

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系

碩士論文

Department of Horticulture and Landscape Architecture

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

非洲芙蓉扦插繁殖與開花生理之研究

Studies on Cutting Propagation and Flowering Physiology
of *Dombeya wallichii*

劉 影

Ying Liu

指導教授：葉德銘 博士、李國譚 博士

Advisors: Dr. Der-Ming Yeh

Dr. Kuo-Tan Li

中華民國 108 年 7 月

July, 2019



誌 謝



在花卉館研二休息室，聽著窗外浙瀝雨聲敲下這篇誌謝，真是感觸頗多。本論文得以順利完成，離不開諸多師長和同伴的幫助。感謝我的導師葉德銘老師，尚未來臺時便已與老師取得聯繫，老師的親切減緩了我許多的不安。之後的兩年間更是在我的學業與生活中提供許多幫助，老師的悉心教誨、鼓勵及言傳身教，讓我在研究與待人處事方面皆受益良多。老師不遺餘力地為我的試驗提供各種資源，容忍我不分時間的叨擾，且包容學生的任性，讓我能夠在研二下學期專心寫論文，在論文撰寫期間老師夜以繼日地批閱初稿，盡心盡力，學生感激之情無以言表。感謝我的共同指導老師李國譚老師，在研究所期間不遺餘力地指導我的試驗，論文撰寫期間更是悉心斧正，使論文更臻完善，在此以表由衷謝意。

感謝李金龍老師在研一兩次專題討論時便給予學生許多信心，作為口試召集人為我的論文提供寶貴意見，忠心感謝；張育森老師與張耀乾老師傳授知識，不時地關心與提點，使我得以成長。感謝李咩老師創辦的花卉館大家庭，謝謝昱均學姐、韶妤學姐、小侯學長、佩君學姐、任伯維護花卉館，為我答疑解惑。

從試驗伊始至論文撰寫，由衷感謝曾經提供幫助的許多學弟妹們，謝謝政珊、于鈞幫忙試驗；趙雅、詩庭修正論文；特別感謝育青在我試驗期間的無私幫助，為我分憂解勞。感謝仲安、日泰、張帆、嘉航、旋駢幫忙費力氣的試驗；感謝佳筠學姐、丞瑩學姐、有堂學長，與我分享經驗；于賢學長、培玟學長幫忙試驗及教導；群健學長提供試驗場地與指導；特別感謝 pipi 學長在我撰寫論文時，提供強大的支援，沒有學長這本論文可能難以按時順利完成。

謝謝并肩作戰的欣平和純安，還有旋駢的陪伴與鼓勵；在台夥伴琦文、陳怡、凱茗、培波與我交流，讓我舒心。還有時常被我綫上打擾的米曉璇、倫穎慧、陳穎嘉同學，是你們在我壓力很大的時候提供了心理慰藉。

特別特別感謝我的父母與姐姐，包容我在外求學不常回家的任性，不斷給我鼓勵與動力，你們永遠是我最溫暖的港灣。最後，感謝不放棄的自己，即便經歷痛苦挫折，是你的咬牙堅持讓這兩年有了意義。

劉影 於 2019 年 7 月 12 日

目 錄



誌 謝.....	I
目 錄.....	II
表目錄.....	IV
圖目錄.....	V
摘 要.....	VII
Abstract.....	IX
前言 (Introduction).....	1
前人研究 (Literature Review)	3
一、非洲芙蓉簡介.....	3
(一) 原生地及分布.....	3
(二) 形態.....	3
(三) 繁殖與生長開花習性.....	4
二、影響觀賞花木扦插繁殖之因子.....	5
(一) 取穗部位.....	5
(二) 插穗長度.....	7
三、影響觀賞花木開花之因子.....	8
(一) 溫度.....	9
(二) 光週期.....	11
(三) 容器大小.....	13
(四) 修剪.....	16
(五) 激勃素(GAs).....	18
材料與方法 (Materials and Methods).....	21
試驗一、插穗型式對非洲芙蓉扦插繁殖之影響.....	21
試驗二、帶葉綠枝插穗長度對非洲芙蓉扦插繁殖之影響.....	22
試驗三、溫度對非洲芙蓉生長、光合作用及開花之影響.....	22
試驗四、變溫處理對非洲芙蓉花芽形成之影響.....	25
試驗五、溫度對非洲芙蓉現蕾後花芽發育之影響.....	26
試驗六、短日循環次數對非洲芙蓉花芽形成之影響.....	27

試驗七、容器大小與修剪高度對非洲芙蓉生長開花之影響	27
試驗八、噴施 GA ₃ 對非洲芙蓉花芽形成之影響	28
試驗九、噴施 GA ₃ 對非洲芙蓉花芽發育之影響	29
結果 (Results).....	31
試驗一、插穗型式對非洲芙蓉扦插繁殖之影響	31
試驗二、帶葉綠枝插穗長度對非洲芙蓉扦插繁殖之影響	31
試驗三、溫度對非洲芙蓉生長、光合作用及開花之影響	31
試驗四、變溫對非洲芙蓉花芽形成之影響	33
試驗五、溫度對非洲芙蓉現蕾後花芽發育之影響	33
試驗六、短日循環次數對非洲芙蓉花芽形成之影響	34
試驗七、容器大小與修剪高度對非洲芙蓉生長開花之影響	35
試驗八、噴施 GA ₃ 對非洲芙蓉花芽形成之影響	36
試驗九、噴施 GA ₃ 對非洲芙蓉花芽發育之影響	36
討論 (Discussion).....	76
試驗一、插穗型式對非洲芙蓉扦插繁殖之影響	76
試驗二、帶葉綠枝插穗長度對非洲芙蓉扦插繁殖之影響	77
試驗三、溫度對非洲芙蓉生長、光合作用及開花之影響	78
試驗四、變溫對非洲芙蓉花芽形成之影響	82
試驗五、溫度對非洲芙蓉現蕾後花芽發育之影響	82
試驗六、短日循環次數對非洲芙蓉花芽形成之影響	85
試驗七、容器大小與修剪高度對非洲芙蓉生長開花之影響	85
試驗八、噴施 GA ₃ 對非洲芙蓉花芽形成之影響	89
試驗九、噴施 GA ₃ 對非洲芙蓉花芽發育之影響	89
綜合討論與結論 (General Discussion and Conclusions).....	91
參考文獻 (References).....	94
附錄 (Appendix).....	106

表目錄



表 1. 插穗型式對非洲芙蓉插穗存活率、發根率及發根數之影響	39
表 2. 帶葉綠枝插穗長度對非洲芙蓉插穗存活率、發根率及發根數之影響	41
表 3. 溫度處理 119 天後對非洲芙蓉枝條數及枝條莖徑之影響	47
表 4. 移溫 49 天對非洲芙蓉花芽形成與發育之影響	55
表 5. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉後續花芽發育之影響	59
表 6. 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉萌芽率、展葉率及株高之影響	66
表 7. 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉側枝數、側枝長度及側枝葉片數之影響 ..	67
表 8. 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉現蕾率、帶花苞側枝數、開花率之影響 ..	68

圖目錄



圖 1. 非洲芙蓉花朵發育階段	25
圖 2. 非洲芙蓉不帶葉綠枝、半硬枝及硬枝插穗扦插 28 天後之外觀	37
圖 3. 非洲芙蓉帶葉綠枝、不帶葉半硬枝及硬枝插穗扦插 28 天後之外觀	38
圖 4. 不同長度之非洲芙蓉帶葉綠枝插穗扦插 28 天與 56 天後之外觀	40
圖 5. 非洲芙蓉帶葉綠枝插穗扦插 28 天後之發根表現	42
圖 6. 溫度處理 84 天後非洲芙蓉之外觀	43
圖 7. 溫度對非洲芙蓉株高之影響	44
圖 8. 溫度對非洲芙蓉平均枝條長度之影響	45
圖 9. 溫度對非洲芙蓉每枝條展開葉片數之影響	46
圖 10. 溫度對非洲芙蓉葉綠素螢光參數之影響	48
圖 11. 溫度對非洲芙蓉光合作用參數之影響	49
圖 12. 溫度對非洲芙蓉蒸氣壓差、相對濕度、葉片溫度之影響	50
圖 13. 溫度處理 182 天對非洲芙蓉開花表現之影響	51
圖 14. 溫度對非洲芙蓉第一花序下葉片數之影響	52
圖 15. 溫度對非洲芙蓉現蕾率、花萼顯色率及開花率之影響	53
圖 16. 溫度對非洲芙蓉花芽數、花序直徑、花序梗長及花芽消蕾率之影響	54
圖 17. 移溫對非洲芙蓉現蕾率、花芽數、花芽直徑及花序梗長之影響	56
圖 18. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉後續開花之影響	57
圖 19. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉株高之影響	58
圖 20. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉花萼顯色率與開花率之影響	60
圖 21. 溫度對已形成之花芽非洲芙蓉消蕾率及花芽數之影響	61
圖 22. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉後續之花序直徑與花序梗長之影響	62
圖 23. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉花期之影響	63
圖 24. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉至花萼顯色及開花日數及速率之影響	64
圖 25. 短日循環次數對非洲芙蓉花下葉片數、節間長、花芽數與第一朵花芽直徑之 影響	65
圖 26. 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉現蕾率之影響	69
圖 27. 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉帶花芽側枝數之影響	70

圖 28. 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉開花率之影響	71
圖 29. 噴施 GA ₃ 對非洲芙蓉現蕾天數、花萼顯色天數及開花天數之影響	72
圖 30. 噴施 GA ₃ 對非洲芙蓉現蕾率、消蕾率、花萼顯色率及開花率之影響	73
圖 31. 噴施 GA ₃ 對非洲芙蓉每枝條花芽數、花序直徑及花序梗長之影響	74
圖 32. 噴施 GA ₃ 對已形成花芽非洲芙蓉之花萼顯色與開花天數及花序梗增長量之影響	75

摘要



非洲芙蓉 [*Dombeya wallichii* (Lindl.) K.Schum.] 為錦葵科之觀賞花木，花型獨特，芬芳艷麗，應用於盆花或景觀佈置，深受歡迎，然而其自然花期局限於冬季。本論文探討非洲芙蓉扦插繁殖，並研究溫度、光週期、容器大小與修剪及噴施 GA₃ 等因素對其開花之影響，以期調整花期，增加其應用價值。

本論文第一部分探討非洲芙蓉扦插發根率，於 11 月初取 15 cm 長不帶葉片之綠枝、半硬枝及硬枝插穗扦插，結果 28 天後所有插穗皆存活，但均無發根；另取 15 cm 長，帶頂芽及葉片之綠枝、不帶葉片之半硬枝及硬枝插穗扦插，結果 28 天後所有插穗皆存活，但僅帶頂芽及葉片之綠枝插穗發根。於 11 月初另取帶頂芽及兩片葉的綠枝，分別剪成 5、10、15 或 20 cm 長之插穗扦插，結果 28 天與 56 天後，所有長度之插穗皆發根，但長 5 cm 之插穗發根率及發根數略低。非洲芙蓉的扦插發根包含了皮部發根及癒傷組織發根。

本論文第二部份探討溫度及日長對非洲芙蓉開花之影響，於 5 月初取高度 20 cm，帶兩片葉之扦插苗，置於日/夜溫為 15/13、20/15、25/20、30/25 或 35/20°C 的人工氣候室，處理 84 天後以 30/25°C 處理植株最高，枝條最長，每枝條葉片數最多。處理 119 天後以 35/30°C 處理植株的葉片最小，新生枝條莖徑最細。15/13°C 處理植株的葉片最大螢光值 (maximum fluorescence, F_m) 及 PSII 最大光化學效率 (maximum quantum efficiency of photosystem II photochemistry, F_v/F_m) 最低；35/30°C 處理植株的葉片光化學猝熄 (photochemical quenching, q_P)、非光化學猝熄係數 (non-photochemical quenching coefficient, q_N) 以及非光化學猝熄 (non-photochemical quenching, NPQ) 下降，且其淨光合作用速率 (net CO₂ assimilation rate, P_n) 顯著低於其他溫度處理。植株於 15/13°C 與 20/15°C 處理 112 天後現蕾，花下葉片數分別為 7.9 與 9.1；25/20°C 處理者 119 天現蕾，花下葉片數為 12；30/25°C 與 35/30°C 處理 182 天後仍未形成花芽。結果顯示 15/13°C 處理有利非洲芙蓉之花芽形成，而 25/20°C 已接近非洲芙蓉花芽形成的上限溫度。

另於 9 月將原本於 30/25°C 與 35/30°C 處理 18 週之非洲芙蓉植株半數移入 15/13°C 低溫中，移入 15/13°C 之植株於 35 天後皆可見花蕾，而持續於 30/25°C 與 35/30°C 高溫環境之植株則未產生花蕾。可見高溫前處理不影響日後低溫下非洲芙蓉的花芽形成。

於 12 月初將具直徑 2.1 ± 0.1 cm 花芽之非洲芙蓉植株移入人工氣候室接受不同溫度處理，結果顯示 $15/13^{\circ}\text{C}$ 、 $20/15^{\circ}\text{C}$ 及 $25/20^{\circ}\text{C}$ 皆有利花芽發育，且 $25/20^{\circ}\text{C}$ 處理者花序數最多，開花最早； $30/25^{\circ}\text{C}$ 不利非洲芙蓉花芽發育，處理 50 天後有 38.6% 消蕾。非洲芙蓉自花芽直徑為 2.1 ± 0.1 cm 發育到花萼顯色及開花的基礎溫度(base temperature, T_b)分別為 1.54 及 1.82°C ，計算非洲芙蓉自花芽直徑為 2.1 ± 0.1 cm 發育至花萼顯色階段，約需 $396\text{-}487^{\circ}\text{Cd}$ ，而發育至開花階段，約需 $556\text{-}645^{\circ}\text{Cd}$ 。

於 8 月中旬取帶 6 片展開葉的非洲芙蓉綠枝扦插苗置於 $24/14^{\circ}\text{C}$ 、每日以 *PPF* (photosynthetic photon flux) 約 $300\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 人工光源照光 8 h 的環境中經 7、14、21、28 或 35 天後，移入紅：藍=8：1 之混合 LED 白光燈盤提供 *PPF* 約 $150\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的 16 h 長日環境。結果顯示隨著短日循環次數增多，植株新長之花下葉片數及新長之節間長減少，花芽數及初始花芽直徑則增加，推測非洲芙蓉為非絕對性短日植物。

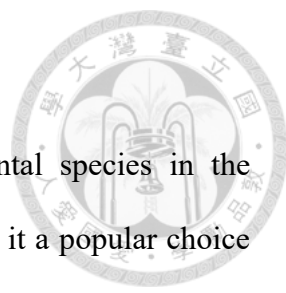
本文第三部份探討容器大小與修剪對非洲芙蓉生長及開花之影響，於 11 月初將非洲芙蓉樹苗修剪至 30、60、90、120 cm 高，僅保留主幹。並定植於 47、32、18 L 三種大小的容器中，處理 150 天後，植株高度與容器尺寸及修剪高度成正比；處理 210 天後之植株高度增加量與容器尺寸成正比但與修剪高度成反比。容器處理 255 天後植株側枝數不受容器尺寸影響，但隨修剪高度增加；側枝長度與容器尺寸成正比但與修剪高度成反比，側枝葉片數亦同。處理 60 天後，大容器栽培有利植株形成花芽，但修剪高度則無影響。

本論文第四部份探討勃激素(GA)對非洲芙蓉開花之影響，於 10 月初在非洲芙蓉未現蕾枝條葉片上噴施 $2500\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 或 $5000\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 GA_3 溶液，可提早 7 天現蕾，但對花萼顯色天數及開花天數無影響。 GA_3 處理後 14 天有枝條現蕾，而未噴施 GA_3 之對照組晚 1 週始現蕾。每枝條花芽數、花序直徑及花序梗長度於處理間均無顯著差異。

於 1 月自然花期，於非洲芙蓉枝條自頂端數起第三個腋生花苞(直徑 4.4 ± 0.1 cm，花序梗長 12.1 ± 0.3 cm)上噴施 250 或 $500\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 GA_3 溶液。可讓花苞提早約 3-4 天達到花萼顯色階段，但對開花天數無影響。

關鍵字：容器大小與修剪、插穗型式、非洲芙蓉、開花、激勃素、光週、溫度

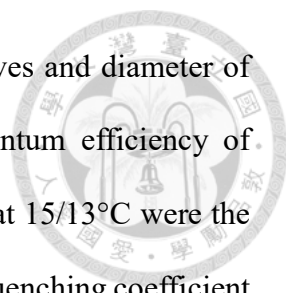
Abstract



Dombeya wallichii (Lindl.) K. Schum. is a woody ornamental species in the Malvaceae family. The attractive flower pattern and fragrance make it a popular choice for container gardening or landscape layout. However, its natural flowering period is limited to winter. In this thesis, methods for cutting propagation was evaluated, and environmental factors, e.g. temperature and photoperiod as well as cultural factors, e.g. container size, pruning, and GA₃ spray were investigated to document the mentioned variables on plant growth and flowering of *Dombeya* in order to increase its commercial potential.

In the first part of this thesis, cutting propagation of *Dombeya* was evaluated. In the first trial, defoliated softwoods, semi-hardwoods and hardwoods were trimmed to a length of 15 cm and were inserted into propagation medium in early November. All the cuttings survived after 28 days but none rooted. In the second trial, leafy terminal softwoods and defoliated semi-hardwoods and hardwoods were trimmed to a length of 15 cm for cutting. All survived after 28 days but only leafy softwoods successfully rooted. In the third trial, leafy terminal softwoods were trimmed to 5, 10, 15 or 20 cm for cutting. All cuttings rooted after 28 days and 56 days. Low rooting rate and root number were recorded in the 5 cm cuttings. Rooting types of *Dombeya wallichii* included rooting from barks and callus.

In the second part of this thesis, temperature and photoperiod effect on *Dombeya* flowering were investigated. Single stemmed *Dombeya* plants were heading to a height of 20 cm with two fully expanded leaves and grown in phytotrons, under natural daylength conditions in May, with day/night temperatures of 15/13°C, 20/15°C, 25/20°C, 30/25°C or 35/30°C. Plants at 30/25°C after 84 days were most vigorous, with the longest shoots and the greatest number of leaves per shoot than plants subjected to other



temperatures. Plants at 35/30°C after 119 days had the smallest leaves and diameter of new shoots. The maximum fluorescence (F_m) and maximum quantum efficiency of photosystem II photochemistry (F_v/F_m) of the mature leaf on plants at 15/13°C were the lowest, and the photochemical quenching (qP), non-photochemical quenching coefficient (qN) and non-photochemical quenching (NPQ) of the leaf on plants at 35/30°C declined. Also, leaf net photosynthesis rate (P_n) of plants grown at 35/30°C was significantly lower than other temperature treatments. Flower buds were observed on plants after 112 days at 15/13°C or 20/15°C, with 7.9 and 9.1 leaves below the first inflorescence, respectively, and on plants after 119 days at 25/20°C, with 12 leaves below the first inflorescence. No flower buds were observed on plants at 30/25°C or 35/30°C for 182 days. The results indicated that 15/13°C is beneficial for flower formation of *Dombeya*, and 25/20°C is likely the upper limit temperature for flower formation.

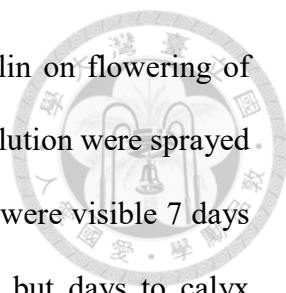
In the second temperature trail, half of the plants originally grown at 30/25°C and 35/30°C for 18 weeks before transferred to 15/13 °C in early September produced flower buds after 35 days, while those remained at high temperatures did not produce any flower buds, suggesting that high temperature pretreatment did not affect flower formation of *Dombeya* at low temperatures.

In the third temperature trail, *Dombeya* with 2.1±0.1 cm flower buds were transferred to phytotrons in early December. Results showed that within the range of 15/13°C to 25/20 °C, warm temperatures were beneficial to flower development and plants grown at 25/20 °C flowered earlier and the number of inflorescences was the highest. However, 30/25°C was not suitable for flower development, as 38.6% buds aborted after treatment for 50 days. Base temperatures of 2.1±0.1 cm flower buds developing to calyx visibility and flower were 1.54°C and 1.82°C, respectively. And the thermal time of 2.1±0.1 cm flower buds reaching to calyx visibility stage and flower stage

were about 396-487°Cd and 556-645°Cd, respectively.

In the photoperiod trial, rooted softwood cuttings with six expanded leaves were placed at 24/14°C in mid- August and illuminated with a photosynthetic photon flux (*PPF*) of 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ for 8 h daily. After 7, 14, 21, 28, and 35 days, plants were transferred to long day environment and lighted with a *PPF* of 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ provided with a mixed LED white light panel with red : blue=8:1 for 16 h daily . Results showed that the increase in the number of short-day cycles decreased the number of newly-grown leaves below the flowers and the length of newly-grown internodes , while increased the number of flower buds and the initial flower bud diameter. The result indicated that *Dombeya* is a facultative short-day plant.

The third part of this thesis reported the effects of container size and pruning severity on growth and flowering in *Dombeya*. Saplings were trimmed to 30, 60, 90, or 120 cm tall, leaving only the trunk and planted in 47, 32, or 18 L containers in early November. Plants grown in 47 L containers after 150 days were the highest, and the plant height decreased with the decrease of the pruning height. More plant height increment were observed in plants grown in large containers or pruned to 30 cm high after 210 days, and the plant height increment reduced as container size decreased or pruning height increased. After 255 days of treatments, container size had no effect on number of shoots, but number of shoots increased as the pruning height increased from 30 to 120 cm. Shoot length increased with increasing container size or decreasing pruned height. Similar reaction was also observed on number of leaves per shoot. More plants grown in large containers produced flower buds after 60 days, while pruned height had no effect on it. After 120 days of treatment, the proportion of plants with flower buds were higher in which grown in large containers, and lower in those grown in small containers. Flowering rate of plants grown in small containers was significantly lower after 183 days.



The final part of this thesis investigated the effect of gibberellin on flowering of *Dombeya*. In early October, 2500 mg·L⁻¹ and 5000 mg·L⁻¹ of GA₃ solution were sprayed on the leaves of *Dombeya* shoots without flower buds. Flower buds were visible 7 days earlier on shoots with GA₃ treatment than the un-sprayed control but days to calyx visibility and days to flowering were not affected by GA₃. Flower buds were visible after GA₃ treatment for 14 days, and the control group without GA₃ treatment had visible flower buds 1 week later. There was no significant difference in number of flower buds, inflorescence diameter and peduncle length between treatments.

In the natural flowering period, the third axillary flower bud (diameter 4.4±0.1 cm, peduncle length 12.1±0.3 cm) from the top of *Dombeya* was sprayed with 250 and 500 mg·L⁻¹ GA₃ solution in January. Results showed that GA₃ treatment allowed the flower buds to reach the calyx visibility stage about 3-4 days earlier, but had no effect on the days to flowering.

Key words: container size and pruning, cutting type, *Dombeya*, flowering, gibberellin, photoperiod, temperature

前言 (Introduction)



非洲芙蓉 [*Dombeya wallichii* (Lindl.) K.Schum.] 為錦葵科之觀賞花木，原產於馬達加斯加 (Rahman et al., 2012; Skema, 2010)。株高 3-10 m，下垂的繖形花序呈粉色，具香氣，開花時顯眼艷麗，可作園景樹、庭院樹，也是蜜源植物 (曾，2003; Rahman et al., 2012; Skema, 2010; Gilman and Watson, 1993)。非洲芙蓉花型獨特，芬芳艷麗，若能開發為小型盆花或中型樹狀盆栽作為商品出售，相信將有廣闊的市場前景。然而，非洲芙蓉自然花期局限於 12 月至翌年 3 月 (莊，2019)，若能於調整花期，應可增添其應用價值。Hailemichael (2001) 曾對同屬的 *Dombeya torrida* (J.F.Gmel.) Bamps 進行扦插繁殖研究，North 等 (2010) 以矮壯素 (cycocel) 控制同屬 *Dombeya burgessiae* Gerrard ex Harv. 之生長以探討其作為盆花的可能性。

非洲芙蓉屬植物採用綠枝 (softwood) 扦插繁殖發根快且容易 (Gilman and Watson, 1993; Hailemichael, 2001)，但綠枝扦插是否必須帶葉片、採半硬枝或硬枝扦插可否發根並無研究報告。此外，插穗過長將使成本提高，增加操作困難 (Rossi, 1999)。若能充分利用枝條各部位作為插穗，並縮減插穗長度，可節省生產成本。目前非洲芙蓉屬植物之扦插繁殖未有取穗部位及插穗長度之研究，故本論文將探究插穗型式及帶葉綠枝插穗長度對非洲芙蓉扦插繁殖之影響。

溫度和光常影響開花季節 (Ausín et al., 2005)。木槿屬 (*Hibiscus*) 是錦葵科家族中最大的屬，主要起源於熱帶。洋麻 (*H. cannabinus* Linn.) 於 15°C 處理可加速花芽創始，20°C 雖較晚花芽創始，但可促進後續的花芽發育，因此較早開花 (Warner and Erwin, 2001)。低溫 (17°C) 會加速玫瑰茄 (*H. sabdariffa* Linn.) 的花芽創始但限制花芽發育，花芽創始後以 25°C 處理則可以促進其花芽發育 (Mansour, 1975; Warner and Erwin, 2001)。可見花芽創始的溫度需求未必與花芽發育的溫度相同。花芽創始後，在無休眠要求或打破休眠後，在一定範圍內增加溫度可以促進花朵發育 (Armitage, 1994; Moe and Heins, 1990)。洋麻與玫瑰茄為短日植物 (Mansour, 1975; Sawano and Tsukamoto, 1963; Storey and Nwoke, 1985; Warner and Erwin, 2001)。非洲芙蓉開花是否受光週誘導或為短日植物有待研究。

非洲芙蓉在北半球花期為 12-4 月 (中國科學院華南植物園，2017; 莊，2019; Soderholm, 1967)，在南半球花期為 6-8 月 (Pimentel and Rangel, 2017; Skema, 2010)。

經查 Weather Spark (2019)氣象資料顯示非洲芙蓉於原生地及栽培地均在涼溫(10-26°C)、短日(10.5-12.4 h)期間開花，推測其開花可能與溫度及光週期有關，故本論文將探究溫度及光週期對非洲芙蓉開花之影響。

除環境因子外，利用根域限制、修剪及激勃素(gibberellins, GAs)等也是調控植物花期常用的方法(Meilan, 1997)。容器大小會影響根系生長，根系能夠吸收水分、養分，合成釋出生長調節物質，控制營養器官與生殖器官之間的同化物分配，對於開花調節十分重要(Carmi, 1991; Carmi and Heuer, 1981; Xie et al., 2009)。適宜的容器大小有利於觀賞花木之生產(龐等，2018；Yamamoto and Nawata, 2009)。合理修剪可延後觀賞花木花期、促進分枝與開花(張，2007；魏，2012；劉等；1996)。非洲芙蓉需修剪才能促進分枝並增加花數(Gilman and Watson, 1993)，但非洲芙蓉屬植物尚未有修剪相關研究。故本論文將探究容器大小及修剪對非洲芙蓉開花之影響。

激勃素能夠替代或部分替代植物開花的低溫需求，加速開花(Stuart and Cathey, 1961)。許多植物之花芽創始和花器官發育均受 GA 調控(Achard et al., 2004; Mutasa-Göttgens and Hedden, 2009)。非洲芙蓉若定植於露天作景觀佈置，不易如盆花以環境調控花期，本研究擬探討是否可用噴施 GA₃ 調控花期。

因此本論文進行以下試驗：

- (1) 插穗型式對非洲芙蓉扦插繁殖之影響
- (2) 帶葉綠枝插穗長度對非洲芙蓉扦插繁殖之影響
- (3) 溫度對非洲芙蓉生長、光合作用及開花之影響
- (4) 變溫處理對非洲芙蓉花芽形成之影響
- (5) 溫度對非洲芙蓉現蕾後花芽發育之影響
- (6) 短日循環次數對非洲芙蓉花芽形成之影響
- (7) 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉生長開花之影響
- (8) 噴施 GA₃ 對非洲芙蓉花芽形成之影響
- (9) 噴施 GA₃ 對非洲芙蓉花芽發育之影響

前人研究 (Literature Review)



一、非洲芙蓉簡介

(一) 原生地及分布

非洲芙蓉 [*Dombeya wallichii* (Lindl.) K.Schum.] 為錦葵科 (Malvaceae) 非洲芙蓉亞科 (Dombeyoideae) 非洲芙蓉屬 (*Dombeya*) 之觀賞花木。非洲芙蓉屬包含約 210 種植物，該屬有 175 種植物原生於馬達加斯加、15 種原生於馬斯克林群島 (Mascarene Islands)、科摩羅 (Comoros)，另有 19 種原生於非洲大陸並有 1 種延伸至阿拉伯 (Kubitzki, 2003; Skema, 2012)。

非洲芙蓉之標本少有採集地點資訊，大多數是在 1900 年以前收集的 (Rahman et al., 2012; Skema, 2010)。Skema (2010) 指出在過去的 100 年中收集了兩次非洲芙蓉標本，一個來自馬達加斯加的東北海岸——安塔拉哈 (Antalaha) 的保護區，一個來自馬達加斯加的東南海岸——圖利亞拉 (Toliara) 的曼德納 (Mandena) 森林。分子證據表明商業栽培的非洲芙蓉至少有一個起源地是在馬達加斯加中部。非洲芙蓉的野生祖先可能原生於馬達加斯加首都安塔那那利佛 (Antananarivo)，菲亞納蘭楚阿 (Fianarantsoa) 北部，或者圖阿馬西納省 (Toamasina provinces) (Skema, 2010)。

非洲芙蓉經由模里西斯 (Republic of Mauritius) 和印度引進歐洲栽培，現於世界各地廣泛栽培 (Skema, 2010)。

(二) 形態

非洲芙蓉為大型常綠灌木或小喬木，株高 3-10 m，冠幅 3-5 m (曾, 2003; Rahman et al., 2012; Skema, 2010)。葉長 25-29 cm，寬 19-25 cm，圓形至寬卵形，基部心形，邊緣有微小鋸齒。披短絨毛，通常在葉脈上密集。葉柄長 8-21 cm。托葉大，可達 1 cm，有短絨毛。卵形繖形花序腋生下垂，小花多數 (>25)，花瓣亮粉色或紅色，具香味 (Rahman et al., 2012; Skema, 2010)。花序梗長 16-38 cm，淺綠，有毛，花序梗苞片早落。花序苞片 (inflorescence bracts) 形成明顯的總苞，向遠端漸縮，聚集在花序下。萼狀總苞 (epicalyx bracts) 3 枚，形狀不規則，倒披針形，卵形或長圓形。花萼 (calyx) 5 枚，分生，宿存呈鑷合狀，長 15-23 mm，寬 2.4-4.4 mm，披針形到長圓形，先端反折，基部連合，密被短絨毛。花瓣 5 枚分生，長 24-36 mm，寬 6-

14 mm，卵圓形、倒卵形或長圓形。雄蕊單生，雄蕊花絲長 20-32 mm，退化雄蕊長 5-10 mm，花藥長 2.9-4.6 mm。雄蕊花絲頂部延伸到等於或幾乎不超過花冠的長度。退化雄蕊位於萼片和花瓣之間。子房長 1.9-2.6 mm，直徑 2.4-4.4 mm，橫截面星狀，密被短絨毛。花柱長 30-40 mm，柱頭裂片長 0.5-0.7 mm (莊，2019；Skema, 2010)。蒴果具絨毛，卵形至長圓形，長 5-10 mm，直徑 7-10 mm (Rahman et al., 2012; Skema, 2010)。

(三) 繁殖與生長開花習性

非洲芙蓉屬植物可藉由扦插繁殖，但發根的難易程度依種類和品種而異 (Soderholm, 1967)。Gilman 和 Watson (1993)指出非洲芙蓉採用綠枝(softwood)扦插繁殖發根快且容易。曾(2003)指出非洲芙蓉在中國大陸地區栽培時不結實，主要採用扦插繁殖。每年花後於 4 月上旬結合修剪，取 15-20 cm 的成熟枝條斜插於紅壤土中，置於 75%-90%相對濕度且遮蔭環境，約 20-30 天發根，發根後上盆移栽。但綠枝扦插是否必須帶葉片、採半硬枝或硬枝扦插可否發根並無研究報告。

非洲芙蓉的適宜生長溫度為 22-30°C，冬季氣溫低於 15°C 生長停滯，低於 3-5°C 會出現寒害現象，需要防霜(曾，2003)。適應土壤範圍廣，喜肥沃濕潤而不積水的沙質土壤，能耐乾旱環境，不耐鹽(曾，2003; Gilman and Watson, 1993)。在充足陽光或部分遮蔭的環境生長迅速，植株需要修剪促進分枝，增加花數(Gilman and Watson, 1993)。曾(2003)建議每年早春進行一次修剪整枝，老化植株需重剪。非洲芙蓉之花朵顯眼靚麗，但花後花序呈褐色不脫落，有礙景觀，需要人工去除(Gilman and Watson, 1993)。非洲芙蓉的蟲害包括介殼蟲、蚜蟲、線蟲、烟灰黴菌等，少有嚴重的病害(曾，2003; Gilman and Watson, 1993)。

非洲芙蓉在南半球的馬達加斯加之自然花期為 7 月(Skema, 2010)，在里約熱內盧 6-8 月期間大量開花(Pimentel and Rangel, 2017)。在北半球的佛羅里達花期為 12 月到 1 月(Soderholm, 1967)，在中國大陸花期為 1-4 月(中國科學院華南植物園，2017)。非洲芙蓉於 2002 年引入臺灣，花期為 12 月至翌年 3 月(莊，2019)。查詢 Weather Spark (2019)及天氣網(2019)氣象資料，顯示非洲芙蓉花期前兩個月於馬達加斯加原生地之溫度約為 12-22°C，日長介於 11-11.4 h；於里約熱內盧花期前兩個月之溫度約為 22-28°C，日長介於 11.3-11.9 h；於佛羅里達地區花期前兩個月之溫度約為 21-30°C，日長介於 11.2-11.9 h；於廣州花期前兩個月之溫度約為 14-23°C，



日長介於 10.8-11.3 h；於臺北花期前兩個月之溫度約為 21-26°C，日長介於 10.7-11.2 h；但花芽分化或發育之溫度及光週需求尚未有研究文獻報告。

二、影響觀賞花木扦插繁殖之因子

多數觀賞花木可用扦插繁殖(Beeson, 1991)，插穗類型(cutting type)包括綠枝(softwood)，半硬枝(semi-hardwood)，硬枝(hardwood)等(Read and Bavougian, 2014)。影響扦插繁殖成功率之內在因子主要包括物種特性、枝條成熟度、取穗部位與插穗大小等。而外在因子主要包括扦插介質、濕度、溫度和光照等環境條件等(Hartmann et al., 2011)。

Soderholm (1967)取 10.2-15.2 cm 長之非洲芙蓉屬植物之頂梢插穗，基部浸於 75 ppm 的 IBA 水溶液中 24 小時後，插於真珠石、保持根溫高於 21.1°C 並間歇性噴霧，可得發根良好之扦插苗。Hailemichael (2001)取 10 cm、帶兩片葉莖段之 *Dombeya torrida* (J.F.Gmel.) Bamps 插穗，去除最頂端多汁部分，以 0、2000 或 4000 ppm IBA、2000 或 4000 ppm NAA，快速蘸取粉劑處理。結果顯示第四周插穗開始發根，有無生長素處理對發根數無顯著差異，因此從發根狀況及經濟考量，建議不需使用生長素處理。

插穗過長將使成本提高，且不論手工或機械化繁殖會增加操作困難(Rossi, 1999)。若能充分利用枝條各部位作為插穗，並縮減插穗長度，可節省生產成本。目前非洲芙蓉屬植物之扦插研究均採綠枝插穗(Soderholm, 1967; Hailemichael, 2001)，未有取穗部位及插穗長度之研究，故以下謹就相關前人文獻分述如後。

(一) 取穗部位

枝插常用於繁殖觀賞花木，可根據枝條的年齡、成熟度或木質化程度，區分為綠枝扦插、半硬枝扦插及硬枝扦插(臧等, 2018; Hamilton and Midcap 1985)。綠枝插穗於枝條還在旺盛伸長時採集，葉片伸展，莖幹肉質，略有木質素。半硬枝插穗於枝條伸長和葉片伸展結束後採集，該階段的葉片已呈成熟的綠色，莖幹呈半木質化。硬枝插穗通常在秋天或冬天採集，此時頂芽休眠，莖幹充分木質化(Beeson, 1991; Hartmann et al., 2011)。紫薇(*Lagerstroemia indica* L.)、玉蘭(*Magnolia denudata* Desr.)、杜鵑(*Rhododendron*)、茉莉[*Jasminum sambac* (L.) Aiton]、夾竹桃(*Nerium oleander* L.)等可用綠枝扦插。海桐[*Pittosporum tobira* (Thunb.) W.T.Aiton]、山茶花(*Camellia*

japonica L.)等主要用半硬枝扦插。紫藤[*Wisteria floribunda* (Willd.) DC.]、繡線菊(*Spiraea*)、野薔薇(*Rosa multiflora* Thunb.)等則常用硬枝扦插(Hamilton and Midcap 1985)。

選取‘橙紅’扶桑(*Hibiscus rosa-sinensis* L. ‘Birma’)帶 8 節以上頂芽插穗，以頂芽帶一展開葉為第一節，依序剪下帶葉的單節插穗至第 8 節，基部輕蘸 250 ppm IBA 後扦插。結果以第 2-4 節發根表現最佳，存活率隨節位往基部而下降。可見‘橙紅’扶桑以成熟但尚未木質化的頂梢有較好發根表現。此外，以‘橙紅’扶桑同一枝條頂端及靠基部之 10-12 cm 帶兩片葉插穗扦插，頂部插穗發根優於基部插穗(賴，2004)。

將兩個玫瑰(*Rosa hybrida* L.)品種(‘Natal Briar’、‘Rosa Progress’)的 150 cm 枝條均分為上、中、下部，各分取 5 cm 並帶一片 5 小葉之複葉作為插穗。扦插 30 天後隨著部位往上，兩個品種的發根數、總根長、存活率均顯著增加。發根率沒有顯著差異，但頂端插穗有更高的發根率，是因有較高的鋅、氮、蔗糖和總糖含量，利於發根(Otiende et al., 2017)。迷你玫瑰枝條由上到下分為頂部、上部、中部、低部、基部的單節帶一片 5 小葉之複葉插穗，試驗結果顯示中部到低部的插穗有最快的生長速率(Bredmose et al., 2004)。

以至少具有 25 個節位的非洲茉莉(*Stephanotis floribunda* Brongn.)作為母本，將單株植物未成熟頂端和底部 2-5 節位部分去除，由上往下分為 18 個等級的單節帶一對葉片插穗(節下 4 cm)。扦插 9 周後最上端插穗平均發根 3.2 條，而往下部位的插穗發根數在 6.3-7.7 之間。位置效應對發根率無顯著影響，除 1 和 17 部位插穗外，其餘部位插穗發根率均達 95%以上，可能因位置效應於更早的調查時間內出現(Hansen, 1989)。

單莖的鵝掌藤[*Schefflera arboricola* (Hayata) Merr.]剪成單節帶葉芽的插穗部位，去除未成熟頂梢，從頂部到基部分為 8 個插穗，最上部插穗包含一片成熟展開葉。鵝掌藤之發根受插穗部位影響，離頂端越遠發根率和發根數越多，在 5-7 節部位的平均發根數最多，3-7 節部位的發根率最高，可能是通過植物冠層從頂部到基部的光照逐漸減少，導致根數的增加(Hansen, 1986)。取三葉木通[*Akebia trifoliata* (Thunb.) Koidz.]長約 50-70 cm 的硬枝作為取穗枝條，順著枝條頂部分為上部、中部和基部，長 10-15 cm 的插穗。扦插結果表明基部和中部插穗的發根數和發根率顯著高於上部，而基部插穗的根長顯著高於中部插穗和上部插穗，可能是基部插穗更粗，貯存

的養分更多，有利於發根(楊和騰，2009)。

不定根形成可能受插穗部位枝條成熟程度的影響(Hansen, 1989)。多數研究認為木本植物的綠枝扦插存活率高於硬枝扦插(賈等，2015)，是因插穗的組織細胞幼嫩，細胞分裂能力強，代謝旺盛，細胞壁木質化程度更低，可以吸收更多的生長素、水分、營養用於生長發育(賈等，2015; Otiende et al., 2017)。下部莖段組織老化，導致發根緩慢且發根率低(孫，2010)。

在進行綠枝扦插時，帶葉及葉芽的插穗比去掉葉及葉芽的插穗發根率高(李等，2014)。葉片對於不定根的形成具有重要作用，可提供生長素和養分。葉片可能通過提供生長素到適當的傳輸系統，從而保證生長素有效傳送到特定的細胞中用於發根。而無葉片插穗的發根繁殖需要充足的碳水化合物供應(Jackson, 1986)。

綜上可知，插穗部位的選擇取決於母本生長環境及植物種類(Hamilton and Midcap, 1985)，枝條成熟度以及是否帶葉會影響觀賞花木之扦插繁殖，應考慮生理狀態來取插穗，以成功繁殖(Beeson, 1991)。

(二) 插穗長度

插穗長度會影響扦插繁殖成功率(賈等，2015)，例如‘橙紅’扶桑 5-6 及 10-12 cm 帶葉頂芽插穗扦插後，二者存活率及發根率無明顯差異，但較短插穗的發根數及根長均顯著優於較長插穗(賴，2004)。賴(2004)認為較長插穗因帶有靠近基部的部分，發根處的細胞已偏木質化，造成內生性抑制發根物質多而不利於插穗發根，故而較短插穗發根表現優於較長插穗。

Burgess 等(1990)表明插穗長度是影響白柳(*Salix alba* L.)扦插存活率最關鍵的因子。白柳插穗隨著長度的增加(7.6、15.2、22.9 cm)，存活率顯著上升，分別為 50.7%、88.7%、95.3%，推測是短插穗無法產生足夠大的根系以利於存活。取沙柳(*Salix aquatica*)去年生長的休眠枝條，去除頂芽後分別剪為 10、20、30、40、50 cm 的插穗，在第一個生長季中，10 cm 插穗之存活率最低，推測是氣候不佳，短插穗的根系太弱無法抵禦霜凍，而其餘長度插穗之存活率差異很小(Rossi, 1999)。

單莖的鵝掌藤去除未成熟的頂梢，剪成單節帶葉芽的插穗。節上長度一致，節下枝條長度為 0.5-3 cm。扦插 21 天後，節下 0.5 cm 的插穗發根很少，發根數只有 3.5 條，且發根率只有 50%。隨著長度增加，發根率增加，當節下為 2 cm 時發根率

達到最高。節下 3 cm 的平均發根數最多，可能是較長插穗的基部積累更多的碳水化合物，有利於發根(Hansen, 1986)。

剪取紫薇一年生枝條中下段 10、15、20 cm 的插穗進行扦插，結果顯示 10 cm 插穗存活率為 53.1%，顯著低於 15 與 20 cm 插穗，而 15 與 20 cm 插穗之間的存活率無顯著差異。適當增加插穗長度可為插穗發根存活提供更多的養分，同時減少插穗失水乾癟(沈和費，2010)。非洲桃花心木(*Khaya ivorensis* A.Chev.)單節帶葉片(葉面積為 100 cm²)插穗分 19 與 39 mm 兩種長度，扦插 9 周後，長插穗的發根率更高，推測大葉片插穗需要更大的莖體積以儲存當前的同化物(Tchoundjeu and Leakey, 1996)。相較於小喬木，喬木扦插繁殖所需插穗長度更長。

取中斑香龍血樹(*Dracaena fragrans* 'Massangeana')去葉莖幹製為 5、10、15、20 cm 長之插穗，直徑為 4-6 cm。結果 5 cm 插穗無萌芽，15 與 20 cm 插穗較早萌芽，可能與頂端優勢相關。5-20 cm 長之插穗均無發根，必須 >30 cm 之莖幹才會發根，推測是莖幹越長所含的碳水化合物較多，故發根較佳(林，2003)。

取寬葉薰衣草(*Lavandula latifolia* Vill)當年生綠枝插穗製成長度為 4、6、8、10、12 cm 的帶葉插穗，結果顯示插穗長度為 4-12 cm 時發根率為 91.5%-97.5%。插穗長度太短，或減少留葉片數會降低光合作用，提供較少養分而導致發根少或死亡。插穗長度過長，留葉量過多，導致蒸散作用過於旺盛而引起插穗的枯萎死亡(梁和常，2016)。

余等(2011)將昆明山海棠[*Tripterygium hypoglaucom* (H. Lév.) Hutch.]一年生枝條分為上、中、下部位，各部位均分別按照 10、15、20 cm 長度製作插穗，一個月後計算存活率。結果表明不同長度插穗扦插存活率之間差異顯著，20 cm 插穗存活率為 64%，10 與 15 cm 插穗存活率分別為 81.67%、84.17%，因此取 10 cm 長度可節省插穗材料，是最經濟的插穗長度。20 cm 插穗入土深，通透性不良，同時易受地下積水等影響，不易形成癒傷組織及發根，因此存活率低。

由此可見，不同觀賞花木扦插繁殖之最佳插穗長度各不相同。插穗過短或過長均會影響存活和發根。

三、影響觀賞花木開花之因子

開花是高等植物生長繁殖過程中重要的生理現象，植物開花受多種內源和外

源因子的調節(朱等, 2016)。開花過程可區分為以下階段(Bernier et al., 1981; Konishi, 1982; Lang, 1952; Larson, 1980; Metzger, 1987; Westwood, 1978)：(1)花芽誘導(*flower induction*)，即進行花芽引發前所需的過程；(2)花芽引發(*flower evocaiton*)，又稱花芽呼喚，即莖頂要分化為花原體(即花芽創始)前所需的過程；(3)花芽創始(*flower initiation*)，即形成花原體之過程，為一般植物決定開花與否之重要關鍵，早期花芽創始包括花芽誘導階段；(4)花芽發育(*flower development*)，包括花芽分化(*flower differentiation*)與花芽成熟(*flower maturation*)。花芽分化是個別花器官(萼片、花瓣、雌雄蕊)的分化，花芽成熟包括花器官的生長以及花粉和胚囊的發育等過程；(5) 開花(*anthesis*)，即花朵的展開。

溫度和光常影響開花季節(Ausín et al., 2005)，錦葵科植物之花芽形成及開花時間亦受溫度及光週期影響(Warner and Erwin, 2001)。除環境因子外，利用激勃素(*gibberellins, GAs*)、根域限制及修剪等也是植物花期調控常用的方法(Meilan, 1997)，茲將錦葵科等觀賞花木之相關前人研究分述如後：

(一) 溫度

非洲芙蓉在北半球花期為 12-4 月(中國科學院華南植物園, 2017; 莊, 2019; Soderholm, 1967)，在南半球花期為 6-8 月(Pimentel and Rangel, 2017; Skema, 2010)。經查 Weather Spark (2019)氣象資料顯示非洲芙蓉於原生地及栽培地均在涼溫(10-26°C)期間開花，推測其開花可能與溫度有關。

木槿屬(*Hibiscus*)是錦葵科家族中最大的屬，主要起源於熱帶。其中洋麻(*H. cannabinus* Linn.)與玫瑰茄(*H. sabdariffa* Linn.)原產於緯度 23°N-23°S 的熱帶非洲(Warner and Erwin, 2001)，與非洲芙蓉原產地馬達加斯加的緯度 12°-25°S 有重合。花下葉片數(*number of leaves below the terminal flower/inflorescence*)可作為花芽創始快慢之指標，花下葉片數越少，表明花芽創始越早(Cockshull and Hughes, 1971; Yeh and Atherton, 1997)。Warner 與 Erwin (2001)將 36 種木槿屬植物幼苗置於三種溫度(15、20、25°C)條件處理，洋麻在 15°C 處理的花下葉片數均顯著小於 20°C 處理，顯示 15°C 促進洋麻的花芽創始。然而以 20°C 處理植株的到花日是 145 天，顯著快於 15°C 的 166 天，可能 20°C 雖較晚花芽創始；但可促進後續的花芽發育，因此較早開花。

高溫(25°C)會延緩一些木槿屬植物(*H. nigricaulis* Baker f.、*H. physaloides* Guill.、*H. mastersianus* Hiern. 等)的花芽創始。*H. mastersianus* 以 20°C 處理者枝條分化 7 片葉即行花芽創始，但 25°C 處理則需分化 12 片葉後始行花芽創始。以 17°C 處理的玫瑰茄比 21 與 25°C 處理的始花節位更低，即更早花芽創始，但試驗結束時還未開花，而 25°C 處理之植株比 21°C 處理的植株更早開花(Mansour, 1975)。作者認為低溫(17°C)會加速玫瑰茄的花芽創始但限制花芽發育，花芽創始後以 25°C 處理則可以促進其花芽發育(Mansour, 1975; Warner and Erwin, 2001)。

將營養生長的三個秋葵(*H. esculentus* L.)品種置於 25/20、30/25 與 35/30°C 環境中，結果顯示增加參試之溫度會延緩花芽出現，且升高溫度會延後開花時間(Arulrajah and Ormrod, 1973)。

原產於熱帶地區的矮仙丹(*Ixora williamsii* 'Sunkist')於 20/15、25/20、30/25、35/30°C 處理，只有 20/15 及 25/20°C 處理的植株有花芽形成，且 20/15°C 處理較早形成花芽，但 25/20°C 形成的花序較大。低溫 20/15°C 促進花序形成，再移至高溫 30/25°C 處理則能促進花序發育，並讓矮仙丹提早開花。溫度過低(15/13°C)易使花序夭折，不適合矮仙丹的花序形成(吳和張，1996)。

繡球花(*Hydrangea macrophylla* Thunb.)以 15-18°C 促進生殖生長，高於 24°C 的溫度促進營養生長。以 17°C 處理 'Early Blue' 與 'Schneeball' 帶 4-5 對葉的植株 20 天，80% 的植株在兩個主枝上出現可見花芽，同時有幾個帶可見花芽的側枝出現。而 24°C 處理的植株則需 40 天才有可見花芽，且產生更少的側花芽。17°C 處理的植株比 24°C 處理的植株早約 4 周達到可上市規格。低溫(17°C)有利於繡球花 'Early Blue' 與 'Schneeball' 之花芽創始，24°C 處理者較晚形成花芽(Nordi et al., 2011)。

葉和江(2003)將具 16-20 片展開葉的繡球花 'Leuchtfeuer' 單莖植株置於 15/13、20/15、25/20、30/25 與 35/30°C 的人工氣候室處理。結果顯示 15/13 與 20/15°C 處理 42 天時所有植株均已花芽創始，15/13°C 處理者發育階段更快，而此時其餘溫度處理皆為營養生長。25/20°C 處理 78 天後僅有 20% 植株進入花芽創始階段。30/25°C 處理 78 天後植株仍處於營養生長，35/30°C 處理至 42 天後因失水嚴重而枯萎。可見 'Leuchtfeuer' 之花芽創始臨界溫度約為 25°C，20/15 與 15/13°C 為繡球花花芽形成之較適溫，植株快速且一致地進入花芽創始，25/20°C 會延遲花芽創始，30/25 和 35/30°C 處理不利花芽創始。



將繡球花‘Sibylla’摘心兩周後給予 15、18、21、24、27°C處理六周，15 和 18°C 處理之莖頂花芽形成最快，21°C次之，24°C較慢，27°C處理植株則完全沒有花芽創始，可見 15-18°C為花芽形成最適溫度，24°C已接近該品種的花芽形成上限溫度 (Litlere and Strømme, 1975)。

米瑞香(*Pimelea ferruginea* Labill.)與紅瑞香(*P. rosea* R.Br.)的開花誘導需要在平均溫度低於 15°C的環境中超過五周，隨後在該冷涼條件下花原基發育緩慢，而當平均溫度升高至 21°C時發育迅速。若一直處於平均 21°C或更高溫的環境中，則將保持一年以上的營養生長(King et al., 1992)。可見米瑞香與紅瑞香均需要較低的溫度(15°C)處理以利花芽創始，之後升溫利於其花芽發育。

在以色列，為加速銀樺(*Grevillea robusta* Cunn. ex R. Br.) ‘Roundo’提早開花，將誘導後的植株移入加溫溫室(夜溫最低 18°C)，能夠比對照組早一個月盛花，但花朵自然的紅色褪減(Ben-Jaacov et al., 1989)。升高溫度雖加速銀樺開花，但有損花朵品質。

綜上可知，雖然開花過程大致分為花芽創始及花芽發育，但花芽創始的溫度需求未必與花芽發育的溫度相同。花芽創始後，在無休眠要求或打破休眠後，在一定範圍內增加溫度可以促進花朵發育(Armitage, 1994; Moe and Heins, 1990)。

(二) 光週期

非洲芙蓉在北半球花期為 12-4 月(中國科學院華南植物園，2017；莊，2019；Soderholm, 1967)，在南半球花期為 6-8 月(Pimentel and Rangel, 2017; Skema, 2010)。經查網站資料(Weather Spark, 2019)可知非洲芙蓉於原生地及栽培地均在短日(10.5-12.4 h)期間開花，推測其開花可能與光週期有關。

光週期是每日光暗循環中的光照時期長度，可以調節植物開花(Erwin, 2007; Ausín et al., 2005)。光週期性(photoperiodism)指生物體檢測日長的能力，植物葉片可接收光週性刺激，根據植物對光週期的開花反應將植物分為：短日照植物(short-day plants)、長日照植物(long-day plants)、日中性植物(day-neutral plants)、中日照植物(intermediate plants)及雙光週性植物(ambiphotoperiodic-day plants)。在短日植物和長日植物中，又有非絕對性(facultative/quantitative)或絕對性(obligate/qualitative)反應。非絕對性的物種在任何光週期下均可開花，但是特定的光週期會加速其開花(Erwin,

2007)。

同為錦葵科之洋麻的臨界光週期(critical photoperiod)會依據種或品種有所不同(Follin, 1972; Purseglove, 1968)，Storey 與 Nwoke (1985)指出洋麻為短日植物，在 10-12 h 的光週期環境下開花，10 h 光週處理 35 天即現蕾，12 h 光週處理則需 48 天現蕾，而 15 h 光週處理會完全阻止開花。然而 Warner 和 Erwin (2001)則指出洋麻為非絕對性短日植物，9 h 短日處理植株的花下葉片數小於暗期中斷(13 h)處理，而洋麻於持續 24 h 光照環境亦可開花。以上結果不同可能是因材料品種不一所造成。

最低限光週期循環(minimum number of inductive photoperiod cycles)指誘導花芽所需特定光週期處理的最少週期數，常以天為單位(胡等，2000)。Sawano 與 Tsukamoto (1963)指出同為錦葵科之玫瑰茄最少需要日長短於 13 h 的 20 個短日週期才能順利誘導花芽。Mansour (1975)另進一步指出玫瑰茄經 4 週短日(8 h)處理後，移入長日(16 h)環境，雖然可形成花芽但無法進一步發育，最終脫落；而 6 週短日處理能讓部分花芽發育成花朵，若植株於短日處理 8 週後才移入長日環境，則所有花芽均可正常發育，但新的花芽創始馬上停止。早期研究認為玫瑰茄是短日植物，有雙光週性反應，在短日(8 h)和極端長日(24 h)下能開花，在長日條件(16 h)下保持營養生長(Storey and Nwoke, 1985; Mansour, 1975)。而 Warner 與 Erwin (2001)指出玫瑰茄是絕對性短日植物，僅於短日(9 h)條件下開花，於暗期中斷(13 h)及持續長日(24 h)條件下無法開花。以上結果不同可能是因材料品種及試驗時長不一致所造成。

實際上，錦葵科植物對光週期反應不盡相同。例如，朱槿(*Hibiscus rosa-sinensis* L.)為日中性植物，而木槿為長日植物(Wareing, 1956; Warner and Erwin, 2001)。Warner 與 Erwin (2001)指出 36 種木槿屬植物對光週期之反應可分為相對性短日、絕對性短日、日中性、相對性長日或絕對性長日植物。此外，同科之燈鈴花(*Abutilon hybridum* Hort.)於短日(9 h)或暗期中斷(13 h)環境均可開花，而短日處理顯著減少植株的花下葉片數及到花日數(Chapman and Lyons, 1988)。又，秋葵‘H.10’為非絕對性短日植物，長日顯著延緩現蕾(Arulrajah and Ormrod, 1973)。

綜上可知，光週期可調節部分錦葵科植物的開花，其中洋麻及玫瑰茄為短日植物。物種開花的光週期反應與該物種的原生棲息地密切相關(Warner and Erwin,

2001)，非洲芙蓉開花是否受光週誘導或為短日植物有待研究。

(三) 容器大小

以容器生產及銷售觀賞花木是目前主流，因為容器苗具有運輸方便性、更吸引消費者、增加產品壽命和移植成功率等優點(Read and Bavougian, 2014)。大部分的觀賞花木一旦置於容器中，只要溫濕度適宜，一年四季均可移植到田地或更大的容器中(Beeson, 1991)。

容器大小影響根系生長，大容器增加介質體積，促進養分吸收、荷爾蒙合成和根系代謝(Latimer, 1991; Ouma, 2007)。商業上，會希望選擇能夠生產適當品質商品的最小容器大小(Poorter et al., 2012)。更小的容器可以增加空間利用率，減少運輸成本，但小容器可能會造成根域限制從而影響植物的生長與開花(Yeh and Chiang, 2001)。根域限制可作為控制植株大小的方法，適當地減少營養生長從而促進生殖生長(Richards, 1986)，然而容器大小對開花影響因植物種類不同而異。

小容器可促進部分作物的開花。將陸地棉(*Gossypium hirsutum* L. 'Acala SJ-2')分別播種於 2 L 與 10 L 的容器中，在較小根域體積中生長的植株營養生長受限，更早開花(Carmi, 1986)。圓夢桃樹[*Prunus persica* (L.) Batsch.]種植於 169.6 L 的容器中作根域限制栽培，結果植株營養生長被抑制，花芽分化進程加快，花芽率高(龐等, 2018)。根域限制使'Sunburst'甜櫻桃樹(*Prunus avium* L.)有更高的花芽密度(Webster and Atkinson, 1997)。楊桃(*Averrhoa curambola* L. 'Clone B17')植株分別種植於 3.36 及 0.68 L 的容器中，根域限制減少葉片長度、葉片和根系的乾重，加速花芽創始(Ismail and Noor, 1996)。適宜的根域限制可以促進菜椒(*Capsicum annuum* var. *grossum*)提早開花(Yamamoto and Nawata, 2009)。

不當的減少容器大小會延遲部分作物的開花。相較於以 260 或 320 cm³ 容器栽植者，繡球花'Leuchfeuer'以 140 或 150 cm³ 容器栽植會使花芽分化延遲且有花芽之植株比例減少(Yeh and Chiang, 2001)。小容器減少萬壽菊(*Tagetes erecta* L. 'Janie')幼苗的生長，且使景觀開花效果變差(Latimer, 1991)。一串紅(*Salvia splendens* Sellow ex Schult. 'Top Burgundy')分別種於 7.3、55、166、510 mL 的容器中，結果顯示 7.3 mL 容器造成的根域限制讓側枝和展葉受限，延遲開花，且以 7.3 mL 容器栽培者減少開花株數(Iersel, 1997)。小米辣(*Capsicum frutescens* L.)及黃燈籠辣椒(*Capsicum*



chinense Jacq.)對根域限制敏感，相較於 5.4 L 處理，種植於 0.48 L 容器的植株花芽形成及開花的時間較晚(Yamamoto and Nawata, 2009)。

小容器造成的根域限制主要引起三方面的生理改變：

1. 水分與養分吸收

根系主要功能是吸收水分與養分(Tschaplinski and Blake, 1985)。小容器只能提供少量的介質，因此植物可用的水分和養分會減少。小容器的基本養分少，氮、磷可用性降低，保水量低，植物更易耗盡水分與養分，光合作用會減少(Poorter et al., 2012; Stevenson and Fisher, 1974)。

番茄(*Solanum lycopersicum* L. 'Ware Cross')的地上部乾重和果實數量隨容器大小增加而增加，小容器處理植株表現狀況較差，主要是受限於缺少持續的水分和養分供應(Stevenson and Fisher, 1974)。

根域限制使得陸地棉葉面積減少，可能是由於礦物養分限制引起。隨著根系發展，相鄰根系對於養液中的養分吸收競爭加強(Mutsaers, 1983)。「Fengzhou」葡萄(*Vitis vinifera* × *V. labrasca*)種植於 2 L 及 12 L 的容器中，根域限制顯著抑制地上部及地下部生長。小容器處理顯著減少了硝酸鹽的吸收，從而導致葉片與根系中的硝酸態氮濃度降低(Yang et al., 2007)。

根域限制抑制了圓夢桃樹葉片對氮的吸收，調節樹體養分的分配，碳氮比上升，加快了花芽分化速度(龐等，2018)。大葉黃楊(*Euonymus kiautschovica* Loes. 'Sieboldiana')種植於不同大小容器中，試驗期間充分提供養分和水分，結果根域限制的植株葉片中之 N、P、Ca、Mg、Al、Fe 和 Cu 濃度下降，表明根域限制可能導致了養分吸收的不平衡(Dubik et al., 1990)。

2. 光合作用速率及產物的合成與配置

小容器通常會阻礙根系生長，根系匯集部(sink)強度減少可能會直接導致光合作用減少，不利於地上部生長(Poorter et al., 2012)。

以較小容器栽植的繡球花'Leuchtfeuer'植株地上部與地下部乾重、展葉數減少，生長量的減少可能是因根域限制造成植株根系生長不佳，根系匯集部強度減少，大部分光合產物運移到枝條中(Yeh and Chiang, 2001)。

小容器造成的根域限制使得芒果(*Mangifera indica* L.)和酪梨(*Persea americana* Mill.)根部的匯集部強度減少，導致葉片中醣類(sugar)濃度增加，抑制 rubisco 轉錄基因的表達，從而減少植株的淨光合作用(Schaffer et al., 1999)。於 7.3 mL 種植的一串紅‘Top Burgundy’植株淨光合作用速率降低，生長量減少(Iersel, 1997)。於小容器種植的楊桃‘Clone B17’根系生長受限，導致葉片擴散阻力增加，從而使得葉片光合作用效率下降(Ismail and Noor, 1996)。

赤楊(*Alnus glutinosa* Gaertn.)實生苗種植於體積為 1.5、6、16 或 500 mL 的容器中。根域限制使植株的根冠比減少，之後葉片水勢減少，上部枝條內部水分缺乏，氣孔導度及蒸散作用下降，最終氣孔關閉。根冠比不平衡會導致內部水分逆境，氣孔變小，最後導致葉片和整個植株的衰老(Tschaplinski and Blake, 1985)。

荷花玉蘭(*Magnolia grandiflora* Hort. ‘St. Mary’)種植於 10、27 或 57 L 的容器中，結果大容器處理可增加荷花玉蘭的葉片光合作用和生物量的積累，縮短容器生產階段(Martini et al., 1991)。

根域限制可以調控營養器官與生殖器官之間的同化物分配(Carmi, 1991; Xie et al., 2009)。根域限制的‘Kyoho’葡萄的總醣類含量更高，酸性轉化酶活性顯著增加。酸性轉化酶可將蔗糖轉化為葡萄糖與果糖，單醣增加後，由醣類積累產生的滲透勢梯度驅動滲透水吸收，因此小容器栽植的葡萄果實膨大，果實直徑大於對照組(Xie et al., 2009)。在較小根域體積中生長的陸地棉植株營養生長受限，更早開花，有更多的同化物運移到棉鈴(bolls)中(Carmi, 1986)。

3. 荷爾蒙

根域限制減少了桃樹‘Elberta’的根尖(根數)，根數與生長指標如葉片數、枝條形成與伸長、地上部乾重亦有相關性，表明地上部生長受根尖和它們產生的生長物質影響(Richards and Rowe, 1977)。於 0.68 L 容器中種植的楊桃‘Clone B17’植株地上部生長減少與根系生長物質的合成及轉運減少有關(Ismail and Noor, 1996)。

根部產生的細胞分裂素(cytokinin, CK)、GA 等植物內生荷爾蒙對於植物資源的分配與平衡有著重要作用，CK 可促進地上部生長(Richards, 1986)。根域限制通過減少根系的荷爾蒙合成與代謝從而阻礙植物代謝，地上部生長受抑制通常伴隨著從根部轉運到地上部的 CK 和 GA 的減少(Carmi and Heuer, 1981; Peterson and

Krizek, 1992)。

小容器(5 mL)限制了菜豆(*Phaseolus vulgaris* L. 'Bulgarian')的根系生長，產生矮小植株。同時施用 GA 和 BA (benzylamino purine, 細胞分裂素類)可以緩解莖幹和葉片的生長受限情形，可見根域限制通過 GA 和 CK 參與的荷爾蒙系統限制地上部生長(Carmi and Heuer, 1981)。於小容器種植的大葉黃楊'Sieboldiana'側枝乾物質積累量大量減少可能是源於根系的 CK、GA 和其他生長調節物質的合成或轉運減少，表明約束根系生長可能導致了荷爾蒙代謝不平衡(Dubik et al., 1990)。

容器體積減少導致番茄'Red Dwarf'植株生長受限。根域限制下有較高的土壤體積密度，因而造成土壤對根系生長有較高的阻力。根系生長受限的逆境會導致根系中的離層素(abscisic acid, ABA)濃度增加，ABA 作為訊息傳導仲介化合物誘發地上部產生與根域生長受限有關的逆境反應，植株生長減少(Hurley and Rowarth, 1999)。根域限制栽培的圓夢桃樹芽體中 ABA 含量較低，波動平穩，花芽率高(龐等, 2018)。根域限制的番茄根部中會產生較多乙烯(Peterson and Krizek, 1992)。

綜上可知，容器大小會影響根系生長。根系能夠吸收水分、養分、合成釋出生長調節物質，控制營養器官與生殖器官之間的同化物分配，對於地上部的生長及開花調節十分重要(Carmi, 1991; Carmi and Heuer, 1981; Xie et al., 2009)。適宜的容器大小有利於觀賞花木之生產。

(四) 修剪

修剪是保持觀賞花木形態最重要的栽培手段之一(Wade and Westerfield, 2009)，合理的修剪可以控制觀賞花木樹體內營養物質的合理分配，控制徒長(陸和袁, 2011)。

修剪類型主要分為截頂(heading)與疏剪(thinning)。截頂是剪去新枝條(shoot)或主枝/大枝(limb)的上部。疏剪則是從主要的枝條上剪去整個側枝(shoot or limb)，又包括 drop-crotching 與 limb removal 兩種類型(Wade and Westerfield, 2009)。對年幼的樹苗修剪程度足夠強時能夠修正枝條空間，調整主幹或者過量的側枝生長(Beeson, 1991)。修剪程度越重(被剪掉的主枝/大枝的尺寸和數量越大)越能讓植株復壯(Wade and Westerfield, 2009)。

修剪盆花可作為產期調節之手段(郭, 2012)。修剪年幼的植物可以延緩或減少

開花，延緩時間的長短取決於修剪植物的種類及修剪程度(Wade and Westerfield, 2009)。

修剪時間會影響觀賞花木之開花。修剪時間需要考量不同物種的特性如開花時間、耐寒性等(Wade and Westerfield, 2009)。樹木不能在枝條活躍伸長時修剪，若植物次年無需進入市場，推薦修剪的季節是晚冬或早春。若觀花喬木或灌木次年要進入市場，那麼則需根據開花時期做修剪(Beeson, 1991)。春季開花的花木如山茱萸(*Cornus officinalis* Siebold & Zucc.)、連翹(*Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl)、杜鵑、鐵綫蓮(*Clematis florida* Thunb.)、紫丁香(*Syringa vulgaris* L.)、紫藤[*Wisteria sinensis* (Sims) Sweet]、金縷梅(*Hamamelis mollis* Oliv. ex F.B.Forbes & Hemsl.)等應於花後修剪；夏季開花的植物如牡荊[*Vitex negundo* var. *cannabifolia* (Siebold & Zucc.) Hand.-Mazz.]、南天竹(*Nandina domestica* Thunb.)、粉花綉綫菊(*Spiraea japonica* Desv.)、木槿(*Hibiscus syriacus* L.)等應於春季生長開始前的休眠期修剪(Wade and Westerfield, 2009)。

非洲芙蓉需要修剪才能促進分枝並增加花數(Gilman and Watson, 1993)。非洲芙蓉屬植物尚未有修剪相關研究，而郭(2012)以香木槿(*Hibiscus arnottianus* A. Gray)與朱槿育出‘京都×香木槿’，在植株出現第一個花蕾時進行修剪，摘心後留下 6 個節位的植株其分枝較多，使得盆花品質上升。

矮仙丹‘Sunkist’屬於在當年生枝條形成花芽的花木。將株高約為 80-90 cm 的植株頂端約 15 cm 的枝條剪除，結果顯示修剪對於當年植株的開花沒有顯著的促進作用。修剪後枝條較晚萌發，盛花期延後。7 月以後修剪的枝條無法於當年形成新的花芽(張和吳，1997)。

早花型‘紫鵑’杜鵑(*Rhododendron simsii* Planch.)與中花型‘四海波’杜鵑可通過修剪處理使花期延後。修剪顯著促進了分枝，使株型飽滿整齊(張，2007)。採用短截(剪去一年生枝條的一部分)和摘花的修剪方法，既有利於野生杜鵑枝條生長量的增加，亦有效促進了花芽分化和開花，使野生杜鵑花芽數量和開花數量明顯增加(魏，2012)。

修剪可降低玫瑰的植株高度，控制開花數量和時間。小型盆栽玫瑰或露地花壇的玫瑰在距地面 3-5 cm 處修剪，去除上部枝條，可使開花和高度比較一致(劉等，

2009)。玫瑰修剪後從主幹處發出生長勢強的枝條為更新枝，可產生相當多的花序，促進更新枝之生成是栽培上的必要手段。修剪可促進更新枝之形成，並能調整花期，而產量受不同的修剪方式、時期與程度所影響(蘇與李，1984)。以株高為 115 cm 的二年生切花玫瑰‘砂蒙砂’、‘金獎章’及‘肯尼迪’為材料，分別在植株高度 10、50、90 cm 處修剪，結果顯示 90 cm 處理者枝條數和葉片數保留較多，其切花總產量顯著高於其餘兩個修剪高度處理。僅保留 10 cm 高主幹的植株沒有葉片，造成養分大量損失，破壞了植株正常的生長開花規律，從而導致切花總產量減少(劉，1996)。

由此可見，對觀賞花木進行合理的修剪具有延後花期、促進分枝與開花之有利影響，但修剪程度不當不利於花芽形成，減少開花數量。具體修剪效果依物種特性而定。

(五) 激勃素(GAs)

激勃素是植物中廣泛存在的植物荷爾蒙，具有生物活性的 GA 通過促進細胞增殖與擴張調控植物生長發育的多個方面，包括打破休眠、種子萌發、枝條生長、誘導開花等(李等，2019；劉，2017；Bhattacharya et al., 2010)。GA 能夠替代或部分替代植物開花的低溫需求、加速開花、增大花序等，如大劑量的 GA 處理可取代杜鵑開花的低溫需求(Stuart and Cathey, 1961)。GA 可促進長日植物與二年生植物的抽苔與開花(Lang, 1956; Phinney et al., 1957)。GA 能促進部分植物發育階段的轉變，如從營養生長轉為生殖生長，許多植物之花芽創始和花器官發育均受 GA 調控(Achard et al., 2004; Mutasa-Göttgens and Hedden, 2009)。非洲芙蓉若定植於露天作景觀佈置，不易如盆花以環境調控花期，本研究擬探討是否可用噴施 GA₃ 調控花期，以下謹針對 GA 對花芽形成及發育之前人研究整理如後。

1. 花芽形成

噴施 5000 mg·L⁻¹ 的 GA₃ 溶液可顯著促進朱蕉 [*Cordyline terminalis* (L.) Kunth] 開花，處理 10 周後開花率為 61%，而未處理組一直保持營養生長狀態(Fisher, 1980)。於紅花繡球花葉面分別噴施 20、150、250 mg·L⁻¹ 的 GA₃，結果 250 mg·L⁻¹ GA₃ 處理可讓始花期提早 3 天，且處理植株的花徑、開花枝條數及每株小花數均顯著增加，觀賞品質提高(徐等，2007)。

然而外施 GA 會限制某些物種的花芽形成(Lang, 1956)。大馬士革玫瑰(*Rosa* ×

damascena Mill.) 在營養生長階段經 10 或 50 mg·L⁻¹ GA₃ 處理後，開花植株及每株開花枝條數均減少(Farooqi et al., 1994)。於 5 月底至 6 月底對湖南省之油茶樹 (*Camellia oleifera* Abel) 噴施三次 25、50、100、150 mg·L⁻¹ 的 GA 溶液，此時可能已有部分花芽誘導。結果顯示低濃度(25、50 mg·L⁻¹) GA 促進開花，帶花枝條比例增加，高濃度(100、150 mg·L⁻¹) GA 則抑制開花(陳，2013)。

噴施 50 或 100 mg·L⁻¹ 的 GA₃ 溶液可以加速洋麻花芽創始並延長花期，而 200 mg·L⁻¹ 處理會延遲花芽創始(Storey and Nwoke, 1985)。但 Muniandi 等(2018)指出 GA 處理抑制洋麻的花芽創始與發育，以 1.25、2.5、3.75、6.75 mg·L⁻¹ GA 溶液噴施幼苗全株，幾乎所有植株均無形成花芽，部分以 1.25 mg·L⁻¹ 處理之‘Fuhong 952’ 植株比對照組晚 4 周形成花芽，此可能與植株成熟度、品種不同有關。

噴施 100、500、1000 mg·L⁻¹ GA 抑制‘Royal’杏樹(*Prunus armeniaca* L.) 花芽創始，噴施 500 mg·L⁻¹ GA 對歐洲甜櫻桃‘Bing’亦有同樣的抑制效果(Bradley and Crane, 1960)。

非絕對性長日植物杜鵑‘Hatsugiri’置於 18 h 長日環境，頂芽施用 1、10、100 ng 的 GAs，七天後重複施用。結果顯示 GAs 抑制花芽創始，其中 GA₅、GA₉₅ 完全抑制花芽創始，而 GA₁、GA₃ 以及 GA₂₀ 對花芽創始無影響(Sharp et al., 2010)。映山紅(*Rhododendron simsii* Planch.) 置於 16 h 長日環境，頂芽施用 1 μg 的 GA₁、GA₃ 和 GA₄，結果均抑制花芽形成(Bodson and Thomas, 1995)。Meijón 等(2011)分析了杜鵑‘Blaauw’s Pink’和‘Johanna’營養芽和花芽的 GAs 含量，指出在花芽中 GA₄、GA₇ 和 GA₉ 含量更高，而營養芽中 GA₁、GA₃ 和 GA₂₀ 含量更高。

2. 花芽發育

在桃樹‘Terutemomo’開花前(花芽露出白色)時噴施 60、90、120 或 150 mg·L⁻¹ 的 GA 溶液可促進花芽、花蕾及花瓣的生長(袁，2015)。以 100、300、500 mg·L⁻¹ 的 GA 溶液噴施‘紫芙蓉’和‘奇花露霜’芍藥(*Paeonia lactiflora* Pall.) 的花芽，以 300 及 500 mg·L⁻¹ 處理可促進花莖伸長及花蕾生長，提早開花，又以 500 mg·L⁻¹ 處理效果最佳(呂等，2009)。

於紅腺忍冬(*Lonicera hypoglauca* Miq.) 現蕾初期時噴施 300 或 500 mg·L⁻¹ 的 GA₃ 溶液可讓始花期提前 3-5 天，但對盛花期無影響(萬等，2009)。於錦綉杜鵑

(*Rhododendron pulchrum*)花蕾塗抹 1500、2000、2500 或 3000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 GA_3 ，結果 2000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 處理可讓植株提早 13 天開花(趙等，2009)。

於蠟梅[*Chimonanthus praecox* (L.) Link]花蕾期分別以 0、200、400、800、1600 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 GA_3 溶液處理花枝，每 3 天一次共處理 6 次。結果低濃度 GA_3 處理能促進花朵的花徑、增加花朵中被片長度與寬度，提高觀賞性，以 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ GA_3 處理效果最佳，之後隨處理濃度增加促進作用降低，最後表現為抑制作用(李，2017)。

綜上所述，外施 GA 對花芽形成與發育的效果不一，依物種及生長階段而異。

材料與方法 (Materials and Methods)



試驗一、插穗型式對非洲芙蓉扦插繁殖之影響

1. 不帶葉之綠枝、半硬枝與硬枝插穗

於 2018 年 11 月 2 日從國立臺灣大學農業試驗場露天種植之非洲芙蓉，剪下帶可見花芽的一年生枝條。由枝條頂端至基部分別選取綠枝、半硬枝、硬枝部位，各剪成 15 cm 的插穗，下端斜切 45°並於當天扦插。半硬枝插穗與硬枝插穗的上端平截(距離第一個芽點 1.5-2.0 cm)，平截後馬上用封口膜封住，防止失水，兩天後去除。扦插介質為真珠石(特選三號；南海蛭石工業股份有限公司，新北市，臺灣)：泥炭苔(AJM; Lambert, Québec, Canada)=1：2 (v/v)混合，置於直徑 9 cm、高 7.5 cm 容器中，稍微壓實濕潤。插入容器深度為插穗的 1/3，放至噴霧扦插床，每 15 分鐘噴霧 60 秒。以環境監測資料記錄器(HOBO Temperature/Light/External Data Logger-U12-012, Onset Computer Corporation, MA, USA)測得試驗期間日均溫度 21.8°C，平均日長 10.5-11 h，平均每日最大光強度 1131 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

綠枝插穗包含頂梢部分，去除其葉片及可見花芽。綠枝插穗輕捏柔軟，呈淺綠色。半硬枝與硬枝插穗本身不帶葉。半硬枝插穗有一定的硬度，呈綠色，偶有淺棕色絨毛披被。硬枝插穗堅硬，呈棕褐色。以電子游標卡尺測量綠枝、半硬枝及硬枝插穗中間位置的莖徑，平均分別為 5.6、6.9 與 7.8 mm。本試驗共 3 個處理，每 5 插穗為 1 重複，每處理 3 重複。處理 28 天後，於 2018 年 11 月 30 日調查每處理的存活率(存活插穗數/總插穗數 \times 100%)、發根率(發根插穗數/總插穗數 \times 100%)及發根數(長度 \geq 2 mm 的一次根)。

2. 帶葉綠枝、不帶葉半硬枝與硬枝插穗

於 2017 年 10 月自霖霖園藝公司購入種植於美植袋(直徑 20 cm，高 20 cm)的非洲芙蓉樹苗。於 2017 年 11 月 1 日切取一年生枝條，浸泡於自來水中，於 2017 年 11 月 2 日晚挑選出大小整齊的尚無可見花芽之枝條，由頂端至基部分別選取綠枝、半硬枝、硬枝部位，分別剪成 15 cm 的插穗。綠枝插穗包含頂梢部分，留兩片嫩綠色剛展開葉或修剪至與剛展開葉葉面積一致的綠色成熟葉，半硬枝及硬枝插穗本身不帶葉。以電子游標卡尺測量綠枝、半硬枝及硬枝插穗中間位置的莖徑，平均分別為 6.5、9 及 10 mm。插穗之整理與扦插同前所述，惟扦插於 35 格穴盤(每穴格

7×7×7 cm³)中，扦插介質為真珠石與泥炭苔=1:1 (v/v)混合，其中綠枝插穗以蘭花支架支撐葉片，葉片能自主朝上時去除支架。以環境監測資料記錄器(HOBO Temperature/Light/External Data Logger-U12-012, Onset Computer Corporation, MA, USA)測得試驗期間日均溫度 19°C，平均日長 10-11 h，平均每日最大光強度 679 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

本試驗共 3 個處理，每 5 插穗為 1 重複，每處理 3 重複。處理 28 天後，於 2017 年 11 月 30 日調查每處理的存活率、發根率及發根數(長度 ≥ 2 mm 的一次根)。

試驗二、帶葉綠枝插穗長度對非洲芙蓉扦插繁殖之影響

同試驗一第二次試驗，於 2017 年 11 月 2 日晚挑選已置於水桶中兩日的非洲芙蓉一年生枝條，選取綠枝部位，從枝條頂梢往下測量，以枝剪分別剪取 5、10、15 及 20 cm 的插穗，插穗莖徑平均分別為 5.7、5.9、6.5 及 6.9 mm。插穗均留兩片嫩綠色剛展開葉或修剪至與剛展開葉面積一致的綠色成熟葉。插穗之整理與扦插容器、介質、環境同試驗一第二次試驗所述。

本試驗共 4 個處理，每 5 插穗為 1 重複，每處理 3 重複。分別於 2017 年 11 月 30 日及 2017 年 12 月 29 日(處理後 28 天及 56 天)調查每處理的存活率、發根率及發根插穗的發根數(長度 ≥ 2 mm 的一次根)。

試驗三、溫度對非洲芙蓉生長、光合作用及開花之影響

於 2018 年 5 月 1 日將非洲芙蓉綠枝插穗扦插 25 週後之發根苗平剪至 20 cm 高，修剪後餘剩兩片葉，保持材料一致。定植於直徑 15.4 cm，高 17 cm 的容器中，內盛裝真珠石與泥炭苔等比例混合介質。以捲尺記錄株高(從表土起至植物頂梢)後分別置於日/夜溫為 15/13、20/15、25/20、30/25、35/30°C 的人工氣候室中。每處理 8 重複，每株為 1 重複。試驗期間每日平均溫度分別為 14.1、17.6、22.6、27.6、32.6°C。由人工氣候室網站資料計算得知試驗期間平均日長 10.8-12.3 h，平均每日最大光強度 1155 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

試驗期間介質表面乾燥時由頂部給水至介質濕潤。定植時每株施用 6 g 之 14N-4.8P-10.8K 緩釋肥(新好康多 1 號 14N-11P-13K 100 天型; JCAMAGRI, Tokyo, Japan)，並葉施 1g·L⁻¹ 倍蘇力菌(庫斯蘇力菌 E-911 30000 DBMU/mg，60%可濕性粉劑；福

壽牌，臺中，臺灣)。處理 32 天、90 天後每株分別再補充 6 g 緩釋肥。視蟲害情況葉施芬普蟎(5%水懸劑；日本農藥株式會社，東京，日本)及放置黃色粘蟲板。處理 129 天後每週頂部灌溉施用一次含 $1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之 20N - 4.4P - 16.6K (Peters 20-10-20; Scotts Co., Marysville, Ohio)肥料溶液。

處理 3 天後，於 2018 年 5 月 4 日在各溫度之人候室內，使用可攜式葉綠素螢光測定儀(Mini-PAM; Walz, Effeltrich, Germany)選擇修剪餘下兩片葉中之下位葉，避開主葉脈，早上 0940 HR 暗馴化 30 min 後開始測量葉綠素螢光參數，包括最低螢光值(minimum fluorescence, F_0)、最大螢光值(maximum fluorescence, F_m)、PSII 最大光化學效率(maximum quantum efficiency of photosystem II photochemistry, F_v/F_m , $F_v = F_m - F_0$)、光化學猝熄(photochemical quenching, qP)、非光化學猝熄係數(non-photochemical quenching coefficient, qN)以及非光化學猝熄(non-photochemical quenching, NPQ)。每處理 8 重複，每株為 1 重複。

處理 10 週後，於 2018 年 7 月 15 日與 2018 年 7 月 17 日上午 0900-1100 HR 於人工氣候室內，選取植株最高節位側枝由頂梢算起第四片完全展開葉(為成熟葉片)，使用可攜式光合作用測定儀(LI-6400 Portable Photosynthesis System; LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA)測量單片葉片的光合作用參數，包括淨光合作用速率(net CO_2 assimilation rate, P_n)、細胞間隙二氧化碳濃度(intercellular CO_2 concentration, C_i)、氣孔導度(stomatal conductance, g_s)、蒸散速率(transpiration rate, T_r)，及蒸氣壓差(vapour pressure deficit, VPD)、相對濕度(relative humidity, RH)與葉片溫度(leaf temperature, TL)。每處理 8 重複，每株為 1 重複。以紅藍人工混合光源控制葉箱內 PAR 為 $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。利用乾燥劑(Drierites, 97%硫酸鈣及 3%氯化亞鈷; W.A. Hammond Drierite Company, Xenia, OH, USA)及蘇打石灰(soda lime; LI-COR, Lincoln, NE, USA)吸收進入回路之大氣水汽及二氧化碳，葉箱中平均相對濕度控制在 40% - 50%。 CO_2 濃度維持在 $400 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。氣體流速設定為 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ ，上下葉氣孔比例為 0.5，方形葉箱截面積調整為 6 cm^2 。測定不同處理時，儀器在待測溫度環境中休眠 30 min 後喚醒再行測定。於人候室 15/13、20/15、25/20、30/25、35/30°C 處理植株的葉溫平均值分別為 22.2、25.0、29.4、36.1、39.8°C。

由於移入各溫度處理時已強剪，本試驗定期調查各處理新長側枝之生長與開花情形。調查項目包括株高(從表土至植株頂端最高點)、側枝長度(植株每側枝長度

之平均值)、側枝葉片數(植株每側枝的展開葉片數之平均值)。於處理第 119 天調查每株側枝數量,並以電子游標卡尺測量植株每根側枝中間位置的莖徑。每處理 8 重複,每株為 1 重複。

於 2018 年 8 月 21 日開始調查開花相關項目。每處理 8 重複,每株為 1 重複。非洲芙蓉花朵發育階段如圖 1 所示。

調查項目包括現蕾率(percentage of flower bud visibility, 現蕾植株數/總植株數 $\times 100\%$)及現蕾天數,當花芽直徑 ≥ 2 mm 視為現蕾;花萼顯色率(percentage of calyx visibility, 花萼顯色植株數/總植株數 $\times 100\%$)及花萼顯色天數,花萼顯色標準為花萼從花序總苞中露出,呈現粉白色;開花率(percentage of flowering, 開花植株數/總植株數 $\times 100\%$)及到花日,花序中有一朵小花花瓣突出花萼,展開,呈現紫紅色,視為開花;消蕾率(percentage of flower bud blasting, 植株消蕾數/植株總花芽數 $\times 100\%$),花芽變黃、變褐、脫落即視為消蕾;第一個花芽的花序直徑(inflorescence diameter)及對應的花序梗長(peduncle length),花序為長方形或橢圓形,測量第一個花芽長邊為花序直徑;花下葉片數(newly-grown leaf number below the first flower bud)、每枝條之花芽數(flower buds per shoot)。



圖 1. 非洲芙蓉花朵發育階段

Fig. 1. Floral developmental stages of *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Bar = 5 cm. Flower bud visibility, the flower buds emerge from the leaf axils mainly on the current shoot. Leaf bud is dome- to cone-shaped whereas flower bud is more globular-shaped with two dominant horns on the apex. Calyx visibility, the pale pink-white colored calyx protrudes from the epicalyx bracts. Flowering, anthesis of the first floret.

試驗四、變溫處理對非洲芙蓉花芽形成之影響

於 2018 年 5 月 1 日將非洲芙蓉綠枝插穗扦插 25 週後之發根苗平剪至 20 cm 高，修剪餘下兩片葉，保持材料一致。定植於直徑 15.4 cm，高 17 cm 的容器中，內盛裝真珠石與泥炭苔等比例混合介質。以捲尺記錄株高(從表土起至植物頂梢)後分別置於日/夜溫為 30/25°C 與 35/30°C 的人工氣候室中。

施肥及蟲害管理同試驗三所述。試驗期間平均日長 10.8-12.3 h，平均每日最大光強度 $1155 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

處理 18 週後，於 2018 年 9 月 7 日將 30/25°C (平均 27.6°C) 與 35/30°C (平均 32.6°C) 之植株半數移入 15/13°C (平均 14°C) 中，半數植株不移動，共 4 處理，每處



理 4 重複，每株為 1 重複。

植株現蕾時進行調查，調查項目詳如試驗三所述，包括現蕾率及現蕾天數、每側枝之花芽數、第一個花芽的直徑及對應的花序梗長。

試驗五、溫度對非洲芙蓉現蕾後花芽發育之影響

於 2018 年 8 月 31 日將扦插 7 週已發根，帶 3-4 片完全展開葉的非洲芙蓉單莖綠枝苗種植於直徑 11.6 cm，高 14 cm 容器。定植時每株施用 3 g 之 14N-4.8P-10.8K 緩釋肥(新好康多 1 號 14N-11P-13K 100 天型; JCAM AGRI, Tokyo, Japan)，栽培介質為真珠石(特選三號; 南海蛭石工業股份有限公司，新北市，臺灣)：泥炭苔(AJM; Lambert, Québec, Canada) = 1 : 3 (v/v)混合。置於日/夜溫為 15/13°C 的人工氣候室，經處理 94 天後，此時植株有 1-3 個花芽，株高為 39.4±0.5 cm、花芽下新長葉片數為 7.1±0.1、初始花芽的直徑為 2.1±0.1 cm 及對應的花序梗長為 2.5±0.3 cm。

將上述帶有花芽之整齊植株逢機分組，於 2018 年 12 月 5 日分別置於日夜溫為 15/13、20/15、25/20°C (均溫分別為 13.9、17.3、22.3°C) 的人工氣候室以及加溫的溫室中(即試驗期間前 12 天平均溫度為 22°C，12 天後移入 30/25°C 的人工氣候室中，後續試驗期間平均溫度為 27.3°C)。試驗期間平均日長 10.5 h，平均每日最大光強度 761 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

試驗期間介質表面乾燥時由頂部給水至介質濕潤。開始不同溫度處理時再每盆施用 3 g 緩釋肥，並每週頂部灌溉一次含 0.5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之 20N-4.4P-16.6K (Peters 20-10-20; Scotts Co., Marysville, Ohio) 肥料溶液。放置黃色粘蟲板。

本試驗共 4 處理，每處理 10 重複，每株為 1 重複。調查項目詳如試驗三所述，每隔 3 至 4 天調查包括現蕾率、花萼顯色率及花萼顯色天數、開花率及到花日、消蕾率、第一個花芽的直徑及對應的花序梗長、單個花序(初始花序)的花期(flowering duration，花序中有一朵小花的花瓣顯色開張視為開花，花序中所有小花變褐自然枯萎視為花期結束)與每株花芽數(number of flower buds)。於試驗中期與試驗結束時測量株高。

參考 Roberts 和 Summerfield (1987) 和 Yeh 等人 (1999) 之方法，將處理溫度和自處理從 2.1±0.1 cm 直徑之花芽至花萼顯色、第一朵小花開放天數之倒數(1/d)進行



直線迴歸分析，可得方程式：

$$1/d = a + b \times T$$

並以此計算基礎溫度(base temperature, T_b) = $-a/b$ ，將處理溫度與基礎溫度之差乘以處理天數，可得自處理至該發育階段之溫度積值(thermal time, $^{\circ}\text{Cd}$)。

試驗六、短日循環次數對非洲芙蓉花芽形成之影響

於 2018 年 8 月 18 日將扦插 8 週已發根、帶 6 片展開葉的非洲芙蓉綠枝苗定植於直徑 11.6 cm、高 14 cm 容器。栽培介質與試驗五相同。定植時每株施用 3 g 之 14N-4.8P-10.8K 緩釋肥(新好康多 1 號 14N-11P-13K 100 天型; JCAM AGRI, Tokyo, Japan)。置於人工照明室頂層，設定 8 h 的光照時間，光源為高壓金屬鹵素燈(Master HPI-T Plus 250W/645, Royal Philips, Holland)，以光度計(LI-250A light meter/LI-190SA quantum sensor; LI-COR, Lincoln, Nebr., USA)測得 PPF (photosynthetic photon flux)約 $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。於 8 h 短日處理 7、14、21、28、35 天後，每處理各逢機取 6 株移入人工照明室內，以紅：藍=8：1 之混合 LED 白光燈盤提供 PPF 約 $150 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，SAMPO 單座預約定時器設定 16 h 的長日環境。保持 8 h 短日與 16 h 長日環境之光積值(Daily light integral, DLI)均為 $8.6 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。將環境監測資料記錄器(HOBO Temperature/Light/External Data Logger-U12-012, Onset Computer Corporation, MA, USA)置於植株高度。試驗期間平均日夜溫為 24/14 $^{\circ}\text{C}$ 。試驗期間介質表面乾燥時由頂部給水至介質濕潤。

本試驗包括 5 種短日循環處理，每株為 1 重複，每處理 6 重複。記錄植株初始葉片數(最嫩展開葉柄與枝條夾角 60 $^{\circ}$ 以上視為展開，並以紫紅色膠帶做標記)。處理 35 天後，於 2018 年 9 月 22 日試驗結束時調查新長之花下葉片數、新長之節間長、花芽數及初始花芽直徑。

試驗七、容器大小與修剪高度對非洲芙蓉生長開花之影響

於 2017 年 10 月購入參試植株定植於美植袋(直徑 20 cm，高 20 cm)內含田尾地區之田土。於 2017 年 11 月 2 日分別將樹苗修剪至 30、60、90、120 cm(介質表面算起至植株最高處)，去除所有側枝，僅保留主幹。修剪後將樹苗從原本美植袋中移出，清理根部老舊介質後定植於三種大小的美植袋(盛泓園藝資材公司，臺北，臺灣，其直徑×高度分別為 30 × 26 cm、36 × 31 cm 與 42 × 34 cm。) ，體積分別為

大容器 47 L，中容器 32 L，小容器 18 L。栽培介質為砂質壤土：培養土(花卉美；盛泓園藝資材公司，台北，臺灣)：堆肥 = 1 : 1 : 1 (v/v/v)混合。試驗地點為國立臺灣大學農業試驗場，環境溫度和光度以環境監測資料記錄器(HOBO Temperature/Light/External Data Logger-U12-012; Onset Computer, MA, USA)記錄。試驗期間日均溫度 21°C，平均日長 10.8-13 h，平均每日最大光強度 1154 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

定植三天後每隔 5 天澆灌一次 2.2 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$ 之液體肥料(Liquinox Start 0-2-0; Liquinox, CA, USA)，每株每次 2 L，共三次。定植 20 天後每株施用 70 g 之 14N-4.8P-10.8K 緩釋肥(新好康多 1 號 13-10-11-2TE 100 天型；JCAM AGRI, Tokyo, Japan)，另定植 120 天後，於 2018 年 3 月 2 日小容器處理每株補充 50 g 緩釋肥，中容器及大容器處理每株補充 100 g 緩釋肥。定植 30 天後，於 2017 年 12 月 2 日葉施洗碗精水溶液防治蚜蟲。定植 180 天後，於 2018 年 5 月 1 日葉施 1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 蘇力菌(庫斯蘇力菌 E-911 30000 DBMU/mg，60%可濕性粉劑；福壽牌，臺中，臺灣)及 0.5 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$ 苦楝油水溶液防治捲葉蛾。試驗期間介質表面乾燥時由頂部給水至介質濕潤。定植 183 天後，於 2018 年 5 月 4 日裝設滴灌系統，給水時間設定為 0500_{HR}、0800_{HR} 及 1700_{HR}。通過控制不同容器處理的滴頭數量使一天中給水量為：小容器 9 L、中容器 18 L、大容器 27 L。本試驗為雙因子試驗，包括三種容器大小與四種修剪高度，共 12 組處理，每 3 株為 1 重複，每處理 3 重複。

處理 30 天後定期記錄每處理之萌芽率(percentage of bud emergence, 萌芽植株數/總植株數 $\times 100\%$)，芽長度 ≥ 2 mm 即為萌芽。處理 60 天後記錄展葉率(percentage of leaf unfolding, 展葉植株數/總植株數 $\times 100\%$)，葉片展開角度 $\geq 60^\circ$ 即為展葉。開花調查項目詳如試驗三所述，分別於處理 60 天與 120 天時記錄現蕾率，處理 120 天後記錄帶可見花序(花芽直徑 ≥ 2 mm)的側枝數。處理 183 天後記錄開花率。處理 210 天時記錄株高，高度自介質表面至植株最高點。於 2018 年 7 月 15 日試驗結束時每處理逢機選擇 6 株測量每株側枝數量、長度與葉片數。

試驗八、噴施 GA_3 對非洲芙蓉花芽形成之影響

參試材料為試驗七結束後之非洲芙蓉容器苗，選擇一年生枝條，以電子游標卡尺測量枝條中部位位置的莖徑約為 7.7-9.2 mm，每處理逢機選擇枝條作標記。

於 2018 年 10 月 5 日配製 2500 與 5000 mg·L⁻¹ 的 GA₃ 溶液後在當日 1700 HR 噴施，此時無太陽直射。以噴壺噴施 GA₃ 溶液，在枝條所有葉片正面噴施均勻至有液體滴落。

以環境監測資料記錄器(HOBO Temperature/Light/External Data Logger-U12-012; Onset Computer, MA, USA)記錄。試驗期間日均溫度 19.3°C，平均日長 11-11.5 h，平均每日最大光強度 1148 μmol·m⁻²·s⁻¹。

滴灌系統給水時間設定為 0500_{HR}、0800_{HR} 及 1700_{HR}。通過控制不同容器處理的滴頭數量使一天中給水量為：小容器 9 L、中容器 18 L、大容器 27 L。噴施 GA₃ 溶液後一天於土面撒加保扶 3%粉劑以防治捲葉蛾，劑量為：大容器 2 g，中容器 1.5 g，小容器 1 g。

本試驗為單因子試驗，包括對照組(未噴 GA₃)、兩個試驗組(噴施 2500 與 5000 mg·L⁻¹ GA₃ 溶液)。每 5 枝條為 1 重複，每處理 3 重複。調查項目詳如試驗三所述，調查每處理之現蕾率、花芽數、第一個花芽的直徑及對應的花序梗長、花萼顯色率及花萼顯色天數、開花率及到花日、消蕾率。

試驗九、噴施 GA₃ 對非洲芙蓉花芽發育之影響

參試材料為國立臺灣大學農場露地種植的兩株非洲芙蓉。挑選莖徑相似、生長勢良好的一年生枝條，記錄自頂端往基部起第三個腋生花序之發育情形，此時花序直徑 4.4±0.1 cm，花序梗長 12.1±0.3 cm。每 5 花序為 1 重複，每處理 3 重複。於 2018 年 1 月 1 日晴天 1000-1100 HR 進行試驗，以噴壺噴施 250 與 500 mg·L⁻¹ 的 GA₃ 溶液，在枝條所有葉片正面噴施均勻至有液體滴落，標記的花序噴施兩次。噴施後兩天半下雨。試驗期間日均溫度 16.9°C，平均日長 10.6-11 h。

本試驗為單因子試驗，包括對照組(未噴 GA₃)、兩個試驗組(噴施 250 與 500 mg·L⁻¹ GA₃ 溶液)。調查項目詳如試驗三所述，每隔兩天觀察一次標記花萼有無顯色，並測量花序直徑及花序梗長。

本研究上述試驗均採完全逢機設計(completely randomized design, CRD)。以 CoStat 6.4 (CoHort Software, Monterey, CA, USA)進行最小顯著差異(least significant difference, LSD)與變方分析(analysis of variance, ANOVA)。試驗一、試驗六及試驗七另進行迴歸分析(regression analysis)。採用 Sigmaplot 10.0 (Systat Software Inc.,

USA)進行繪圖。調查項目中有百分率者採用 Bliss 氏之轉百分數為角度數方法換算再進行統計分析。



結果 (Results)



試驗一、插穗型式對非洲芙蓉扦插繁殖之影響

於 2018 年 11 月初取非洲芙蓉去除可見花芽的一年生枝條，剪成不帶葉片之綠枝、半硬枝及硬枝插穗，於噴霧扦插床扦插 4 週。結果顯示扦插 28 天時所有插穗皆存活(圖 2)，但均無發根。半硬枝及硬枝插穗長出葉片，綠枝插穗未長出葉片。

另取非洲芙蓉帶有頂芽及葉片之綠枝插穗、不帶葉片之半硬枝及硬枝插穗，於噴霧扦插床扦插 4 週。結果顯示扦插 28 天時所有處理之插穗皆存活，但僅有帶有頂芽及葉片之綠枝插穗有部分發根。此時半硬枝及硬枝插穗長出葉片但尚未發根(圖 3)。扦插 28 天後，帶葉片綠枝插穗之發根率為 66.7%，而未帶葉之綠枝插穗並無發根(表 1)。顯示非洲芙蓉適合以帶有頂芽及葉片之綠枝插穗進行扦插繁殖。

試驗二、帶葉綠枝插穗長度對非洲芙蓉扦插繁殖之影響

試驗一結果顯示非洲芙蓉適合以綠枝插穗繁殖，進一步探討綠枝插穗長度對扦插繁殖之影響。結果顯示扦插 28 天後，5-20 cm 長之插穗皆有發根(圖 4A)，其中以 5 cm 之插穗發根率及發根數略低。扦插 56 天後所有處理之存活率皆高於 90%。而發根率與發根數亦是以 5 cm 綠枝插穗最低(表 2)。取 5 cm 長綠枝插穗發根狀況之發根較差(圖 4B)，顯示非洲芙蓉綠枝插穗繁殖時，插穗不宜太短，雖保留較長莖段有助增加插穗發根數，但以 10 cm 之綠枝插穗繁殖已可達較佳效果。

扦插 28 天時觀察非洲芙蓉綠枝插穗切口的發根部位，結果顯示 5 cm 綠枝插穗有傷口全為癒傷組織(圖 5A)或從皮部生出不定根(圖 5B)，15 cm 綠枝插穗基部有少量癒傷組織，主要為皮部發根(圖 5C)之情形。顯示非洲芙蓉的扦插發根屬於混合發根型，包含了皮部發根與癒傷組織發根。

試驗三、溫度對非洲芙蓉生長、光合作用及開花之影響

取非洲芙蓉帶兩片葉 20 cm 高之平截扦插發根苗，置於日/夜溫為 15/13、20/15、25/20、30/25、35/20°C 的人工氣候室，處理 84 天後，以 15/13°C 處理之植株株型緊密，新葉帶紫褐色，35/30°C 處理植株的葉片明顯較小(圖 6)。植株高度及平均枝條長度以 30/25°C 處理者較高，25/20°C 及 35/30°C 處理者次之，以 15/13°C 處理者最短(圖 7、8)。每枝條葉片數以 30/25°C 處理者較高，35/30°C 處理者次之，此

後隨溫度下降，每枝條葉片數下降，以 15/13°C 處理者每枝條葉片數最少(圖 9)。強剪後之新抽出枝條數於溫度處理間無顯著差異。莖徑以 35/30°C 處理者最細(表 3)。綜合上述可見，隨溫度自 15/13 提高至 30/25°C，非洲芙蓉營養生長勢亦隨之提高，15/13°C 處理之植株生長較慢，30/25°C 處理之植株營養生長最旺盛，而 35/30°C 已不利於非洲芙蓉之營養生長。

溫度處理 3 天後測定植株原有展開葉片之葉綠素螢光參數，結果顯示各處理間的最低螢光值(F_0)無顯著差異(圖 10A)，最大螢光值(F_m)及 PSII 最大光化學效率(F_v/F_m)隨溫度自 15/13 提高至 25/20°C 而增加，溫度再提高則無顯著差異(圖 10B, C)。光化學猝熄(qP)、非光化學猝熄係數(qN)及非光化學猝熄(NPQ)於 15/13°C 處理植株中顯著最高，以 35/30°C 處理植株顯著最低(圖 10D, E, F)。結果表明 15/13°C 及 35/30°C 皆不利非洲芙蓉之 PS II，低溫(15/13°C)處理植株的 F_m 及 F_v/F_m 最低，高溫(35/30°C)處理植株的 qP 、 qN 及 NPQ 下降。

於溫度處理 70 天後測量單片完全展開葉之光合作用參數。結果顯示 35/30°C 處理之淨光合作用速率(P_n)顯著低於其他溫度處理(圖 11A)。各溫度處理間的細胞間隙二氧化碳濃度(C_i)無顯著差異(圖 11B)。15/13°C 與 35/30°C 處理植株之氣孔導度(g_s)皆顯著較低(圖 11C)。溫度自 15/13°C 提高至 30/25°C，蒸散速率(T_r)明顯增加，再提高至 35/30°C 時無增加(圖 11D)。測量時之蒸氣壓差(VPD)於 15/13 至 25/20°C 間無顯著差異，隨溫度自 25/20 提高至 35/30°C，顯著提高(圖 12A)。各溫度處理之人工氣候室內相對濕度(RH)以 25/20°C 處理較高，約為 60%，其次為 30/25°C，約為 55%，其餘三溫度處理則約為 50% (圖 12B)。測量時各溫度處理間的葉片溫度(TL)隨溫度自 15/13 提高至 35/30°C 依序升高，葉溫由約 22°C 升高至約 39°C(圖 12C)。綜合各項光合作用參數，顯示高溫 35/30°C 不利於非洲芙蓉光合作用。

試驗植株繼續於不同溫度下栽培至開花，結果以 15/13°C 處理可得盛花盆栽(圖 13)，且株型緊湊矮小，可持續開花，但以 30/25°C 及 35/30°C 處理 182 天，植株仍未觀察到花芽。隨溫度由 25/20°C 降低至 15/13°C，非洲芙蓉第一個花序下的葉片數遞減(圖 14)。於 15/13°C 及 20/15°C 處理 112 天後所有植株皆可觀察到花芽，而 25/20°C 處理植株於 119 天後亦逐漸形成花芽，至 140 天時全數植株皆有花芽(圖 15A)。花萼顯色與開花方面以 15/13°C 處理較 20/15°C 為快，25/20°C 處理植株於 182 天試驗結束前仍未有花萼顯色(圖 15)。顯示非洲芙蓉於 25/20°C 的溫度處理仍可形



成花芽，但 15/13°C 促進花芽分化及發育之效果較佳。

於 15/13°C 及 20/15°C 處理植株的每枝條花芽數相近，處理間無顯著差異，溫度處理 168 天後每枝條花芽數為 6-7 個，此時 15/13°C 處理之植株花萼開始顯色，花芽數保持穩定並無增加，但 20/15°C 處理之花芽數則有繼續增加之趨勢。25/20°C 處理植株的每枝條花芽數在處理後 112 天至 168 天時顯著少於 15/13°C 及 20/15°C 處理，試驗結束時(處理 182 天)則無顯著差異(圖 16A)。

第一個花序的直徑以 15/13°C 處理增加較快，其次為 20/15°C，而 25/20°C 處理之花序直徑增大的速度明顯較緩(圖 16B)。花序梗長方面與初始花序直徑有類似之反應(圖 16C)。於 20/15 及 25/20°C 處理者皆觀察到少量(<10%)花芽消蕾情形，而 15/13°C 處理則無消蕾(圖 16D)。

綜上結果，顯示以 15/13°C 處理利於非洲芙蓉之花芽形成，而 25/20°C 已接近其花芽形成之上限溫度。

試驗四、變溫對非洲芙蓉花芽形成之影響

試驗三顯示涼溫有利於非洲芙蓉之花芽形成，故本試驗將置於高溫(30/25 及 35/30°C)栽培 126 天、尚未形成肉眼可見花芽之非洲芙蓉植株移入 15/13°C，並觀察其反應。結果顯示在 30/25°C 或 35/30°C 處理之植株，於移至 15/13°C 處理 35 天後觀察到花芽形成，49 天後每枝條約有 2 個花芽，而持續於高溫(30/25 及 35/30°C)栽培的植株無花芽形成(表 4)。變溫處理後植株的花芽直徑無明顯差異，但以原置於 30/25°C 者，花序梗較原置於 35/30°C 者略長(圖 17；表 4)。結果顯示涼溫 35 天可有效誘導非洲芙蓉花芽創始及少量早期發育。

試驗五、溫度對非洲芙蓉現蕾後花芽發育之影響

於 8 月底將 40 盆非洲芙蓉置於 15/13°C 處理 94 天，於 12 月將已有 1-3 個花芽，最大花芽平均直徑為 2.1 ± 0.1 cm 之非洲芙蓉單莖植株分別移入不同日夜溫度，處理 50 天後結果顯示 15/13°C 處理植株初始花序剛達開花階段(圖 18)，20/15°C 處理者則為花序中所有小花開放，25/20°C 處理植株有自然枯萎之花序及所有小花開放之花序，30/25°C 處理者初始花序已枯萎且小花數量少，開花不良。

與試驗三相同，株高隨溫度由 15/13°C 提高至 30/25°C 而增加(圖 19)。而到花萼顯色及第一朵小花開放所需日數，以 25/20°C 及 30/25°C 處理較快；但 30/25°C 觀

察到有花芽消蕾情形，於試驗結束即處理 50 天時，消蕾率達 38.6%(表 5)。

雖然 30/25°C 處理之植株較 15/13°C 及 20/15°C 提早花萼顯色，但到試驗結束前僅約 60% 植株顯色，顯著較低(圖 20A)。開花率隨溫度自 15/13°C 提高至 30/25°C 有提早之趨勢，25/20°C 處理者較 15/13°C 及 20/15°C 處理者約早 10 天盛花(圖 20B)。

僅有 30/25°C 處理之植株發生消蕾，其餘三個溫度處理未出現消蕾植株(圖 21A)。非洲芙蓉植株持續置於 15/13°C 下 94 天後，每株約只能形成 1-3 個花芽，但形成花芽後，以 25/20°C 處理之每株形成花芽數較多，30/25°C 處理雖較 15/13°C 及 20/15°C 處理者多，但少於 25/20°C 處理者(圖 21B)。

各處理初始(最低節位)花序直徑隨時間而增加，約於處理後 22-26 天間呈現差異，以 25/20°C 處理者明顯增加，而 30/25°C 處理者則晚 3 天，15/13°C 及 20/15°C 處理者則持續緩慢增加(圖 22A)。初始花序梗長亦是以 25/20°C 處理者增長較快較早，約於處理後 35-40 天不再明顯變化，其餘三處理之花梗長變化則類似，但 30/25°C 處理者約於處理後 33 天不再顯著變化，且較短，而 15/13°C 及 20/15°C 處理者則於處理後 50 天達與 25/20°C 處理者相近長度(圖 22B)。

由於 15/13°C 處理之植株小花開放緩慢，至試驗結束前仍未完全開放完畢，但亦顯示 15/13°C 處理有較 20/15°C 處理更長的花序花期，25/20°C 及 30/25°C 處理之花序花期皆較短，約 7-9 天(圖 23)。

非洲芙蓉花芽直徑為 2.1 cm 時於 15/13、20/15、25/20 及 30/25°C 分別處理 46、42、29 及 28 天後開花(圖 24B)。將各溫度處理由 2.1 cm 直徑花芽至花萼顯色及至開花日數之倒數與平均溫度進行迴歸分析，求得花芽發育的基礎溫度(base temperature, T_b)。結果顯示到花萼顯色及到開花的 T_b 分別為 1.54 及 1.82°C，據此計算非洲芙蓉自花芽直徑為 2.1±0.1 cm 發育至花萼顯色階段，約需 396-487°Cd，而自花芽可見發育至開花(第一朵小花開放)階段，則需約 556-645°Cd (圖 24C, D)。

綜合以上，非洲芙蓉經涼溫處理花芽創始、形成花芽後，可置於較溫暖溫度以加速花芽發育，但上限以 25/20°C 為宜，增加至 30/25°C 時易造成消蕾及不良開花品質。花芽形成後持續的 15/13°C 處理會限制後續節位花芽之萌發。

試驗六、短日循環次數對非洲芙蓉花芽形成之影響

於 8 月中旬將 30 盆帶 6 片展開葉整齊的非洲芙蓉綠枝苗，分別置於 24/14°C、

每日照光 8 h 環境中 7、14、21、28、35 天後移入 16 h 長日環境。結果顯示隨著短日循環次數增多，植株新長之花下葉片數由 6.8 降至 6，呈線性減少(圖 25A)；新長之節間長由 3.4 cm 降至 2.6 cm，呈線性減少(圖 25B)。隨著短日循環增多，花芽數隨之增加，由 0.7 增至 1.2，呈線性增加(圖 25C)；初始花芽直徑亦隨之增加，由 0.3 cm 增至 0.4 cm，呈線性增加(圖 25 D)。結果顯示非洲芙蓉可能為非絕對性短日植物，短日處理可加速花芽形成。

試驗七、容器大小與修剪高度對非洲芙蓉生長開花之影響

於 2017 年 11 月初將非洲芙蓉樹苗修剪至 30、60、90、120 cm 高，僅保留主幹。並定植於 47、32、18 L 三種大小的容器中。試驗結果表明容器大小與修剪高度對所有調查項目皆無交感作用。

修剪後 30 天時，處理間之萌芽率皆無顯著差異，但以大體積容器栽培者皆有 100% 萌芽率。處理後 60 天之展葉率亦有相似反應(表 6)。修剪至 30 cm 的植株 30 天之萌芽率較高，為 92.6%，但與其餘修剪高度處理無顯著差異。處理後 60 天之展葉率亦有相同反應(表 6)。處理後 150 天時，株高以 47 L 容器栽培者較 32 及 18 L 容器栽培者高，另以修剪至 120 cm 者株高較其餘修剪高度為高，且株高隨修剪高度下降而減少，呈線性關係(表 6)。處理後 210 天之株高增長量以大容器和修剪至 30 cm 較多，隨容器縮小和修剪高度提高，株高增長量減少(表 6)。

處理 255 天後，容器大小對側枝數無顯著影響，但小容器植株的側枝數略少於中、大容器。側枝數隨修剪高度由 30 提高至 120 cm 而增加。側枝長度受兩處理因子影響，隨容器體積增加，側枝長度增加，隨修剪高度降低，處理 255 天後側枝長度增加。在側枝葉片數方面也有相似的反應(表 7)。

處理 60 天時，有較多以大體積容器栽培植株形成花芽，修剪高度則無顯著影響。處理 120 天時，亦是有較多以大體積容器栽培者形成花芽，小體積容器栽培者形成花芽株數比例略低。每植株帶有花芽之側枝數，有隨容器體積縮小而下降之趨勢，也有隨修剪高度下降而減少之趨勢。處理 183 天後，以小體積容器栽培者開花率顯著較低，修剪高度處理間雖統計上無顯著差異，但修剪至 30 cm 者開花率略低(表 8)。

結合上述可知處理 120 天時，小容器且修剪至 30 cm 的植株現蕾率較低(圖 26)，

帶花芽側枝數少(圖 27)。大容器或中容器處理，且修剪至 60 或 120 cm 的植株在處理 168 天後之開花率較高，其中大容器且修剪至 60 cm 高的非洲芙蓉開花率顯著高於小容器修剪至 30 或 60 cm 的植株(圖 28)。於 11 月初修剪可將自然花期(1 月)推遲至 3-5 月(圖 28)。修剪至 60 cm 且以 47 L 或 32 L 栽培之非洲芙蓉可在 2018 年 3-4 月有良好開花景觀效果。

綜上可知，大容器及強剪(修剪高度 30 cm)有利於非洲芙蓉復壯，萌芽率、展葉率、株高增長量、側枝長度、側枝葉片數均較高。小容器栽培之非洲芙蓉現蕾率及開花率較低。強剪植株之開花率亦較低。綜合經濟成本及商品品質考量，推薦用作景觀佈置的非洲芙蓉以體積為 32 L 之中容器栽培，修剪至 60 cm 高。處理後植株復壯良好，株高適宜，開花率高。

試驗八、噴施 GA₃ 對非洲芙蓉花芽形成之影響

於 2018 年 10 月初在非洲芙蓉未現蕾枝條葉片上噴施 2500 mg·L⁻¹ 及 5000 mg·L⁻¹ 的 GA₃ 溶液，結果顯示 GA₃ 處理可促進現蕾(圖 29A)，約提早 7 天，但對花萼顯色天數及開花天數無影響(圖 29B, C)。GA₃ 處理後 14 天有枝條現蕾，而對照組晚 1 週始現蕾(圖 30A)。

對照組與 2500 mg·L⁻¹ GA₃ 處理枝條之消蕾率變化趨勢相似(圖 30B)。2500 mg·L⁻¹ GA₃ 處理枝條之花萼較對照組晚 1 週顯色，5000 mg·L⁻¹ GA₃ 處理枝條花萼顯色較對照組晚 2 週(圖 30C)。對照組與 2500 mg·L⁻¹ GA₃ 處理枝條之開花率變化趨勢相近，5000 mg·L⁻¹ GA₃ 處理枝條晚 1 週開花(圖 30D)。各處理的每枝條花芽數、花序直徑及花序梗長度均無顯著差異(圖 31A, B, C)。

可見 2500 及 5000 mg·L⁻¹ GA₃ 處理可促進非洲芙蓉花芽形成，使其提早 1 週現蕾，但對此後的花芽發育無促進作用。

試驗九、噴施 GA₃ 對非洲芙蓉花芽發育之影響

於 2018 年 1 月初，取非洲芙蓉枝條自頂端數起第三個腋生花苞(直徑 4.4±0.1 cm，花序梗長 12.1±0.3 cm)上噴施 250 與 500 mg·L⁻¹ 的 GA₃ 溶液。結果顯示 GA₃ 處理可讓花苞提早約 3-4 天達到花萼顯色階段，但對開花天數無影響(圖 32A, B)。各處理枝條之花序梗增長量無顯著差異(圖 32C)。



圖 2. 非洲芙蓉不帶葉綠枝、半硬枝及硬枝插穗扦插 28 天後之外觀

Fig. 2. Performance of leafless softwood, semi-hardwood, and hardwood cuttings of *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum at 28 d after inserting in the rooting medium. Bar = 5 cm. (Experimental duration: 2-30, Nov. 2018)



圖 3. 非洲芙蓉帶葉綠枝、不帶葉半硬枝及硬枝插穗扦插 28 天後之外觀

Fig. 3. Performance of leafy softwood, leafless semi-hardwood, and leafless hardwood cuttings of *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum at 28 d after inserting in the rooting medium. Bar = 5 cm. (Experimental duration: 2-30, Nov. 2017)

表 1. 插穗型式對非洲芙蓉扦插 28 天後之插穗存活率、發根率及發根數之影響
 Table 1. Effects of cutting type on survival, rooting percentage, and number of roots in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum at 28 d after inserting in the rooting medium.

Cutting type	Survival (%)	Rooting (%)	Number of roots
<i>-Trial 1-</i>			
Top (Leafless softwood)	100.0 a ^z	0 a	0 a
Medial (Leafless semi-hardwood)	100.0 a	0 a	0 a
Basal (Leafless hardwood)	100.0 a	0 a	0 a
<i>-Trial 2-</i>			
Top (Leafy softwood)	100.0 a	66.7 a	3.3 a
Medial (Leafless semi-hardwood)	100.0 a	0 b	0 b
Basal (Leafless hardwood)	100.0 a	0 b	0 b

^z Mean separation within columns and trials by LSD at $P < 0.05$ level (n=3). Percentage data were Bliss transformed prior to statistical analysis.



圖 4. 非洲芙蓉 5、10、15、20 cm 長之帶葉綠枝插穗扦插 28 天與 56 天後之外觀

Fig. 4. Performance of various lengths of leafy softwood cuttings in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum at (A) 28 d and (B) 56 d after inserting in the rooting medium. Bar

= 5 cm. (Experimental duration: 2, Nov. – 29, Dec. 2017)

表 2. 帶葉綠枝插穗長度對非洲芙蓉扦插 28 及 56 天後之插穗存活率、發根率及發根數之影響

Table 2. Effects of leafy softwood length on survival and rooting percentages, and number of roots in *Dombeya wallichii* (Lindl) L. Schum at 28 and 56 d after inserting in the rooting medium. (Experimental duration: 2, Nov. – 29, Dec. 2017)

Leafy softwood length (cm)	Survival (%)	Rooting (%)	Number of roots
<i>-28 d after cutting propagation-</i>			
5	100.0 a ^z	40.0 b	0.5 b
10	100.0 a	93.3 a	5.1 a
15	100.0 a	66.7 ab	3.3 ab
20	100.0 a	93.3 a	5.5 a
Significance	NS	*	L*
<i>-56 d after cutting propagation-</i>			
5	100.0 a	73.3 b	3.3 c
10	100.0 a	100.0 a	11.8 b
15	93.3 a	80.0 ab	10.3 b
20	93.3 a	93.3 ab	19.7 a
Significance	NS	*	L***

^z Mean separation within columns and sampling time by LSD at $P < 0.05$ level (n=3).

Percentage data were Bliss transformed prior to statistical analysis.

NS, *, ** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$ or 0.01, respectively (n = 3); linear = L.



圖 5. 非洲芙蓉帶葉綠枝插穗扦插 28 天後之發根表現

Fig. 5. Rooting performance of leafy softwoods in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum at 28 d after planting in the rooting medium. Cutting length was (A and B) 5 cm, and (C) 15 cm, respectively. Bars indicate 1 cm. (Experimental duration: 2, Nov. – 29, Dec. 2017)

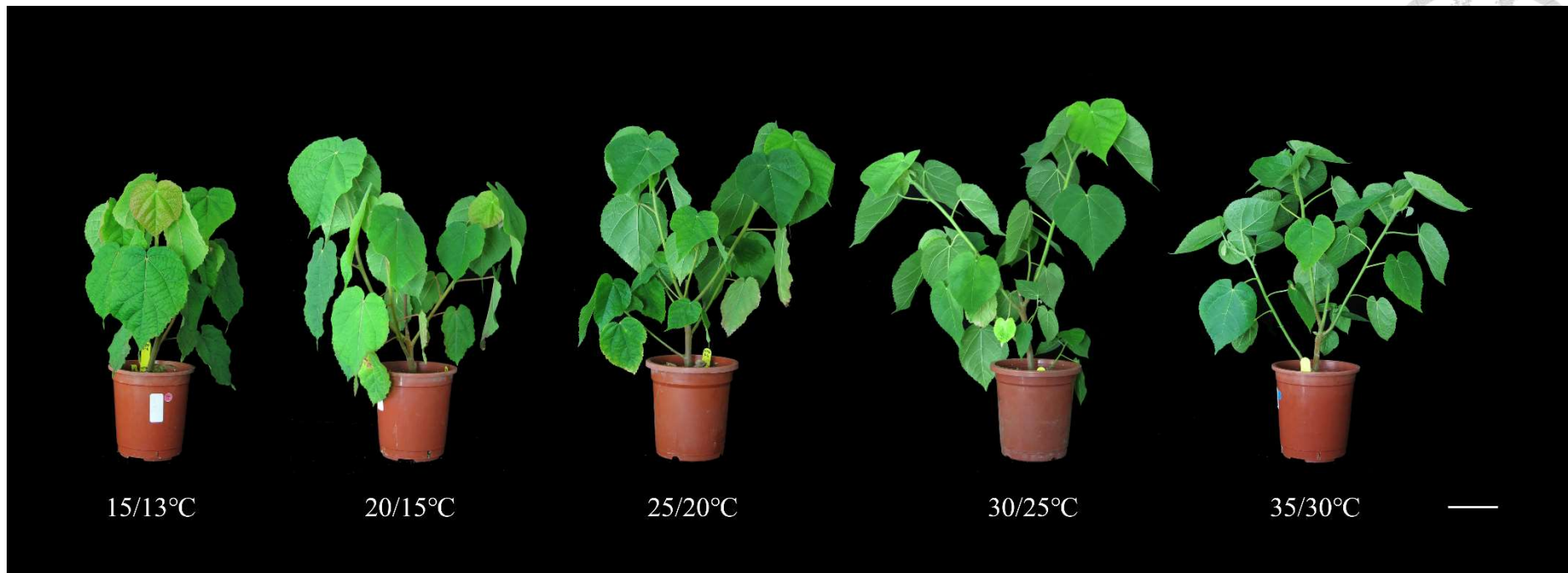


圖 6. 溫度處理 84 天後非洲芙蓉之外觀

Fig. 6. Effect of temperature on plant appearance of *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum at 84 d after treatments. Bar = 10 cm. (Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)

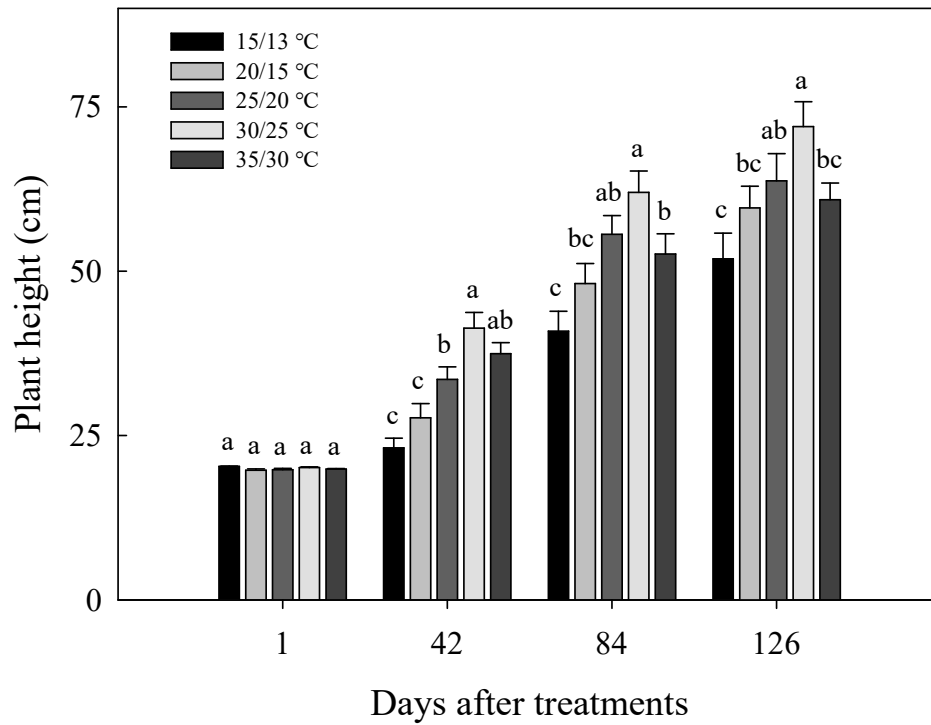


圖 7. 溫度對非洲芙蓉株高之影響

Fig. 7. Effect of temperature on plant height in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Bars indicate standard error of the means. Mean separation within each investigating date by LSD at $P < 0.05$ ($n=8$). (Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)

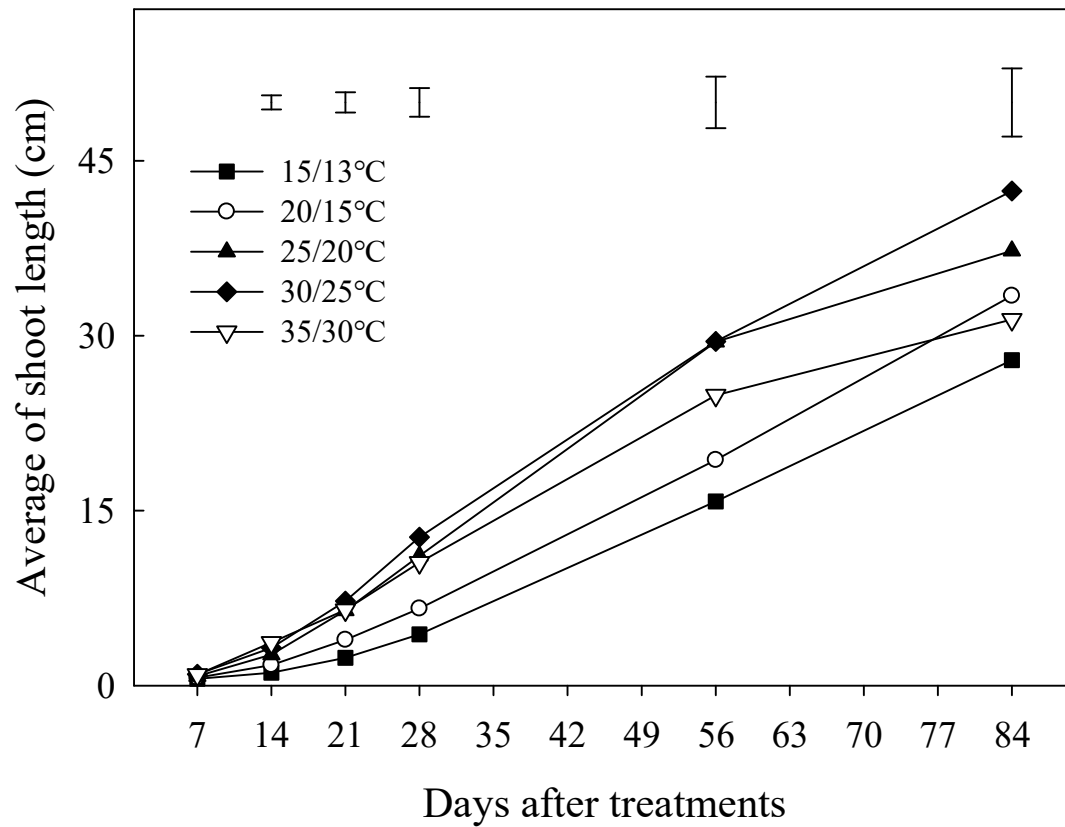


圖 8. 溫度對非洲芙蓉平均枝條長度之影響

Fig. 8. Effect of temperature on average shoot length in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Bars represent $LSD_{0.05}$ at each investigating date ($n=8$). (Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)

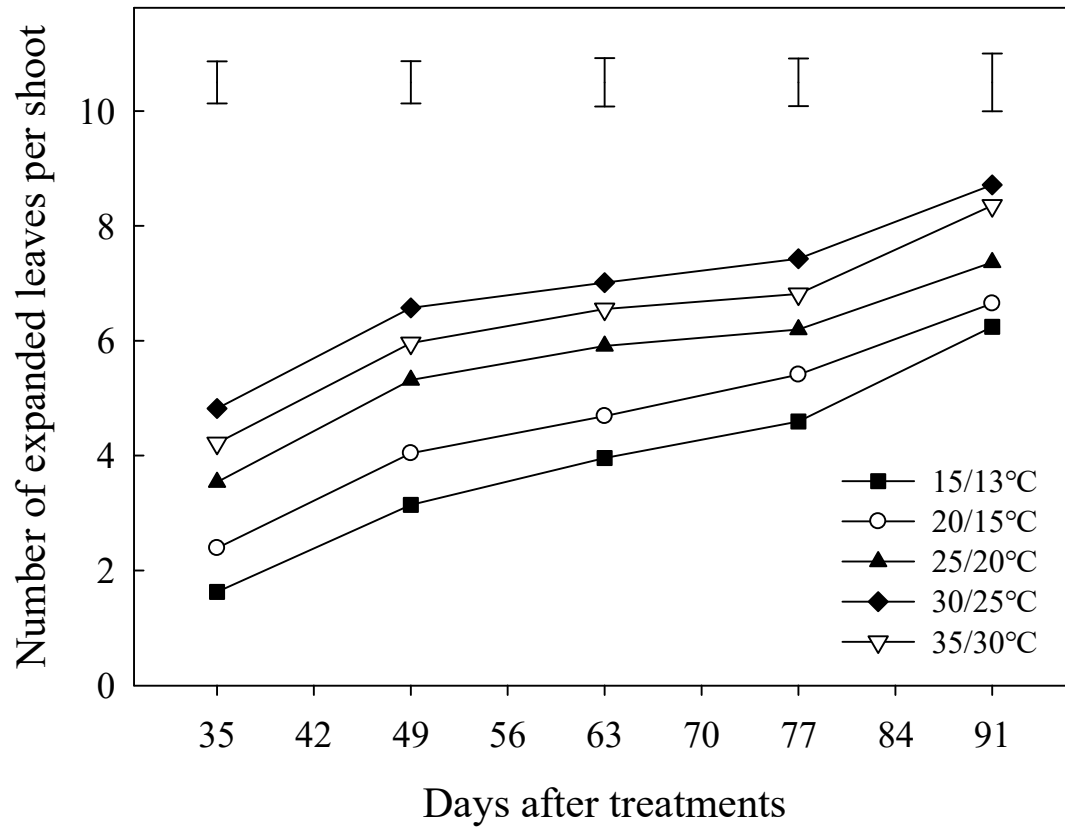
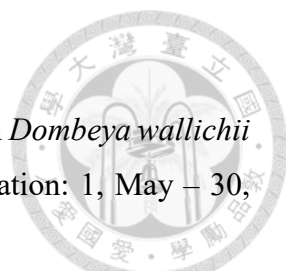


圖 9. 溫度對非洲芙蓉每枝條展開葉片數之影響

Fig. 9. Effect of temperature on number of expanded leaves per shoot in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Bars represent $LSD_{0.05}$ at respective investigating date (n=8). (Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)

表 3. 溫度處理 119 天後對非洲芙蓉枝條數及枝條莖徑之影響

Table 3. Effects of temperature on shoot number and shoot diameter in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum at 119 d after treatments. (Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)



Day/night temp. (°C)	Mean temp. (°C)	Shoot number per plant	Shoot diameter (mm)
15/13	14.1	4.6 a ^z	6.3 ab
20/15	17.7	4.3 a	6.4 ab
25/20	22.7	4.4 a	6.7 a
30/25	27.7	3.8 a	6.9 a
35/30	32.7	4.6 a	5.5 b

^z Mean separation within columns by LSD at $P < 0.05$ level (n=8).

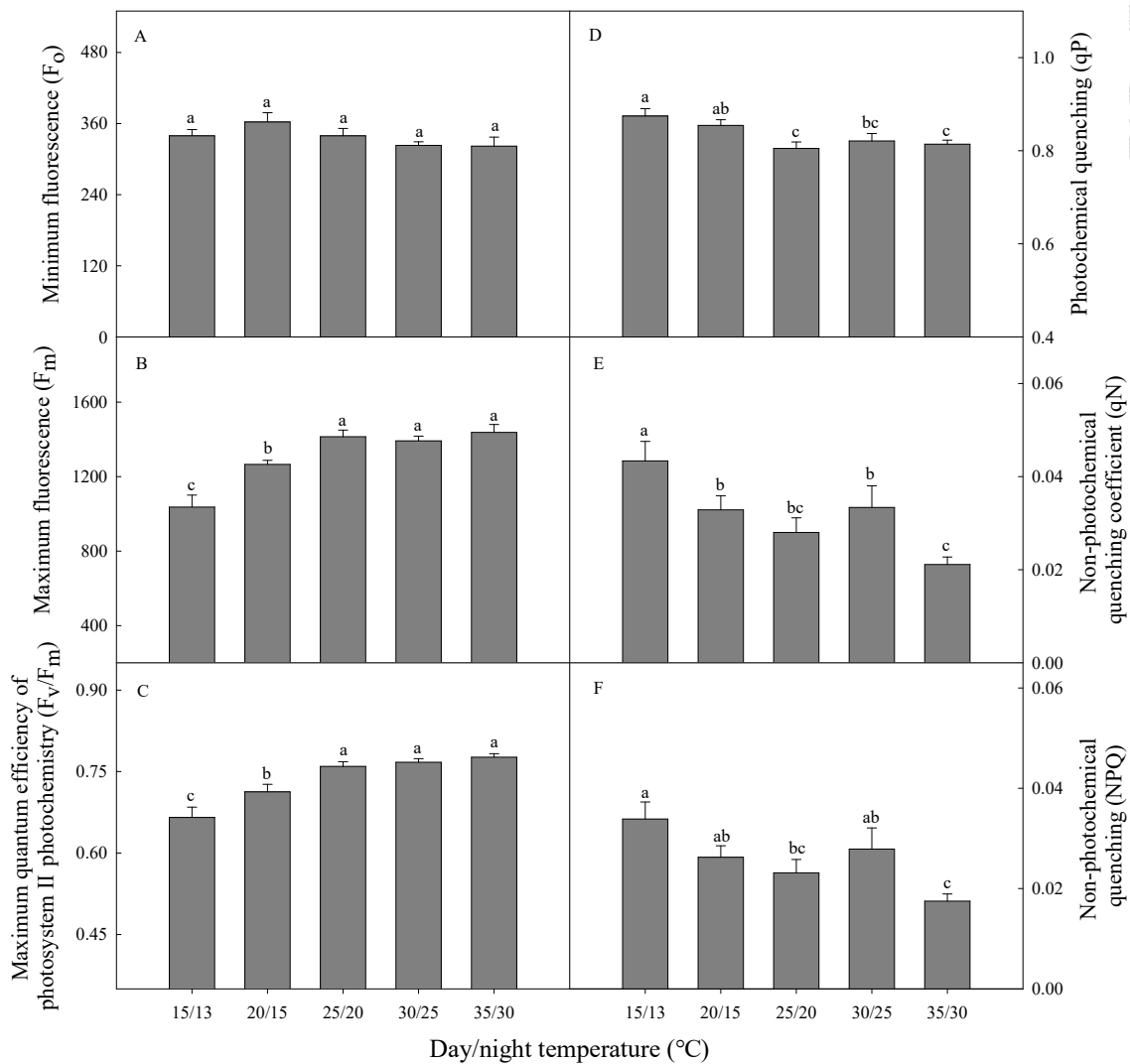


圖 10. 溫度對非洲芙蓉葉綠素螢光參數之影響

Fig. 10. Effects of temperature on chlorophyll fluorescence parameters in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. (A), minimum fluorescence F_0 , (B), maximum fluorescence F_m , (C), maximum quantum efficiency of photosystem II photochemistry F_v/F_m , where $F_v = F_m - F_0$, (D), photochemical quenching qP , (E), non-photochemical quenching coefficient qN , and (F), non-photochemical quenching NPQ . Bars indicate standard error of the means. Mean separation by LSD at $P < 0.05$ ($n = 8$). (Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)

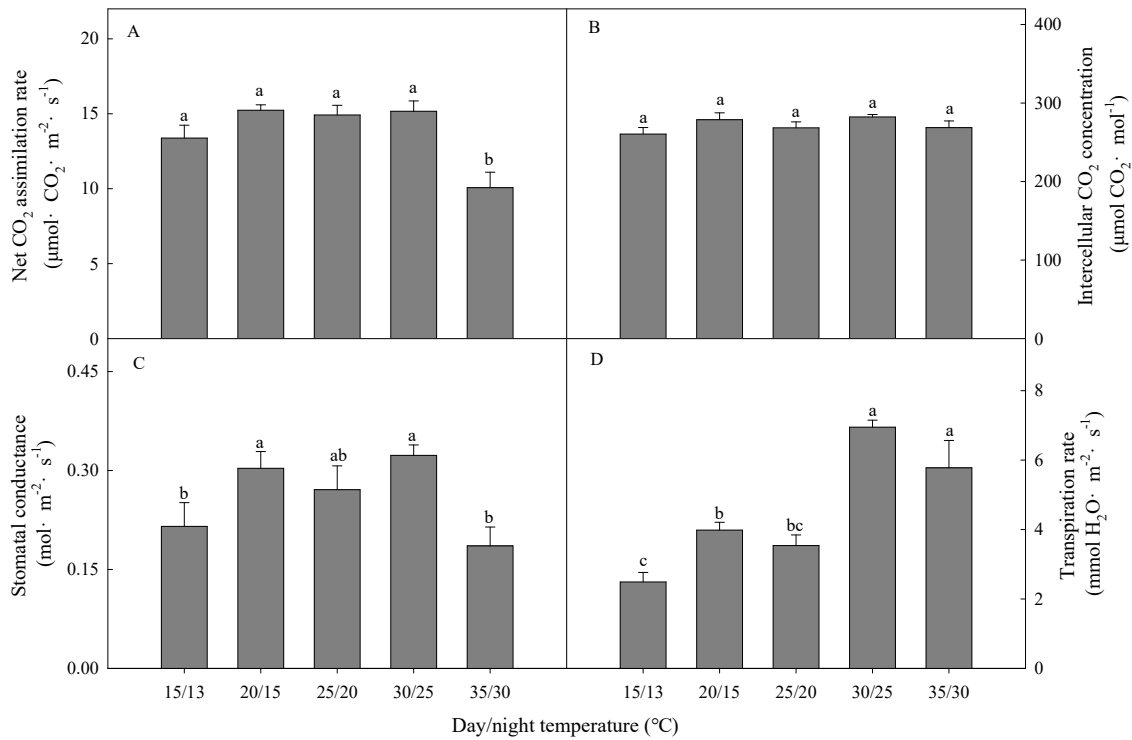


圖 11. 溫度對非洲芙蓉光合作用參數之影響

Fig. 11. Effects of temperature on photosynthesis parameters in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. (A), net CO₂ assimilation rate P_n, (B), intercellular CO₂ concentration C_i, (C), stomatal conductance g_s, and (D), transpiration rate T_r. Bars indicate standard error of the means. Mean separation by LSD at P < 0.05 (n = 8). (Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)

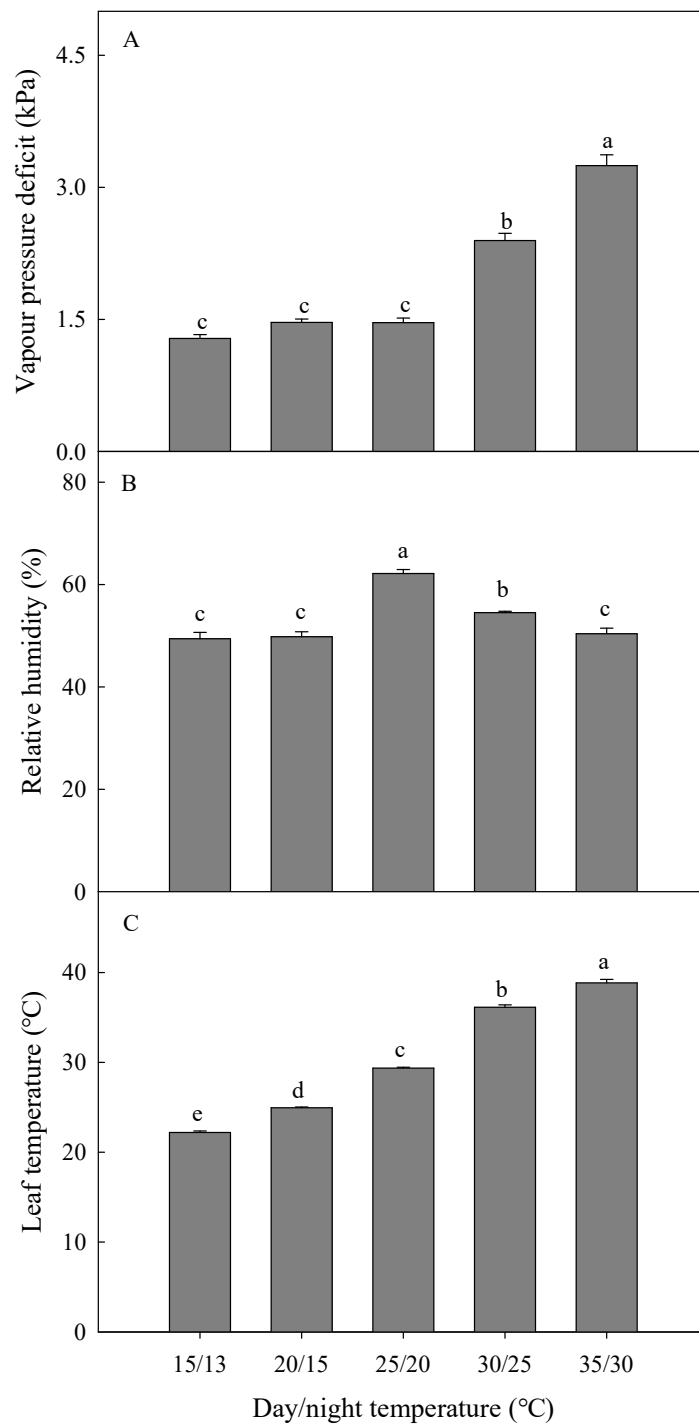


圖 12. 溫度對非洲芙蓉蒸氣壓差、相對濕度、葉片溫度之影響

Fig. 12. Effects of temperature on (A) vapour pressure deficit, (B) relative humidity, and (C) leaf temperature in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Bars indicate standard error of the means. Mean separation by LSD at $P < 0.05$ ($n = 8$). (Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)



圖 13. 溫度處理 182 天對非洲芙蓉開花表現之影響

Fig. 13. Effect of temperature on flowering performance in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum at 182 d after treatments. Bar=20 cm.
(Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)

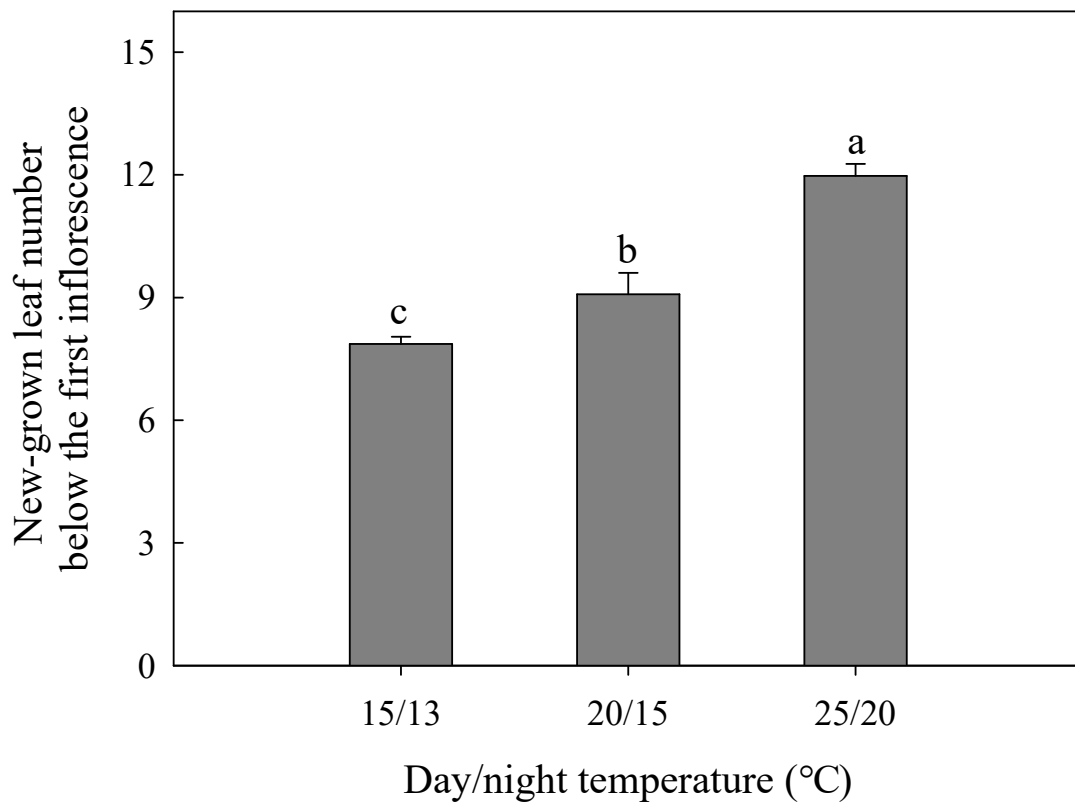


圖 14. 溫度對非洲芙蓉第一花序下葉片數之影響

Fig. 14. Effect of temperature on number of newly-grown leaves below the first inflorescence in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Mean separation within column by LSD at $P < 0.05$ ($n=8$). Plants grown at 30/25°C and 35/30°C did not produce any visible flower bud (> 2 mm) after treatments for 182 days. (Experiment duration: 1, May – 30, Oct. 2018)

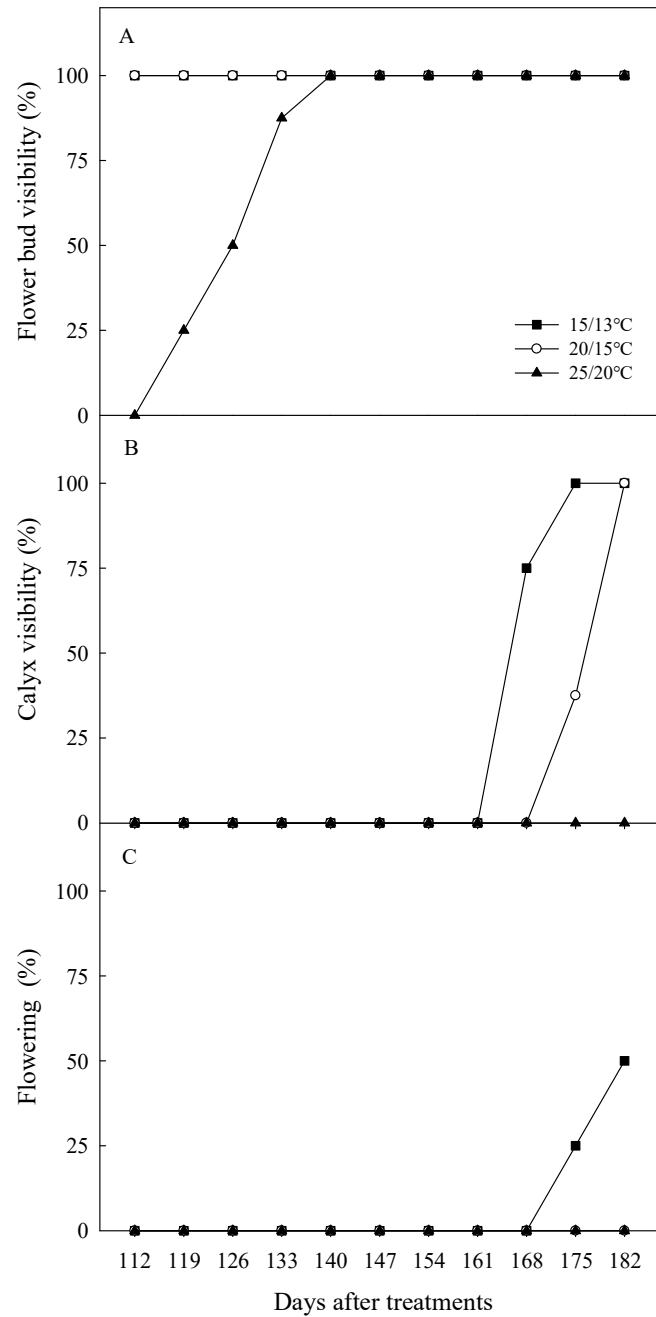


圖 15. 溫度對非洲芙蓉現蕾率、花萼顯色率及開花率之影響

Fig. 15. Effects of temperature on percentages of (A) flower bud visibility, (B) calyx visibility, and (C) flowering in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum (n=8). (Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)

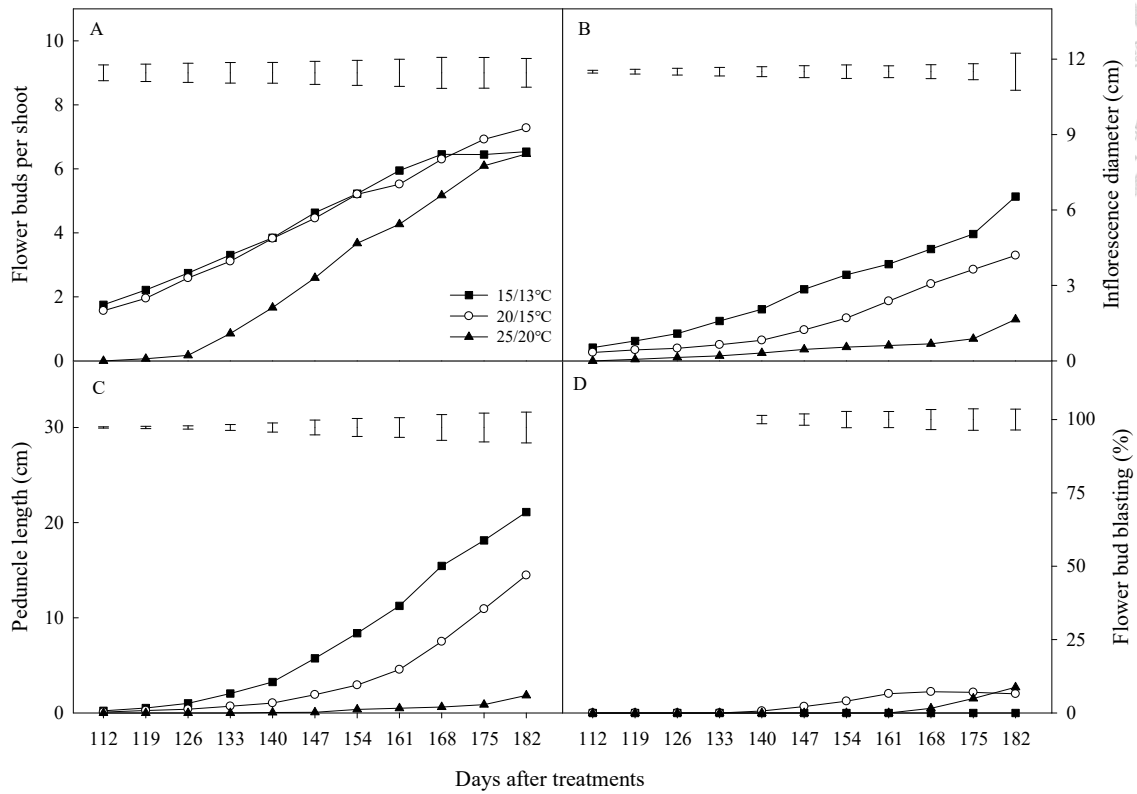


圖 16. 溫度對非洲芙蓉每枝條花芽數、花序直徑、花序梗長及花芽消蕾率之影響

Fig. 16. Effects of temperature on (A) number of flower buds per shoot, (B) inflorescence diameter, (C) peduncle length, and (D) flower bud blasting percentage in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Vertical bars represent LSD_{0.05} among temperature treatments on the same day (n=8). Percentage data were Bliss transformed prior to statistical analysis. (Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)

表 4. 移溫 49 天對非洲芙蓉花芽形成與發育之影響

Table 4. Effects of temperature shift for 49 days on flower formation and development in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. (Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)

Day/night temp. (°C)	Days to visible bud	Number of flower buds per shoot	Inflorescence diameter (cm)	Peduncle length (cm)
30/25	--- ^y	0.0 b	0.0 b	0.00 b
35/30	---	0.0 b	0.0 b	0.00 b
30/25→15/13	35.0 a ^z	1.7 a	0.6 a	0.09 a
35/30→15/13	35.0 a	1.8 a	0.5 a	0.03 b

^zMean separation within columns by LSD at $P < 0.05$ (n=4).

^y--- Plants did not produce any visible bud (> 2 mm) within 182 days.

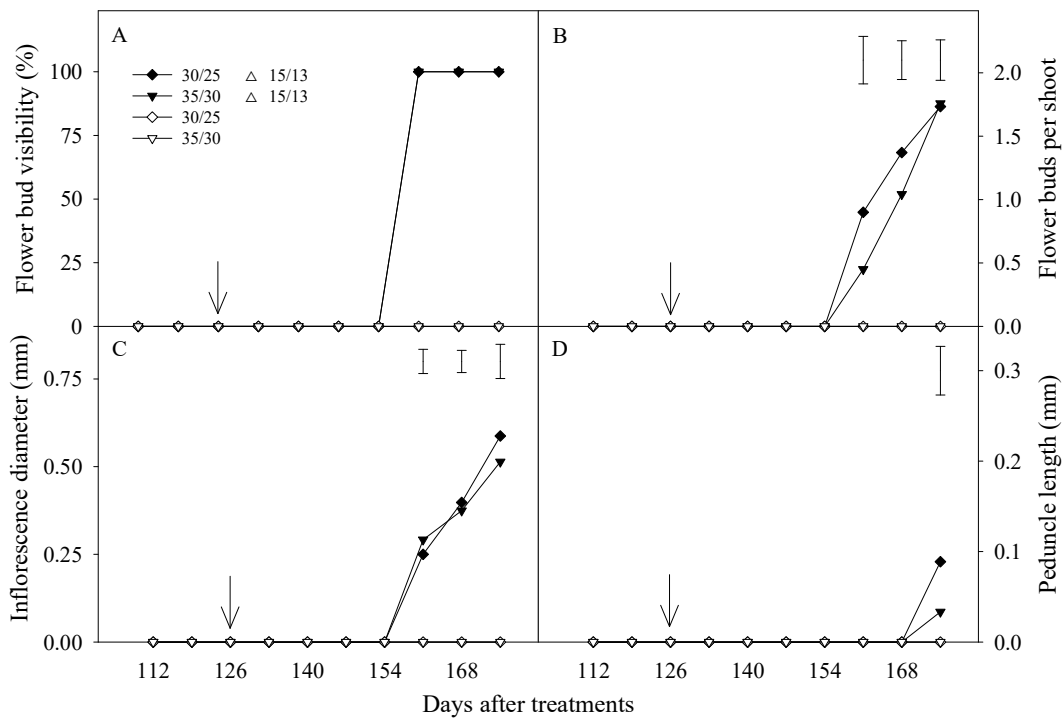


圖 17. 移溫處理對非洲芙蓉現蕾率、每枝條花芽數、花芽直徑及花序梗長之影響

Fig. 17. Effects of temperature shift on (A) percentage of flower bud visibility, (B) flower buds per shoot, (C) inflorescence diameter, and (D) peduncle length in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Arrow indicates the commencement of temperature shift. Vertical bars represent LSD_{0.05} among temperature treatments on the same day (n=4). (Experimental duration: 1, May – 30, Oct. 2018)



圖 18. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉後續開花之影響

Fig. 18. Effects of temperature on subsequent flowering in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum with 2.1 cm flower buds at 50 d after treatments. Bar = 10 cm. (Experimental duration: 5, Dec. 2018 – 23, Jan. 2019)

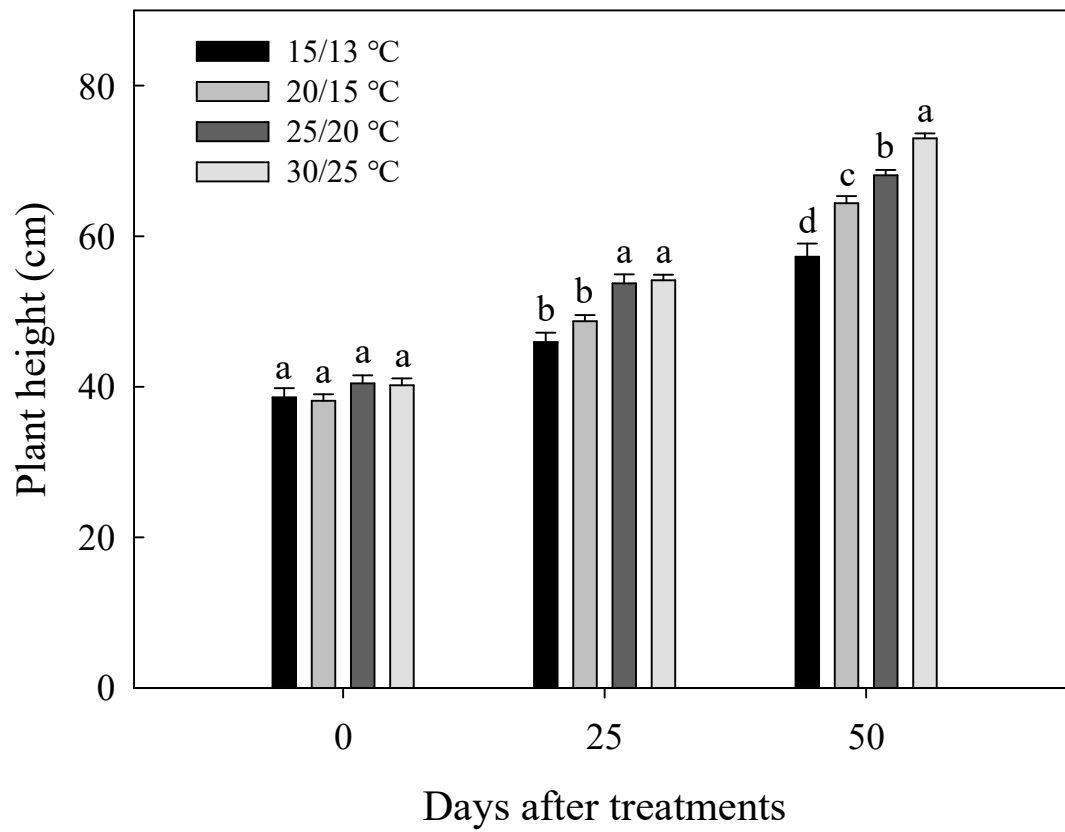


圖 19. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉株高之影響

Fig. 19. Effect of temperature on subsequent plant height in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum with 2.1 cm flower buds. Bars indicate standard error of the means. Mean separation at respective investigating date by LSD at $P < 0.05$ ($n = 10$). (Experimental duration: 5, Dec. 2018 – 23, Jan. 2019)

表 5. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉後續花芽發育之影響

Table 5. Effects of temperature on subsequent floral development in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum with 2.1 cm flower buds. (Experimental duration: 5, Dec. 2018 – 23, Jan. 2019)



Day/night temp. (°C)	Days to development		Flower bud blasting (%)
	Calyx visibility	Flowering	
15/13	32.0 a ^z	46.2 a	0 b
20/15	30.9 a	41.8 a	0 b
25/20	20.4 b	29.2 b	0 b
30/25	21.5 b	28.6 b	38.6 a

^z Mean separation within columns by LSD at $P < 0.05$. Percentage data were Bliss transformed prior to statistical analysis (n=10).

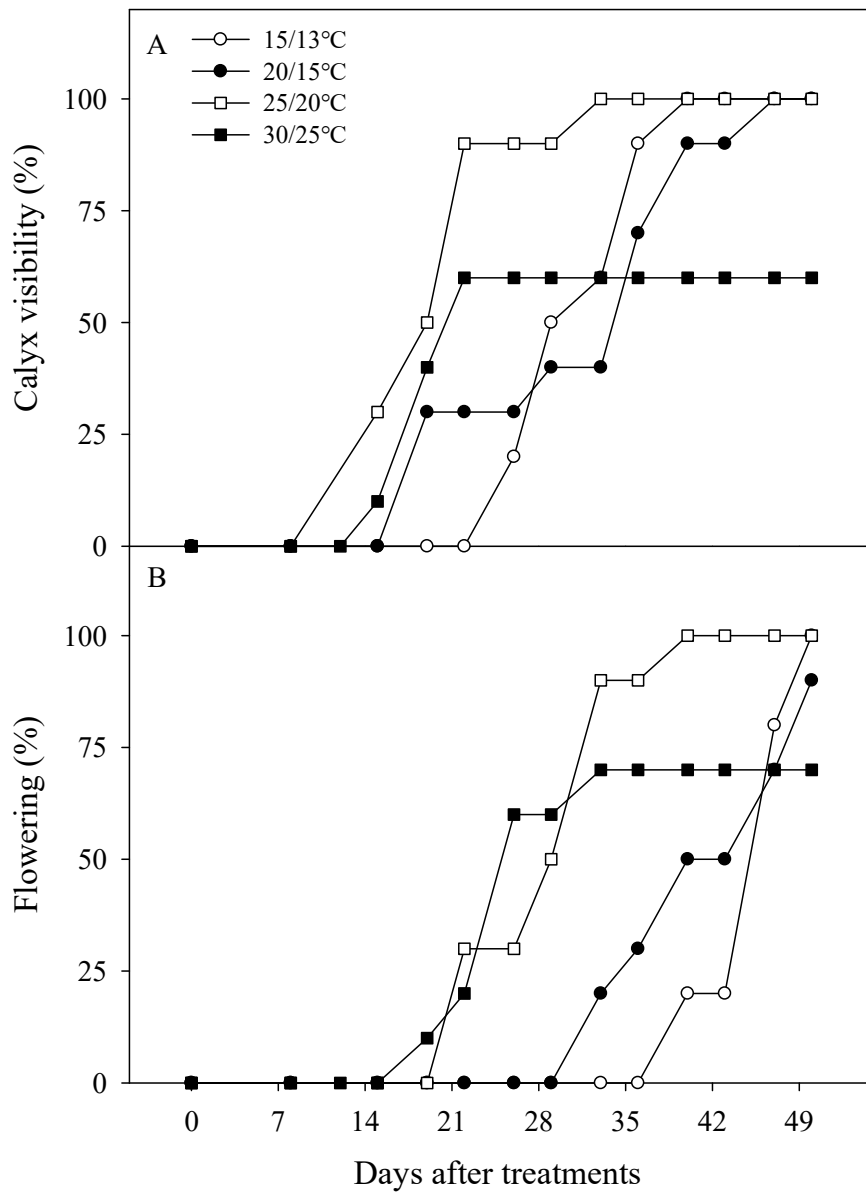


圖 20. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉花萼顯色率與開花率之影響

Fig. 20. Effects of temperature on percentages of (A) calyx visibility and (B) flowering in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum with flower buds 2.1 cm (n=10). (Experimental duration: 5, Dec. 2018 – 23, Jan. 2019)

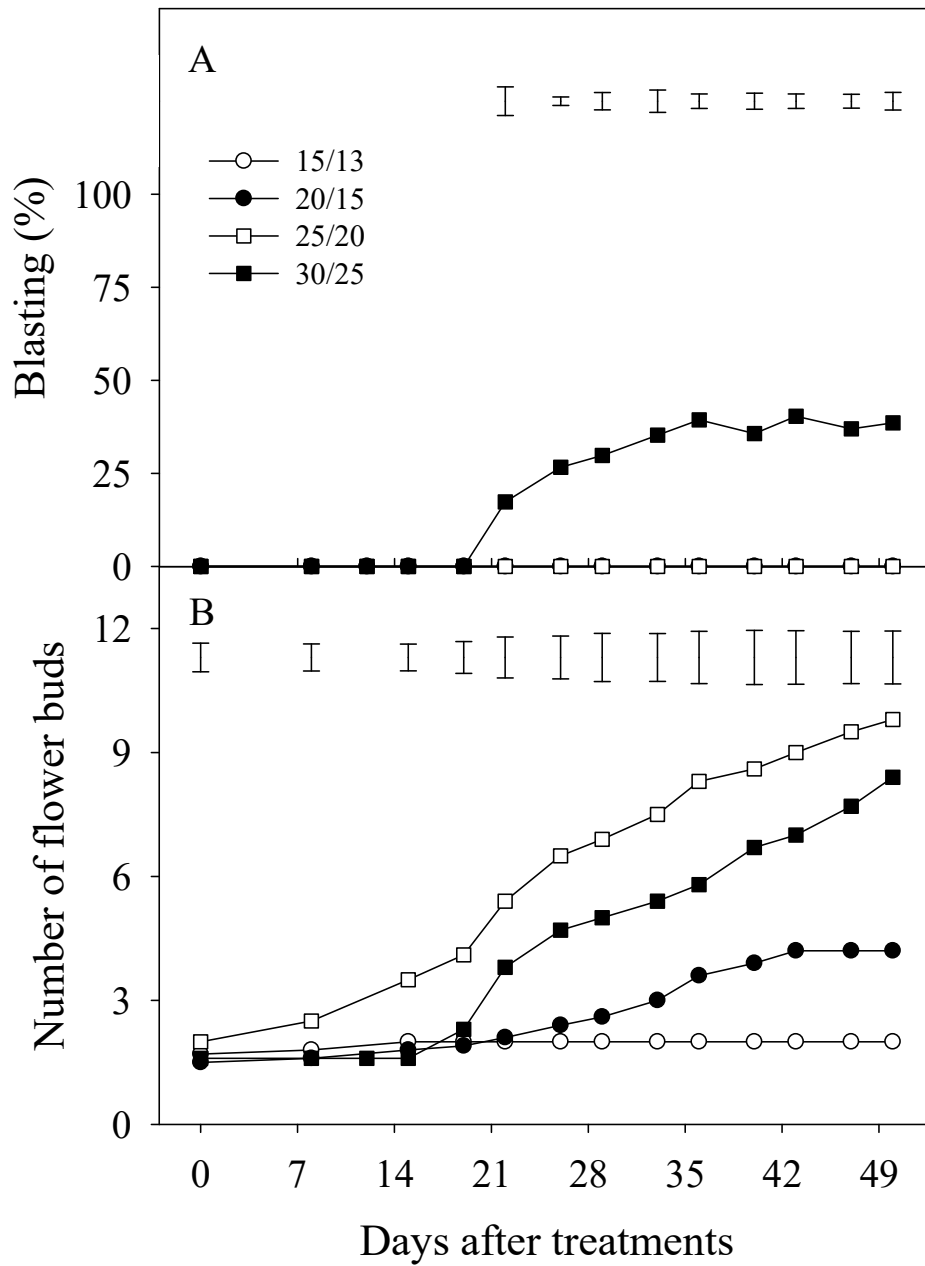


圖 21. 溫度對已形成之花芽非洲芙蓉消蕾率及花芽數之影響

Fig. 21. Effects of temperature on (A) percentage of flower bud blasting and (B) number of flower buds in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum with 2.1 cm flower buds. Vertical bars represent $LSD_{0.05}$ among temperature treatments on the same day ($n = 10$). Percentage data were Bliss transformed prior to statistical analysis. (Experimental duration: 5, Dec. 2018 – 23, Jan. 2019)

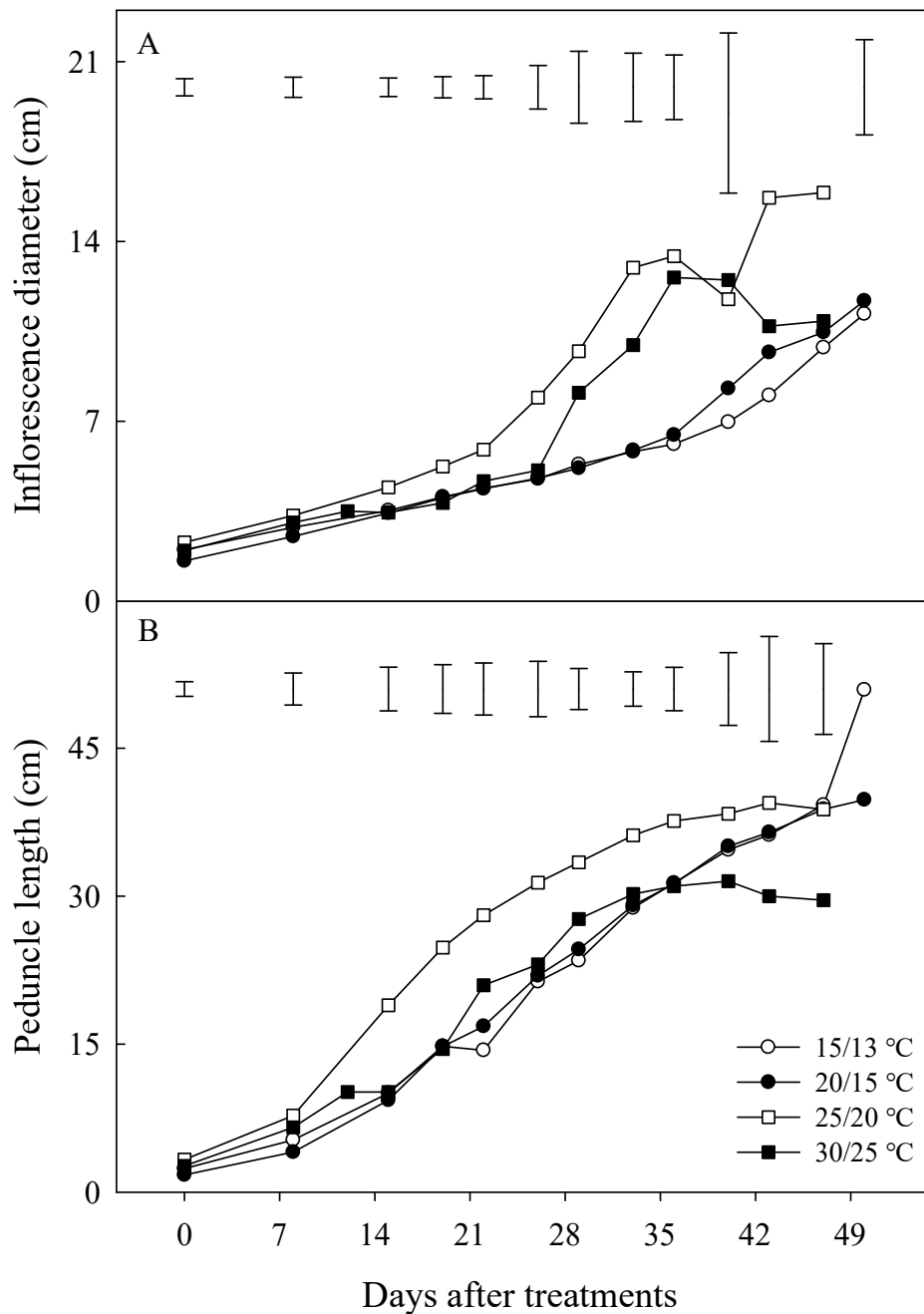


圖 22. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉後續之花序直徑與花序梗長之影響

Fig. 22. Effects of temperature on (A) inflorescence diameter and (B) peduncle length of the first inflorescence in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum with 2.1 cm flower buds. Vertical bars represent $LSD_{0.05}$ among temperature treatments on the same day (n=10). (Experimental duration: 5, Dec. 2018 – 23, Jan. 2019)

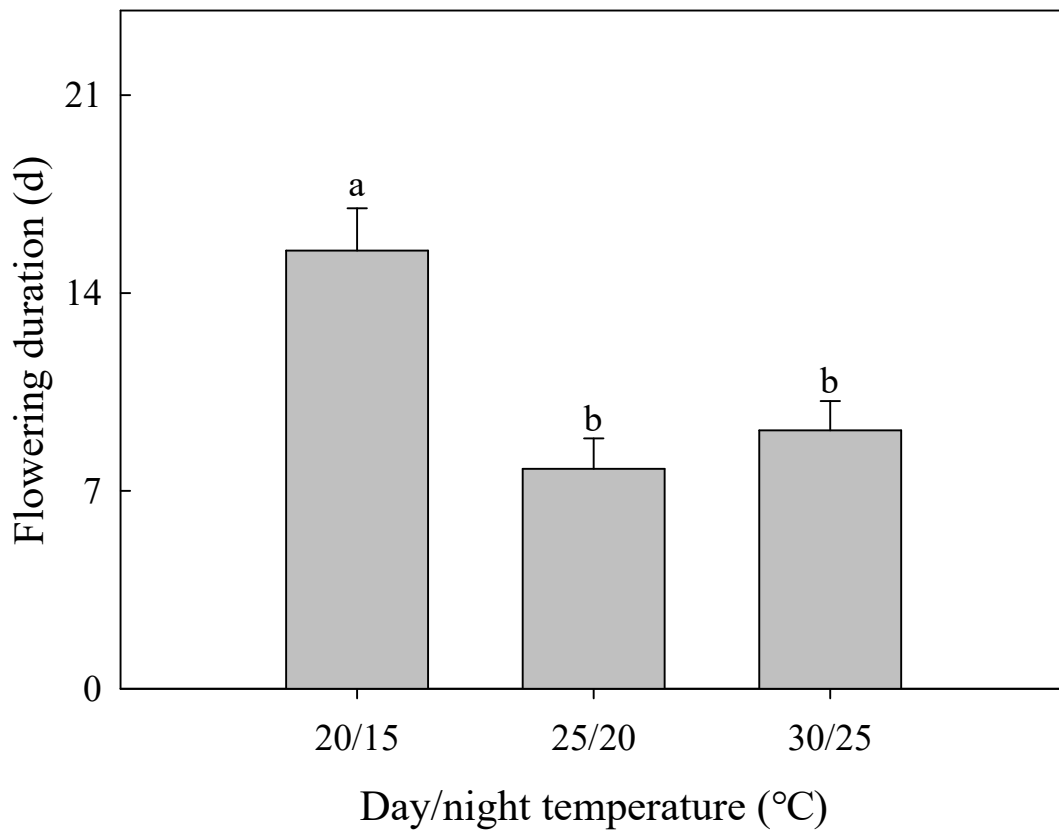


圖 23. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉花期之影響

Fig. 23. Effect of temperature on flowering duration in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum with 2.1 cm flower buds. Bars indicate standard error of the means. Mean separation by LSD at $P < 0.05$ ($n=10$). (Experimental duration: 5, Dec. 2018 – 23, Jan. 2019)

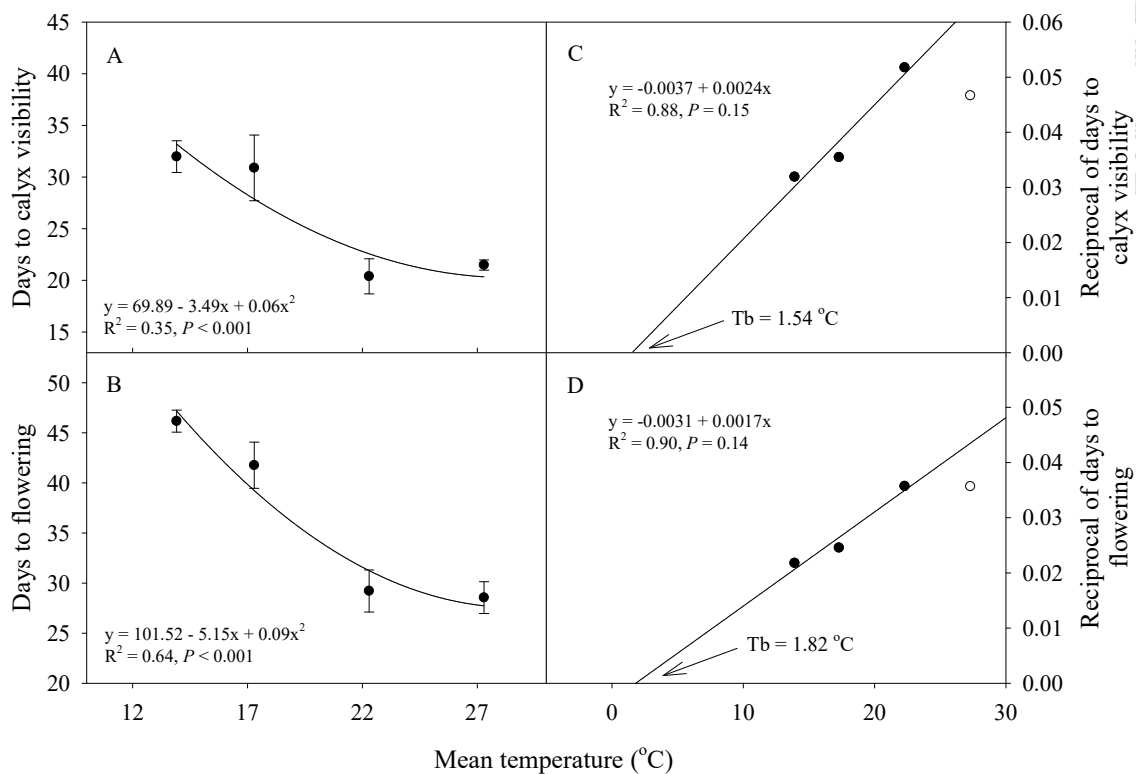


圖 24. 溫度對已形成花芽之非洲芙蓉至花萼顯色及開花日數及速率之影響

Fig. 24. Effects of temperature on time and rate of progress from treatment to calyx visibility and flowering in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum with 2.1 cm flower buds. Development rate was defined as the reciprocal of time. Inflorescence emerged from the same node position were investigated. Bars indicate standard error of the means ($n = 10$). Open circles were data not included for regression analysis. (Experimental duration: 5, Dec. 2018 – 23, Jan. 2019)

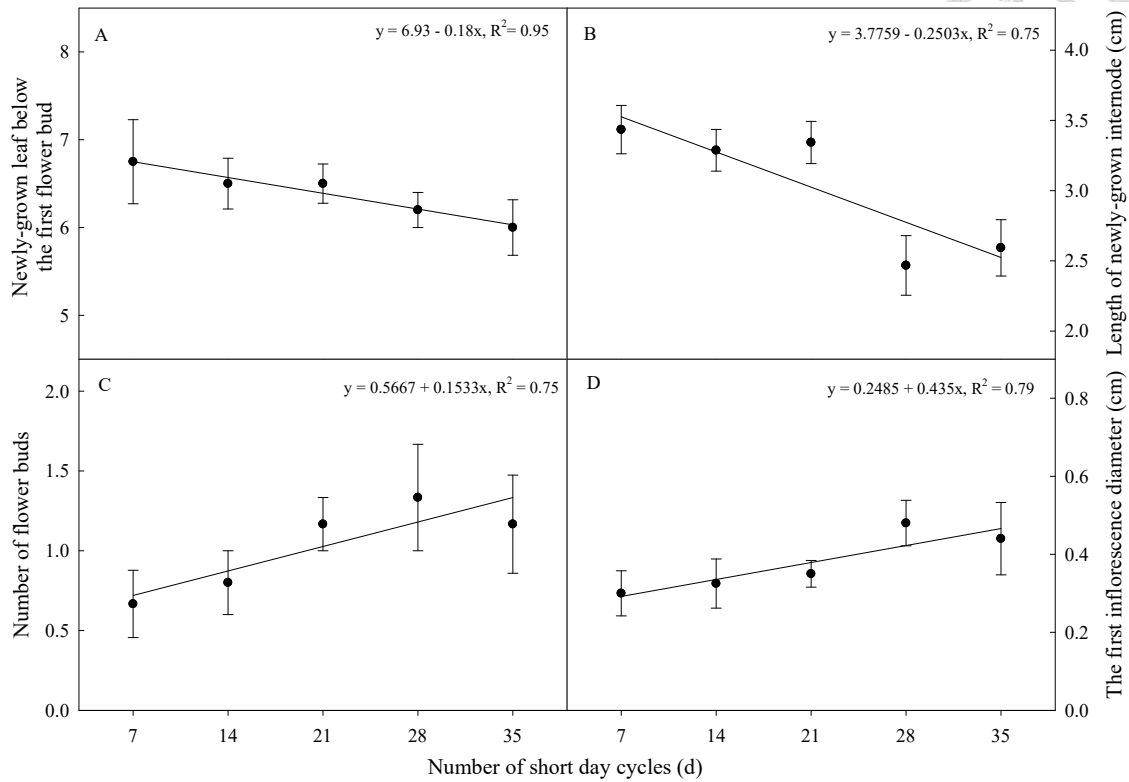


圖 25. 短日循環次數對非洲芙蓉新長之花下葉片數、新長之節間長、花芽數與第一朵花芽直徑之影響

Fig. 25. Effects of short day cycle on (A) newly-grown leaf number below the first flower bud, (B) length of newly-grown internode, (C) number of flower buds, and (D) the first inflorescence diameter of *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Bars indicate standard error of the means (n = 6). (Experimental duration: 18, Aug. – 22, Sep. 2018)

表 6. 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉萌芽率、展葉率、株高及株高增長量之影響
 Table 6. Effect of container size and pruning height on percentages of bud emergence and leaf unfolding, plant height, and plant height increment in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. (Experimental duration: 2, Nov. 2017 – 15, Jul. 2018)

Treatment		Bud emergence (%) ^z	Leaf unfolding (%)	Plant height (cm)	Plant height increment (cm)
Container size (L)	Pruning height (cm above ground)				
18	30	77.8	100.0	64.4	91.6
	60	100.0	100.0	78.9	60.3
	90	66.7	55.6	114.8	61.4
	120	77.8	88.9	130.7	30.4
32	30	100.0	100.0	66.7	107.6
	60	66.7	88.9	86.4	79.2
	90	66.7	88.9	103.3	67.2
	120	88.9	88.9	133.4	46.2
47	30	100.0	100.0	79.2	132.9
	60	100.0	100.0	85.0	94.7
	90	100.0	100.0	113.3	81.3
	120	100.0	100.0	141.8	72.6
	LSD _{0.05}	43.0	31.1	11.8	14.5

Container size (L)	18	80.6	86.1	97.2	60.9
	32	80.6	91.7	97.5	75.1
	47	100.0	100.0	104.8	95.4
	LSD _{0.05}	21.5	15.5	5.9	7.3
Pruning height (cm)	30	92.6	100.0	70.1	110.7
	60	88.9	96.3	83.4	78.1
	90	77.8	81.5	110.5	70.0
	120	88.9	92.6	135.3	49.7
	LSD _{0.05}	24.8	18.0	6.8	8.4
ANOVA					
Container size		NS	NS	*	**
Pruning height		NS	NS	L***Q***	L***
Interaction		NS	NS	NS	NS

NS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.05, 0.01$ or 0.001 , respectively ($n = 3$); linear = L, quadratic = Q. Percentage data were Bliss transformed prior to statistical analysis.

^z Percentages of bud emergence (> 2 mm) and leaf unfolding were recorded at 30 and 60 days after start of treatments, respectively. Plant height and plant height increment were measured at 150 and 210 days after start of treatments, respectively.

表 7. 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉側枝數、側枝長度及側枝葉片數之影響

Table 7. Effect of container size and pruning height on number of shoots, shoot length, and number of leaves per shoot in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. (Experimental duration: 2, Nov. 2017 – 15, Jul. 2018)

Treatment		No. of shoots ^z	Shoot length (cm)	Leaf no. per shoot
Container size (L)	Pruning height (cm above ground)			
18	30	4.8	109.5	22.2
	60	7.2	90.8	14.1
	90	11.2	82.2	10.5
	120	10.5	61.6	7.9
32	30	7.0	126.4	20.1
	60	7.7	101.5	21.9
	90	10.8	96.1	16.2
	120	11.2	92.5	14.8
47	30	6.0	158.3	31.1
	60	8.7	126.1	25.7
	90	10.7	114.2	17.7
	120	13.3	103.8	13.1
	LSD _{0.05}	2.4	18.1	5.9

Container size (L)	18	8.4	86.0	13.7
	32	9.2	104.1	18.3
	47	9.7	125.6	21.9
	LSD _{0.05}	1.2	9.1	3.0
Pruning height (cm)	30	5.9	131.4	24.5
	60	7.8	106.1	20.6
	90	10.9	97.5	14.8
	120	11.7	85.9	11.9
	LSD _{0.05}	1.4	10.5	3.4
ANOVA				
Container size		NS	***	**
Pruning height		L***	L***	L***
Interaction		NS	NS	NS

NS, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.01$ or 0.001 , respectively ($n = 3$); linear=L.

^z Measurements were taken after treatments for 255 days.

表 8. 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉現蕾率、帶花苞側枝數、開花率之影響

Table 8. Effect of container size and pruning height on percentage of flower bud visibility, number of shoots with flower buds, and flowering percentage in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. (Experimental duration: 2, Nov. 2017 – 15, Jul. 2018)

Treatment		Flower bud visibility (%) ^z		No. of shoots with flower buds	Flowering (%)
Container size (L)	Pruning height (cm)	60 days	120 days		
18	30	11.1	44.4	0.9	44.4
	60	0	77.8	1.4	44.4
	90	0	55.6	1.6	55.6
	120	0	77.8	2.3	55.6
32	30	0	100.0	2.7	66.7
	60	11.1	77.8	2.3	77.8
	90	0	88.9	2.7	66.7
	120	0	77.8	3.3	77.8
47	30	11.1	88.9	2.0	66.7
	60	33.3	100.0	3.4	89.0
	90	33.3	66.7	3.3	67.0
	120	33.3	100.0	4.4	77.8
	LSD _{0.05}	32.4	38.6	2.0	41.9

Container size (L)	18	2.8	63.9	1.6	50.0
	32	2.8	86.1	2.8	72.3
	47	27.8	88.9	3.3	75.1
	LSD _{0.05}	16.2	19.3	1.0	21.0
Pruning height (cm)	30	7.4	77.8	1.9	59.3
	60	14.8	85.2	2.4	70.4
	90	11.1	70.3	2.5	63.1
	120	11.1	85.2	3.4	70.4
	LSD _{0.05}	18.7	22.2	1.1	24.2
ANOVA					
Container size		**	*	**	*
Pruning height		NS	NS	L*	NS
Interaction		NS	NS	NS	NS

NS, *, ** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$ or 0.01 , respectively ($n = 3$); linear = L.

Percentage data were Bliss transformed prior to statistical analysis.

^z Percentage of flower bud visibility (> 2 mm) were recorded at 60 and 120 days after start of treatments, respectively. Number of shoots with flower buds and flowering percentage were measured at 120 and 183 days after start of treatments, respectively.

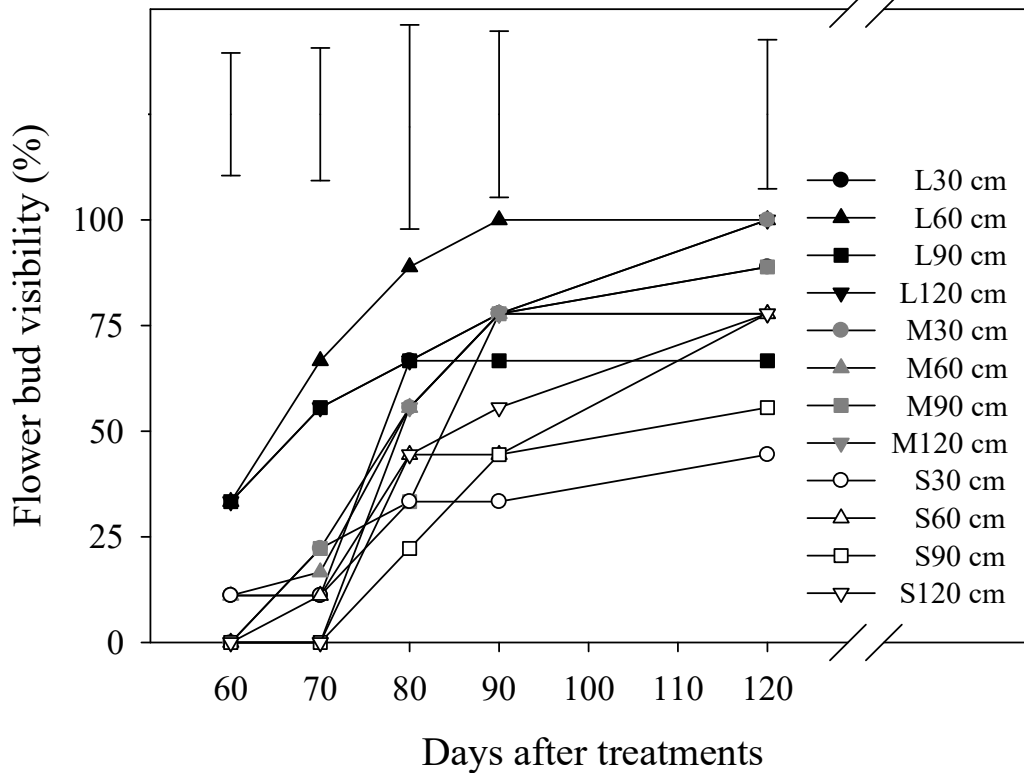


圖 26. 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉現蕾率之影響

Fig. 26. Effect of container size and pruning height on percentage of flower bud visibility in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Vertical bars represent $LSD_{0.05}$ among treatments on the same day ($n = 3$). L = large container size (47 L), M = medium container size (32 L), S = small container size (18 L). Buds larger than 2 mm were counted. Percentage data were Bliss transformed prior to statistical analysis. (Experimental duration: 2, Nov. 2017 – 15, Jul. 2018)

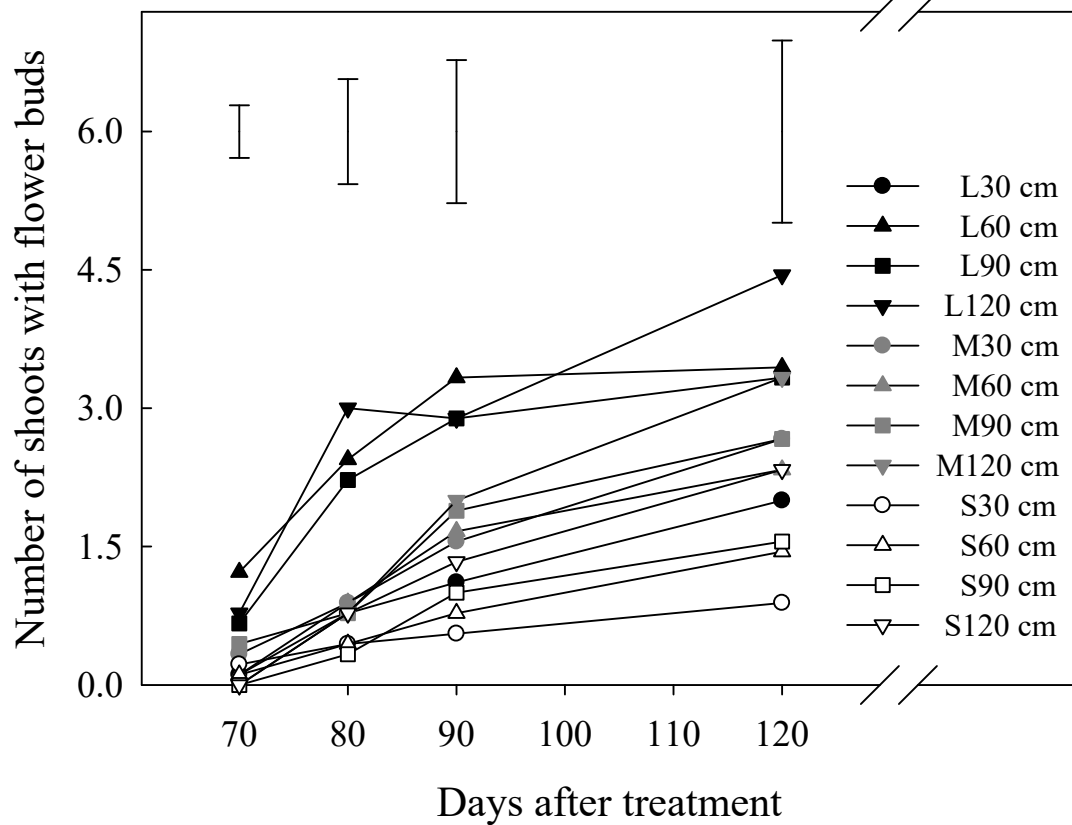


圖 27. 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉帶花芽側枝數之影響

Fig. 27. Effect of container size and pruning height on number of shoots with flower buds in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Vertical bars represent LSD_{0.05} among treatments on the same day (n = 3). L = large container size (47 L), M = medium container size (32 L), S = small container size (18 L). Buds larger than 2 mm were counted. (Experimental duration: 2, Nov. 2017 – 15, Jul. 2018)

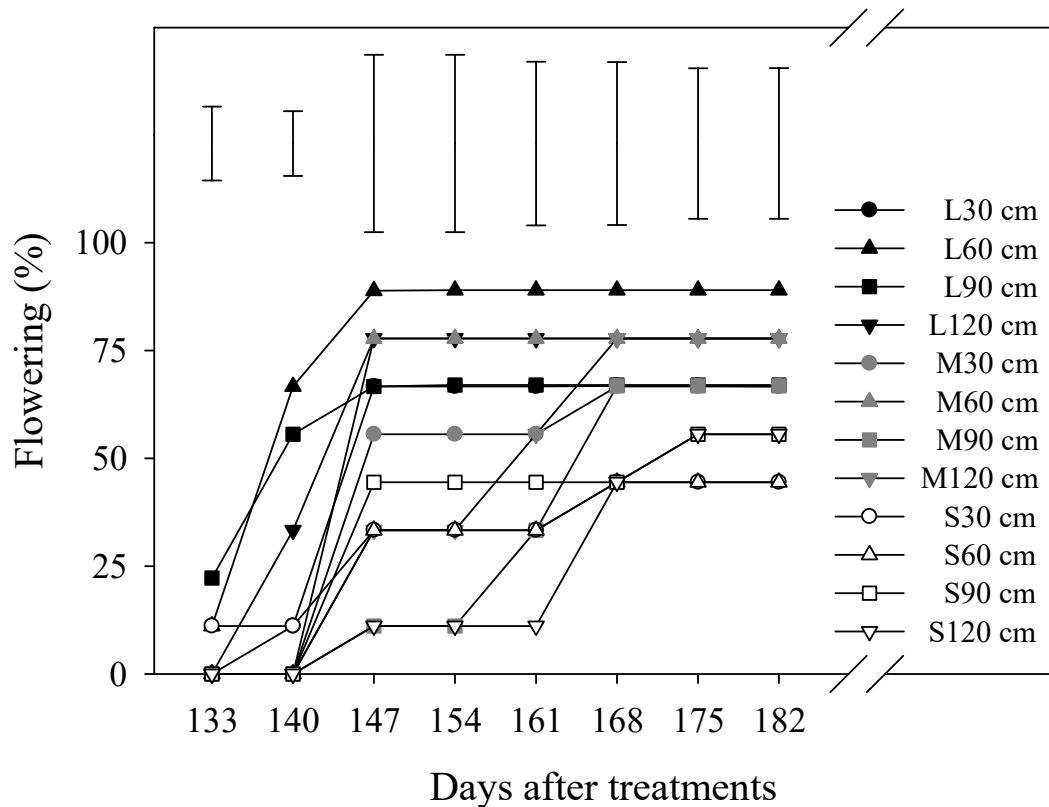


圖 28. 容器大小與修剪高度對非洲芙蓉開花率之影響

Fig. 28. Effect of container size and pruning height on flowering rate in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Vertical bars represent $LSD_{0.05}$ among treatments on the same day ($n = 3$). L = large container size (47 L), M = medium container size (32 L), S = small container size (18 L). Percentage data were Bliss transformed prior to statistical analysis. (Experimental duration: 2, Nov. 2017 – 15, Jul. 2018)

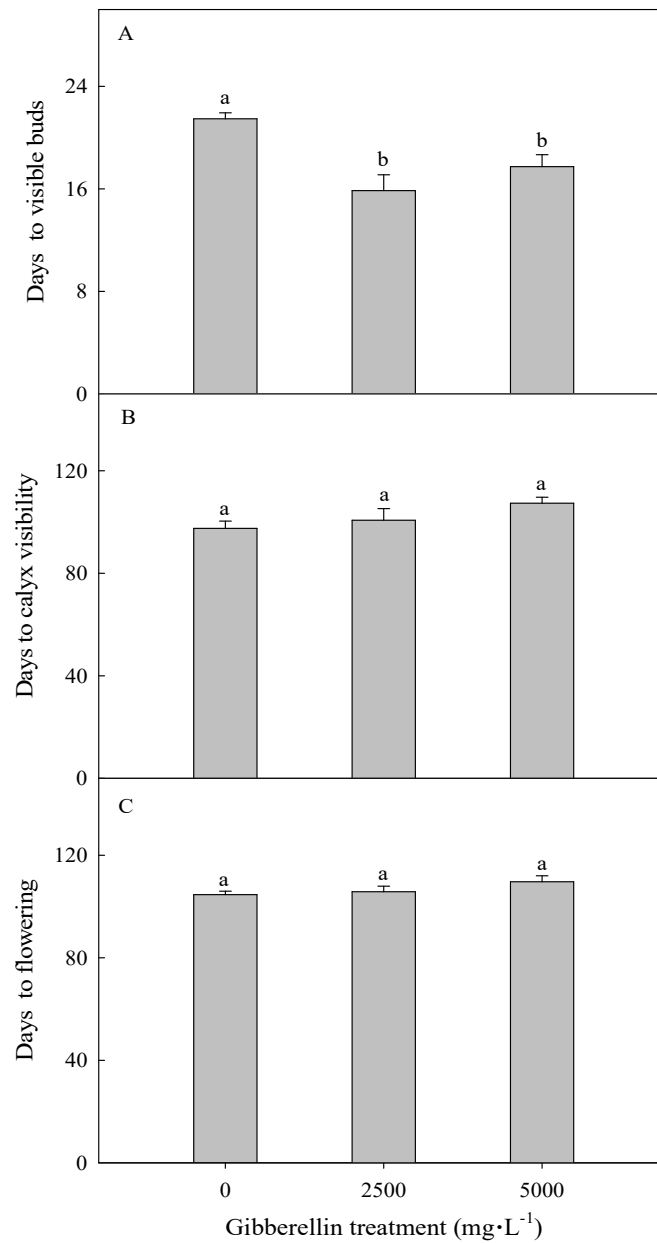


圖 29. 噴施 GA₃ 對非洲芙蓉現蕾天數、花萼顯色天數及開花天數之影響

Fig. 29. Effects of GA₃ on days to (A) visible buds, (B) calyx visibility, and (C) flowering in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Bars indicate standard error of the means. Mean separation within columns by LSD at $P < 0.05$ ($n = 3$). (Experimental duration: 5, Oct. 2018 – 25, Jan. 2019)

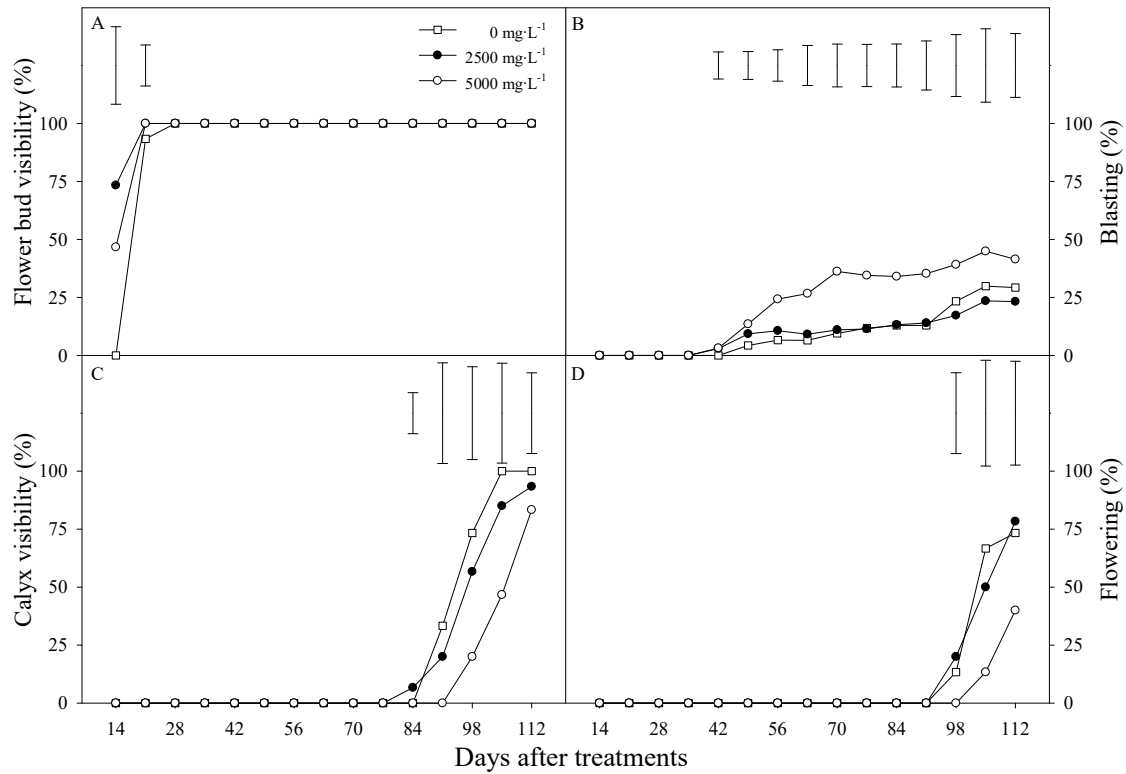


圖 30. 噴施 GA₃ 對非洲芙蓉現蕾率、消蕾率、花萼顯色率及開花率之影響

Fig. 30. Effects of GA₃ on percentages of (A) flower bud visibility (B) blasting buds, (C) calyx visibility, and (D) flowering in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Vertical bars represent LSD_{0.05} among treatments on the same day (n=3). Percentage data were Bliss transformed prior to statistical analysis. (Experimental duration: 5, Oct. 2018 – 25, Jan. 2019)

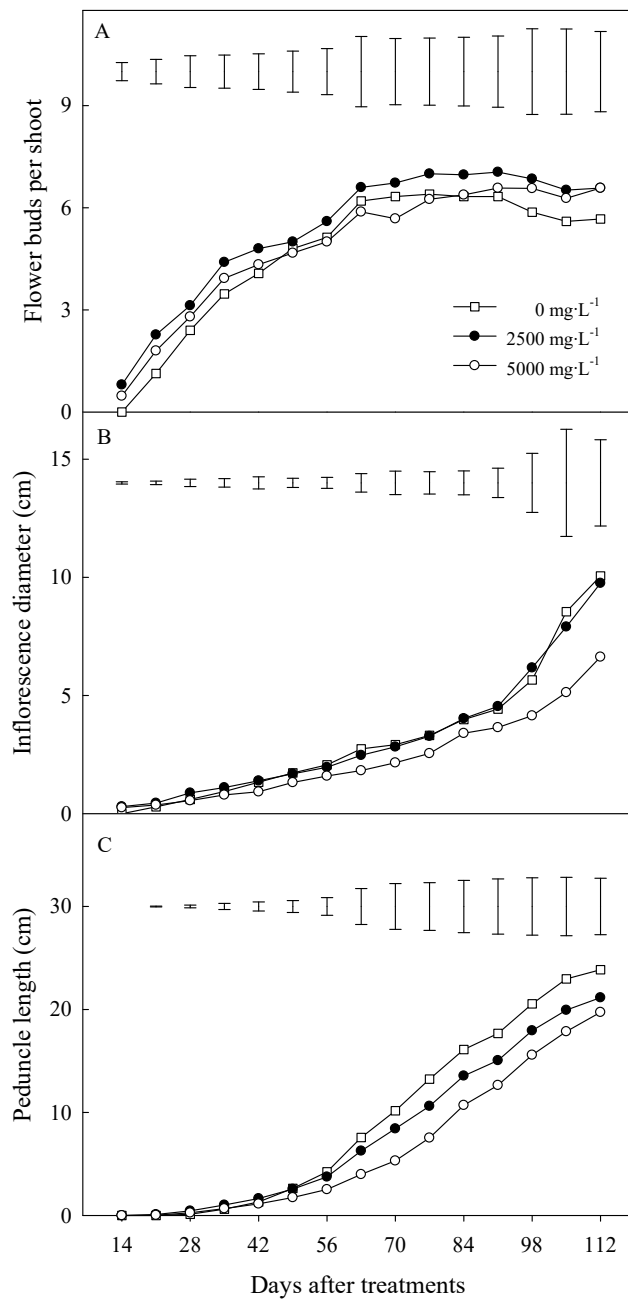


圖 31. 噴施 GA₃ 對非洲芙蓉每枝條花芽數、花序直徑及花序梗長之影響

Fig. 31. Effects of GA₃ on (A) number of flower buds per shoot, (B) inflorescence diameter, and (C) peduncle length in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. Vertical bars represent LSD_{0.05} among treatments on the same day (n=3). (Experimental duration: 5, Oct. 2018 – 25, Jan. 2019)

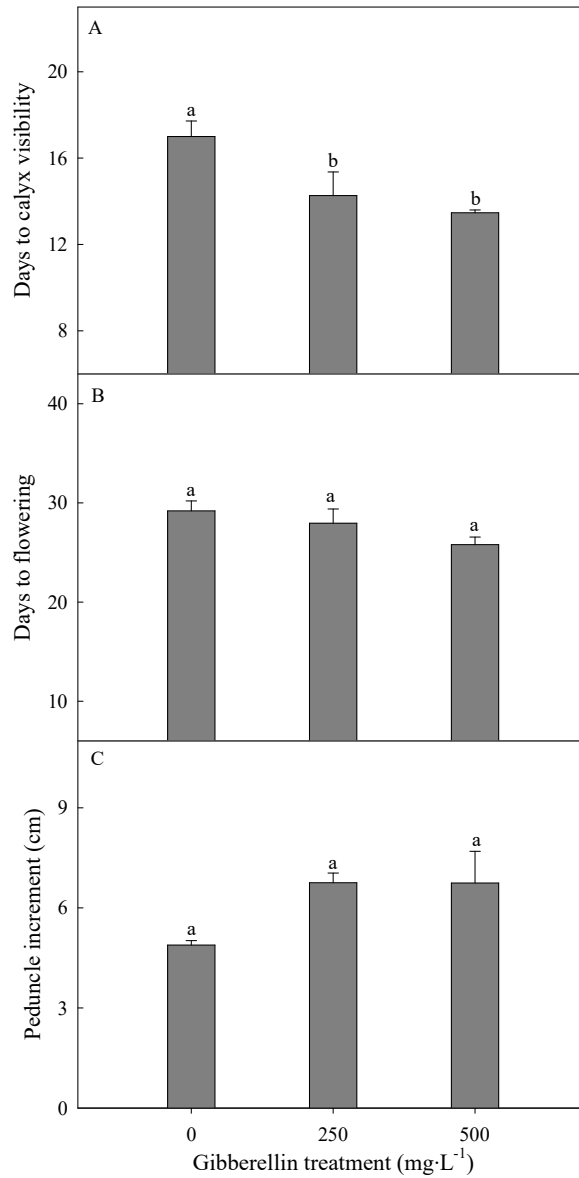
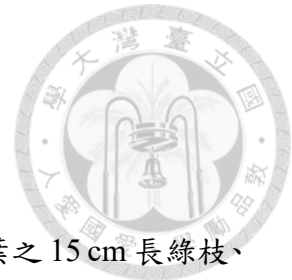


圖 32. 噴施 GA₃ 對已形成花芽非洲芙蓉之花萼顯色天數、開花天數及花序梗增長量之影響

Fig. 32. Effects of GA₃ on (A) days to calyx visibility, (B) days to flowering, and (C) peduncle increment in *Dombeya wallichii* (Lindl) K. Schum. GA₃ at 2500 mg·L⁻¹ and 5000 mg·L⁻¹ as sprayed to flower buds of 4.4±0.1 cm diameter with peduncle of 12.1±0.3 cm. Bars indicate standard error of the means. Mean separation within columns by LSD at $P < 0.05$ (n=3). (Experimental duration: 1, Jan. – 10, Feb. 2018)

討論 (Discussion)



試驗一、插穗型式對非洲芙蓉扦插繁殖之影響

於11月初以帶可見花芽的非洲芙蓉一年生枝條，剪成不帶葉之15 cm長綠枝、半硬枝、硬枝插穗扦插。另取尚無可見花芽的一年生枝條製成15 cm長之綠枝、半硬枝、硬枝插穗扦插，其中綠枝插穗帶兩片葉。結果顯示非洲芙蓉適合以帶有頂芽及葉片之綠枝插穗進行繁殖(表1)，同屬植物亦以綠枝扦插較易發根(Soderholm, 1967; Hailemichael, 2001)。「橙紅」扶桑亦是綠枝插穗發根優於硬枝插穗(賴，2004)。玫瑰‘Natal Briar’與‘Rosa Progress’也是以頂端插穗發根率比中部與下部插穗更高(Otiende et al., 2017)。

非洲芙蓉未帶葉之插穗均無法發根，而帶葉片之綠枝插穗可發根(表1)，可見葉片對於非洲芙蓉扦插發根具有重要作用。保持插穗具有一定數量的葉片往往有利於插穗發根，帶有葉及葉芽的插穗比去掉葉以及葉芽的插穗發根率高，這與其能夠進行光合作用、促進生理代謝和物質轉化、提供生長素積累在插穗基部有關(李等，2014；郭，1997；賈等，2015)。Okoro與Grace(1976)指出歐洲山楊(*Populus tremula* L.)無葉片的硬枝插穗中，碳水化合物含量一開始很高(14%-19%)，發根、出現癒傷組織、地上部生長後，碳水化合物含量快速下降至5%-10%，帶葉片的綠枝插穗會穩定地累積碳水化合物，碳水化合物含量從5%-10%升至發根時的15%-25%。容易發根的*Populus ×euramericana*的綠枝插穗有明顯的同化物向下運輸(Okoro and Grace, 1976)。可見葉片能進行光合作用，為根系提供生長發育所需的養分和生長激素，促進癒合發根(李，2015; Jackson, 1986)。非洲芙蓉半硬枝插穗及硬枝插穗在扦插期間長出葉片，但仍無法發根(圖2、3)，推測是側芽芽體成為積貯(sink)，使插穗基部發根處無法獲得養分而發根(賴，2004)。

非洲芙蓉帶葉綠枝插穗發根效果優於半硬枝插穗及硬枝插穗(表1)，除葉片影響外，可能與枝條部位的根原基數量和儲藏的營養含量相關(賈等，2015)。Otiende等(2017)研究表明玫瑰砧木‘Natal Briar’與‘Rosa Progress’帶葉片頂端插穗之發根數、總根長、存活率相較於同樣帶葉片的中部與下部插穗顯著增加。相較於下部插穗，頂梢插穗有更高的鋅、氮、蔗糖和總醣類含量。這種topophytic effect的原因之一是因為頂梢有更高的可溶性醣類含量。

非洲芙蓉綠半硬枝插穗及硬枝插穗發根困難(圖 2、3)，可能與枝條成熟度相關(Hansen, 1989)。多數研究認為木本植物的綠枝扦插存活率高於硬枝扦插，因綠枝插穗細胞更幼嫩，分裂能力較強(賈等，2015；楊和騰，2009)，且木本植物的幼年組織(juvenile tissues)有較多內源生長素，更易於發根(Asl et al., 2012)。非洲芙蓉半硬枝及硬枝插穗木質化程度高於綠枝插穗，組織或許已老化，導致發根緩慢，與多年生草本柳穿魚(*Linaria vulgaris* Mill.)結果相似(孫，2010)。

綜上所述，非洲芙蓉帶葉綠枝插穗發根效果優於半硬枝插穗及硬枝插穗，推測原因包括(1)插穗上的葉片可為根系提供碳水化合物，促進癒合發根(賈等，2015；李，2015；Okoro and Grace, 1976)。(2)綠枝插穗的頂芽及葉片中含有更多的內源生長素或發根促進物質，以及可溶性醣類，有利於發根(Asl et al., 2012; Hartmann et al., 2011; Otiende et al., 2017)。(3)綠枝插穗的組織幼嫩，細胞分裂能力強，代謝旺盛，細胞壁木質化程度更低，可以吸收更多的生長素、水分、營養用於生長發育(賈等，2015; Otiende et al., 2017)。

扦插介質、溫度、發根劑也會影響扦插繁殖成功率(Hartmann et al., 2011)。試驗期間扦插床的溫度較低(19-22°C)可能影響發根，致使插穗發根率較低(表 1)。此外，本研究曾於 2017 年 11 月以 100-300 mg·L⁻¹ 的生長素(IBA 或 NAA)粉劑處理不帶葉片之非洲芙蓉插穗，促進發根效果不佳，可能是因對於木本植物而言，所使用的生長素濃度過低(Asl et al., 2012; Fathi et al., 2017)。

試驗二、帶葉綠枝插穗長度對非洲芙蓉扦插繁殖之影響

於 11 月初選取非洲芙蓉一年生枝條之綠枝部位，從枝條頂梢往下測量分別剪取 5、10、15 及 20 cm 的帶兩片葉插穗扦插。結果顯示非洲芙蓉綠枝插穗繁殖時，插穗不宜太短，保留較長莖段有助增加插穗發根數，以 10-20 cm 之綠枝插穗有較佳之發根(圖 4)，同屬植物 *D. torrida* 亦以 10 cm 綠枝插穗有較好發根效果(Hailemichael, 2001)。Soderholm (1967)亦指出以 10-15 cm 頂梢插穗適合繁殖非洲芙蓉屬植物。昆明山海棠亦以 10 cm 為最經濟的插穗長度(余等，2011)。挪威雲杉 [*Picea abies*(L.) Karst.] 發根最佳的插穗長度為 9-12 cm (OuYang et al., 2015)。

非洲芙蓉 5 cm 帶葉頂芽綠枝插穗扦插發根效果較差(表 2)，鵝掌藤與寬葉薰衣草之短綠枝插穗發根亦較差(梁和常，2016；Hansen, 1986)；但與‘橙紅’扶桑 5-6

cm 頂芽插穗發根優於 10-12 cm 插穗不同(賴, 2004)。賴(2004)認為長穗較靠近基部, 發根處的細胞已偏木質化, 造成內含抑制發根物質多而不利於插穗發根。而非洲芙蓉為大型灌木或小喬木, 生長快速, 枝條較長, 因此 20 cm 之綠枝插穗仍未偏木質化。

扦插處理 56 天時非洲芙蓉 5 cm 綠枝插穗發根率及發根數顯著最低(表 2), 發根少且短(圖 4), 而 10、15 及 20 cm 之綠枝插穗發根狀況良好(圖 4B)。表明插穗過短會影響發根, 非洲芙蓉短插穗之發根效果差可能是因短插穗的根原基數量、內源生長素、水分、養分、和發根輔助因子(rooting co-factors)比較少, 致使枝條存活發根困難(賈等, 2015; 陳, 2016; Hartmann et al., 2011; Palanisamy and Kumar, 1997)。長度 10 cm 以上之綠枝插穗或許有更多的碳水化合物積累在插穗基部(Hansen, 1986), 因此存活及發根效果好。

非洲芙蓉短插穗之發根不佳(表 2)可能也與發根類型有關。非洲芙蓉的扦插發根屬於比較常見的混合發根型, 包含了皮部發根又具有癒傷組織發根(圖 5)。5 cm 插穗雖有不定根直接從皮部生出(圖 5B), 但在試驗中觀察到僅有 5 cm 插穗出現基部全為癒傷組織的情形(圖 5A)。李等(2014)表明有些樹種的癒傷組織並不能確保根原基的形成。癒傷組織發根類型的發根難度大, 存活率較低。老化的癒傷組織細胞分裂素含量較高, 生長素含量較低。非洲芙蓉 10 cm 及以上長度之插穗的發根常表現為下切口沒有或有較少的癒傷組織, 不定根主要從皮部生出(圖 5C), 為皮部發根型, 發根容易(李等, 2014)。

綜合發根效果及成本、操作考量, 建議選用非洲芙蓉帶兩片展開葉之 10-20 cm 頂梢綠枝插穗作為扦插繁殖材料。保留更多葉片或許能縮短發根時間。

試驗三、溫度對非洲芙蓉生長、光合作用及開花之影響

隨溫度自 15/13°C 提高至 30/25°C, 溫度越高, 非洲芙蓉營養生長越旺盛。30/25°C 處理之非洲芙蓉植株最高(圖 7), 枝條最長(圖 8), 每枝條葉片數最多(圖 9)。百香果(*Passiflora edulis* Sims) '台農一號' 於 30/25°C 處理之營養生長亦優於 25/20°C 及 20/15°C 處理, 節間更長, 生長量更高(張和鄭, 1992)。與 20/15°C 及 25/20°C 相比, 於 30/25°C 及 35/30°C 處理的矮仙丹的新枝、葉片亦較長, 節間數更多(吳和張, 1996)。

非洲芙蓉於低溫(15/13°C)處理 3 天後, 最大螢光產量(F_m)下降(圖 10B), 可能

是水解酵素活性下降，或是 PSII 電子傳送減緩所致(姚等，2002)。於 15/13°C 處理之非洲芙蓉之 PSII 最大量子效率(F_v/F_m)亦有下降(圖 10C)。PSII 最大量子效率(F_v/F_m)代表了 PSII 的原初光能轉化效率，在 15°C 處理的茶樹[*Camellia sinensis* (L.) Kuntze] 葉片之 F_v/F_m 亦有輕微下降趨勢，低溫降低了茶樹葉片的 PSII 原初光能轉化效率(孔等，2011)。闊葉歐女貞(*Phillyrea latifolia* L.) 在冬季(6.6°C)的 F_v/F_m 很低，表明 PSII 的最大光化學效率對低溫非常敏感。然而沒有伴隨著低的 P_n ，表明寒冷條件下的光抑制決定了光合性能的潛在降低而不是實際降低(Ogaya and Peñuelas, 2003)。非洲芙蓉於 15/13°C 下的反應類似，處理 3 天後 F_v/F_m 雖有下降(圖 10C)，但處理 70 天後之 P_n 與 20/15、25/20、30/25°C 處理相比無顯著下降(圖 11A)。本試驗期間的測量時間介於 5-7 月，此時光照充足，非洲芙蓉於 15/13°C 處理的 F_v/F_m 下降或許是可逆性的光保護調節，因此未實際降低 P_n 。

另外，由葉綠素螢光參數可知 35/30°C 對非洲芙蓉造成了熱脅迫。以高溫(35/30°C)處理 3 天後，非洲芙蓉的光化學猝熄(qP)下降明顯(圖 10D)，說明參與 PSII 光化學電子傳遞活性下降，迅速關閉部分反應中心以抵禦高溫傷害(吳等，2017)。當植物吸收過多光能無法用於光合作用時，熱散耗可以消耗部分能量，保護光系統 II 免受損害，非化學猝熄反映了熱散耗的能力(吳等，2017)。非洲芙蓉於 35/30°C 處理 3 天後，非光化學猝熄係數(qN)以及非光化學猝熄(NPQ)顯著最低(圖 10E, F)，說明 PSII 光反應中心受高溫逆境破壞，或是非洲芙蓉啟動熱散耗來防止光抑制需要時間(吳等，2017)。

與葉綠素螢光參數顯示結果類似，結合光合作用參數可知 35/30°C 確實對非洲芙蓉造成了熱脅迫。非洲芙蓉於 35/30°C 處理時 P_n 顯著下降(圖 11A)，但 C_i 與其他溫度處理無顯著差異(圖 11B)。光合作用的非氣孔限制的可靠依據不是 C_i 恆定不變，而是 C_i 增加(許，1997)，因此推測 35/30°C 處理下非洲芙蓉之 Rubisco 活性未受影響。35/30°C 處理之非洲芙蓉之 g_s 顯著下降(圖 11C)，故有氣孔限制，與下述作物相似。高溫可能影響植物的光合作用，吳等(2017)指出藍莓(*Vaccinium* spp.) 於 43/38°C 處理 12 天後，‘Tifblue’、‘Cooper’及‘Bluecrop’的 P_n 、 g_s 及 T_r 下降主要由氣孔限制因素引起。樟樹[*Cinnamomum camphora* (L.) J.Presl] 在 35°C 高溫脅迫後， P_n 較 25°C 低， g_s 的變化趨勢相同，且 g_s 降低限制了水分蒸發從而導致 T_r 降低(王等，2019)。與非洲芙蓉不同，毛櫟(*Quercus pubescens* L.) 的葉溫由 25°C 上升至 45°C 時，

其葉片之 C_i 逐漸增加，Rubisco 活性下降，因而葉片 P_n 降低(Haldimann and Feller, 2004)。相較於 20/15°C，匍匐性小糠草‘L-93’在 35/30°C 時單片葉的 Rubisco 活性下降， P_n 顯著下降，為非氣孔限制因素(Xu and Huang, 2001)。

熱帶與亞熱帶植物的光合作用經常受高溫所抑制(柯和金，2008)，非洲芙蓉於 35/30°C 處理時 P_n 顯著下降(圖 11A)， g_s 顯著下降(圖 11C)，但 T_r 處於高水平(圖 11D)，此時 VPD 顯著最高(圖 12A)，非洲芙蓉的 T_r 可能被高 VPD 補償(Higuchi et al., 1999)。高溫會使植物增加葉面-空氣水汽壓飽和差(vapour pressure deficit, VPD)從而引起氣孔收縮而導致氣孔關閉(姜等，2012)。VPD 增加會伴隨著 g_s 的降低，降低的程度取決於物種和個體生理(Adelman et al., 2008)。秘魯番荔枝在 20/15°C 和 30/25°C 下生長，30/25°C 處理組的 g_s 更低，應該會降低 T_r ，但或許被可促進 T_r 的更高的 VPD 所補償，這種反應被認為是在廣泛的溫度範圍下保存水分的有效機制(Higuchi et al., 1999)。推測非洲芙蓉亦通過這種反應保存水分。植物會響應增加的 VPD 降低 g_s ，限制碳同化，故於 35/30°C 處理的非洲芙蓉的枝條莖徑顯著減小(表 3)。

非洲芙蓉於 35/30°C 處理之葉溫升至 39°C 時(圖 12C)， T_r 顯著上升(圖 11D)。葉片蒸散作用會隨著葉溫上升而增加(Haldimann and Feller, 2004)，繡球花葉片 P_n 亦隨著溫度由 20-36°C 升高而逐漸上升，增加至 40°C 時 P_n 下降，而蒸散作用隨著溫度升高而上升(姜等，2012)。隨著葉溫增加，毛櫟葉片的 T_r 也隨著增加(Haldimann and Feller, 2004)。通過高 VPD 促進蒸散作用，降低葉片溫度，減少熱造成之不利影響，屬於對高溫脅迫的一種適應機制(柯和金，2008)。高溫(35/30°C)下非洲芙蓉 T_r 上升後葉溫並未下降，且氣孔關閉，未能減少熱造成之不利影響，表明此溫度下非洲芙蓉已遭受熱脅迫。

植物遭遇高溫逆境，蒸散作用無法移除過多熱能時，會藉由改變葉片形態以減少熱能吸收，而通過產生較小的葉子減少表面積是其中一個機制(Szwarcbaum, 1982)。夏天時鼠尾草葉岩薔薇(*Cistus salviifolius* L.)產生的葉片更小，幫助對流冷卻(Szwarcbaum, 1982)。匍匐性小糠草(*Agrostis palustris* Huds.)耐熱品種的葉片也較窄(Xu and Huang, 2001)。非洲芙蓉於 35/30°C 處理 84 天時已明顯看出整株的葉片均小於其他溫度處理(圖 6)，推測非洲芙蓉在 35/30°C 條件可能藉由改變葉片形態以適應高溫逆境；然而實測 35/30°C 處理之非洲芙蓉葉溫仍甚高(圖 12C)，顯示可



能加速呼吸作用，減少積累的養分，致使葉片變小。

非洲芙蓉為腋生花(圖 13)，其營養生長的分生組織向花芽創始的轉變是莖頂分生組織繼續營養生長活動，同時產生側生的花朵或花序(Hallé et al., 1978)，

本試驗結果顯示 15/13°C 促進非洲芙蓉花芽創始，花下葉片數顯著最小(圖 14)。低溫(15/13°C)處理的非洲芙蓉植株緊湊矮小(圖 6、7)，枝條最短(圖 8)，每枝條葉片數最少(圖 9)。表明低溫抑制非洲芙蓉的營養生長，使其往生殖生長進行。對於終年可進行營養生長的熱帶植物而言，低溫的作用可能在抑制營養生長，使植株往生殖生長進行(吳和張，1996)。營養生長與生殖發育在樹木中強烈相關，且比草本植物更複雜。熱帶果樹會抑制潛在花芽或其附近的營養生長的條件調節花的誘導和早期花發育，有利於在誘導型分生組織中建立高碳水化合物水平(Borchert, 1983)。與非洲芙蓉相似，百香果‘台農一號’於高溫營養生長較旺盛，耗費較多養分用於莖、葉生長，分配至花芽形成部分相對減少，因此必須有較多的葉片(節數)以製造較多的同化物才能充分供應花芽形成之需要(張和鄭，1992)。

非洲芙蓉於 15/13°C 處理的花下葉片數最小，其次為 20/15°C，最大為 25/20°C (圖 14)，顯示增加溫度延緩花芽創始，該結果與木槿屬植物相似。以 25/20、30/25、35/30°C 處理秋葵‘Clemon Spineless’和‘Pusa Sawani’，二者的始花節位在更高的溫度下更高(Arulrajah and Ormrod, 1973)。相較於 21°C 與 25°C，玫瑰茄在 17°C 下的始花節位更低(Mansour, 1975)。大麻槿在 15°C 處理的花下葉片數均顯著小於 20°C 處理(Warner and Erwin, 2001)。

非洲芙蓉於 15/13、20/15、25/20°C 處理可形成花芽，而於 30/25、35/30°C 處理無法形成花芽(圖 14)。開花時間和對熱誘導的反應在物種和種質之間變化很大，並且可能反映植物對其原生環境的適應性(Capovilla et al., 2015)。熱帶樹木一般由環境誘導開花，溫度可導致花芽創始(Wilkie et al., 2008)。熱帶樹木的誘導開花之低溫通常為 15-20°C (Wilkie et al., 2008)。熱帶物種如芒果和荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.) 通常需冬季低溫來誘導開花。以 15/13°C 處理 7 週可促進‘糯米糍’荔枝開花，20/15°C 及 25/20°C 處理則無法使其開花，25/20°C 促進營養生長(張等，1997)。芒果是熱帶與亞熱帶地區種植的常綠熱帶果樹，它的花芽創始發生在晚秋和早冬，在亞熱帶地區響應低溫開花(Wilkie et al., 2008)。相似地，於臺灣種植的非洲芙蓉也在晚秋和早冬發生花芽創始，於 1 月左右開花。

非洲芙蓉於 15/13、20/15 及 25/20°C 處理可形成花芽(圖 14)，此結果與芒果相似，試驗顯示誘導芒果開花的溫度是低於 15-20°C，品種之間有不同(Wilkie et al., 2008)。Whiley 等(1989)亦指出十個芒果品種中有八種在日夜溫 15/10°C 處理開花，而 20/15°C 處理只有一個品種開花，剩餘九種均保持營養生長。芒果‘Haden’植株去除 5-10cm 的頂端圓錐花序，在 19/13°C 下 100% 開花，25/19°C 下 60% 開花，31/25°C 下沒有植株開花(Shu and Sheen, 1987)。芒果‘Tommy Atkins’於 18/10°C 涼溫下處理至少 3 週發生花芽誘導(Elisea and Davenport, 1995)。

非洲芙蓉於於 30/25 及 35/30°C 處理無法形成花芽(圖 14)，於 25/20°C 處理較 15/13 及 20/15°C 處理晚現蕾(圖 15A)，表明 25/20°C 已接近其花芽形成之上限溫度，此結果與繡球花相似。繡球花‘Leuchtfeuer’花芽形成適溫亦為 15/13°C 與 20/15°C，25/20°C 會延緩花芽創始，為花芽創始臨界溫度，而 30/25°C 與 35/30°C 處理至 78 天仍為營養生長(葉和江，2003)。繡球花‘Early Blue’和‘Schneeball’於 17°C 處理的植株更快花芽創始，高溫(24°C)沒有阻礙花芽創始，但是需要更長時間去形成花芽(Nordli et al., 2011)。15-18°C 為繡球花‘Sibylla’花芽形成最適溫度，24°C 為花芽形成臨界溫度，27°C 則無法使其花芽創始(Litlere and Strømme, 1975)。

非洲芙蓉於 20/15°C 及 25/20°C 處理皆觀察到少量(<10%)花芽消蕾情形，而 15/13°C 處理則無消蕾(圖 16D)，可能是因高溫營養生長較旺盛，影響供源積儲關係，降低了生殖器官代謝活性，莖、葉生長與花芽發育競爭養分(張和鄭，1992；Rainey and Griffiths, 2005)。

試驗四、變溫對非洲芙蓉花芽形成之影響

一直處於高溫(30/25°C、35/30°C)進行營養生長的非洲芙蓉移至低溫(15/13°C)環境下也可往生殖發育轉變，形成正常花芽，再次證明低溫有利非洲芙蓉花芽形成(圖 17；表 4)。此結果與繡球花不同，夏天溫度高於 30°C 時，繡球花會有“hydrangea distortion”的現象。即葉片變窄變厚，甚至時而出現雜斑。莖頂變短且變寬，受此影響的植株通常會延遲或不會開花(Bailey and Hammer, 1989)。

試驗五、溫度對非洲芙蓉現蕾後花芽發育之影響

因為非洲芙蓉於 35/30°C 處理會遭高溫脅迫(圖 6、10、11)，故將低溫(15/13°C)處理 94 天後帶有 1-3 個花芽(最大花芽直徑 2.1 ± 0.1 cm)的非洲芙蓉單莖扦插發根

苗置於 15/13、20/15、25/20、30/25°C 四個溫度處理中觀察花芽發育狀況。

非洲芙蓉於 25/20°C 處理 22 天有開花植株，並於處理 40 天時開花率達 100%，而 20/15°C 與 15/13°C 處理植株則分別於 33 天與 40 天時始開花(圖 20B)。一定範圍內的高溫會促進原產於熱帶的錦葵科植物的花朵發育。大麻槿在 20°C 下的到花日均顯著低於 15°C 處理，20°C 處理的到花日為 145 天，顯著低於 15°C 處理的 166 天(Warner and Erwin, 2001)。玫瑰茄在 17°C 更早花芽創始，但試驗結束時還未開花，而 25°C 處理植株比 21°C 處理早開花(Mansour, 1975)。

非洲芙蓉形成花芽後，以 25/20°C 處理者之花萼顯色及第一朵小花開放所需日數顯著低於 15/13 及 20/15°C 處理者(表 5)。且非洲芙蓉於 25/20°C 處理之花芽數持續增多，15/13°C 處理者花芽數無增加(圖 21B)。說明 15/13°C 不利於非洲芙蓉花芽形成後之後續發育。Sukhvibul 等(1999)研究了低溫對四個芒果品種花序與花的發育，在自然冬季溫度(最高溫 21.6°C 最低溫 9.5°C)下誘導形成花序(花序長 1cm)之後分別轉入 15/5、20/10、25/15 和 30/20°C 中處理。結果表明 15/5°C 嚴重抑制所有品種花序的出現和伸長，其他暖溫下則是保持花序發育。在 25/15°C 或 30/20°C 下花序達到最大長度需要 15-20 天，而 20/10°C 下需要 54 天。說明低溫不利於花序發育，暖溫一般增加花序規格。低溫對芒果‘Haden’花序的進一步發育有抑制作用(Shu and Sheen, 1987)。米瑞香和紅瑞香在平均平均溫度低於 15°C 的環境中超過 5 週才可開花誘導，但隨後的花原基發育緩慢，而當溫度升至 21°C 時發育迅速(King et al., 1992)。

非洲芙蓉於 30/25°C 及 25/20°C 處理之平均到花日無顯著差異，均小於更低溫的處理(表 5)。但 30/25°C 使非洲芙蓉開花品質下降(圖 18)，於試驗結束時(第 50 天)開花率為 70%，顯著低於 25/20°C 處理的 100%(圖 20B)。並且 30/25°C 處理者有發育不正常的花芽(苞片較長，空癆，發育緩慢)和消蕾，而其餘三個溫度處理植株無消蕾(圖 21A)。表明 30/25°C 已不適合非洲芙蓉的花芽發育。溫度超過一定的範圍，高溫會明顯抑制花芽分化，對開花造成傷害(何等，2013)。秋葵‘Clemon Spineless’和‘Pusa Sawani’以 25/20、30/25、35/30°C 處理，試驗中有開花的植株在更高溫的條件下所需開花時間更長(Arulrajah and Ormrod, 1973)。帶可見花序(< 1 cm)的‘Fire Kiss’蕪瓣蘭(*Zygopetalum* ‘Artur Elle’ × *Zygopetalum* ‘Titanic’)植株在 25°C 處理 20 天時花芽會消蕾脫落(Lopez and Runkle, 2004)。加溫可讓銀樺提早開花，但是花朵自

然的紅色褪減(Ben-Jaacov et al., 1989)。盆栽早蟠(*Prunus persica* var. *platycarpa*)置於 20/15、25/15、30/15、35/15°C處理，溫度越高，開花物候期越早。35/15°C處理後 4 天開始萌動，但此後絕大多數花芽停止發育，不能正常開花，不久後便開始脫落。說明高溫明顯抑制花芽正常發育，對開花造成傷害，產生畸形花，甚至開不了花(周等，2001)。

以 15/13°C處理之非洲芙蓉小花至試驗結束前仍未完全開放完畢，但亦顯示 15/13°C處理有較 20/15°C處理更長的花序花期，20/15°C處理之花序花期為 16 天，25/20°C及 30/25°C處理之花序花期約 7-9 天(圖 23)。暖溫環境下的花朵壽命通常短於涼溫環境，Bock 等(2014)調查了英吉利海峽的根西島(Guernsey)上 232 種植物 27 年間的開花數據，結果顯示暖溫會縮短 81%種植物的花期。每增加 1°C，有 19% 種植物的花期縮短 0.9 天。Cosmulescu 等(2010)亦指出氣溫與‘Jupânești’、‘Germisara’、‘Roxana’、‘Mihaela’、‘Geoagiu 65’及‘Orăștie’胡桃(*Juglans regia* L.)的開花持續時間存在密切關聯：溫度升高，花期縮短。當均溫為 15-16°C時，六種胡桃雄花的花期約為 8-11 天。

隨著處理溫度升高，非洲芙蓉直徑為 2.1±0.1 cm 之花芽發育至花萼顯色及開花階段的速率增加，但升高至 30/25°C時速率反而持平甚至下降(圖 24A, B)。溫度對花芽發育和開花十分重要，當植物達可見花芽階段時，溫度是更為重要的影響開花之環境因子。增加溫度由 10-25°C可縮短天竺葵(*Pelargonium ×hortorum*)可見花芽(直徑>0.5 cm)發育至開花階段的時間，但當溫度升高至 25°C後，從可見花芽發育至開花所需時間反而更長(Armitage, 1994)。非洲芙蓉花芽直徑為 2.1 cm 時於 15/13、20/15、25/20 及 30/25°C分別處理 46、42、29 及 28 天後開花(圖 24B)。*‘Fire Kiss’* 蕪瓣蘭從花序可見(<1 cm)至開天的天數由 14°C處理的 73 天降低為 26°C處理的 30 天(Lopez and Runkle, 2004)。

非洲芙蓉由 2.1 cm 直徑花芽到花萼顯色及到開花的 T_b 分別為 1.54 及 1.82°C，據此計算非洲芙蓉自花芽直徑為 2.1±0.1 cm 發育至花萼顯色階段，約需 396-487°Cd，而自花芽可見發育至開花(第一朵小花開放)階段，則需約 556-645°Cd(圖 24C, D)。 T_b 因作物而異，Pasian 與 Lieth (1994)指出‘Cara Mia’切花玫瑰枝條發育的 T_b 為 5.2°C，自萌芽(>10 mm)到可見花蕾(不用撥開葉片即可見)或採收(萼片反摺，花瓣展開)的溫度積值分別為 260±30 與 545±45°Cd。Lopez 與 Runkle (2004)則指出‘Fire

Kiss' 輓瓣蘭自花序可見(<1 cm)至開花的 T_b 為 3.5°C ，所需溫度積值為 667°Cd 。

試驗六、短日循環次數對非洲芙蓉花芽形成之影響

增加短日循環次數可加速非洲芙蓉花芽形成、增加花芽數及初始花芽直徑(圖 25A, C, D)，顯示非洲芙蓉為非絕對性短日植物。錦葵科植物之光週期反應差異很大，朱槿為日中性植物，木槿為長日植物(Wareing, 1956; Warner and Erwin, 2001)。Warner 與 Erwin (2001)指出 36 種木槿屬植物對光週期之反應可分為相對性短日、絕對性短日、日中性、相對性長日或絕對性長日植物。雖然沒有確切的證據表明短日直接控制熱帶樹木的開花(Borchert, 1983)；但物種開花的光週期反應與該物種的原生棲息地密切相關(Warner and Erwin, 2001)。與非洲芙蓉相同，洋麻是非絕對性短日植物，短日處理植株的花下葉片數更少(Warner and Erwin, 2001)。秋葵'*H.10*'為非絕對性短日植物(Arulrajah and Ormrod, 1973)。短日(9 h)處理顯著減少燈鈴花的花下葉片數(Chapman and Lyons, 1988)，由此可知在熱帶生長的植物也會對光週期敏感(Arulrajah and Ormrod, 1973)。

隨著短日(8 h)循環次數增多，非洲芙蓉新長節間長呈線性減少(圖 24B)。Wareing (1956)指出木本植物的營養生長過程包括節間伸長受日長影響。通過短日處理的木本植物產生的幾種光週期效應，即頂端生長停止，節間伸長減少，葉片脫落、形成層(cambial)活動結束等，都與植物中低生長素水平相關(Wareing, 1956)。短日循環增加使得非洲芙蓉新長節間長減少，可能是因短日照時間越長，非洲芙蓉生長素水平越低。

試驗七、容器大小與修剪高度對非洲芙蓉生長開花之影響

容器大小與修剪高度對非洲芙蓉在試驗中調查的生長指標與發育指標無交互作用。故分別就容器大小與修剪高度討論如下：

1. 容器大小

非洲芙蓉樹苗修剪保留主幹，並定植於 47、32、18 L 容器，處理後 210 天之株高增長量隨容器縮小顯著減少(表 6)。Hsu 等(1996)指出一年生的熱帶果樹蓮霧 [*Syzygium samarangense* (Bl.) Merr. & Perry] 種植於不同尺寸的容器中，種植兩年後，小容器植株的株高僅增加 70%，而大容器植株則增加了約 120%。相似地，Martini 等(1991)指出荷花玉蘭種植於 10、27、57 L 的容器中一年以後，小容器處理者的株

高增長比中容器和大容器分別少 46%與 54%。10 L 容器的根域溫度更高，可能會減少荷花玉蘭吸收或轉運必要的礦物養分。本試驗中的小容器有可能根區溫度之變動更高，易有高溫影響，增加了呼吸作用和碳滲漏(carbon leakage)，可能導致根系匯集部對碳的需求加大，從而導致地上部生長減少(Martini et al., 1991)。

處理 150 天後，非洲芙蓉株高以 47 L 容器栽培者較 32 及 18 L 容器栽培者高(表 7)，其他作物亦有相似的大容器處理增加植株高度的結果。芒果砧木幼苗的植株高度隨容器大小增大而提升(Ouma, 2007)。桃杏雜交植株‘GF677’砧木種植於 1.35 與 0.27 L 的容器中，大容器栽培植株更高(Costa et al., 1992)。於大容器種植的非洲芙蓉植株高度增加，可能是因大容器增加了介質體積，有利養分吸收、荷爾蒙合成和根系代謝(Ouma, 2007; Peterson and Krizek, 1992)。

容器大小對非洲芙蓉處理 255 天後側枝數無顯著影響，但小容器植株的側枝數略少於中、大容器(表 7)。桃樹‘Elberta’受根域限制後的枝條形成減少，且與根數有相關性，表明地上部生長受根尖及其生長物質影響(Richards and Rowe, 1977)。於 18 L 容器種植的非洲芙蓉之根系生長亦可能受抑制，根系的 GA、CK 及其它的根系生長物質的合成與轉運減少，代謝不平衡，限制地上部生長(Carmi and Heuer, 1981; Ismail and Noor, 1996; Richards and Rowe, 1977; Yeh and Chiang, 2001)。

隨容器體積增加，側枝長度增加，在側枝葉片數方面也有相似的反應(表 7)。此結果與其他作物類似，大容器種植的桃杏雜交砧木‘GF677’植株的枝條更長，葉片數更多(Costa et al., 1992)。根域限制讓一串紅‘Top Burgundy’的側枝生長和展葉受限(Iersel, 1997)，也減少了陸地棉‘Acala SJ-2’、桃樹‘Elberta’及赤楊的枝條伸長(Carmi, 1986; Richards and Rowe, 1977; Tschaplinski and Blake, 1985)。大容器顯著增加芒果砧木幼苗及蓮霧的葉片數(Hsu et al., 1996; Ouma, 2007)，根域限制減少了桃樹‘Elberta’葉片數(Richards and Rowe, 1977)。

小容器對非洲芙蓉地上部生長有不利影響(表 6、7)，此結果可能是因種植於 18 L 容器中的非洲芙蓉可能已有根域限制，可能係小容器不利於水分吸收(Tschaplinski and Blake, 1985)。於試驗期間無觀察到養分缺乏之症狀，因此缺少持續的養分供應應該不是限制小容器栽植的非洲芙蓉表現的原因。試驗期間所有容器處理的澆水頻率一致，處理前 183 天均為人工澆水，隨澆水當下介質浸潤濕透，但因小容器會減少介質的總持水量，更容易乾旱，因此不利於維持介質水分狀態

(Poorter et al., 2012; Stevenson and Fisher, 1974)。缺水導致植株生長不佳(Tschaplinski and Blake, 1985)。以小容器種植的繡球花‘Leuchtfeuer’生長減少，因小容器之介質水分含量變動較大，亦可能由水分不足引起(Yeh and Chiang, 2001)。於 18 L 容器種植的非洲芙蓉地上部生長減少也可能與根系匯集部強度下降，導致光合作用減少有關(Poorter et al., 2012; Schaffer et al., 1999)。

非洲芙蓉處理處理 120 天時，以大體積容器栽培者有較多植株形成花芽，小體積容器栽培者形成花芽株數比例略低(表 8)。相似地，以小容器種植的繡球花‘Leuchtfeuer’有花芽之植株比例減少(Yeh and Chiang, 2001)。於小容器栽植的一串紅‘Top Burgundy’開花植株比例較低(Iersel, 1997)。另外，小容器處理的非洲芙蓉每植株帶有花芽之側枝數顯著最少(表 8)。百合水仙以大容器栽植會增加開花枝條數(Healy and Klick, 1993)。

處理 183 天後，以小容器栽培的非洲芙蓉開花率顯著較低(表 8)。此結果與一串紅‘Top Burgundy’相同(Iersel, 1997)。根域限制栽培可抑制圓夢桃樹、楊桃‘Clone B17’的營養生長，促進花芽分化(龐等，2018；Ismail and Noor, 1996)。雖根域限制栽培可抑制營養生長，促進果樹花芽分化，但因物種對於容器體積限制的反應可能會有所不同(龐等，2018；Hsu et al., 1996)，因此根域限制雖抑制非洲芙蓉之營養生長，但無法促進其開花。

2. 修剪高度

將非洲芙蓉樹苗修剪至 30、60、90、120 cm 高，僅保留主幹。修剪至 30 cm 的非洲芙蓉植株在處理 30 天時萌芽率較高，為 92.6% (表 6)。而將胡桃枝條分別剪去 1/5、1/4 與 1/3 (輕、中、重剪)，中剪處理者的萌芽率顯著優於其他處理(華，2015)，可能是中度的修剪保留了適當的葉片，促進營養物質更好地分配利用。對非洲芙蓉而言，修剪處理為去除全部側枝，僅保留主幹，修剪程度越重越能讓植株復壯(Wade and Westerfield, 2009)。

非洲芙蓉修剪高度越高，新長出的側枝數越多(表 7)。此結果與杜鵑相似，隨著修剪強度加重，枝條數量呈下降趨勢(魏，2012)。熱帶植物銀合歡[*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit]也有相似反應，分別將莖幹領環(collar zone)上 3-5、50、100 及 150 cm 的部分剪去，去除所有側枝和葉片。結果修剪高度更高的植株總是

產生更多的初級側枝，修剪 60 天後 150 cm 處理的側枝數最多(Tipu et al., 2006)。增加修剪高度可以增加腫柄菊 [*Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray] 及南洋櫻 [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.] 的乾物質產量(Duguma et al., 1988; Partey, 2011)。推測是因莖幹越長，其上保留的芽體數量越多，因而側枝數量增加。

修剪高度越低，即修剪程度越重，非洲芙蓉的側枝越長(表 7)。相似地，較重回縮修剪處理有利於杜鵑枝條更新復壯，枝條平均生長量最多(魏，2012)。與非洲芙蓉不同，銀合歡修剪高度越高，側枝越長(Tipu et al., 2006)。可能是因修剪至 3-5 cm 或 50 cm 對於銀合歡而言程度過重，反而不利於側枝生長。

非洲芙蓉修剪高度越低，其側枝葉片數越多(表 7)。銀合歡植株總葉片數隨著修剪高度增加而增加(Tipu et al., 2006)。但 Tipu 等(2006)無調查側枝葉片數，因此植株總葉片數多應是側枝數量多之緣故。

非洲芙蓉修剪高度越低，其株高增長、側枝長度及側枝葉片數均隨之增加，說明重修剪可促進非洲芙蓉之營養生長。但華(2015)提及胡桃的修剪不宜過重，以免營養生長過盛而影響花芽形成。非洲芙蓉修剪處理 60 天後，30 cm 處理者之現蕾率低於其餘處理(表 8)，可能也是營養生長過旺所致。

非洲芙蓉修剪 183 天後各處理之開花率雖無顯著差異，但修剪至 30 cm 的非洲芙蓉開花率為最低(表 8)，可能是因重剪處理後剩餘之光合產物用於營養生長，推遲了樹體碳水化合物的積累期(陳和張，1996)。此結果與紫花芒果‘Zihua’修剪結果相似。紫花芒果植株於 10 月修剪，重剪處理者比輕剪和中剪的植株的初花期較晚。重剪樹 11 月上旬抽梢，可溶性糖被大量消耗且動用了貯藏的養分，直到 1 月上旬可溶性糖才恢復到抽梢前的積累水平(陳和張，1996)。

非洲芙蓉修剪後，所有處理均於 4 月底、5 月初時達到 50% 以上開花率(表 8)，比 12 月底的自然花期延後了 4 個月。修剪可以延緩花朵發育(Wade and Westerfield, 2009)，與非洲芙蓉相似，其他植物的修剪也有類似的花期延後之結果。矮仙丹‘Sunkist’修剪後枝條較晚萌發，盛花期延後(張和吳，1997)。早花型紫鵑杜鵑與中花型四海波杜鵑修剪後花期延後(張，2007)。南非生長的芒果‘Sensation’開花不均勻，於冬季去除頂芽或頂端花序可以延遲開花，使得開花同步，並增加開花密度(Oosthuysen and Jacobs, 1997)。表明修剪可作為非洲芙蓉延後花期之栽培手段。

與本試驗結果不同，修剪可以加快番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill)開花，剪去一條莖處理者更早達到 50%的開花率(Ara et al., 2007)。可能因番茄並未去除其它莖及葉片，剪去一條莖後可將植體儲存之養分輸送至另外的莖上，促進其開花。

試驗八、噴施 GA₃ 對非洲芙蓉花芽形成之影響

由試驗三可知 15/13°C 可促進非洲芙蓉之花芽形成，本試驗探討 GA 能否代替低溫(15/13°C)的誘導作用。於 2018 年 10 月初在非洲芙蓉未現蕾枝條葉片上噴施 2500 及 5000 mg·L⁻¹ 的 GA₃ 溶液，可使非洲芙蓉提早 1 週現蕾(圖 29A)。前人指出噴施 GA 溶液可誘導朱蕉及其他天南星科植物開花，其有效濃度隨物種不同而異(Fisher, 1980; Henny, 1980)，但濃度過高時，可能會發生抑制花芽創始及開花(陳，2013)。在許多物種之生殖生長轉變發生之前，增加 GA 在莖頂的濃度可促進花芽誘導(Muniandi et al., 2018)，GA₃ 促進非洲芙蓉花芽形成也許亦是同樣的機制。

噴施 GA₃ 溶液對非洲芙蓉後續的花芽發育無影響(圖 29B, C)。可能是因 GA 不是單獨的調節劑，而是與其它因子結合參與植物開花調控，環境因子在非洲芙蓉的花期調控中仍占據主導地位，施用 GA₃ 無法完全代替環境因子(趙等，2009; Lang, 1956)。由試驗五可知溫度調控非洲芙蓉花芽發育，而本試驗中所有處理均現蕾後，環境溫度升高(附錄 1)，推測 GA₃ 施用濃度及時間不當，GA₃ 處理僅能代替部分低溫，非洲芙蓉的花芽發育主要受環境溫度調控。各處理的每枝條花芽數無顯著差異(圖 31A)可能也是因 GA₃ 處理僅能代替部分低溫，後續之花芽形成與發育主要受環境溫度調控。

以 5000 mg·L⁻¹ GA₃ 處理的枝條花萼顯色及開花較晚(圖 30C, D)，花序直徑較小(圖 31B)。油茶樹噴施三次 25、50、100、150 mg·L⁻¹ GA 溶液，結果 25 與 50 mg·L⁻¹ 的低濃度 GA 處理促進開花，而 100 與 150 mg·L⁻¹ GA 處理則讓始花期推遲了 17 與 21 天(陳，2013)。與油茶樹相似，當 GA 濃度過高時可能反而不利於非洲芙蓉的花芽發育。

試驗九、噴施 GA₃ 對非洲芙蓉花芽發育之影響

於 2018 年 1 月初對非洲芙蓉噴施 250 與 500 mg·L⁻¹ 的 GA₃ 溶液，可讓花苞提早花萼顯色，但對開花天數無影響(圖 32A, B)。桃樹‘Terutemomo’在開花前(花芽露出白色)時噴施 60、90、120、150 mg·L⁻¹ GA，花芽、花蕾及花瓣的生長加速，但

花期並未提早(袁, 2015)。紅腺忍冬現蕾初期時噴施 300 或 500 mg·L⁻¹的 GA₃, 結果可讓始花期提前 3-5 天, 但對盛花期無影響(曹等, 2009)。推測 GA₃ 處理對非洲芙蓉花芽發育之影響與上述作物相似, 可能是因處理時間較晚, 花芽已經萌動, 內外條件均已達到開花要求, 使得 GA 所起的作用是促進花芽、花蕾及花徑的增大, 而不是提前花期(袁, 2015)。

雖統計上無差異, 250 與 500 mg·L⁻¹ GA₃ 處理枝條之花苞花序梗較長(圖 32C)。GA 的直接影響是促進莖幹伸長(Lang, 1956)。以 300 及 500 mg·L⁻¹ GA 噴施紫芙蓉芍藥和奇花露霜芍藥花芽後可促進花莖伸長(呂等, 2009)。當玫瑰‘Mercedes’花芽直徑達 4-6 mm 時去除萼片, 花梗長度減少, 但塗上 50 mg·L⁻¹ 的 GA₃ 後則可讓花梗長度增加(Ganelevin and Zieslin, 2002)。

綜合討論與結論 (General Discussion and Conclusions)

用於非洲芙蓉扦插繁殖的插穗需帶葉片，且長度要足夠，但不可到木質化的程度。以 10-20 cm 之帶兩片葉之頂芽綠枝插穗繁殖可達較佳效果(圖 4)。

在日溫 15-30°C 的測試範圍內，溫度增加有利於非洲芙蓉的營養生長。其中 30/25°C 最適合非洲芙蓉的營養生長，此處理下的非洲芙蓉植株最高(圖 7)、側枝較長(圖 8)、側枝葉片數多(圖 9)、側枝莖徑大(表 3)，葉片淨光合作用速率(P_n)亦高(圖 11A)。35/30°C 處理則對非洲芙蓉造成一定的高溫脅迫，使非洲芙蓉的光化學猝熄(qP)、非光化學猝熄係數(qN)以及非光化學猝熄(NPQ)顯著降低(圖 10D-F)，顯示 PSII 光反應中心可能因高溫逆境受損；葉片淨光合速率顯著下降(圖 11A)，氣孔導度降低(圖 11C)，側枝莖徑顯著降低(表 3)，蒸散作用雖高(圖 11C)但仍無法讓葉溫下降(圖 12C)，新生葉片變小(圖 6)可能是應對高溫，也可能是呼吸作用過高無法積累養分。

於 15/13、20/15 及 25/20°C 處理 182 天的非洲芙蓉每側枝花芽數目無顯著差異(圖 16A)，但 20/15°C 與 25/20°C 處理植株之花芽形成後發育較慢(圖 16B, C)，且有少量消蕾(圖 16D)，於試驗結束時未開花(圖 15C)。15/13°C 處理則可加速非洲芙蓉之花芽創始(圖 14)，植株最早開花(圖 15C)，且無消蕾(圖 16D)。持續 15/13°C 處理似乎為非洲芙蓉最佳開花調節手段，但試驗三並未區分花芽形成與花序發育的最適溫度。花芽創始的最佳溫度一般不同於花芽發育的最佳溫度，增加日均溫度可以促進花朵發育(Moe and Heins, 1990)。試驗五結果表明當非洲芙蓉花芽直徑達 2.1 ± 0.1 cm 時置於 25/20°C 處理可持續開花(圖 18)，花芽發育快(表 5)，開花率高(圖 20B)，且試驗結束時花芽數最多(圖 21A)。可見 25/20°C 最適合非洲芙蓉之花芽發育。

於 9 月初將已於高溫(30/25 及 35/30°C)處理 18 週之非洲芙蓉移至 15/13°C 處理 35 天後，觀察到花芽形成；持續於高溫(30/25 及 35/30°C)環境的植株於處理 175 天後仍無花芽形成(表 4)。可見 35/30 與 30/25°C 之高溫前處理不至於影響後續的涼溫誘導花芽。

在試驗三中 15/13°C 處理植株的花芽發育最快，25/20°C 發育最慢，與試驗五結果正好相反。推測試驗三中 15/13°C 加速非洲芙蓉花芽創始和形成，低溫誘導作用

強，花原基發育良好，首先出現花芽，花芽發育緩慢；而 25/20°C 雖能誘導產生花芽，但已接近誘導上限溫度，導致後續的發育緩慢不良，同一時間下的初始花序直徑及花序梗長度均低於 15/13°C 處理(圖 16B, C)。

試驗三中非洲芙蓉需於 15/13°C 處理 112 天才產生可見花芽，是因其中包含了營養生長所需的時間，側枝在處理 91 天時還未分化到 6 片葉，而側枝需平均展葉 7.9 片才可現蕾(圖 9、14)。試驗四中非洲芙蓉側枝已進行足夠營養生長，移入 15/13°C 處理 35 天即可見花蕾(表 4)。試驗五中單莖帶 3-4 片葉的非洲芙蓉於 15/13°C 處理 39 天有部分植株現蕾，此時新長出 6-7 片花下葉片(數據未顯示)。而處理至 94 天時初始花芽均已初步發育，平均直徑為 2.1±0.1 cm。推測當非洲芙蓉生長旺盛時，置於低溫(15/13°C)環境一個月即可誘導花芽形成。

非洲芙蓉營養生長最適溫度為 30/25°C，在 35/30°C 下遭高溫脅迫。15/13°C 為最佳花芽形成溫度，25/20°C 已接近花芽形成上限溫度。最佳花芽發育溫度為 25/20°C，30/25°C 以上之溫度導致花芽消蕾。在商業生產上，建議將溫度調至 13-20°C，誘導花芽形成，花芽可見後再移至約 25/20°C 溫暖環境加速花芽發育及開花，但需避免溫度高於 25°C 而使花芽消蕾。

非洲芙蓉於 24/14°C 環境，短日(8 h)處理 7 天即可誘導花芽創始，且增加短日循環次數可加速非洲芙蓉花芽創始、增加花芽數及初始花芽直徑(圖 25)，顯示非洲芙蓉可能為非絕對性短日植物。由試驗四、五推測當非洲芙蓉生長旺盛時，置於低溫(15/13°C)環境一個月即可誘導花芽形成。結合溫度試驗及光週期試驗結果，可知有利的誘導溫度(13-20°C)及短日有利非洲芙蓉花芽形成，此與非洲芙蓉於馬達加斯加花期前兩個月為涼溫(12-22°C)、短日(11-11.4 h)環境相似。

景觀應用時，修剪可作為非洲芙蓉延後花期之栽培手段。非洲芙蓉於 11 月初修剪後，所有處理均於 4 月底、5 月初時達到 50% 以上開花率(表 8)，比 12 月底的自然花期延後了 4 個月。小容器(18 L)不利於非洲芙蓉生長發育，綜合經濟成本及商品品質考量，推薦用於景觀佈置的非洲芙蓉以體積為 32 L 之中容器栽培，修剪至 60 cm 高。處理後植株復壯良好，株高適宜(表 6)，開花率高(表 8)。

試驗三中，非洲芙蓉在 15/13°C 環境處理 182 天才可開花，推測受日長及修剪處理影響。由試驗六可知非洲芙蓉為非絕對性短日植物，試驗三由 5 月開始處理，

經查 Weather Spark (2019)網站可知臺北 5-9 月的日長介於 12-13.7 h，因此不利於花芽創始。而由試驗七可知強剪的開花率低(表 8)，試驗三的材料在溫度處理前修剪至 20 cm 高餘兩片葉，減緩了後續的生長發育過程。此外，試驗三中的非洲芙蓉一直沒有換盆，若栽植的容器大小加大，或許能更早開花。與試驗三相比，試驗五中非洲芙蓉於 9 月置於 15/13°C 處理 39 天即有部分植株現蕾，也是因處理時材料未經修剪，帶 3-4 片葉，且短日(12 h)有利開花。


噴施 2500 mg·L⁻¹ GA₃ 可促使非洲芙蓉花芽形成，提早 1 週現蕾(圖 29A)。可見 GA₃ 可以取代部分低溫誘導作用。當非洲芙蓉花序直徑為 4.4±0.1 cm，花序梗長 12.1±0.3 cm 時噴施 250 mg·L⁻¹ 或 500 mg·L⁻¹ 的 GA₃ 溶液可讓花苞提早花萼顯色(圖 32A)。

本研究結果顯示產業上可利用溫室環控、海拔高度、修剪或 GA₃ 進行非洲芙蓉之產期調節。於 5 月初取扦插發根苗置於 15/13°C 處理，在臺北於 10 月份即可得開花植株(圖 13)，早於自然花期的 12-1 月；於 11 月進行強剪，則可延後花期至隔年 4 月底至 5 月初。另於 10 月初噴施 2500 mg·L⁻¹ GA₃，取代部分低溫誘導作用，可促使非洲芙蓉提早 1 週現蕾(圖 29A)。藉由本論文所測試的不同時期溫度、修剪、GA₃ 等方式，可將將非洲芙蓉 12-1 月的自然花期調節至 10-5 月。

參考文獻 (References)

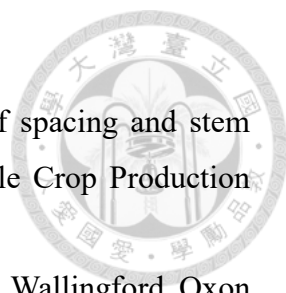


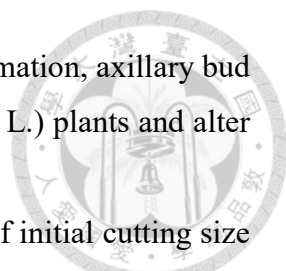
- 中国科学院华南植物园. 2017. 来自非洲的芙蓉美眉. 旅游服务. 花讯展览.
<http://www.scib.cas.cn/lyfw/hx/201701/t20170121_4739575.html>.
- 孔海云、張麗霞、王日為. 2011. 低溫與光照對茶樹葉片葉綠素螢光參數的影響. 茶葉 37:75-78.
- 王彬、田正鳳、應彬彬、馬元丹、左照江. 2019. 高溫脅迫對樟樹光合性能的影響. 浙江農林大學學報 36:47-53.
- 朱云美、張玲、高用順、林順權. 2016. 溫度對植物開花時間調控的研究進展. 亞熱帶農業研究 12:130-135.
- 何東、彭盡輝、邱波、彭亮、胡凌雪、胡瑤、趙盈盈. 2013. 溫度對觀賞植物花芽分化影響的研究進展. 中國園藝文摘 40-41.
- 余永富、余志彪、王興祥、李寧、唐秀俊、王子明、潘紅英、袁繼林. 2011. 藥用植物昆明山海棠不同長度和着生部位插穗扦插繁殖試驗. 貴州農業科學 39:179-181.
- 吳淑均、張育森. 1996. 溫度對矮仙丹生長與開花之影響. 中國園藝 42:123-130.
- 呂長平、成明亮、莫寧捷、丁丁、陳晨甜、王高寬. 2009. 外源 GA₃ 對芍藥花芽發育的影響. 作物研究 23:133-135,137.
- 李巧峽、張麗、王玉、黃小霞. 2019. 赤黴素調控植物開花及花器官發育的研究進展. 中國細胞生物學學報 4:746-758.
- 李春紅. 2015. 不同月季品種不同插穗部位扦插繁殖試驗. 現代園藝 3:18-19.
- 李梅. 2017. 蕾期噴施赤黴素和氯化鈣對蠟梅開花的影響. 四川農業大學碩士學位論文. 四川.
- 李煥勇、劉濤、張華新、楊秀艷、楊升. 2014. 植物扦插發根機理研究進展. 世界林業研究 27:23-28.
- 沈永根、費偉英. 2010. 影響紫薇扦插發根成活的因素研究. 綠色科技 11:37-38.
- 周愛琴、宋玉麗、于青. 2001. 溫度對桃樹萌芽開花生物學特性的影響. 烟臺果樹 3:30-31.
- 林曉君. 2003. 中斑香龍血樹莖幹與萬年竹插穗萌芽與發根之研究. 國立臺灣大學園藝暨景觀學系碩士論文. 臺北.

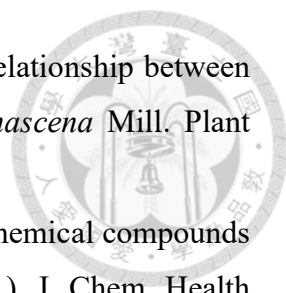
- 
- 姜波、沈宗根、黃四娣、葉節、呂洪飛. 2012. 草繡球與繡球的光合作用和葉綠素螢光特性比較. 浙江農業學報 24:582-588.
- 柯世省、金則新. 2008. 水分脅迫和溫度對夏臘梅葉片氣體交換和葉綠素螢光特性的影響. 應用生態學報 19:43-49.
- 胡惠蓉、王彩云、包滿珠. 2000. 溫光處理調控觀賞植物花期的研究進展. 園藝學報 27:522-526.
- 孫偉. 2010. 野生柳穿魚扦插繁殖技術研究. 中國農學通報 26:298-301.
- 徐玲、文鳳竹、曹明星、陳蕾伊、連芳青. 2007. 赤黴素(GA₃)對八仙花花期及開花品質的影響. 江西林業科技 2:22-23.
- 袁霞. 2015. 噴施赤黴素和水楊酸對‘照手桃’開花的影響. 中南林業科技大學碩士學位論文. 長沙. 湖南.
- 張育森、吳淑均. 1997. 仙丹花之開花習性與修剪時期對矮仙丹生長及開花之影響. 中國園藝 43:330-340.
- 張育森、鄭正勇. 1992. 溫度和光綫對百香果生長及花芽形成之影響. 中國園藝 38:30-36.
- 張哲璋、趙政男、陳右人、鄭正勇. 1997. 溫度及乾旱對荔枝開花的影響. 中國園藝 43:322-329.
- 張艷紅. 2007. 不同修剪時期對杜鵑花花期的影響. 北方園藝 118-119.
- 梁曉琳、常金寶. 2016. 不同插穗長度對寬葉薰衣草綠枝扦插發根率的影響. 黑龍江農業科學 90-91.
- 莊溪. 2019. 非洲芙蓉. 認識植物. <<http://kplant.biodiv.tw/%E9%9D%9E%E6%B4%B2%E8%8A%99%E8%93%89/%E9%9D%9E%E6%B4%B2%E8%8A%99%E8%93%89.htm>>.
- 許大全. 1997. 光合作用氣孔限制分析中的一些問題. 植物生理學通訊 33:241-244.
- 郭素娟. 1997. 林木扦插生根的解剖學及生理學研究進展. 北京林業大學學報 19:64-69.
- 郭姿吟. 2012. 利用香木槿培育朱槿盆花. 國立中興大學園藝系碩士學位碩士論文. 臺中.
- 陳方清. 2016. 插條部位和長度對芳樟扦插效果的影響. 林業勘察設計 4:52-53.
- 陳厚彬、張海嵐. 1996. 重修剪推遲紫花芒果開花期的研究初報. 華南農業大學學

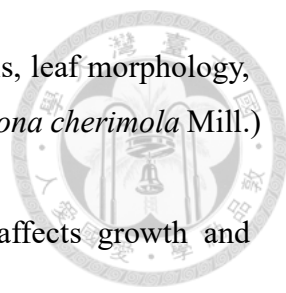


- 報 17:63-67.
- 陳顯. 2013. 外源赤黴素對油茶成花調控機理的研究. 中南林業科技大學碩士學位論文. 長沙. 湖南.
- 陸金猴、袁貴明. 2011. 花灌木的修剪技術. 現代園藝 4:94,96.
- 曾宋君. 2003. 非洲芙蓉. 花木盆景(花卉園藝) 8:05.
- 華夏. 2015. 修剪強度對核桃萌芽率和成枝率的影响. 現代園藝 11.
- 楊青珍、騰紅梅. 2009. 三葉木通硬枝扦插試驗. 北方園藝 235-237.
- 萬雪芹、葉燕萍、梅利民、刑永秀. 2009. GA₃ 和 BR 對金銀花花期及綠原酸含量的影響. 西南農業學報 22:156-158.
- 葉德銘、江秀紅. 2003. 溫度對繡球花花芽形成之影響. 中國園藝 49:211-220.
- 賈志遠、葛曉敏、唐羅忠. 2015. 木本植物扦插繁殖及其影響因素. 世界林業研究 2:36-41.
- 臧云鵬、李明傑、卞建國. 2018. 花卉扦插繁殖技術. 現代農業科技 24:151,155.
- 趙健、仇碩、李秀娟、張翠萍. 2009. 不同激素對錦綉杜鵑的催花作用. 廣西植物 29:92-95.
- 劉付東標. 1996. 三種修剪強度對月季切花產量的影響. 廣東園林 30-32.
- 劉建海、梁平、李亞絨. 2009. 月季整形修剪及應用. 農技服務 26:142-143.
- 劉傑. 2017. 木本花卉花期調控技術. 現代園藝 11:81.
- 賴允慧. 2004. 扶桑花扦插繁殖技術之研究. 國立臺灣大學園藝暨景觀學系碩士論文. 臺北.
- 魏高軍. 2012. 修剪強度對野生杜鵑開花的影響. 江蘇林業科技 39:32-34.
- 龐鈺潔、陶寧穎、竺嘯恆、陳心源、王莉、張望舒、賈惠娟. 2018. 根域限制栽培對桃花芽分化進程中碳氮比及 ABA 含量的影響. 果樹學報 35:1363-1373.
- 蘇德銓、李晔. 1984. 玫瑰之增產與產期調節. 中國園藝 30:149-164.
- Achard, P., A. Herr, D.C. Baulcombe, and N.P. Harberd. 2004. Modulation of floral development by a gibberellin-regulated microRNA. *Development* 131:3357-3365.
- Adelman, J.D., B.E. Ewers, and D.S. Mackay. 2008. Use of temporal patterns in vapor pressure deficit to explain spatial autocorrelation dynamics in tree transpiration. *Tree Physiol.* 28:647-658.
- Almeida, J.A.S. and M.F.D.A. Pereira. 1996. The control of flower initiation by gibberellin in *Helianthus annuus* L. (sunflower), a non-photoperiodic plant. *Plant*

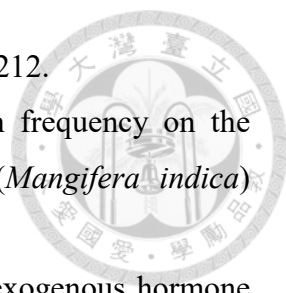
- 
- Growth Regulat. 19:109-115.
- Ara, N., M.K. Bashar, S. Begum, and S.S. Kakon. 2007. Effect of spacing and stem pruning on the growth and yield of tomato. *Intl. J. Sustainable Crop Production* 455:422-430.
- Armitage, A.M. 1994. Ornamental bedding plants. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- Arulrajah, T. and D.P. Ormrod. 1973. Response of okra (*Hibiscus esculentus* L.) to photoperiod and temperature. *Ann. Bot.* 37:331-340.
- Asl, M.B., S. Shakueefar, and V. Valipour. 2012. Effects of indole-3-butyric acid on the rooting ability of semi-hardwood *Bougainvillea* sp. cuttings. *Modern Appl. Sci.* 6:121-123.
- Ausín, I., C. Alonso-Blanco, and J.M. Martínez-Zapater. 2005. Environmental regulation of flowering. *Intl. J. Dev. Biol.* 49:689-705.
- Bailey, D.A. and P.A. Hammer. 1989. Stimulation of “hydrangea distortion” through environmental manipulations. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114:411-416.
- Beeson, R.C. 1991. Scheduling woody plants for production and harvest. *HortTechnology* 1:30-35.
- Ben-Jaacov, J., A. Ackerman, and E. Tal. 1989. Development of new woody flowering pot plants: A comprehensive approach. *Acta Hort.* 51-58.
- Bernier, G., J.M. Kinet, and R.M. Sachs. 1981. The physiology of flowering. CRC press, Inc. Boca Raton, Florida, U.S.A.
- Bhattacharya, A., S. Kourmpetli, and M.R. Davey. 2010. Practical applications of manipulating plant architecture by regulating gibberellin metabolism. *J. Plant Growth Regulat.* 29:249-256.
- Bock, A., T.H. Sparks, N. Estrella, N. Jee, A. Casebow, C. Schunk, M. Leuchner, and A. Menzel. 2014. Changes in first flowering dates and flowering duration of 232 plant species on the island of Guernsey. *Global Change Biol.* 20:3508-3519.
- Bodson, M. and E. Thomas. 1995. The role of gibberellins in the control of inflorescence bud initiation of *Rhododendron simsii*. *Acta Hort.* 378:113-121.
- Borchert, R. 1983. Phenology and control of flowering in tropical trees. *Biotropica* 15:81-89.
- Bradley, M.V. and J.C. Crane. 1960. Gibberellin-induced inhibition of bud development in some species of *Prunus*. *Science* 131:825-826.
- Bredmose, N., K. Kristiansen, and B. Nielsen. 2004. Propagation temperature, PPFD,

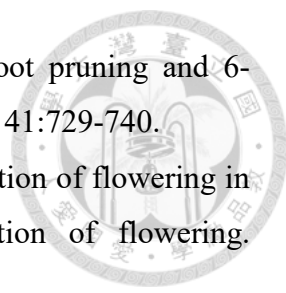
- 
- auxin treatment, cutting size and cutting position affect root formation, axillary bud growth and shoot development in miniature rose (*Rosa hybrida* L.) plants and alter homogeneity. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 79:458-465.
- Burgess, D., O.Q. Hendrickson, and L. Roy. 1990. The importance of initial cutting size for improving the growth performance of *Salix alba* L. *Scandinavian J. Forest Res.* 5:215-224.
- Capovilla, G., M. Schmid, and D. Posé. 2015. Control of flowering by ambient temperature. *J. Expt. Bot.* 66:59-69.
- Carmi, A. 1986. Effects of root zone volume and plant density on the vegetative and reproductive development of cotton. *Field Crops Res.* 13:25-32.
- Carmi, A. and B. Heuer. 1981. The role of roots in control of bean shoot growth. *Ann. Bot.* 48:519-527.
- Chapman, B.M. and R.E. Lyons. 1988. Controlling height of *Abutilon* hybrids with ancymidol, mechanical pinching and photoperiod. *Scientia Hort.* 36:125-129.
- Cockshull, K.E. and A.P. Hughes. 1971. The effects of light intensity at different stages in flower initiation and development of *Chrysanthemum morifolium*. *Ann. Bot.* 35:915-926.
- Cosmulescu, S., A. Baciú, M. Botu, and G. Achim. 2010. Environmental factors' influence on walnut flowering. *Acta Hort.* 861:83-88.
- Costa, G., G. Vizzotto, and A. Maroe. 1992. Root restriction and growth manipulation in peach. *Acta Hort.* 322:221-230.
- Dubik, S.P., D.T. Krizek, and D.P. Stimart. 1990. Influence of root zone restriction on mineral element concentration water potential chlorophyll concentration and partitioning of assimilate in spreading euonymus (*E. Kiautschovica* Loes. 'Sieboldiana'). *J. Plant Nutr.* 13:677-699.
- Duguma, B., B.T. Kang, and D.U.U. Okali. 1988. Effect of pruning intensities of three woody leguminous species grown in alley cropping with maize and cowpea on an alfisol. *Agroforest Systems* 6:19-35.
- Elisea, R.N. and T.L. Davenport. 1995. Effect of leaf age, duration of cool temperature treatment, and photoperiod on bud dormancy release and floral initiation in mango. *Scientia Hort.* 62:63-73.
- Erwin, J. 2007. Factors affecting flowering in ornamental plants, p. 7-48. In: N. O. Anderson (ed.). *Flower breeding and genetics: Issues, challenges and opportunities for the 21st century*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

- 
- Farooqi, A.H.A., Y.N. Shukla, S. Sharma, and R.P. Bansal. 1994. Relationship between gibberellin and cytokinin activity and flowering in *Rosa damascena* Mill. *Plant Growth Regulat.* 14:109-113.
- Fathi, M., H. Zarei, and F. Varsteh. 2017. The effect of natural and chemical compounds on rooting traits of bougainvillea (*Bougainvillea spectabilis* L.). *J. Chem. Health Risks.* 7:181-192.
- Fisher, J.B. 1980. Gibberellin-induced flowering in *Cordyline* (Agavaceae). *J. Expt. Bot.* 31:731-735.
- Follin, J.C. 1972. Four years of experimentation on kenaf and roselle in the Ivory Coast. *Cotton Fibre Trop.* 27:265-268.
- Ganelevin, R. and N. Zieslin. 2002. Contribution of sepals and gibberellin treatments to growth and development of rose (*Rosa hybrida*) flowers. *Plant Growth Regulat.* 37:255-261.
- Gilman, E. F. and D.G. Watson. 1993. *Dombeya wallichii* Pinkball. University of Florida. IFAS Fact Sheet 1-3.
- Hailemichael, A. 2001. Propagation of *Dombeya torrida* (J.F.Gmel.) P. Bamps through rooting of leafy stem cuttings. MS thesis. Swedish Univ. Agr. Sci. Ultuna, Sweden.
- Haldimann, P. and U. Feller. 2004. Inhibition of photosynthesis by high temperature in oak (*Quercus pubescens* L.) leaves grown under natural conditions closely correlates with a reversible heat-dependent reduction of the activation state of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase. *Plant Cell Environ.* 27:1169-1183.
- Hallé, F., R.A.A. Oldeman, and P.B. Tomlinson. 1978. Tropical trees and forests. An architectural analysis. Springer Verlag, Berlin.
- Hamilton, D.F. and J.T. Midcap. 1985. Propagation of woody ornamentals by cuttings. IFAS, Univ. Florida. p. 1-6.
- Hansen, J. 1986. Influence of cutting position and stem length on rooting of leaf-bud cuttings of *Schefflera arboricola*. *Scientia Hort.* 28:177-186.
- Hansen, J. 1989. Influence of cutting position and temperature during rooting on adventitious root formation and axillary bud break of *Stephanotis floribunda*. *Scientia Hort.* 40:345-354.
- Hartmann, H.T., D.E. Kester, F.T. Davies, and R.L. Geneve. 2011. Plant propagation principles and practices. 8th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA. p.345-355.
- Healy, W. and S. Klick. 1993. Potting method improves flowering of *Alstroemeria*. *Acta Hort.* 337:19-24.

- 
- Higuchi, H., T. Sakuratani, and N. Utsunomiya. 1999. Photosynthesis, leaf morphology, and shoot growth as affected by temperatures in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) trees. *Scientia Hort.* 80:91-104.
- Hsu, Y.M., M.J. Tseng, and C.H. Lin. 1996. Container volume affects growth and development of wax-apple. *HortScience* 31:1139-1142.
- Hurley, M.B. and J.S. Rowarth. 1999. Resistance to root growth and changes in the concentrations of ABA within the root and xylem sap during root-restriction stress. *J. Expt. Bot.* 335:799-804.
- Iersel, M.V. 1997. Root restriction effects on growth and development of salvia (*Salvia splendens*). *HortScience* 32:1186-1190.
- Ismail, M.R. and K.M. Noor. 1996. Growth, water relations and physiological processes of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) plants under root growth restriction. *Scientia Hort.* 66:51-58.
- Jackson, M.B. 1986. New root formation in plants and cuttings, p.197-198. In: Jackson, M.B.(ed.). *Developments in plants and soil sciences*, Vol 20. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- King, R.W., I.A. Dawson, and S.S. Speer. 1992. Control of growth and flowering in two western Australian species of *Pimelea*. *Austral. J. Bot.* 40:377-388.
- Konishi, K. 1982. *Plant growth and development*. Yokendo, Tokyo, Japan.
- Lang, A. 1952. Physiology of flowering. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 3:265-306.
- Lang, A. 1956. Gibberellin and flower formation. *Naturwissenschaften* 43:544.
- Larson, R.A. 1980. Introduction to floriculture. p. 589-596. Academic press, New York, U.S.A.
- Latimer, J.G. 1991. Container size and shape influence growth and landscape performance of marigold seedlings. *HortScience* 26:124-126.
- Litlere, B. and E. Strømme. 1975. The influence of temperature, daylength and light intensity on flowering in *Hydrangea macrophylla*. (Thunb.) Ser. *Acta Hort.* 51:285-298.
- Lopez, R.G. and E.S. Runkle. 2004. The effect of temperature on leaf and flower development and flower longevity of *Zygopetalum* Redvale 'Fire Kiss' orchid. *Hortscience* 39:1630-1634.
- Mansour, B.M.M. 1975. Effects of temperature and daylength on growth and flowering of roselle, *Hibiscus sabdariffa* L. *Scientia Hort.* 3:129-135.
- Martini, C.A., D.L. Ingram, and T.A. Nell. 1991. Growth and photosynthesis of *Magnolia*

- grandiflora* ‘St. Mary’ in response to constant and increased container volume. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116:439-445.
- Meijón, M., M.J. Cañal, H. Fernández, A. Rodríguez, B. Fernández, R. Rodríguez, and I. Feito. 2011. Hormonal profile in vegetative and floral buds of azalea: Levels of polyamines, gibberellins, and cytokinins. J. Plant Growth Regulat. 30:74-82.
- Meilan, R. 1997. Floral induction in woody angiosperms. New Forests 14:179-202.
- Metzger, J.D. 1987. Hormones and reproductive development. In: P.J. Davies (ed.). Plant hormones and their role in plant growth and development. p. 431-462. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Moe, R. and R. Heins. 1990. Control of plant morphogenesis and flowering by light quality and temperature. Acta Hort. 272:81-89.
- Muniandi, S.K.M., M.A. Hossain, M.P. Abdullah, and N.A.A. Shukor. 2018. Gibberellic acid (GA₃) affects growth and development of some selected kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) cultivars. Ind. Crops Prod. 118:180-187.
- Mutasa-Göttgens, E. and P. Hedden. 2009. Gibberellin as a factor in floral regulatory networks. J. Expt. Bot. 60:1979-1989.
- Mutsaers, H.J.W. 1983. Leaf growth in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) 2. The influence of temperature, light, water stress and root restriction on the growth and initiation of leaves. Ann. Bot. 51:521-529.
- Nordli, E.F., M. Strøm, and S. Torre. 2011. Temperature and photoperiod control of morphology and flowering time in two greenhouse grown *Hydrangea macrophylla* cultivars. Scientia Hort. 127:372-377.
- North, J.J., C.P. Laubscher and P. A. Ndakidemi. 2010. Effect of the growth retardant Cycocel® in controlling the growth of *Dombeya burgessiae*. African J. Biotechnol. 9:4529-4533.
- Ogaya, R. and J. Peñuelas. 2003. Comparative seasonal gas exchange and chlorophyll fluorescence of two dominant woody species in a Holm Oak Forest. Flora 198:132-141.
- Okoro, O.O. and J. Grace. 1976. The physiology of rooting *Populus* cuttings. Physiol. Plant. 36:133-138.
- Oosthuyse, S.A. and G. Jacobs. 1997. Flowering synchronization of ‘Sensation’ mango trees by winter pruning. Acta Hort. 455:422-430.
- Otiende, M.A., J.O. Nyabundi, K. Ngamau, and P. Opala. 2017. Effects of cutting position of rose rootstock cultivars on rooting and its relationship with mineral nutrient

- 
- content and endogenous carbohydrates. *Scientia Hort.* 225:204-212.
- Ouma, G. 2007. Effect of different container sizes and irrigation frequency on the morphological and physiological characteristics of mango (*Mangifera indica*) rootstock seedlings. *Intl. J. Bot.* 3:260-268.
- OuYang, F., J. Wang, and Y. Li. 2015. Effects of cutting size and exogenous hormone treatment on rooting of shoot cuttings in Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.]. *New Forests* 46:91-105.
- Palanisamy, K. and P. Kumar. 1997. Effect of position, size of cuttings and environmental factors on adventitious rooting in neem (*Azadirachta indica* A. Juss). *Forest Ecol. Mgt.* 98:277-280.
- Partey, S.T. 2011. Effect of pruning frequency and pruning height on the biomass production of *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. *Agroforest Systems* 83:181-187.
- Pasian, C.C. and J.H. Lieth. 1994. Prediction of flowering rose shoot development based on air temperature and thermal units. *Scientia Hort.* 59:131-145.
- Peterson, T.A. and D.T. Krizek. 1992. A flow-through hydroponic system for the study of root restriction. *J. Plant Nutr.* 15:893-911.
- Phinney, B.O., C.A. West, M. Ritzel, and P.M. Neely. 1957. Evidence for “ gibberellin-like” substances from flowering plants. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 43:398-404.
- Pimentel, R.G. and G.C. Rangel. 2017. Flower biology of two species of *Dombeya* (Malvaceae) in the botanical garden of UFRRJ. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas* 09:77-85.
- Poorter, H., J. Böhler, D.V. Dusschoten, J. Climent, and J.A. Postma. 2012. Pot size matters: A meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biol.* 39:839-850.
- Purseglove, J.W. 1968. *Tropical crops: Dicotyledons, volume 2*, John Wiley & Sons, NY, U.S.A.
- Rahman, M.O., M.A. Hassan, M.M.K. Mia, and A.M. Huq. 2012. A synoptical account of the sterculiaceae in Bangladesh. *Bangladesh J. Plant Taxon.* 19:63-78.
- Rainey, K.M. and P.D. Griffiths. 2005. Differential response of common bean genotypes to high temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130:18-23.
- Read, P.E. and C.M. Bavougian. 2014. Woody ornamentals, p. 619-644. In: Dixon, G.R. and D.E. Aldous (eds.). *Horticulture: Plants for people and places, volume 2: Environmental Horticulture*. 1st ed. Springer, Netherlands.
- Richards, D. 1986. Tree growth and productivity-the role of roots. *Acta Hort.* 175:27-36.

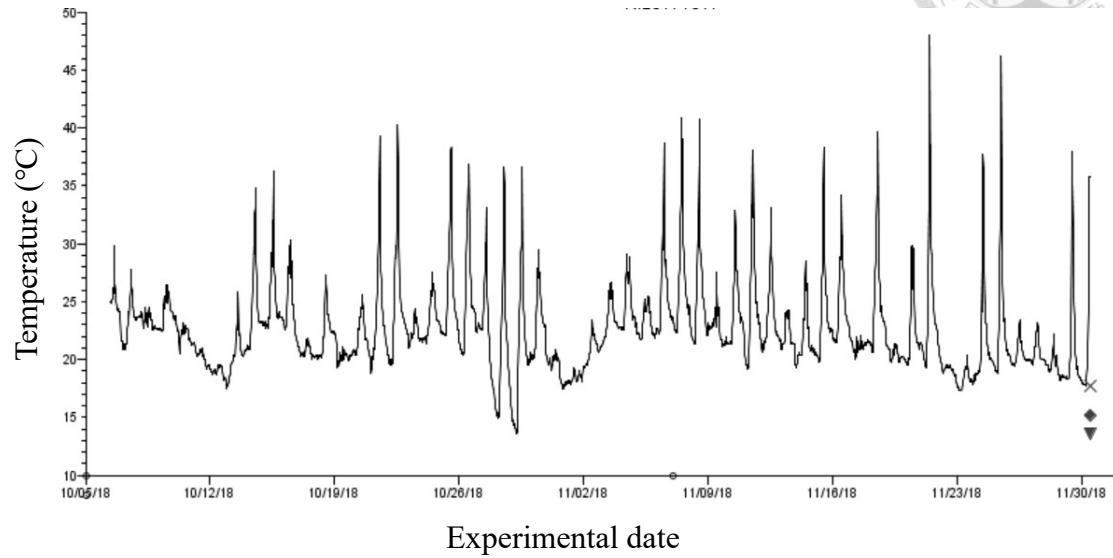
- 
- Richards, D. and R.N. Rowe. 1977. Effects of root restriction, root pruning and 6-benzylaminopurine on the growth of peach seedlings. *Ann. Bot.* 41:729-740.
- Roberts, E.H. and R.J. Summerfield. 1987. Measurement and prediction of flowering in annual crops, p.17-50. In: J.G. Atherton (ed.). *Manipulation of flowering*. Butterworths, London, UK.
- Rossi, P. 1999. Length of cuttings in establishment and production of short-rotation plantations of *Salix* 'Aquatica'. *New Forests* 18:161-177.
- Sawano, M. and M. Tsukamoto. 1963. Stimulation of flowering in roselle hemp by short-day treatment. *Sci. Rpt. Hyogo Univ. Agr.* 6:55-58.
- Schaffer, B., A.W. Whiley, and C. Searle. 1999. Atmospheric CO₂ enrichment, root restriction, photosynthesis, and dry-matter partitioning in subtropical and tropical fruit crops. *HortScience* 34:1033-1037.
- Sharp, R.G., M.A. Else, W.J. Davies, and R.W. Cameron. 2010. Gibberellin-mediated suppression of floral initiation in the long-day plant *Rhododendron* cv. Hatsugiri. *Scientia Hort.* 124:231-238.
- Shu, Z.H. and T.F. Sheen. 1987. Floral induction in axillary buds of mango (*Mangifera indica* L.) as affected by temperature. *Scientia Hort.* 31:81-87.
- Skema, C.K. 2010. The systematics of *Dombeya* Cav. and its near relatives (Dombeyaceae). PhD Diss. Cornell Univ., Ithaca, NY. U.S.A.
- Skema, C.K. 2012. Toward a new circumscription of *Dombeya* (Malvales: Dombeyaceae): A molecular phylogenetic and morphological study of *Dombeya* of Madagascar and a new segregate genus, *Andringitra*. *Taxon* 61:612-628.
- Soderholm, P.K. 1967. Evaluation of *Dombeya* introduction for new ornamentals for Florida. *Florida Agr. Expt. Soc. J. Ser.* 2875:477-480.
- Stevenson, M.R. and K.J. Fisher. 1974. Effect of container size and peat source on growth and yield of the tomato. *J. Experimental Agr.* 3:157-160.
- Storey, W.B. and F.I.O. Nwoke. 1985. *Hibiscus*, p. 135-139. In: A.H. Halevy (ed.). *CRC handbook of flowering* (volume III). CRC press, Inc. Boca Raton, Florida, U.S.A.
- Stuart, N.W. and H.M. Cathey. 1961. Applied aspects of the gibberellins. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 12:369-394.
- Sukhvibul, N., A.W. Whiley, M.K. Smith, S.E. Hetherington, and V. Vithanage. 1999. Effect of temperature on inflorescence and floral development in four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Scientia Hort.* 82:67-84.
- Szwarcbaum, I. 1982. Influence of leaf morphology and optical properties on leaf

- temperature and survival in three mediterranean shrubs. *Plant Sci. Lett.* 26:47-56.
- Tchoundjeu, Z. and R.R.B. Leakey. 1996. Vegetative propagation of African mahogany : Effects of auxin, node position, leaf area and cutting length. *New Forests* 11:125-136.
- Tipu, S.U., K.L. Hossain, M.O. Islam, and M.A. Hossain. 2006. Effect of pruning height on shoot biomass yield of *Leucaena leucocephala*. *Asian J. Plant Sci.* 5:1043-1046.
- Tschaplinski, T.J., and T.J. Blake. 1985. Effects of root restriction on growth correlations, water relations and senescence of alder seedlings. *Physiol. Plant.* 64:167-176.
- Wade, G.L. and R.R. Westerfield. 2009. Basic principles of pruning woody plants. The University of Georgia, Coop. Ext. 1-6.
- Wareing, P.F. 1956. Photoperiodism in woody plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 7:191-214.
- Warner, R.M. and J.E. Erwin. 2001. Variation in floral induction requirements of *Hibiscus* sp. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126:262-268.
- Webster, A.D. and C.J. Atkinson. 1997. Controlling the shoot growth and cropping of sweet cherry trees using root pruning or root restriction techniques. *Acta Hort.* 451:643-651.
- Westwood, M.N. 1978. Temperate-zone pomology. p. 169-185, 369-376. W.H. Freeman and Co., San Francisco, Calif. U.S.A.
- Whiley, A.W., T.S. Rasmussen, J.B. Saranah, and B.N. Wolstenholme. 1989. Effect of temperature on growth, dry matter production and starch accumulation in ten mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *J. Hort. Sci.* 64:753-765.
- Wilkie, J.D., M. Sedgley, and T. Olesen. 2008. Regulation of floral initiation in horticultural trees. *J. Expt. Bot.* 59:3215-3228.
- Xie, Z.S., B. Li, C.F. Forney, W.P. Xu, and S.P. Wang. 2009. Changes in sugar content and relative enzyme activity in grape berry in response to root restriction. *Scientia Hort.* 123:39-45.
- Xu, Q. and B. Huang. 2011. Morphological and physiological characteristics associated with heat tolerance in creeping bentgrass. *Crop Sci.* 41:127-133.
- Yamamoto, S. and E. Nawata. 2009. Effect of root zone on flower bud formation and flowering in species of genus *Capsicum*. *Trop. Agr. Dev.* 53:55-58.
- Yang, T. L. Zhu, S. Wang, W. Gu, D. Huang, W. Xu, A. Jiang, and S. Li. 2007. Nitrate uptake kinetics of grapevine under root restriction. *Scientia Hort.* 111:358-364.
- Yeh, D.M. and H.H. Chiang. 2001. Growth and flower initiation in hydrangea as affected

- by root restriction and defoliation. *Scientia Hort.* 91:123-132.
- Yeh, D.M. and J.G. Atherton. 1997. Manipulation of flowering in cineraria. I. Effects of photoperiod. *J. Hort. Sci.* 72:43-54.
- Yeh, D.M., J.G. Atherton, and J. Craigon. 1999. A thermal time model of post-initiation flower development in shade plant, cineraria. *Ann. Appl. Biol.* 134:335-340.



附錄 (Appendix)



附錄 1. 噴施 GA_3 對非洲芙蓉花芽形成之影響試驗期間溫度變化 (Expt. 8)

Appendix 1. Temperature variations during the period of Expt. 8 (5, Oct. 2018 – 25, Jan. 2019)