物種、樣樹定期的觀測，同時應有賞花消息的通報，及時提供給遊客與工作人員。

規律的物候觀察不僅是生態系統知識的探究，同時也是遊憩資源管理的基礎，一方面提供民眾親近自然、瞭解環境的機會，另一方面也創造周邊旅遊產業可觀的經濟效益。特別是太魯閣國家公園已是旅遊產業的焦點，同時也擁有相當豐富的植物物候資源，因此更應積極著手規劃。在上述日本與台灣陽明山花季預報的案例中，我們發現完善的花期發佈系統至少有三項重要工作：1) 厚實的物候學基礎研究、2) 賞花路線規劃與資訊、與 3) 通報系統。針對這三項重要的元素，我們簡單地評估在太魯閣國家公園區內所擁有的資源以及推動未來相關工作之方向。

第一、物候學基礎研究：本研究案提供了基礎研究的資料，雖然四年的物候學結果無法像日本一樣能精準預報開花日期，但規律的觀察資料、跨海拔樣樹的選取等資訊，大幅地增加了花期即時預報的內容與可行性。在日本案例中顯示了長期、規律的紀錄是非常重要的，有充足的物候資料方能支持花期預報系統，提高預報的準確度。儘管物候資料取得不易，太管處或可在各海拔找出重要的物種，針對這些物種選出數株樣樹，加以標記，透過各駐點工作人員或志工於園區內巡查時，進行規律的觀察和記錄。這些觀察和記錄工作的訓練，可以利用或參考本案之培訓教材，舉行培訓班，訓練相關人員，提高專業度。樣樹的選擇可以有下列原則：(1)具有該海拔之代表性、(2)具有觀賞之價值、(3)特有種或固有種、(4)易於觀察(樣樹位置及花果特徵易於辨識)。在經費許可的情形之下，我們建議委任固定的志工或工作人員進行這些觀察，以確保觀察記錄的一致性。長期觀察

所得之資料亦應建立適當的管理機制，以資料庫的方式進行典藏。

良好的預測模型除了應有物候學基礎資料的支持之外，尚須不斷修正預測模型。這項工作較為繁複，因此建議太管處在資料收集達到一定程度後，與學界、氣象局、或統計相關人員合作，建立適合的預測模型，並發展簡易的軟體，以作為快速預測的工具。

第二、賞花路線的規劃資訊：太管處在每年的合歡山高山杜鵑花季時已有相當經驗，由於民眾偏好花朵醒目、顏色豐富、開花樹木比較集中的地區，因此這些地區的賞花路線規劃、解說、交通安排等資訊須有良好規劃。太魯閣國家公園區內的公共交通系統較之其他地區是為簡單之系統，由於目前前往太魯閣賞花之活動未臻熱絡，尚未在花期中顯現旅遊相關之困擾。未來如欲發展賞花活動，則需事先考量國家公園可供遊客活動之地點、腹地大小、景觀重點、以及交通動線等。

第三、通報系統：不論在日本或台灣的案例中，媒體、社群、官方網站的經營有相當重要的角色。民眾多半是靠平面與電視媒體得知花季活動，並在參與之後上網發佈旅遊照片、心得等，吸引更多的遊客參與。因此媒體宣傳、新聞稿件的發佈是可行方式，此外，太管處除了往常地上網發佈即時花季影像之餘，應能於花季前建置花季消息專頁，除了公布可能的開花時間外，應包含賞花路線、交通地圖、解說素材等資訊，同時提供民眾花苞、花朵等訊息通報。

太魯閣國家公園的物候資源規劃尚在起步階段，或許短時間內無法達到與日本一樣完備的花期預報系統，但持續累積物候紀錄與研究、增加與民眾互動管道、完善賞花資源與路線規劃等，將可帶動產官學三方互動，假以時日應能與之媲美。

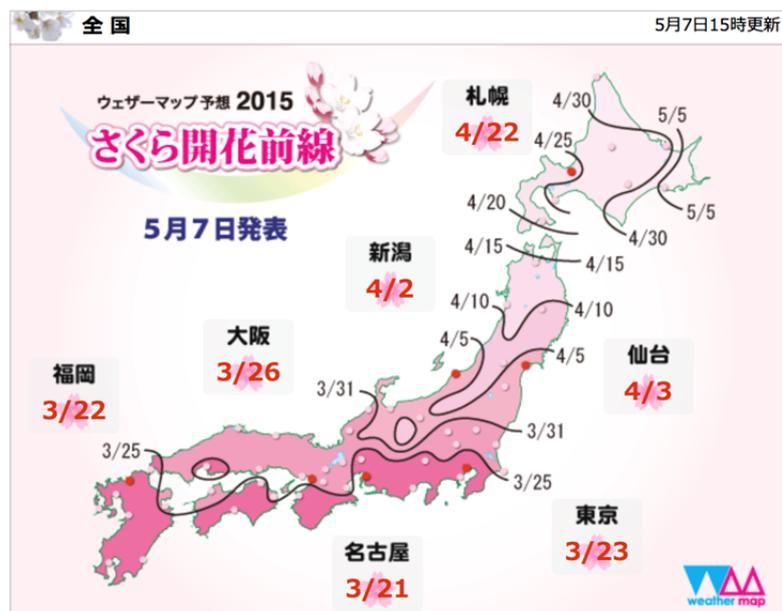


圖 14. 日本櫻前線預報圖。圖片取自 [Weather Map Co., Ltd.](http://sakura.weathermap.jp), URL <http://sakura.weathermap.jp>，資料查詢日期 2015/11/14。

### 第五節 志工參與物候監測的培訓

本研究協助太魯閣國家公園管理處，培訓對於物候觀察與研究有興趣的志工們，在培訓課程裡，我們首重專業辨識花果的狀態與強度的能力。我們提供「志工培訓手冊」書面資料（附錄），提高志工們對所觀察的物種之熟悉度，同時志工人員亦可藉由隨同研究人員上山進行調查工作，強化對花果狀態與強度辨識的能力。透過書面資料輔助與野外調查的隨行經驗，志工們可以較快上手，亦不會有太大的挫折產生。

為增加志工們的調查經驗，我們延續上一年度的培訓課程，持續著與種子志工們聯繫，透過電子郵件、電話、承辦員轉知等方式，公告予志工隨行調查的梯次，包含 104 年 3 至 11 月隔週 1 次與 12 月份每週 1 次的調查。同時我們亦舉辦培訓的課程來引發志工興趣，在與承辦人員協調管理處辦理音樂會、路跑等大型活動與志工們時程之後，培訓班訂於 11 月 12 日舉辦，對象除了前一年度的種子志工們之外，也開放給所有志工參與，唯至截止日前僅一人報名，故我們將之延期至 12 月 18 日。

基於志工培訓課程與隨行調查經驗，志工們對於辨識花果的狀態與強度的準確性，確實隨著訓練的次數而提高，志工專業辨識能力確可透過訓練與經驗的累積而達成。但由於物候長期監測的工作是耗時耗力的調查，且需有固定人員上山執行監測，才較能降低人為的誤差，保持評估的一致性。固定的人員在固定時間下上山收集資料，對志工們而言是一種挑戰。除了參與者的時間安排上有其困難之外，反覆觀看相同的樹種亦需要耐心與毅力。因此，我們認為在後續以志工協助物候觀測調查時，招募固定的志工、提高志工參與率是最需要考量的課題。



照片 3. 培訓班野外實習課程。



## 第四章 建議事項

無論是系統觀點的生態系經營策略，或是國家公園引導遊客之遊憩規劃，均仰賴對自然系統的深入且全盤的瞭解。在生態系統中，各環節之間都有緊密的關係，然而，遇到系統或環境的波動時，有些物種或現象會立即產生明顯的反應，有些則經由其他生物系統緩衝，變化較緩。這些變化迅速的現象或物種，可以視為先驅指標，而變化較緩的現象或生物，則為長期的生態穩定度指標。無論是哪一種指標，如要明確指出變化的劇烈程度，都需要累積長期的資料。物候變動是植物對環境變化所呈現的生理反應，屬於迅速的變動，適於作為中期的監測指標。物候變化會導致物種的更新受限或領域擴張，族群和群落變化儘管較慢，卻是一個區域基礎資源變動的來源。本研究提出幾種物候變化的指標，也嘗試發展、簡化物候監測的流程。然而，這些工作確實需要長期資料的支持，以提高準確度。我們建議管理處持續對區內的重要物種及相關的氣象因子進行長期物候監測。

太魯閣國家公園幅原寬廣，加以地形陡峭，許多地區難以到達，實為長期監測工作之一大阻礙。要克服此等障礙，無非是增加人手或運用新科技的協助。本研究主要焦點為氣象資料及物候資料的長期累積。對於前者，坊間已經有成熟的技術可針對大部分的資訊進行自動收集的工作；對於後者，儘管本研究針對花期的自動監測已有部分技術上的突破，但距離此技術的推廣仍有一段距離，需多方收集資料，對技術的穩定性再三加以確認，方可作為實測之工具。針對以上兩大類資料，本團隊提出以下建議：

一、氣象站的維護：本研究因為使用園區內之氣象資料之故，不定期地拜訪蓮華池及碧綠兩個固定式氣象站，發現部分零件逐漸老化，且站旁植被逐漸有干擾資料收集之嫌。目前資料收集雖不至被這些情況影響，然宜未雨綢繆，及早對各項設備作檢驗與維護，以免在重要時刻有資料遺漏之憾。

二、利用自動相機監控物候：本研究對於利用簡易型數位相機取得影像進行物候監測之工作漸有心得，且此法已逐漸成為全球各地監測物候之常設方法。國際上長期之物候監測常使用定時之數位自動相機，對於單一樹木或固定可辨識之數個樹冠進行定時攝影的工作，亦有部分監測單位使用監控錄影機進行全天候監

#### 太魯閣國家公園長期生態物候監測計畫（四）

控，並即時將影像資料傳回工作站，以隨時進行分析。這些新的資料收集方式不但可降低野外人力需求，也部分解決了交通不便的問題。惟此法需尋求適當的位置架設監視設備，以符合分析之需求。太魯閣國家公園區內不乏適於架設相機的監測點，如欲持續監測工作，此法亦不失為良方。

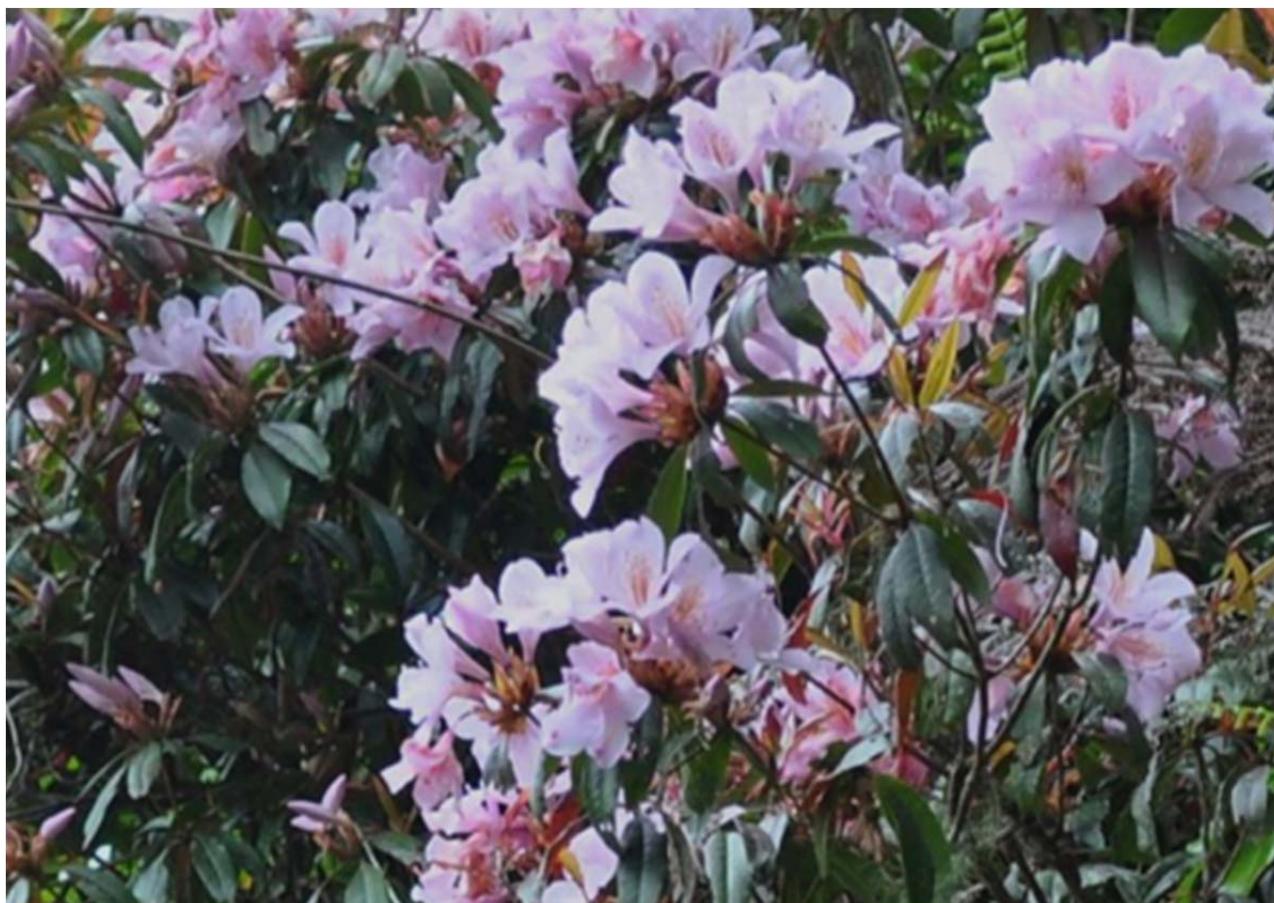
附錄

附錄一 植物繁殖物候監測志工培訓手冊

# 植物繁殖物候監測志工培訓手冊

## 太魯閣國家公園長期生態物候監測計畫(四)

---



## 前言

植物開花與結實的週期變化是長期演化下的結果，植物什麼時候開花、何時結果，有著一定的規律性，這個規律性和相關的特徵即為物候學研究的內容。植物對於環境內氣候的改變可能相當敏感，氣候變化或許不會改變開花週期，卻可能造成花果季提前、延後或是延長，進而影響到其他與之交互作用的動植物，因此植物物候在時序上的改變，是相當重要的議題。



### 繁植物候的觀察

我們如何能知道植物物候怎麼變化呢?——當然就是透過觀察，而且是規律地、持續的觀察。全世界最長久的物候觀察來自日本，早在西元第九世紀開始就留下長期且廣泛的櫻花花期記錄。直到今日，日本氣象廳與私部門每年都會預報櫻花盛開的日期，作為民眾賞櫻參考。

鑑於植物物候對於生態系統的重要性，太魯閣國家公園在 2011 年開始委託東華大學對園區內的植物進行系統性的物候觀察，記錄主要樹種的繁植物候變化情形。計畫執行團隊在園區內沿著中橫公路設立了 15 個站點，分佈在各個海拔，最低點在流芳橋，最高點在關原，高程差異近 2000 公尺。所有的站點共包含了超過 400 株樣樹，分屬 21 個樹種。透過持續的監測觀察，或許能讓我們了解氣候變動對各海

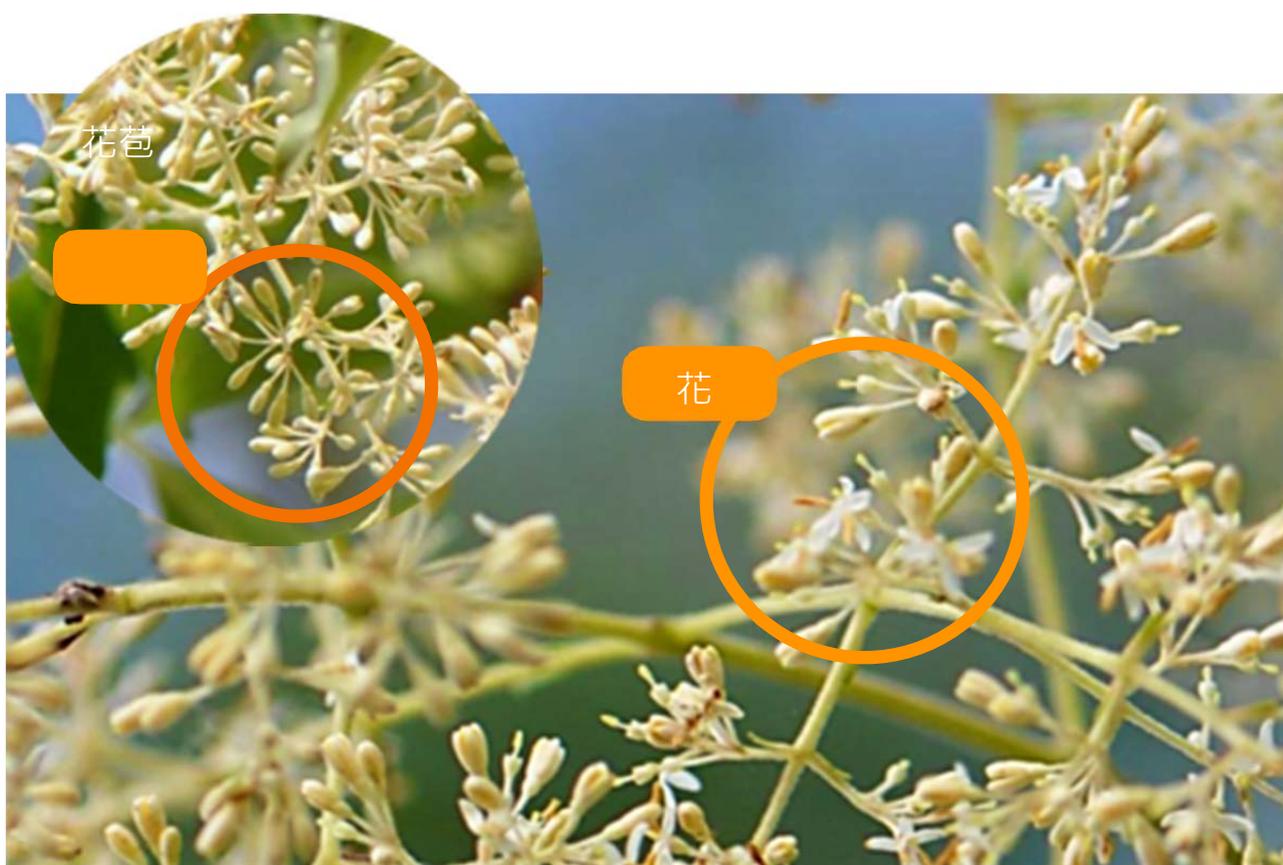
拔上的動植物的可能衝擊。

## 開花與果實的樣貌

每一種樹的花朵樣貌不同，果實長相也不同，要進行物候觀察必須先了解每一種樹的花與果型態。在這裡，我們列出幾種常見樣樹的花果面貌，並部份節錄呂福原等人（1999）所著「台灣樹木解說」書中相關的介紹文字供志工們參考。

### 光臘樹（木犀科）

別名白雞油，花色偏灰白色，花萼鐘形，花冠深四裂，裂片長橢圓。果為翅果，披針形，先端鈍形，翅下延伸至堅果中部以下，堅果圓柱形。未熟翅果為淺綠色，成熟翅果則轉為褐色。





### 梧桐 ( 梧桐科 )

別名青桐，花小，兩性，頂生圓錐花序，花萼五深裂，裂片條形，向外卷曲，花瓣缺如。骨莢果模為紙質，有柄，成熟前開裂為葉狀，每一果片之邊緣各著生種子 3~5 粒，大小如豌豆。成熟時由綠色轉為褐色。



## 青剛櫟 (殼斗科)

花朵為雌雄同株，雄花柔荑花序，黃綠色，花絲細長，花藥二裂。果為堅果，呈橢圓狀，殼斗杯狀，被絹毛，具 5-8 環帶。成熟果徑 0.9~1.4 公分，高 1~1.6 公分，大部分突出殼斗。





### 台灣枇杷（薔薇科）

別名山枇杷，花色為白色，圓錐花序，頂生。花瓣先端深凹。果橢圓形至球形，直徑 1.2~2 公分。

### 杜英（杜英科）

花為白色，總狀花序長 5-10 公分，生於枝條頂端腋生，花瓣上端裂成絲狀。核果為橢圓形，長約 5~10 公分，果實為綠色。



### 阿里山千金榆 (樺木科)

雄花為柔荑花序，黃綠色，腋生。果實為堅果，呈下垂的柔荑果序，長 4-5 公分。堅果於果實苞片的基部，果實成熟時會轉為綠色轉為褐色。



### 烏心石 (木蘭科)

花白色，單生於葉腋，芳香，未開放前佛焰苞苞片包被，上有淡褐色毛茸。果實呈穗狀著生於果梗上，成熟後形成分離的骨莢果，骨莢果內含種子 2~3 枚，種子為紅色。



### 日本槿楠（樟科）

又名假長葉楠，花為淡黃色，呈聚繖狀圓錐花序，腋生及頂生。果為核果球形，徑約 1.2 公分，成熟時會由綠轉為黑綠色，基部有宿存反捲的花被片，果梗為綠色。



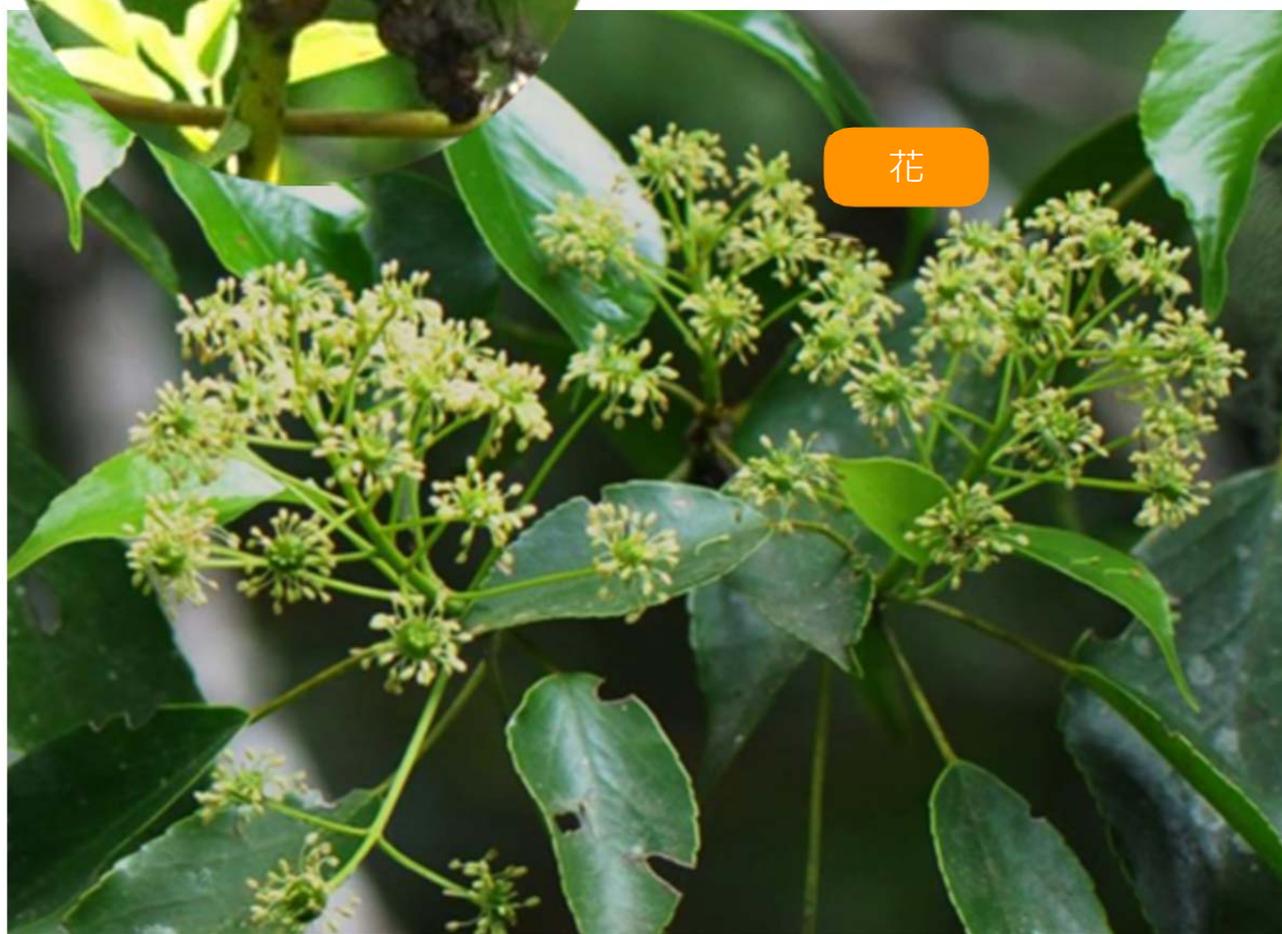
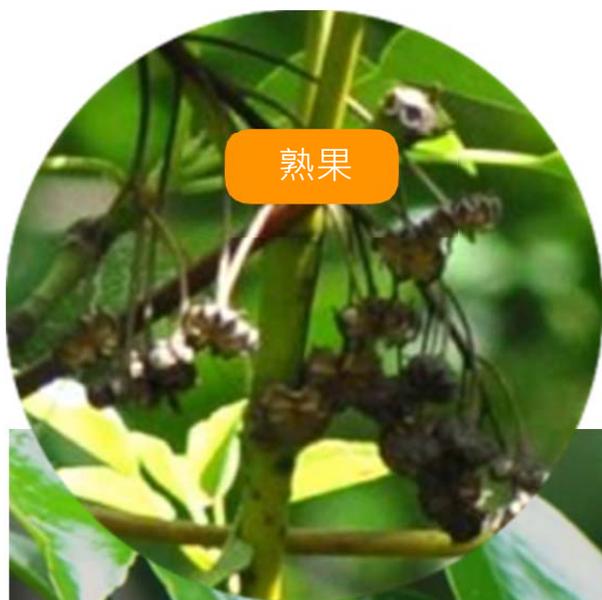
### 山櫻花（薔薇科）

繖形花序具 1~4 花，花緋紅色，鐘狀漏斗形。核果卵圓形，熟果由綠轉為紅色。



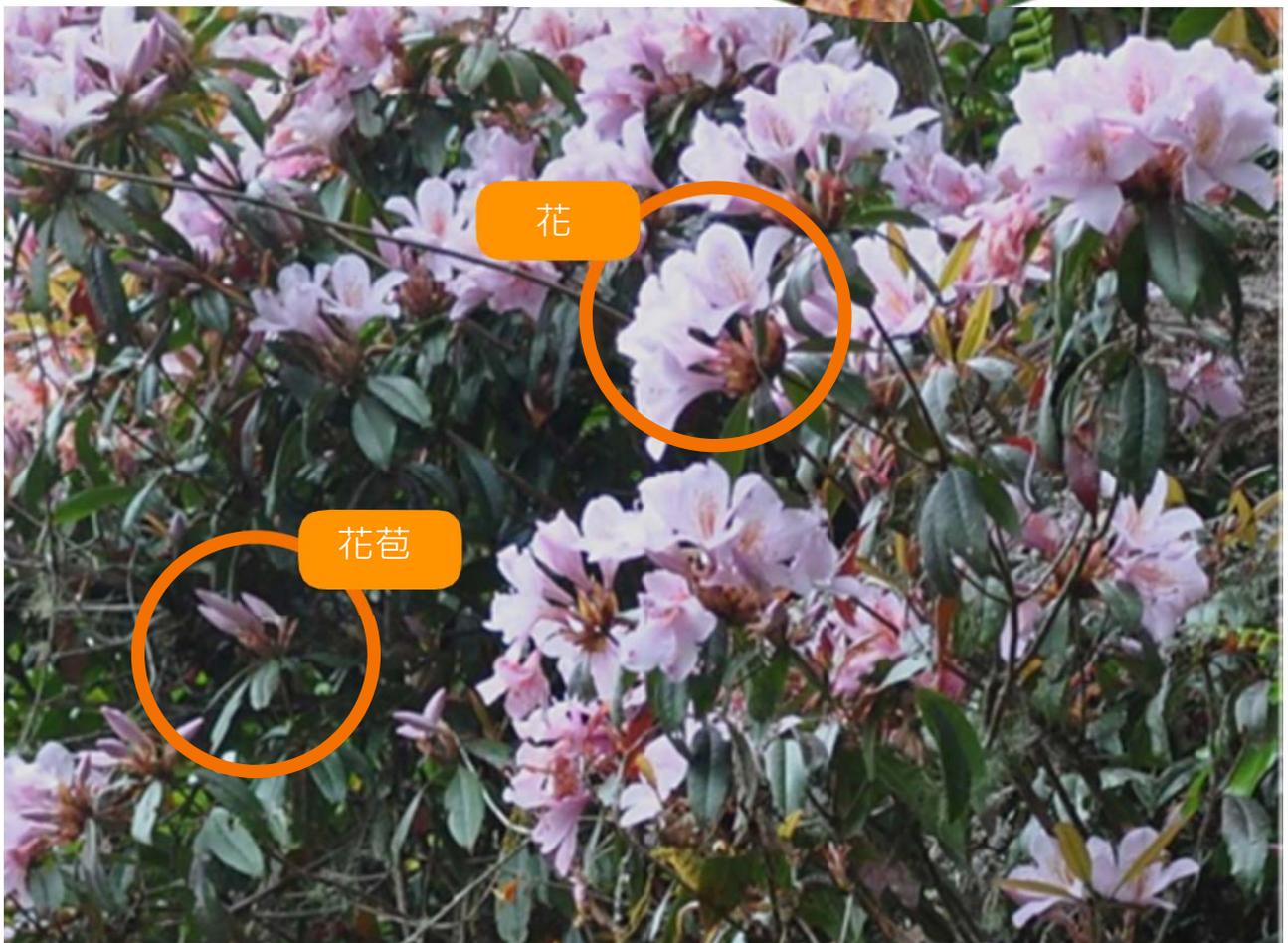
## 雲葉（昆欄樹科）

別名昆欄樹，心皮 5-10，於花盤上呈單輪狀，側壁幾相癒合。果為骨莢果，成熟果由綠轉為褐色時，沿腹縫線開裂。



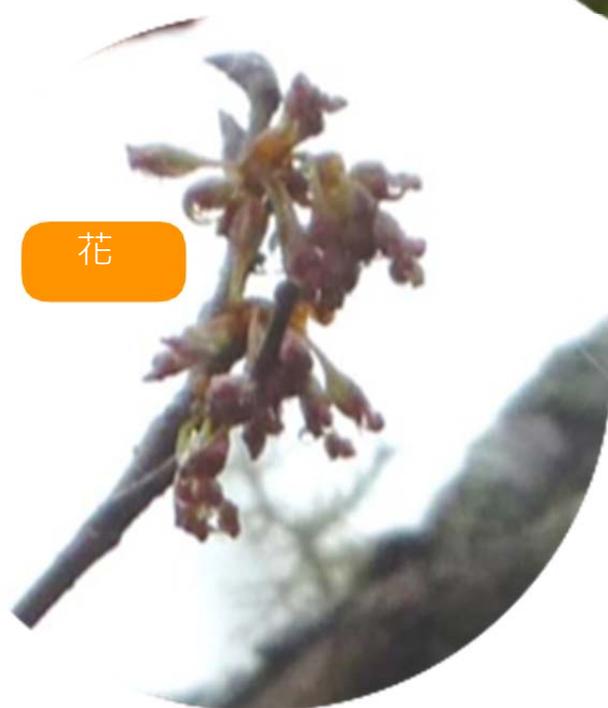
## 西施花（杜鵑花科）

花朵密集叢生，果實為蒴果，木質，  
成熟時由綠色轉為褐色，裂開  
時會釋出大量的小種子。



## 阿里山榆 ( 榆科 )

花短繖房花序，多生於葉腋。翅果扁平倒卵形，果核位於翅果中部，上端不接近缺口，果梗長約 2mm，果實成熟時由綠轉為褐色。



## 物候監測的方法

植物物候觀察是相當簡單的，只要您有一具望遠鏡，就可以開始進行。走在太魯閣的樣區中，舉起望遠鏡看看樣樹是否已經開花、結果？如果有花、果，那又分別有多少呢？將它記錄下來。

### ❖ 樣樹在哪裡呢？

目前，研究團對在太魯閣國家公園中橫沿線由低海拔至高海拔總共設置 15 樣站，分別為流芳橋、慈母橋、綠水合流步道、文山溫泉、西寶隧道、豁然亭、洛韶、慈雲橋、138.5K、134.5K、131.5K、129.5K、碧綠、關原等，總共標記 417 株樣樹。

### ❖ 記錄的方式

物候觀察有下面兩個步驟：

#### <步驟一>

先評估樣樹是否有花苞、花朵、未熟果及熟果，如果有，便以下列的代碼記錄下來：

9：表示花苞，含苞之花序，僅含未開花之花苞。

6：表示花朵，只要花序上有開放之花朵，即為 6。

5：表示未成熟果，也就是花序上的花朵凋謝後子房膨大為果實者。

1：表示成熟果。通常是依照顏色、大小或是先前發芽試驗的經驗來判斷，例如山櫻花未熟果為綠色，成熟時則轉為紅色，記為 1。

#### <步驟二>

評估各項物候特徵的等級，依六個等級來記錄它的強度：

0：表示未開花，或是未結果。

1-：表示花量或果量很少，僅佔冠幅的 1%。

1：表示花量或果量佔植株冠幅約有 1/4 ( 2-25% )。

- 2：表示花量或果量佔植株冠幅 1/4 以上，但在一半以下(26-50%)。
- 3：表示花量或果量佔植株冠幅一半以上，但在 3/4 以下 ( 51-75% )。
- 4：表示花量或果量佔植株冠幅達 3/4 以上 ( 76-100% )。

❖ 物候調查野外紀錄表格範本

loc#	location	side	tree#	species	date	code	intensity	note
1	碧綠1	谷	1	昆欄樹				
1	碧綠1	山	2	玉山杜鵑				
1	碧綠1	山	3	玉山杜鵑				
1	碧綠1	山	4	玉山杜鵑				
1	碧綠7	谷	5	假長葉楠				
1	碧綠8	谷	6	假長葉楠				
1	碧綠2	山	7	西施花				
1	碧綠3	山	8	西施花				
1	碧綠3	山	9	西施花				
1	碧綠3	山	10	西施花				
1	碧綠4	山	11	西施花				
1	碧綠5	山	12	西施花				
1	碧綠9	谷	13	霧社山櫻花				
1	碧綠6	谷	14	昆欄樹				
1	碧綠6	山	15	西施花				
1	碧綠涼亭	谷	16	山櫻花 (單)				
1	碧綠涼亭	谷	17	錐果櫟				
1	碧綠涼亭	谷	18	西施花				
1	碧綠涼亭	谷	19	錐果櫟				
1	碧綠涼亭	谷	20	山櫻花 (單)				
1	碧綠涼亭	谷	21	山櫻花 (單)				
1	碧綠涼亭		22	昆欄樹				
1	碧綠涼亭		23	昆欄樹				
1	碧綠涼亭		24	昆欄樹				
1	碧綠涼亭		25	昆欄樹				
1	碧綠小棧		26	錐果櫟				
1	碧綠小棧		27	錐果櫟				
1	碧綠小棧		28	山櫻花 (單)				
1	碧綠小棧		29	山櫻花 (單)				
1	碧綠小棧		30	山櫻花 (單)				
1	碧綠小棧		31	山櫻花 (單)				

## 物候監測的範例

範例一：

在圖 1 的白雞油中，樹上只有未熟果，無花苞、亦無花朵，故記錄代碼為 5。在強度評估上，圖中未熟果佔了整個樹冠層九成以上，超過 3/4，因此強度記錄為4。

物種	代碼	強度
白雞油	5	4



圖 1. 白雞油樣樹一。

## 範例二：

在圖 2 的白雞油範例中，樹上只有未熟果，代碼記錄為 5，未熟果佔整個樹冠層近 3/4（未超過此比例），強度記錄為 3。

物種	代碼	強度
白雞油	5	3



圖 2. 白雞油樣樹二。

範例三：

圖 3 的白雞油樹上，只出現了未熟果，故代碼記錄為 5，未熟果佔整個樹冠層近一半，強度記為 2。

物種	代碼	強度
白雞油	5	2



圖 3. 白雞油樣樹三。

範例四：

圖 4 樹上只有未熟果，代碼記為 5，且佔整個樹冠層的不到 1/4，強度記為 1。

物種	代碼	強度
白雞油	5	1



圖 4. 白雞油樣樹四

### 範例五：

當樣樹上出現兩種物候特徵時，需要分別評估與記錄。在圖 5 照片中紅色的部份是成熟果，還有一小部分的綠色未熟果，因此代碼應紀錄為 5/1。如果視整張圖片為一株山櫻花的全樹冠，紅色熟果佔了近 3/4 的樹冠，故記錄其強度為 3；綠色未熟果只有 1 顆，不達 1% 的樹冠，記錄為 1-，故應記為 1-3。

物種	代碼	強度
白雞油	5/1	1-3



圖 5. 山櫻花樣樹五。

## 相關參考文獻資料

1. 陳毓昀 (2014) 太魯閣國家公園長期生態物候監測計畫報告書, 太魯閣國家公園委託研究。
2. 呂福原、呂金誠、歐辰雄 (1999) 台灣樹木解說, 國立中興大學編印。



## 附錄二 「太魯閣國家公園長期生態物候監測計畫(四)」期中簡報審查會議紀錄

- 一、時間：中華民國 104 年 7 月 28 日（星期二）下午 14 時
- 二、地點：本處大會議室
- 三、主持人：楊處長模麟 記錄：呂謙
- 四、列席單位及人員：如簽到簿
- 五、主辦課室報告：依契約第二條規定，應於 104 年 6 月 25 日前提出期中報告書，本案東華大學於 104 年 6 月 25 日送達，符合契約規定，並出席本處排定今日之期中審查會議。
- 六、簡報：受託單位(略)
- 七、討論：

委員	提問	回覆
劉委員嘉卿：	指標植物(山櫻、玉山杜鵑等)列為賞花資訊與預測開花時間給予遊客賞花資訊，進而推廣吸引遊客前來？可行性如何？	陳毓昫教授：開花預測模式可推估，惟氣候涉及因素廣泛不易精準。
徐委員國士：	峽谷地形、陰影、微氣候等因素對本案研究影響大，不可輕忽，因為花芽數量多少與前 1 年天候因素具有密切相關性，物候稍微改變則對植物界造成影響不可忽略。天祥之梅花、合歡山之杜鵑等植物作長期記錄工作後可供賞花資訊	陳毓昫教授：有關建議事項列入改善。
陳課長俊山：	海拔高度分析橫軸建議改為日期，以利遊憩資訊說明。	陳毓昫教授：有關建議事項列入改善。
劉委員嘉卿：	第 8 頁之表 1 物種及中文種名應統一，另加一欄列出海拔高度則更臻完善一目了然。志工手冊請加入植物外觀概述、花果狀態識別等，俾利志工使用。	陳毓昫教授：有關建議事項列入改善。
林委員登秋：	所提書面審查資料 本計畫為一延續的長期生態物候調查監測與志工訓練，工作內容相當多，負荷量大，但皆	陳毓昫教授：林委員登秋所提書面審查資料攜回參考。

	<p>為基礎而重要的項目。為對國家公園內生態系統的長期變化以及此變化和氣候變遷、經營管理與人為擾動等有完整的了解，實有持續推動的必要。</p> <p>依期中報告內容來看，主持人頗能依監測計畫執行，亦能依預期進度進行。以下幾點供主持人參考：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 報告書中有幾處應引用而未引用文獻，請修正(如第二頁第二段第三行句號前、第十頁第一段第二行句號前)。</li><li>2. 在評估利用影像自動進行物候監測方面，除了與人工檢視比對之外，是否考慮在野少數定點進行實測以做為地真(ground truth)。</li><li>3. 在描述花期時提到欲了解是否有適於做為指標的物種，請說明何種指標。</li><li>4. 在初步研究成果部分，有關氣象監測的初步成果，除了描述資料完整性，亦應呈現資料分析結果。報告書中僅有四個點的海拔溫度變化，其它氣象參數如濕度與光照亦應納入分析。</li><li>5. 海拔溫度下降率與濕度有密切相關，因此應將濕度資料呈現。</li><li>6. 光照度在海拔上的變化對物候與其他生態現象亦有重要關聯，亦應納入分析。</li><li>7. 影響部分僅呈現蒐集情形而未呈現分析結果，建議一邊收集一邊分析，才能即時發現問題，進行修正。如記錄頻度是否宜提高，拍攝之設定是否宜在不同季節有所調整等，</li></ol>	
--	---	--

	<p>皆有賴分析影像資料才能提供及時修正之參考。</p> <p>8. 報告書中提到志工隨行次數有限，但未提供明確資料(多有限)，亦未提出改進方法，請主持人思考並提出改進的方法。</p>	
王君瑋技士：	植物結果與開花具穩定性相關，如能紀錄結果數量，則對以果為食野生動物的影響或可評估。	陳毓昫教授：果實與開花穩定關係於果樹經營較常應用，野外族群很難於短時間建立。
黃瑞諒技士：	本研究可否應用於布洛灣之金花石蒜、百合等物候資訊紀錄可提供參考。	陳毓昫教授：果實與開花穩定關係於果樹經營較常應用，野外族群很難於短時間建立。

#### 八、決議：

1. 本案期中簡報原則通過，相關與會專家學者與同仁建議請納入計畫執行參考，並請依契約規定辦理第二期款款項請領程序作業及辦理後續調查工作。
2. 期許本案於期末成果中列出供作本處相關遊憩資訊及經營管理作為參考。

#### 九、散會（下午 15 時 45 分）



### 附錄三 「太魯閣國家公園長期生態物候監測計畫(四)」期末簡報審查會議紀錄

- 一、時間：中華民國 104 年 12 月 17 日（星期四）下午 15 時 30 分
- 二、地點：本處大會議室
- 三、主持人：林秘書忠杉 代 記錄：呂謙
- 四、列席單位及人員：如簽到簿
- 五、主辦課室報告：依契約第二條規定，應於104年11月25日前提出期末報告書，本案東華大學於104年11月25日送達，符合契約規定，並出席本處排定今日之期末審查會議。
- 六、簡報：受託單位(略)
- 七、討論：

委員	提問	答覆
劉委員嘉卿：	季節性差異遞減度以均溫為佳。	答：一般而言確是以均溫作為遞減率計算基礎。本研究進行日高溫及日低溫之計算，僅僅是為了進行內插，求取研究中各站點的最高及最低溫之用。
	開花比率3年資料變動大(2013年顯示)請查明。	答：變動較大的物種的確多為眾所周知、豐欠年明顯的物種，本研究以詳細的資料再闡明此現象。然，部分物種的變動大易可能肇因於樣本數過小之故。
	盛開年(初開)誤差值有延後現象與溫度的關係?	答：根據開花模擬，我們發現盛開時間卻與溫度有關。然而，受資料長度限制，此模擬未臻完善，因此確切的溫度臨界值和總溫量的研究仍待進一步研究。
	溫量模型部份，請提供太管處最好公式，俾利日後延續應用。	答：將會持續進行研究，並將分析之程式轉為較易使用之程式，供太管處參考。
	培訓志工與學生相配	答：將會參考徐委員的

	合相輔相成，俾利日後延續應用。	意見，簡化觀察程序、減少觀察物種數，以利志工之配合。
	解說手冊與訓練手冊分開標示為佳，編排上以易閱讀及上手，文字有誤部份請更正。	答：錯誤已更正。報告書中的手冊部分僅為參考，實際的印刷版本將會附交太管處存檔。
徐委員國士：	物後候研究應長久為之，3年期稍短，可繼續觀察持續進行。	答：本團對亦以為物候研究須以長期資料作為基礎，希祈太管處能持續相關觀察，建立全球變遷研究之基礎。
	花季延後原因？觀察出原因？吻合最高溫原則。	答：花季延後確與氣候變化有關，但確切之氣候指標與模擬之切合度有待進一步研究。
	資料有限，使參數變化，應注意。	答：本團隊在修正模型時，會對此問題多加著墨。
	最佳顏色組合，過去以藍光鏡過濾，現以相關電腦設施執行找出色度，是比較好。	答：本團隊之發現的確吻合濾鏡效果，此原理對園區內主要的花色均有分離效果。
	應用志工，應以志工服勤地點周遭數種植物做觀察指標較簡單可行。	答：如有機會再次規劃物候觀察網絡，將以此建議為依歸。
陳課長俊山：	花期預測的可行性再加強敘述。	答：已修正，加入即時通報之評估中。
	志工培訓已執行2-3年，原規劃培訓將以現地拍照為主，並交由電腦判讀。	答：照片檔之處理與存檔需要資訊工程方面的軟硬體配合，處理模式已於報告中建議。
林秘書忠杉：	本研究案為4年計畫，請比照其他研究案，於結案成果報告書重點	答：本團隊將依指示辦理。

	摘錄各年度成果及經營管理建議。	
	請提供研究成果新聞稿，供本處發布保育研究成果之用。	答：本團隊將依指示辦理。

#### 八、決議：

本案期末簡報原則通過，相關與會專家學者與同仁建議請納入執行參考，並請依契約規定辦理期末款項請領程序作業。

#### 九、散會（下午16時45分）



## 參考書目

- 林務局 (2009) 台灣現生天然植群圖集，台灣生物多樣性保育學會編印。
- 夏禹九、黃正良、王立志 (1989) 太魯閣國家公園氣候調查及移動試測站規劃，內政部營建署太魯閣國家公園管理處。
- 夏禹九 (2011) 代表性生態系經營管理之峽谷生態系長期生態研究網計畫(二)—局部氣象監測及資料庫建置研究報告。太魯閣國家公園。
- 吉野正敏 (1986) 小氣候，地人書館，日本。
- 陽明山國家公園 (2015) 網站資料 URL [http://www.ymsnp.gov.tw/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&gp=0&Itemid=139](http://www.ymsnp.gov.tw/index.php?option=com_content&view=article&id=2&gp=0&Itemid=139)，查詢日期 2015/11/14。
- 臺北市政府工務局公園路燈工程管理處 (2015) 網站資料 URL <http://pkl.gov.taipei>，查詢日期 2015/11/14。
- 臺北市政府工務局公園路燈工程管理處新聞稿 (2015) 網站資料 URL <http://pwd.gov.taipei/ct.asp?xItem=103439601&ctNode=23060&mp=106001>，查詢日期 2015/11/14。
- 黃美秀、賴秀芬、林冠甫、葉慶龍 (2009) 玉山國家公園台灣黑熊重要棲息地—大分地區之植群生態及森林更新，國家公園學報第19卷第1期，第62-82頁。
- 張逸群、鍾文貴 (2012) 應用ImageJ於估算綠美化工程之植草存活率，2012 年中華水土保持學會年會及學術研討會論文集，第1-16頁。
- 潘振彰 (2012) 溫度對雪山地區玉山杜鵑開花物候之影響，碩士論文，中興大學森林系。
- 環境資訊中心 (2015) 網站資料 URL <http://e-info.org.tw/node/105528>，查詢日期2015/11/14。
- Aono, Y. (1993) Climatological studies on blooming of cherry tree (*Prunus yedoensis*) by means of DTS method. (abstract in English). *Bulletin of the University of Osaka Prefecture, Series B: Agriculture and Biology*. 45:155-192.
- Aono, Y. and Kazui, K. (2008) Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9th century. *International Journal of Climatology*. 28: 905-914.
- Augspurger, C. (1981) Reproductive synchrony of a tropical shrub: experimental studies on effects of pollinators and seed predators on *Hybanthus prunifolius* (Violaceae). *Ecology*. 62: 775-788.
- Bawa, K.S., Kang, H., Grayum, M.H. (2003) Relationships among time, frequency, and duration of flowering in tropical rain forest trees. *American Journal of Botany*. 90(6): 877-887.
- Borchert, R. (1983) Phenology and control of flowering in tropical trees. *Biotropica*. 15:81-89.
- Borchert, R. Stefanie, A.M., Felger, R.S., Porter-Bolland, L. (2004) Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. *Global Ecology and Biogeography*. 13: 409-425.
- Brearley, F.Q., Proctor, J., Ngay, S., Dalrymple G., Voysey, B.C. (2007) Reproductive phenology over a 10-year period in a lowland evergreen rain forest of central Borneo. *Journal of Ecology*. 95: 828-839.
- Cherry blossom front, Wikipedia, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cherry\\_blossom\\_front](https://en.wikipedia.org/wiki/Cherry_blossom_front). 2015/11/14。
- Curran, L. M. and Leighton, M (2000) Vertebrate responses to spatiotemporal variation in seed

- production of mast-fruited Dipterocarpaceae. *Ecological monographs*. 70: 101-128.
- Granados, J.A., Bonnet, P. Hansen, L.H., Schmidt, N.M. (2103a) EcoIS: An image serialization library for plot-based plant flowering phenology. *Ecological Informatics*. 18: 194–202.
- Granados, J.A., Graham, E.A., Bonnet, P. Yuen E.M., Hamilton, M. (2013b) EcoIP: An open source image analysis toolkit to identify different stages of plant phenology for multiple species with pan-tilt-zoom cameras. *Ecological Informatics*. 15: 58-65.
- Kaartinen, R., Hardwick B., Roslin, D. (2013) Using citizen scientists to measure an ecosystem service nationwide. *Ecology*. 94: 2645-2652.
- Kendall, W. (2001) Using models to facilitate complex decisions. Ch.10 In: T.M. Shenk and A.B. Franklin eds., *Modeling in Natural Resource Management*, pp. 147-170, Island Press, Washington D.C., U.S.
- Newstrom L.E., Frankie, G.W., Baker, H.G. (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.
- Piovesan, G. and Adams, J.M. (2001) Masting behaviour in beech: Linking reproduction and climatic variation. *Canadian Journal of Botany*., 79: 1039-1047.
- Primack, R.B., Higuchi, H. , Miller-Rushing, A.J. (2009) The impact of climate change on cherry trees and other species in Japan. *Biological Conservation*. 142: 1943-1949.
- Richardson, S.J., Allen, R.B., Whitehead, D., Carswell, F.E., Ruscoe, W.A. & Platt, K.H. (2005) Climate and net carbon availability determine temporal patterns of seed production by *Nothofagus*. *Ecology*, 86: 972-981.
- Roy, H.E. Pocock, M.J.O., Preston, C.D. Roy, D.B. Savage, J. (2012) Understanding citizen science and environmental monitoring. *Final Report on behalf of UK Environmental Observation Framework*. Natural History Museum, U.K.
- Sakai, S. (2001) Phenological diversity in tropical forests. *Population Ecology*. 43: 77-86.
- Sakai, S. (2002) General flowering in lowland mixed dipterocarp forests of South-east Asia. *Biological Journal of the Linnean Society*. 75: 233-247.
- Satake, A., Kawagoe, T., Saburi, Y., Chiba, Y., Sakurai, G., Kudoh, H. (2013) Forecasting flowering phenology under global warming by modelling the regulatory dynamics of flowering-time genes. *Nature Communications*. 4: 2303.