

物候觀測的科學指標建立__ 以 2020年春季金山、臺大校園的 平戶杜鵑開花為例

林芳聿 林博雄
國立臺灣大學大氣科學系

中文摘要

植物物候-植物生命週期性律動事件的發生時間-的變化，是植物反應氣候變化最明顯的方式之一。每年隨著杜鵑花季的到來，活動慶典爭相於盛花期舉辦，近年隨著氣候變化及全球暖化的發生，是否會造成花期的改變值得進一步探討。然而要進行開花預報模式的發展，則需要有花芽生長生理及開花機制的研究及長期、穩定且標準化的物候觀測資料作為參考。本研究嘗試以平戶杜鵑於不同氣候條件下生長特性之進行觀察，期望結合植物園藝與大氣科學跨領域的研究，進一步分析不同氣候條件對於平戶杜鵑開花習性之影響，以建立具有科學指標性的物候觀測基礎。試驗選定同品系同一批扦插生產之四年生盆植平戶杜鵑-艷紫(*Rhododendron mucronatum*)植栽，於 2020 年 9 月分別放置於三處不同氣候特色試驗地，(1)臺灣大學校園(臺北盆地內市區) (2) 金山萬里區交界杜鵑花生產苗圃(臺北盆地以外大屯山西北側，海拔 50 公尺)，透過植物生長階段 BBCH 量表(BBCH scale) (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt, and Chemical industry code scale)並輔以圖片對應不同生長階段的平戶杜鵑-艷紫物候資訊，配合一旁的氣象站觀測的 Reaumur(1735)生長度日積溫的概念積溫模式來選擇正確的熱積溫起始日期，和主要的閾值溫度，來決定模式的預測能力 (Nendel, 2010 ; Wielgolaski, 1999)。研究結果發現：以整體外觀目視開花百分比來定義判定始花日(FFD)、盛花日日(FBD)及終花日(EFD)如下定義：

(1)始花日(First Flowering Date，FFD)：目視全株植栽有約 10%左右之花朵開花 (BBCH61)

(2)盛開日(Full Bloom Date，FBD)：目視全株植栽大於 80%之花朵開花(BBCH65)

(3)終花日(End Flowering Date，EFD)：目視全株植栽大於 95%之花朵萎凋或掉落(BBCH 69)

觀測資料分析結果顯示以環境日平均氣溫 12.1°C 做為基礎溫度(T_{base})，計算平均花芽寬度 5.8mm，為積溫啟始日期，則到達始花日之累積生長度日 GDD(mm)約是 352mm(金山)~358mm(臺大)，因此 2020 年 11 月 1 日為金山的始花日是 2 月 23 日、盛開日是 3 月 9 日、終花日是 5 月 25 日；臺大校園的始花日是 2 月 26 日、盛開日是 3 月 7 日、終花日是 5 月 18 日。

在以上的生長積溫模式情境下，我們也發現杜鵑花開花的花況與前一年秋冬季花芽發育時之氣候狀況有良好關聯，可被視為一種有效的氣候變遷指標。

關鍵字：植物物候、平戶杜鵑-艷紫、植物生長階段量表

KEYWORDS: phenology、*Rhododendron pulchrum*、BBCH

一、前言:

杜鵑花是臺北市的市花，臺灣大學校園也因每年杜鵑花姘紫嫣紅輪番綻放獲得“杜鵑花城”的美譽，在北臺灣陽明山亦是知名的杜鵑花賞花景點。許多活動與慶典都響應花盛開的期間來舉行，如：臺北市杜鵑花季、臺大杜鵑花節…等，花季期間將帶來人潮，同時為周邊地區帶來觀光旅遊商機，活動於何時舉辦最能搭配花期盛開，成為主辦單位最想知道的問題之一。平戶杜鵑因其枝葉飽滿、耐修剪、花大艷麗，被廣泛利用作為景觀灌木。維護管理上常遇到的課題是，總是只見其綠葉繁盛卻不見其滿樹紅花或是開花零星稀落的狀況。究竟“明年杜鵑花何時開花?如何才能開得好?” 看似簡單的問題，卻不容易回答。

「淡淡的三月天，杜鵑花開在山坡上，杜鵑花開在小溪畔，多美麗啊!」這首《杜鵑花》(作詞：蕪軍/作曲：黃友棣) 是 1950 年代臺灣廣為傳唱的歌謠，雖為愛國歌謠卻也描寫出每年三月正值杜鵑花盛開時節。世界經濟論壇(World Economic Forum, WEF)於 2021 年公布的《全球風險報告》中提及，全球「可能性最高風險」第一名為極端天氣，第二名為氣候行動的失敗，氣候變遷與生態危機已成為無可倖免的風險與挑戰。近年面臨極端氣候及暖化升溫的影響之下，杜鵑花是不是一樣開在三月天? 植物開花的時間，在其生命週期是很重要的一部分，對其個體本身適應環境變化壓力，例如：溫度、水分、病蟲害…等有很重要的影響，而在生態學層面，不同物種間的物候變化是維持物種共存的重要機制。生物週期性事件與氣候因子相互之時間關聯的學問，稱為物候學(Phenology)，監測生物適應環境而產生的物候變化，也將有助於瞭解氣候變遷與生態系的變化。植物物候研究需要長時間資料累積的分析，國外如歐洲觀測葡萄及日本觀測染井吉野櫻都有長期的物候記錄，而國內雖有相關植物物候研究，但多分散在不同單位、地點或計畫期間而受限制；監測的對象不同或對於「開花」記錄的標準不盡相同，使得相關物候研究較難整合。

物候學(phenology，源自希臘語 phaino，意思是顯現或出現)是研究生物週期性事件受環境相互之影響，尤其是溫度的季節性變化。常見可觀察到的物候事件例如：植物在春季長芽、開花，秋季葉片轉色；鳥類的遷徙、動物冬眠…等。透過長時間物候記錄，我們可以了解氣候變化，而藉由物候變化，亦可幫助我們了解全球暖化對生物的影響。植物物候-植物生命週期性律動事件的發生時間-的變化，是植物反應氣候變化最明顯的方式之一。每年隨著杜鵑花季的到來，活動慶典爭相於盛花期舉辦，近年隨著氣候變化及全球暖化的發生，是否會造成花期的改變值得進一步探討。然而要進行開花預報模式的發展，則需要有花芽生長生理及開花機制的研究及長期、穩定且標準化的物候觀測資料作為參考。

瞭解植物生長階段可以幫助對植物物候的研究，然而使用通用的標準尺度來描述是很重要。Hack 等(1992)提出了植物生長發育階段統一的、標準化的原則，「植物生長階段 BBCH 量表(BBCH scale)」(Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt, and Chemical industry code scale)而該系統也逐漸開始被世界各國其他物候網絡系統採用。BBCH scale 將植物的整體發育階段細分成十個容易辨認區別且期間較長的「主要生長階段(Principal growth stages)」以數字 0 至 9 依上升順序來表示第一階層，主要生長階段的描述。於不同種的植物中，當特定的時間點或發生時間較短的階段特徵，需要被進一步明確的指出時，將增列第二階層，同樣以數字 0 至 9 來表達，進而形成兩位數字的代碼。在過去幾十年中 BBCH scale 已被提出作為多種草本和木本農作物的十進制編碼系統(Bleiholder et al., 1989; Lancashire et al., 1991; Hack et al., 1992)，近十年來，BBCH 量廣泛的應用到果樹的研究上，如杏(Perez-Pastoret et al., 2004)、番石榴(Salazar et al., 2006)、桃(Mounzer et al., 2008)、酪梨(Alcaraz et al., 2013)、甜櫻桃(Fadón et al., 2015)…等。然而在杜鵑花的研究上，Bodson (1983)曾針對以顯微鏡觀察花芽分化時期提供自花原體形成至子房形成胚珠九階段的描述，但是整個杜鵑花生命週期的階段概述如 BBCH scale 尚未被完整提出，但由於杜鵑花是觀賞花卉，在開花發育的階段值得再做更細的描述發展。在物候觀測上，若有統一的量表來說明不同生長階段將有助於跨領域

的溝通與研究。因此本研究沿用 BBCH 指標來描述平戶杜鵑在北台灣一年之中萌枝時間不只一次，而枝條生長經過約二個月到三個半月後可達頂芽微微膨脹形成花芽的成熟度。依觀察結果推論，當氣溫條件適合新枝萌芽時，且沒有被頂芽優勢的抑制下，例如：花謝後、修剪後、頂芽遭受蟲害、自枝幹基部，即可能發生新枝萌芽，新芽生長至可見小枝葉起約 2~3 個月可長至頂芽微微膨脹形成花芽的成熟度(BBCH Stage 50)，最終花芽下葉片數量(14~22 片)也可作為枝條成熟/花芽形成的參考依據。然而，枝條生長的適溫範圍及其對於不同溫度的反應，則有待更進一步的觀察與驗證，不同時期萌發的新枝雖零星但也建議未來進行生長觀察時應納入標記觀察，將有助於探討其生長適溫及物候變化(圖 1)。

本研究將以平戶杜鵑於不同氣候條件下生長特性之進行觀察，期望結合植物園藝與大氣科學跨領域的研究，進一步分析不同氣候條件對於平戶杜鵑開花習性之影響。人們常說「草山、滿山紅仔最有名(臺語)」，因為杜鵑花在北臺灣陽明山一帶，長得特別好，鄰近的萬里金山地區位於北海岸，降雨豐沛、土壤環境適合杜鵑花苗扦插繁殖，使萬里金山地區成為全台最大的杜鵑花苗產地。故本試驗選擇金山杜鵑花生產苗圃為試驗地之一，以瞭解平戶杜鵑喜歡之生長環境；另外選擇臺北市區內平戶杜鵑賞花名勝地臺大校園以及相對冷涼的高海拔梅峰農場作為另外兩個試驗地進行平戶杜鵑開花物候觀察。

經過一年的生長階段觀察，發現在北臺灣艷紫杜鵑花芽於秋冬季並未進入休眠，頂芽達到花芽形成(BBCH stage 60)的成熟度後，只要進入適溫後即會持續生長至開花。

杜鵑花在營養生長、花芽分化、花芽發育不同階段所需的適溫不同。故本研究進一步探討平戶杜鵑於花芽形成後，自花芽發育(flower development)至開花所需要的花芽發育熱積溫模式，以溫時模式進行生長度日(GDD)累積，使用每日平均溫度，進行花芽發育適溫區間溫度的累加，設定基礎溫(Tbase)12.1°C及最大溫度(Tmax)20°C，自以達花芽形成日期(本試驗設定 11 月 1 日)起算，北台灣兩個海拔高度相近的試驗地可得到相近的生長度積日積溫：金山苗圃 365.56°C d；臺大校園 352.22°C d，以相同的模式套用在 2020 年 12 月提早開花的花芽以及金山苗圃 2020 年 1 月底開花之計算，得到相近的數值。然而，該模式僅是初步設定生長適溫臨界溫度的簡單模式，仍需要未來更多不同年份開花觀測數據進行驗證及修正。

本研究將以平戶杜鵑於不同氣候條件下生長特性之進行觀察，期望結合植物園藝與大氣科學跨領域的研究，進一步分析不同氣候條件對於平戶杜鵑開花習性之影響。試驗選定同品系同一批扦插生產之四年生盆植平戶杜鵑-艷紫(*Rhododendron mucronatum*)植栽，於 2020 年 9 月分別放置於三處不同氣候特色試驗地，(1)臺灣大學校園(臺北盆地內市區) (2) 金山萬里區交界杜鵑花生產苗圃(臺北盆地以外大屯山西北側，海拔 50 公尺)(3)臺灣大學梅峰農場(高海拔山區，海拔 2100 公尺)，透過生長階段觀測記錄其花芽對應不同氣候條件，建立平戶杜鵑-艷紫的物候生長階段 BBCH 量表並輔以圖片對應不同生長階段。杜鵑花開花的花況與前一年秋冬季花芽發育時之氣候狀況有關，於 2021 年春季，三個試驗地中，主要花期始花日(FFD)以金山最早(2 月 23 日)，其次是臺大校園(2 月 26 日)而梅峰農場最後(3 月 23 日)。在開花花期表現，金山苗圃雖最早開花，但開花時接連遇到下雨及低溫，灰黴病狀況嚴重，花期受影響而縮短；2020 年冬季特殊事件寒流造成低於 0°C 霜害，使梅峰農場部分花芽生長受阻最終無法開花或花朵發育不全。

2011-2020 是全球有紀錄以來最溫暖的十年，全球地表溫度比 20 世紀(1901-2000)平均水平高出 0.82°C；2020 年全球平均陸地地表溫度相較於 1880 年增加 1.59°C ± 0.14，創下 141 年來最高紀錄(NOAA, 2021)。改變物候是植物因應氣候變化最直接的方式之一，許多研究記錄了早春物候與近年來氣溫升高之間的相關性，如受冬末或春季溫度升高影響造成始花日顯著提前或延遲、葉片轉色的現象。然而，物候轉變影響的不是指單一個體，有可能改變群體生態間的相互作用，進而影響一種或多種相互作用的物種，近期的模擬預測指出，越來越多地方可能發生植物與其授粉者之間發生物候錯配的危機(Petanidou et al., 2014)。植物生長季長度的變化(開始生長及衰老的時間)，影響落葉林葉片生長及掉落，亦驅動著陸域生態

系統年度的碳吸收量。造成植物物候改變主要來自早春或冬末最冷日的溫度升高，而非來自於平均溫度 (Robeson, 2004)。面對氣候變化的影響下，突顯瞭解植物物候變化的重要性，值得更進一步研究。

二、資料來源與分析方法

本試驗欲了解在杜鵑花芽已形成後，在不同的氣候條件下，對於其開花生長之影響，故選用三個具不同氣候特色之試驗地點分別為(圖 3)：

試驗地 A-臺灣大學校園內大氣觀測坪，此地位於台北盆地內大安區，為平地都市區(海 0m a.s.l)；

試驗地 B-金山杜鵑花苗圃，此地為原杜鵑植栽培欲產地苗圃，位在大屯山以北金山區磺溪支流西側，與海距離 XXm，為平地郊區(海拔約 50m a.s.l)；

試驗地 C-臺灣大學梅峰山地農場，此地為高海拔山地(海拔 2100m a.s.l)，平均氣溫較平地低且日夜溫差變化較大。

三處試驗植栽皆擺放於無遮蓋露天全日照之條件，為排除水分不足造成之植物逆境，各試驗地皆視天氣狀況提供杜鵑花充足水分，每日澆灌充足水分至盆底流出水，確保試驗期間植栽水分不虞匱乏，然如遇雨天則視情況調整澆水頻度避免過多水分造成根系潰爛。觀測期間原則上不進行修剪，並於 10 月下旬再次施用磷肥及加保福粒劑，過程中如遇特殊病蟲害事件則另行進行物理性或噴藥防治處理並記錄。

此外每盆杜鵑植栽以同方位定期定點人工拍攝照片方式，記錄全株生長及開花狀況。另於每盆植栽選定四個芽點位置進行定期觀察量測及照相記錄植栽生長階段，包含：量測其枝條直徑(mm)、葉片大小(cm)、花芽寬度(mm)、開花數量以及物候生長階段日期。芽點位置的選擇以均勻分散於每盆植栽東西南北四個方向之花芽擇一進行標記觀測。量測方式及說明如下：

(1)花芽寬度：以電子游標卡尺量測，每次量測該花芽最寬處直徑。

(2)枝條直徑：以電子游標卡尺量測，定點量測固定記號位置之枝條直徑。

(3)葉片大小：以公分尺量測同一片葉片之葉背，自葉柄基部量測至葉片尖端。

(4)開花數量：於開花期間進行全株花芽五個生長階段(花芽、露蕾、花朵抽長、開花、花謝)之計數，於花季清點所有枝條上的花芽數量及狀態。

紀錄當下也以照相記錄其側立面及頂端俯視位置，記錄全株開花狀況，以目視判定整體開花程度與比例，定義說明如下(圖 2)：

(1)始花日(First Flowering Date, FFD)：目視全株植栽中有約 10%左右之花朵開花

(2)盛開日(Full Bloom Date, FBD)：目視全株植栽中大於 80%之花朵開花

(3)終花日(End Flowering Date, EFD)：目視全株植栽中大於 95%之花朵萎凋或掉落

(4)開花期間(Flowering Duration, FD)：自始花日起至終花日的期間

各試驗觀測地點，皆於植栽旁邊架設小型氣象觀測站，以美國 HOBO 記錄器連接感測儀器記錄空氣溫度、濕度、土壤溫度、土壤含水率、太陽輻射之觀測記錄。自 2020 年 9 月 20 日起，至 2021 年 4 月止，進行三個試驗地之氣象資料收集。台灣大學校園及金山試驗地之小型氣象觀測站，於記錄期間曾偶遇特殊因素導致氣象數據資料收集不連續之情形，則分別以鄰近氣象觀測站臺灣大學大氣系觀測坪及中央氣象局金山測站之氣象資料，進行資料校對後補充填入缺失資料。

不同的物候模式已被發展來預測動物或植物的物候。本研究中主要討論溫度與溫度相關的物候模式，因為三個試驗地皆擺放在戶外全日照環境，在光週期並無太大差異。Reaumur(1735)最早提出生長度日積溫的概念，使用日平均溫自隨意指定的日期累加至所觀察的物後事件發生日。後續也發展出許多不同的溫時模式(Thermal Time model)的計算，應用在不同物種與地點(Robertson 1968；Cannell and Smith 1983)。

最簡單基本的公式如：

$$S_f = \sum_{t_0}^y R_f(X_t) = F$$
$$R_f(X_t) \begin{cases} 0 & \text{if } X_t \leq T_{b1} \\ X_t - T_{b1} & \text{if } X_t > T_{b1} \end{cases}$$

其中 y 是物候事件發生的日期； X_t 是日平均溫； T_{b1} 基礎溫度； t_0 是起始日期。

此類模式已被廣泛應用於預測幾種溫帶樹種的生殖生長(開花日期)或營養生長(葉片展開)物候。選擇正確的熱積溫起始日期，和主要的閾值溫度，將決定模式的預測能力 (Nendel, 2010；Wielgolaski, 1999)然而發展不同地點特徵的模式也很重要，植物可以適應環境不同改變物候發育階段(Reis Pereira et al., 2018；Parker et al., 2011)。

由於杜鵑花的花芽是由頂芽所分化而來，然而其花芽分化(flower initiation)和花芽發育(flower development)所需的適溫不同。花芽發分化的適溫較高為 18~25°C；花芽發育的適溫稍低為 18~22°C，且高溫會抑制花芽發育，30°C 下花芽前期形成快速但是後期則發育緩慢(Larson and Biamonte, 1972)。傳統認為杜鵑花芽形成後到開花前會經過休眠，需要一定的低溫打破休眠，然而宋馥華(1996)提出，白琉球杜鵑在北台灣平地冬天似乎並未進入休眠，各花器長度在冬季呈持續增加，並未停止生長。花芽達到開花之前需滿足連續一個月 15/13°C 低溫需求，而低溫需求滿足後需要提高溫度後花芽才會順利開花。

本研究經由不同的「溫時模式」(Thermal Time model)來探討花芽發育所需要的生長熱積溫(Forcing unit/Heat unit)進行累積計算，溫時模式一般假設低溫需求已經滿足，或是該植物沒有低溫需求為前提。最常

見容易計算的為生長度日(Growing Degree Days, GDD)，其基本概念為每日平均溫度減去基礎溫度之累積，最常見的方程式為以當日最高溫(T_{Max})與最低溫(T_{min})相加除以二作為平均溫度，再扣除基礎溫度(T_{base})，再進行起始日期至目標階段日期之累加，如式 1：

$$GDD_{(Mm)} = \sum \left\{ \left[\frac{(T_{Max} + T_{min})}{2} \right] - T_{base} \right\}$$

當平均溫度低於基礎溫度(相減後出現負值)，則以數值 0 替代。

而每日平均溫度，亦有以每日 24 小時之每小時溫度進行平均值來計算之方式：

$$GDD_{(avg)} = \sum (T_{avg} - T_{base})$$

$$T_{avg} = \left(\sum_{hour=1}^{24} T_{hour} \right) / 24$$

當平均溫度低於基礎溫度(相減後出現負值)，則以數值 0 替代。

本研究中使用之 T_{hour} 為每 30 分鐘觀測資料之平均值，故 T_{avg} 為每日 48 筆溫度觀測資料之平均值。

Gu (2016) 提出計生長度小時(Growing Degree hours, GDH)透過多個積分矩形的總和可以減少 GDD(Mm)或是 GDD(avg)的誤差：

$$GDH = \sum \left[\sum_{hour=1}^{24} (T_{hour} - T_{base}) \right] \quad \text{if} \quad T_{hour} > T_{base}$$

不論是使用哪個熱積溫方程式，基礎溫度(T_{base}) 及累算起始日這兩個參數設定是非常重要的，許多研究中直接設定 1 月 1 日的日曆天作為起始值，然而計算花芽發育的熱積溫，原則上應以花芽開始生長時作為起始值，累算至始花日(FFD)，本研究使用的基礎溫度(T_{base}) 及起始日設定，將在下一節說明。

三、 資料整理分析與展望

植物花芽的發育階段之描述包含：(1)花芽始發(Flower initiation)：形成花原體(Flower primordium)的過程，為一般植物決定開花與否之重要關鍵；(2)花芽構成(Flower organization)或花芽分化(Flower differentiation)：個別花器(萼片、花瓣、雄蕊和雌蕊)的分化；(3)花芽成熟(Flower maturation)：花器生長以及花粉和胚囊發育等過程。而花芽發育(Flower development)則為花芽始發和開花之間的過程，包含花芽構成及花芽成熟兩個階段。本試驗中所探討之物候模式為花芽發育(Flower development)階段之過程，也就是花芽原體形成後，花芽開始發育至開花的期間，因已不是花芽休眠的階段，花芽需要一定的溫度累積來生長，故先不考量計算包含低溫需求的冷激的模式，而以溫量累積模式來進行。平戶杜鵑在北台灣一年之中不只有一次枝條及花芽生長，枝條萌枝後約二個月到三個月達形成花芽的成熟度。湯弘吉(1975)觀察臺大校園白琉球杜鵑(*R. mucronatum*)共有三次生長期：(1) 盛花期(二至三月)以前萌枝，五月中形成花芽；(2)五月中萌枝，七至八月形成花芽；(3) 七至八月萌枝，十月形成花芽；盛花期(次年二至三月)花芽主要為五月形成之第一次芽。然而宋馥華(1997)則提出觀察到臺大校園平戶杜鵑有兩次生長期：(1) 二月下旬萌枝，五月形成花芽；(2) 五月萌枝，七月形成花芽；且盛花期之花芽為七月形成之第二次花芽，秋末及冬季提早開的花芽為五月形成之第一次花芽。

有關於平戶杜鵑開花預測，涂等(2017)觀察 2013 年至 2015 年臺大校園兩側平戶杜鵑花期以最小變異係數法(CV)與標準偏差估算基本溫度(STDEV)推估基本溫度分別為 12.1°C 及 13.4°C;而以 12.1°C 為基本溫度(T_{base})時，推算花苞寬度平均達 5.8mm 至開花率 50%，累積度積溫為 314.0°C。金山苗圃與臺大校園兩試驗地氣象資料因有部分觀測資料缺失，故分別以鄰近之氣象局金山測站氣象站以及臺大大氣系氣象站之氣溫資料套入線性公式校正後填補。(金山苗圃換算之線性公式： $Y=1.0837X-1.6009$ ，相關係數為 0.9689；臺大校園換算之線性公式： $Y=1.0429X-0.7225$ ，相關係數為 0.9945)若試驗地小氣象站與鄰近測站皆無資料者，則以缺失斷點之前或後 30 分鐘資料之相同數值填補，例如：缺失上午 8 時 00 分之資料，以上午 7 時 30 分之資料數值填入、缺失上午 9 時 30 分之資料則以上午 10 時 00 分之資料數值填入。金山苗圃氣象資料中公式填補比例為 X%(待補)，空缺填補比例為 X%(待補)；臺大校園氣象資料中公式填補比例為 X%(待補)，空缺填補比例為 X%(待補)；梅峰農場資料完整，填補比例為 0%。

資料整理後(圖 4)我們發現平戶杜鵑在北台灣一年之中萌枝時間不只一次，而枝條生長經過約二個月到三個半月後可達頂芽微微膨脹形成花芽的成熟度。依觀察結果推論，當氣溫條件適合新枝萌芽時，且沒有被頂芽優勢的抑制下，例如：花謝後、修剪後、頂芽遭受蟲害、自枝幹基部，即可能發生新枝萌芽，新芽生長至可見小枝葉起約 2~3 個月可長至頂芽微微膨脹形成花芽的成熟度(BBCH Stage 50)。在北臺灣艷紫杜鵑花芽於秋冬季並未進入休眠，頂芽達到花芽形成(BBCH stage 50)的成熟度後，只要進入適溫(12°C~20°C)後即會持續生長至開花。花芽是否以形成除了從外觀觀察是否開始出現葉片節間變得極小，微微膨大的樣貌，建議研究可配合連續頂芽解剖觀測不同外觀生長階段時內部花芽生長的情況。平戶杜鵑營養生長與花芽生長之適合溫度及枝條成熟度之交互影響將有助於進一步了解開花的特性。除了溫度的影響，枝條是否已達形成花芽的成熟度也極為重要，有關維護管理枝芽修剪時間的建議，一定要考量枝條萌枝至花芽形成約需要二個半月至三個月，在氣溫降至花芽發育之適溫(12~20°C)前，要能達到花芽形成。

本研究也發現探討平戶杜鵑於花芽分化完成後，花芽發育(flower development)至開花所需要的花芽發育熱積溫模式，以溫時模式進行生長度日(GDD)累積，使用每日平均溫度，進行花芽發育適溫區間溫度的累加，設定基礎溫(T_{base})12.1 及最大溫度(T_{max})20，自以達花芽形成成熟度日期(本試驗設定 11 月 1 日)起算，北台灣兩個海拔高度相近的試驗地可得到相近的生長度積日積溫：金山苗圃 365.56°C d；臺大校園 352.22°C d，以相同的模式套用在 2020 年 12 月提早開花的花芽以及金山苗圃 2020 年 1 月底開花之計算，得到相近的數值(圖 5)。然而，該模式僅是初步設定生長適溫臨界溫度的簡單方式，仍需要未來更多開花觀測數據進行驗證及修正，或是以不同的溫時模式如生長度時(GDH)將是更接近實際溫度的計算模式。

根據本文以上分析我們認為透過溫度預報資料將可進行杜鵑花的開花物候，目前全球氣象預報資料是公開化，但是空間解析度較差，交通部中氣象局可取得未來一週 7 天之天氣預報。以進行開花預測的概念下，則希望取得期間更長且相對準確的溫度預報，便能在更早期即進行開花熱積溫累積的模擬。然而目前之天氣預報資料中，有最長期氣象溫度預報者為歐盟中長期天氣預報中心(WMCF)，其系統提供最長未來 30 天之氣象預報，然因該系統需另行收費且不便宜，故本研究以美國國家環境預測中心網站之全球預測系統(National Centers for Environmental Prediction - Global Forecast System, NCEP-GFS)，可免費取得未來十日氣象預報資料作為未來溫度預報資料參考。該網站是以區塊圖顏色表示不同之溫度，經緯網格解析大小為 0.25 度之方格。本研究自 2021 年 2 月 5 日始擷取每日溫度預報資料，來跟三處試驗地觀測值進行分析討論。發現吻合程度不錯，因此我們將有機會預報 2022 年春季的杜鵑花開花。此外花期長度與其他可能影響開花品質的因子 除了溫度對杜鵑花開花期的影響外，在三個試驗點還觀察到了其他可能影響開花質量和開花期的特殊事件。試驗中發現導致開花期長度變短及開花品質下降的兩個因素：

(1) 花瓣在全日照和高溫環境下容易產生白化

此現象在臺大校園觀察到最多，因為植栽擺放位置在寬闊的草坪上。不僅完全開放的花朵會受到影響，只要是以顯色的花蕾，以及伸長的階段(stage55~stage57)，它們在強烈的陽光下也可能會出現被漂白的現象，推測是紫外線指數過高導致花瓣色素分解。

(2) 花瓣出現許多灰黴病斑小白點

在金山杜鵑花苗圃中觀察到花瓣上有許多小白點。由於金山地區處於東北季風的迎風側，該地區經常下雨，在開花期也不例外。花瓣長時間暴露在雨中後容易皺摺變得軟黏。雨後的幾天內，花瓣上出現了大量白色水浸狀的斑點。是由於灰黴病的大量發生，縮短了花期，降低觀賞價值。另外，秋季花蕾形成後，如果冬天有小於 5°C 低溫，花蕾可能會受傷甚至敗育。2020 年 1 月寒流期間，梅峰出現 0°C 以下的低溫。在隨後的觀察中發現，花芽的苞片呈白色及褐色並且受損。推測在寒流期間，頂芽被霜凍受損，也造成後續每芽花朵數減少深至出現畸形的花。因此，在花芽發育到開花期間，過度的日照、降雨、0°C 以下的低溫和霜害可能會縮短花期，也會降低花的品質。這些在日後的維護和管理中值得更多的關注。

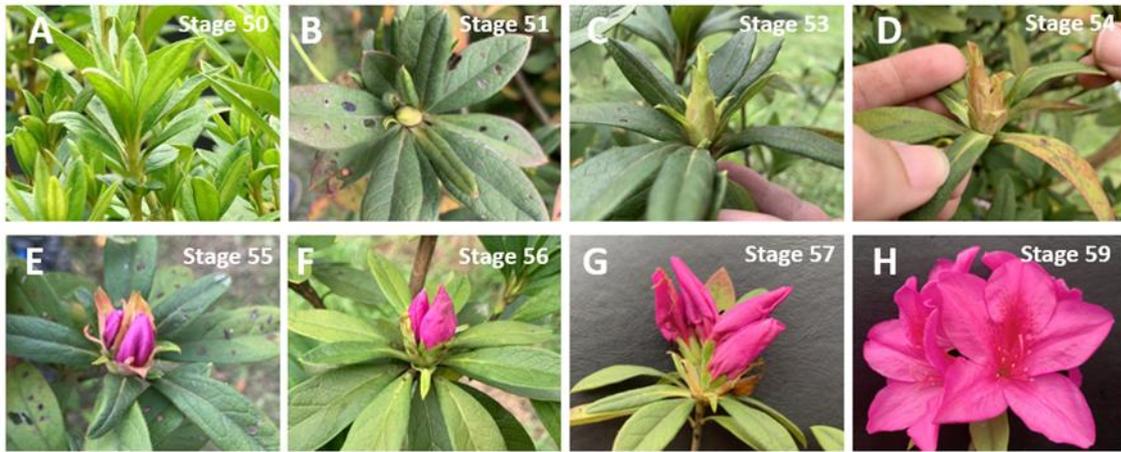


圖 1: 平戶杜鵑花芽發育至開花階段照片對應 BBCH 量表(Stage 50~Stage 59)。



圖 2: 平戶杜鵑開花階段照片(A 始花日、B 盛花日、C 終花日)

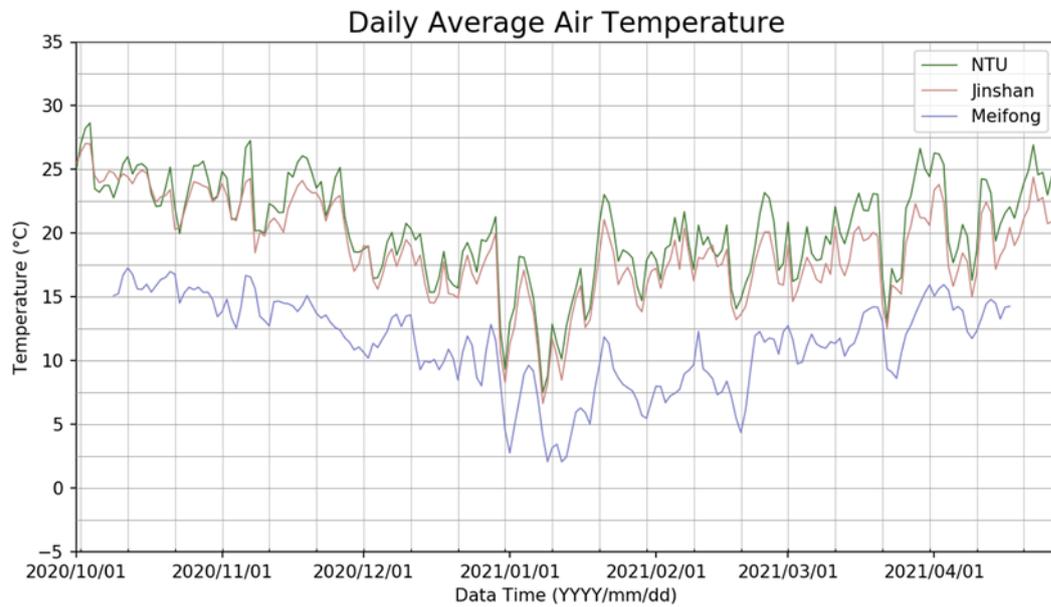


圖 3: 三試驗地 2020 年 10 月至 2021 年 4 月日平均氣溫

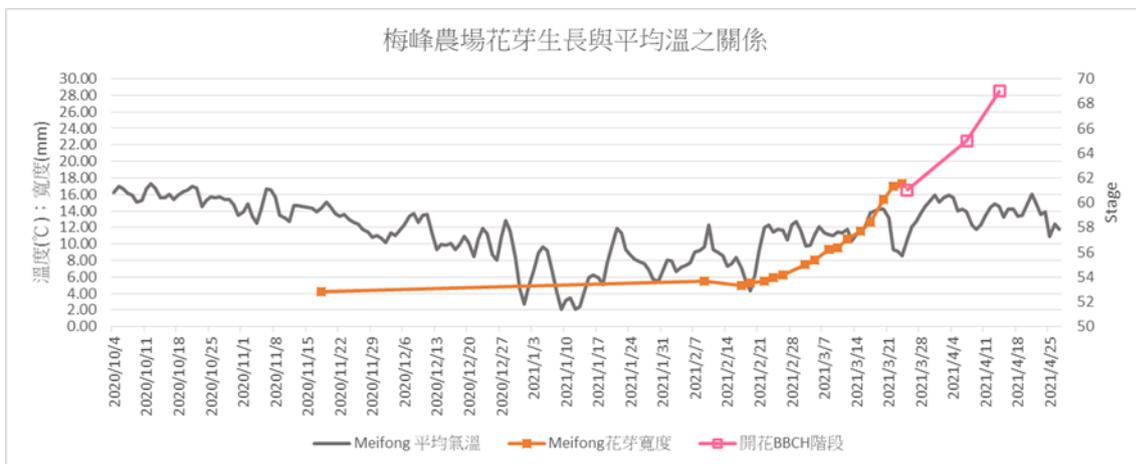
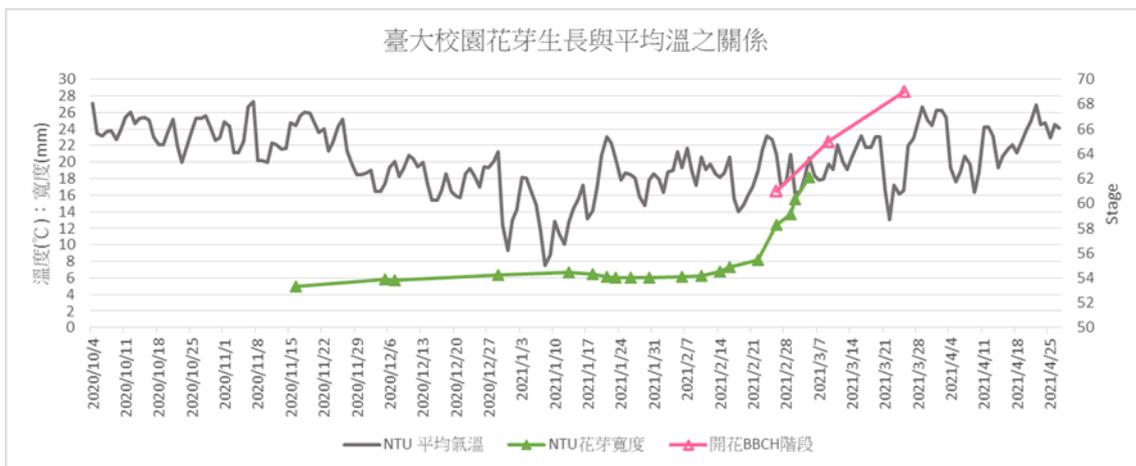
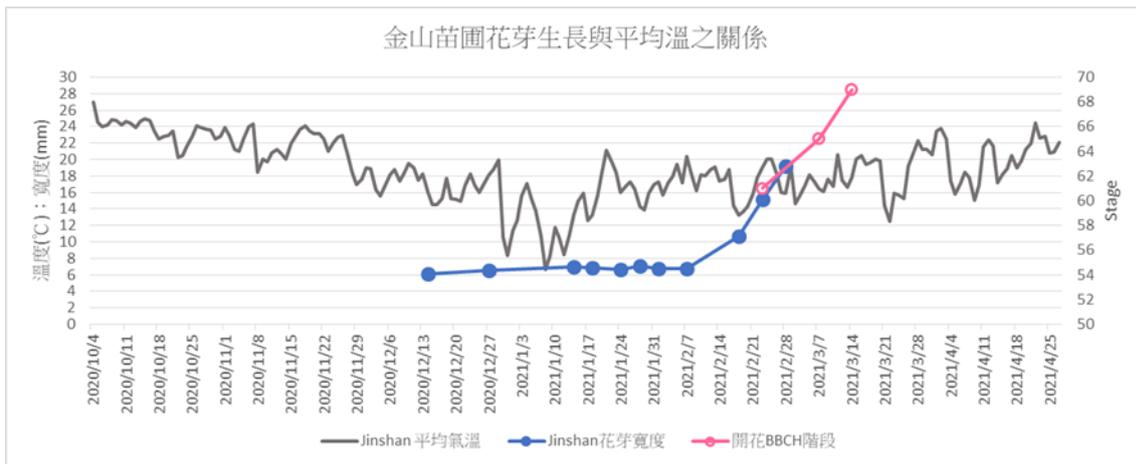


圖 4: 三處試驗地花芽生長、開花 BBCH 階段與溫度對照

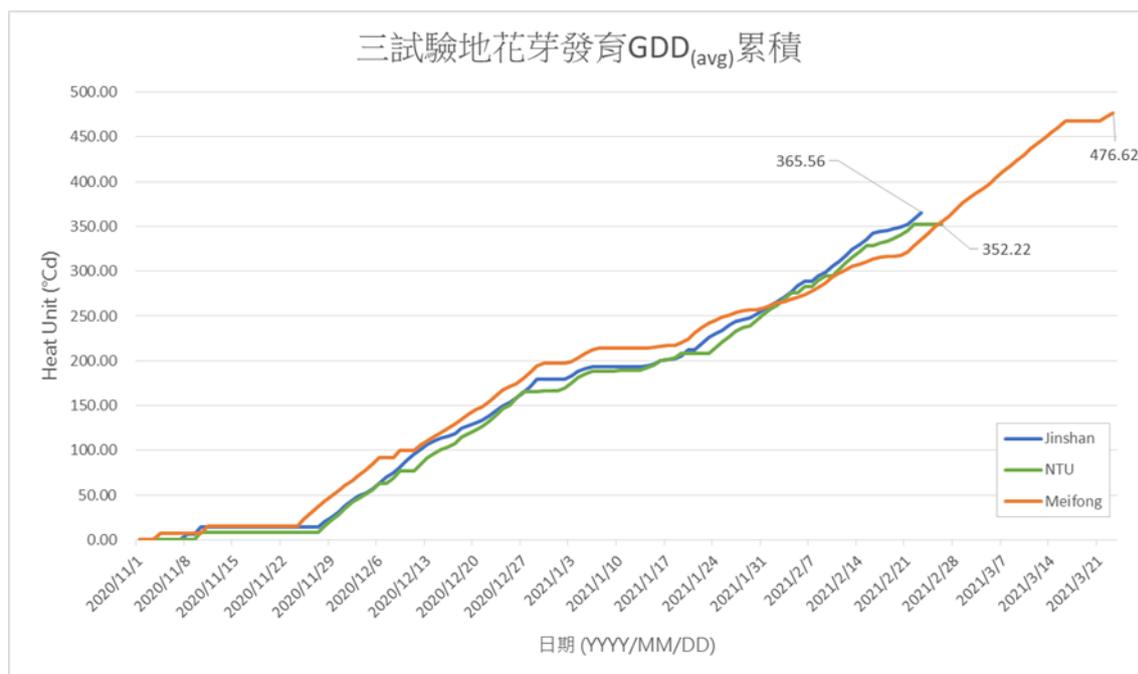


圖 5:三處試驗地花芽發育生長度日 GDD(avg)累積

四、參考文獻 (References)

- (1) 宋馥華(1996)。平戶杜鵑開花習性與花芽發育研究(碩士論文)。國立臺灣大學，台北市。
- (2) 涂佩君, 陳右人, 張育森 (2017)。臺灣大學校園平戶杜鵑花期預測之探討臺灣園藝(J. Taiwan Soc. Hort. Sci.) 63(3):169-175, 2017
- (3) 國立台灣大學森林環境暨資源學系(民 98)。林務局國家森林遊樂區物候監測研究計畫。林務局委託之期末報告，未出版。
- (4) 曾文柄 (民 62)。物候觀測手冊。臺北市：中央氣象局。
- (5) 謝東佑, 邱祈榮 (2013)。植物物候在氣候變遷之研究與展望。中華林學季刊, 46(3), 391-410。
- (6) Bleiholder, H., Van den Boom, T., Langeluddeke, P., Stauss, R., 1989. Einheitliche Codierung der Phanologischen Stadien bei Kultur- und Schadpflanzen. Gesunde Pflanz, pp. 381–384.
- (7) Gu, S. Growing degree hours - a simple, accurate, and precise protocol to approximate growing heat summation for grapevines. Int J Biometeorol 60, 1123–1134 (2016).
- (8) Hack, H., Bleiholder, H., Buhr, L., Meier, U., Schnock-Fricke, U., Weber, E., & Witzemberger, A. (1992). Einheitliche codierung der phänologischen entwicklungsstadien mono-und dikotyler pflanzen—erweiterte BBCH-Skala, Allgemein. Nachrichtenblatt des deutschen Pflanzenschutzdienstes, 44(12), 265-270.
- (9) Hedhly, A., 2011. Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. Environ. Exp. Bot. 74, 9–16, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.03.016>
- (10) Hedhly, A., Hormaza, J.I., Herrero, M., 2009. Global warming and sexual plant reproduction. Trends Plant Sci. 14, 30–36, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2008.11.001>
- (11) Luedeling, E., 2012. Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: a review. Sci. Hortic. 144, 218–229, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.011>

- (12) Nendel, C. Grapevine bud break prediction for cool winter climates. *Int. J. Biometeorol.* 2010, 54, 231–241.
- (13) NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020, published online January 2021, retrieved on July 4, 2021 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>.
- (14) Parker, A.K.; De Cortázar-Atauri, I.G.; van Leeuwen, C.; Chuine, I. General phenological model to characterise the timing of flowering and veraison of *Vitis vinifera* L. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2011, 17, 206–216.
- (15) Pérez-Pastor, Alejandro & Ruiz-Sánchez, M.C. & Domingo, Rafael & Torrecillas, Arturo. (2004). Growth and phenological stages of Búlida apricot trees in South-East Spain. *Agronomie.* 24. 93-100. 10.1051/agro:2004004.
- (16) Reis Pereira, M.; Ribeiro, H.; Abreu, I.; Eiras-Dias, J.; Mota, T.; Cunha, M. Predicting the flowering date of Portuguese grapevine varieties using temperature-based phenological models: A multi-site approach. *J. Agric. Sci.* 2018, 156, 865–876.
- (17) Schwartz, M.D. (2003). *PHENOLOGY: An Integrative Environmental Science*. The Netherlands: Kluwer Academic.
- (18) Theodora Petanidou, Athanasios S. Kallimanis, Stefanos P. Sgardelis, Antonios D. Mazaris, John D. Pantis, Nickolas M. Waser, Variable flowering phenology and pollinator use in a community suggest future phenological mismatch, *Acta Oecologica*, Volume 59, 2014, P104-111
- (19) Wielgolaski, F.E. Starting dates and basic temperatures in phenological observations of plants. *Int. J. Biometeorol.* 1999, 42, 158–168.