

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

聖誕紅品種耐熱性評估與提升耐熱性之方法

The Evaluation and Alleviation of Heat Tolerance in  
Poinsettia Cultivars

黃紹博

Shao-Bo Huang

指導教授：張育森 教授

Advisor: Prof. Yu-Sen Chang

中華民國 107 年 6 月

June, 2018





## 摘要

聖誕紅(*Euphorbia pulcherrima* Willd.)是臺灣產量第二大的盆花作物，在臺灣夏季栽培時易發生植株生長停滯、盲芽、停心及狹葉化等生理障礙。本研究目的為評估聖誕紅品種的耐熱性，並透過施用水楊酸(salicylic acid, SA)和氯化鈣(calcium chloride, CaCl<sub>2</sub>)藥劑及生長阻礙劑(plant growth retardant)等方式改善耐熱性。

品種耐熱性評估方面，利用葉綠素螢光、葉片溫度及細胞膜熱穩定性評估聖誕紅品種耐熱性，並根據隸屬度(membership function value, MFV)綜合上述各項評估指標，結果顯示‘美貝拉’(‘Marbella’)、‘彼得之星’(‘Jacobson Peterstar’)、‘聖誕玫瑰’(‘Winter Rose’)、‘四季桃喜’(‘Luv U Pink’)、聖誕節’(‘Noel’)及‘紅寶石’(‘Primero Glitter’)等品種之平均隸屬度>64%，為較耐熱品種；‘倍利’(‘Pepride’)、‘桃莉’(‘Dulce Rosa’)、‘光輝’(‘Red Splendor’)、‘黃金粉’(‘Monet Early Red’)、‘聖誕卡羅’(‘Christmas Carol’)及‘紅絲絨’(‘Red Velveteen’)之平均隸屬度介於 64% 至 44% 之間，為中度耐熱品種；‘冰火’(‘Ice Punch’)、‘威望’(‘Prestige Early’)、‘旺德福’(‘Wonderful’)、‘檸檬雪’(‘Lemon Snow’)及‘聖誕情閃耀’(‘Red Glitter’)之平均隸屬度<44%，為較不耐熱的品種。

水楊酸和氯化鈣改善耐熱性方面，試驗以‘Winter Rose’、‘Noel’、‘Ice Punch’扦插 6 週苗為材料，試驗共分為去離子水(對照組)、10 mM CaCl<sub>2</sub>、200 μM SA、400 μM SA、10 mM CaCl<sub>2</sub> + 200 μM SA、10 mM CaCl<sub>2</sub> + 400 μM SA 等 6 種處理，SA 和 CaCl<sub>2</sub> 藥劑可恢復‘Winter Rose’和‘Ice Punch’之 Fv/Fm 值至 0.7 以上，並降低三個品種聖誕紅之葉片相對傷害值(relative injury, RI)，‘Winter Rose’以 400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 處理之 RI 值最低；‘Noel’以 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>、400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 及 10 mM CaCl<sub>2</sub> 三種處理之 RI 值最低；‘Ice Punch’則是處理間無顯著差異。在植株生長表現方面，經藥劑處理可提高‘Winter Rose’和‘Ice Punch’之側芽萌發率和新葉數，對‘Noel’則無顯著影響。藥劑處理可提升三個品種聖誕紅



之外觀等級，‘Winter Rose’以 10 mM CaCl<sub>2</sub>、400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 最佳；‘Noel’各藥劑處理間無顯著差異；‘Ice Punch’則以 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 最佳。澆灌或噴施 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 均可降低‘Winter Rose’之 RI 值並提升 Fv/Fm 和 Y(II)值，兩種處理方式間無顯著差異。施用 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 可顯著降低‘Noel’ 高溫逆境後之丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量，並提升過氧化氫酶(catalase, CAT)之活性，對超氧歧化酶(superoxide dismutase, SOD)則沒有顯著影響。總結來說，以外觀品質和葉片相對傷害值作為標準，各品種最佳之藥劑配方為：‘Winter Rose’為 400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>；‘Noel’為 400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 和 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>；‘Ice Punch’為 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>。

生長阻礙劑提升耐熱性方面，巴克素(paclobutrazol, PP-333) 23.5 mg·L<sup>-1</sup> 或克美素(chlormequat, CCC) 1500 mg·L<sup>-1</sup> 可增加‘Winter Rose’、‘Noel’、‘Ice Punch’之 Y(II) 值和 Fv/Fm 值，並降低‘Ice Punch’之 RI 值。另分別於摘心後側芽長 2、3、5 cm 時澆灌 23.5 mg·L<sup>-1</sup> PP-333，結果顯示摘心後側芽長 2 cm 時施用 PP-333 之株高最低，葉長和葉寬最小，葉綠素計讀值亦較其他兩個處理低；於摘心後側芽長 5 cm 時施用 PP-333 除了降低株高，並兼具提升葉綠素計讀值以及葉長葉寬之效果。耐熱指標方面，摘心後各時期施用 PP-333 皆可減緩高溫處理後 Fv/Fm 和 Y(II)下降的幅度，並且降低 RI 值，各時期處理間則沒有顯著差異。負日夜溫差(difference in day and night temperature, DIF)(25/30°C)處理 30 天可降低‘Winter Rose’之株高，但對各項耐熱指標均無顯著影響，推測影響聖誕紅耐熱性之因子可能為生長阻礙劑之化學特性，其他矮化植物的方式對耐熱性不一定有顯著影響。

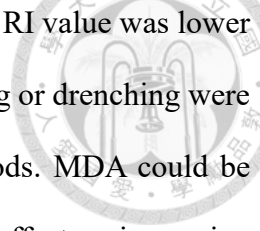
總結來說，本試驗耐熱性評估結果與桃園區農業改良場專家實際栽培經驗、吳(2015)之結果相似，表示以隸屬度綜合各項耐熱指標評估聖誕紅耐熱性應具有相當的參考價值。施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 可提升聖誕紅各項耐熱生理指標，唯複合施用更能提升外觀等級，最適濃度依品種而異。施用 PP-333 可提升聖誕紅耐熱性，待摘心後側芽長 5 cm 施用可兼具降低株高和提升耐熱性之效果。

## Abstract

*Poinsettia (Euphorbia pulcherrima Willd.)* is the second most pot flower in Taiwan. Heat stress in summer could inhibit plant growth and result in abnormal leaf, which is the most severe problem that producer is facing. This research aims at evaluating heat tolerance in poinsettia cultivars and improving heat tolerance by applying salicylic acid (SA), calcium chloride (CaCl<sub>2</sub>), and plant growth retardant.

Three heat tolerance index (leaf temperature, chlorophyll fluorescence and cell membrane thermostability) were integrated by membership function value (MFV). Results shows that ‘Marbella’, ‘Jacobson Peterstar’, ‘Winter Rose’, ‘Luv U Pink’, ‘Noel’ and ‘Primero Glitter’ were heat tolerant cultivars, the MFV of which were more than 64%; ‘Pepride’, ‘Dulce Rosa’, ‘Red Splendor’, ‘Monet Early Red’, ‘Christmas Carol’ and ‘Red Velveteen’ were medium heat tolerant cultivars, the MFV of which were between 44% and 64%; ‘Ice Punch’, ‘Prestige Early’, ‘Wonderful’, ‘Lemon Snow’ and ‘Red Glitter’ were heat sensitive cultivars, the MFV of which were under 44%.

‘Winter Rose’, ‘Noel’ and ‘Ice Punch’ were sprayed on various concentrations of SA (0, 200, 400 μM) and CaCl<sub>2</sub> (0, 10 mM). Fv/Fm values were higher (more than 0.7) and relative injury (RI) values were lower in ‘Winter Rose’ and ‘Ice Punch’ which were sprayed on SA, CaCl<sub>2</sub>. RI values were lowest by applying 400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> for ‘Winter Rose’, 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>, 400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> or 10 mM CaCl<sub>2</sub> for ‘Noel’. For ‘Ice Punch’, all treatment could increase Fv/Fm values and reduce relative injury, and there was no significant difference among treatments. There were more lateral buds and young leaves of ‘Winter Rose’ and ‘Ice Punch’ sprayed on SA and CaCl<sub>2</sub>, but no effect on ‘Noel’ was found. Appearance quality was better of all cultivars sprayed on SA and CaCl<sub>2</sub>. Appearance quality was highest by applying 10 mM CaCl<sub>2</sub> + 400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> for ‘Winter Rose’, 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> for ‘Ice



Punch’. No matter sprayed or drenched 200  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM  $\text{CaCl}_2$ , RI value was lower and Fv/Fm value was higher of ‘Winter Rose’. The effects of spraying or drenching were similar, and there was no significant difference between two methods. MDA could be reduced by spraying 200  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM  $\text{CaCl}_2$ , but there was no effect on increasing activity of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT). Considering RI value and appearance quality as a standard, the optimal concentration of SA and  $\text{CaCl}_2$  was 400  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM  $\text{CaCl}_2$  for ‘Winter Rose’; 400  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM  $\text{CaCl}_2$  or 200  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM  $\text{CaCl}_2$  for ‘Noel ’; 200  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM  $\text{CaCl}_2$  for ‘Ice Punch’.

Drenched in 23.5 mg  $\cdot$  L<sup>-1</sup> or chlormequat (CCC) 1500 mg $\cdot$ L<sup>-1</sup>, there were higher Fv/Fm and Y(II) values in 3 cultivars of poinsettia, and RI values was lower in ‘Ice Punch’. Fv/Fm and Y(II) values were higher of ‘Noel’ and ‘Ice Punch’ drenched in PP-333. Treated PP-333 when lateral bud was 5 cm could reduced plant height and increased quality of appearance and heat tolerance. Plant height was lower of ‘Winter Rose’ with negative difference in day and night temperature treatment (-DIF, 25/30°C), but there was no significant effect on heat tolerant indexes with -DIF treatment. It was supposed that heat tolerance was affected by chemical compounds of plant growth retardants instead of other retardant method.

In conclusion, results of evaluation of heat tolerance was similar with previous studies including the field experience of specialists in Taoyuan district agricultural improvement station, COA, EY, and the results of 吳(2015). Therefore, leaf temperature, chlorophyll fluorescence and cell membrane thermostability may be a reliable way of evaluation of heat tolerance. Applying SA and  $\text{CaCl}_2$  could improve heat tolerance, and the optimal concentration varied from different cultivars. Treated PP-333 when lateral bud was 5 cm could not only reduce plant height but improve heat tolerance.



## 目錄

摘要 .....	i
Abstract.....	iii
表目錄 .....	VI
圖目錄 .....	VII
第一章 前言(Introduction).....	1
第二章 前人研究(Literature Review).....	3
第三章 聖誕紅品種耐熱性評估 .....	13
一、前言(Introduction) .....	14
二、材料與方法(Materials and Methods) .....	15
三、結果(Results) .....	19
四、討論(Discussion) .....	22
第四章 施用水楊酸和氯化鈣提升聖誕紅耐熱性之應用 .....	39
一、前言(Introduction) .....	40
二、材料與方法(Materials and Methods) .....	41
三、結果(Results) .....	48
四、討論(Discussion) .....	50
第五章 施用生長阻礙劑提升聖誕紅耐熱性之應用 .....	69
一、前言(Introduction) .....	70
二、材料與方法(Materials and Methods) .....	71
三、結果(Results) .....	76
四、討論(Discussion) .....	78
第六章 結論(Conclusion) .....	89
參考文獻(References).....	91
附錄 (Appendix).....	100



## 表目錄

表 3.1. 17 個品種聖誕紅於高溫處理下之葉片溫度與環境溫度之差值 ( $\Delta T$ )、葉片相對傷害值(RI)及葉綠素螢光參數( $F_m'$ )之下降百分比 ( $\Delta F_m'$ )。 .....	27
表 3.2. 17 個品種聖誕紅於高溫逆境下各耐熱指標之隸屬度(MFV)和平均 隸屬度 .....	28
表 3.3. 三種耐熱指標與平均隸屬度之相關性 .....	29
表 4.1. 澆灌或噴施水楊酸和氯化鈣複合藥劑對高溫處理之聖誕紅‘聖誕 玫瑰’葉片溫度和 RI 值之影響 .....	54
表 4.2. 水楊酸和氯化鈣複合藥劑對高溫處理之聖誕紅‘聖誕節’丙二醛 (MDA)含量以及 superoxide dismutase(SOD)、catalase(CAT)活性之影 響 .....	55
表 5.1. 生長阻礙劑和負日夜溫差(-DIF)對聖誕紅相對傷害值、葉片溫度 之影響 .....	81
表 5.2. 不同時期施用巴克素(Paclobutrazol, PP-333) 23.5 mg·L <sup>-1</sup> 對聖誕紅 ‘聖誕節’和‘冰火’之株高、葉長、葉寬、葉綠素計讀值(CMR)及常態 化差異植生指數(NDVI)之影響 .....	82





## 圖目錄

圖 3.1. 聖誕紅‘美貝拉’、‘四季桃喜’、‘聖誕情閃耀’、‘冰火’及‘桃莉’於 32°C下之葉片溫度變化 .....	30
圖 3.2. 聖誕紅‘美貝拉’、‘四季桃喜’、‘聖誕情閃耀’、‘冰火’及‘桃莉’於 32°C下之紅外線影像。(A)20 分鐘(B)30 分鐘(C)40 分鐘(D)50 分鐘 (E)60 分鐘 .....	31
圖 3.3. 17 個品種聖誕紅於 32°C下之葉片溫度 .....	32
圖 3.4. 17 個品種聖誕紅於於 32°C下之熱影像圖 .....	33
圖 3.5. 17 個品種聖誕紅於 32°C下葉片溫度與環境溫度之差值( $\Delta T$ ).....	34
圖 3.6. 15 個品種聖誕紅於水浴溫度 55°C下 15 分鐘之葉片相對傷害值	35
圖 3.7. 16 個品種聖誕紅於 32°C下之葉綠素螢光參數 Y(II)變化 .....	36
圖 3.8. 16 個品種聖誕紅於 32°C下之葉綠素螢光參數 Fm'變化 .....	37
圖 4.1. 水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’、‘聖誕節’及‘冰火’葉綠素螢光值(Fv/Fm)之影響 .....	56
圖 4.2. 水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’、‘聖誕節’及‘冰火’葉綠素螢光值(Y(II))之影響 .....	57
圖 4.3. 水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’、‘聖誕節’及‘冰火’葉片相對傷害值之影響 .....	58
圖 4.4. 水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’、‘聖誕節’及‘冰火’側芽萌發率之影響 .....	59
圖 4.5. 水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’、‘聖誕節’及‘冰火’新葉數之影響 .....	60
圖 4.6. 水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’、‘聖誕節’及‘冰火’外觀等級之影響 .....	61
圖 4.7. 不同濃度組合之水楊酸和氯化鈣對高溫處理後之聖誕紅‘聖誕玫瑰’外觀之影響 .....	62
圖 4.8. 不同濃度組合之水楊酸和氯化鈣對高溫處理後之聖誕紅‘聖誕節’外觀之影 .....	63
圖 4.9 水楊酸和氯化鈣對高溫處理後之聖誕紅‘冰火’外觀之影響 .....	64
圖 4.10. 不同濃度組合之水楊酸和氯化鈣對高溫處理後之聖誕紅‘聖誕玫瑰’開花轉色之影響 .....	65
圖 4.11. 不同濃度組合之水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕節’開花轉色之影響 .....	66
圖 4.12. 不同濃度組合之水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘冰火’開花轉色之影響 .....	67
圖 4.13. 澆灌或噴施水楊酸和氯化鈣複合藥劑對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’葉綠素螢光值(Fv/Fm、Y(II))之影響 .....	68

圖 5.1. 生長阻礙劑和負日夜溫差(-DIF)對聖誕紅株高之影響.....	83
圖 5.2. 不同種類生長阻礙劑和負日夜溫差(-DIF)對聖誕紅葉綠素螢光值 (Fv/Fm、Y(II))之影響.....	84
圖 5.3. 生長阻礙劑和負日夜溫差(-DIF)對聖誕紅外觀之影響.....	85
圖 5.4. 不同時期施用巴克素(Pacllobutrazol, PP-333) 23.5 mg·L <sup>-1</sup> 對聖誕紅 ‘聖誕節’、‘冰火’葉片相對傷害值之影響.....	86
圖 5.5. 不同時期施用巴克素(Pacllobutrazol, PP-333) 23.5 mg·L <sup>-1</sup> 對聖誕紅 ‘聖誕節’葉綠素螢光值(Fv/Fm、Y(II))之影響.....	87
圖 5.6. 不同時期施用巴克素(Pacllobutrazol, PP-333) 23.5 mg·L <sup>-1</sup> 對聖誕紅 ‘聖誕節’和‘冰火’外觀之影響.....	88

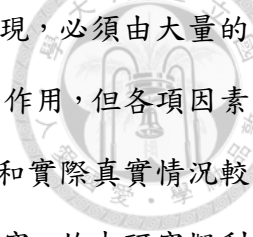
## 第一章 前言

### Chapter 1. Introduction



聖誕紅 (*Euphorbia pulcherrima* Willd.) 為大戟科 (Euphorbiaceae) 大戟屬 (*Euphorbia*) 的木本植物，原產於墨西哥山區，生長適溫為日溫 24-28°C，夜溫 21-23°C。聖誕紅為短日植物，臨界日長約 11 小時，自然花期約在北半球的 11 月至隔年 3 月 (Ecke et al., 2004)。由於苞片鮮豔、品種多樣，且花期正逢聖誕節與農曆春節，使聖誕紅成為臺灣產量排行僅次於蝴蝶蘭第二名的盆花；年產量約 120 萬盆，年產值達 6,000 萬元新台幣，主要產區為苗栗縣卓蘭鎮、桃園市、南投縣埔里鎮及宜蘭縣，主要規格為 9 cm 和 15 cm 盆 (傅等，2010)。目前，臺灣主要栽培品種包括‘聖誕節’、‘倍利’、‘旺德福’、‘聖誕玫瑰’、‘桃莉’等，其中‘聖誕節’市占率遠高於其他品種 (丁和林，2015)。根據農民生產經驗，市占率最高的品種‘聖誕節’在高溫期生長較佳，可能與其耐熱性有關，而成為品種選擇之重要考量 (私人通訊)。

為了配合產期，聖誕紅在臺灣主要於 6 月至 9 月扦插繁殖，然此時正逢夏季高溫，常造成植株生長不良 (楊，2015)。日夜間的高溫均會影響聖誕紅的母本期、繁殖期或開花期之植株根、莖、葉、苞片及花朵等各器官之生育，在高溫逆境下聖誕紅易發生插穗產量減少、植株生長停滯、盲芽、狹葉化、停心及根系病害等生理障礙 (楊，2015)，夜溫高於 23°C 時則會延遲開花 (Ecke, 2004)。臺灣近百年來年均溫上升 1.4°C，為同期全球平均增溫 (0.6°C) 的 2 倍以上，全球暖化將是未來農業生產必須面對的重要課題 (唐和樊，2009; Root, 2003)。篩選耐熱的品種將有利於抵抗高溫逆境，傳統耐熱育種流程中，田間篩選目標性狀所耗費之時間及勞力成本多，若能有生理指標與植株耐熱程度及田間表現高度相關性，則可作為快速評估耐熱性之生理指標，常見評估耐熱性之方法如葉綠素螢光 (chlorophyll fluorescence) 及細胞膜熱穩定性 (cell membrane thermostability, CMT) (陳，2012)。吳 (2015) 以 CMT 選拔聖誕紅耐熱品種，結果顯示 55°C 水浴 15 分鐘之 RI 值可適用於耐熱性之初步評



估。侯和呂(1995)指出植物對乾旱的耐受性是一種綜合的性狀表現，必須由大量的因素綜合才容易表現，其中每一項因素都對抗乾旱能力有一定的作用，但各項因素作用可能彼此有出入，評估抗旱性應該綜合各項生理指標，才會和實際真實情況較接近。目前尚未有以多項生理指標，綜合評估聖誕紅耐熱性之研究，故本研究擬利用隸屬度(membership function value)綜合葉綠素螢光、葉片溫度及細胞膜熱穩定性三項耐熱指標共同評估聖誕紅品種之耐熱性。

水楊酸(salicylic acid, SA)和氯化鈣(calcium chloride, CaCl<sub>2</sub>)具有提升作物耐熱性之效果，在抗氧化系統中，鈣離子具有訊息傳遞、增加抗氧化酵素活性及調節氣孔開閉等功能。水楊酸則有訊息傳導、維持鈣離子平衡、抗逆蛋白質產生、減少過氧化物等功能(Jiang and Huang, 2001)。吳(2015)指出單獨施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 能提升聖誕紅耐熱性，其中 SA 推薦濃度為 200、400 μM，CaCl<sub>2</sub> 為 10mM，但目前仍未有利用水楊酸和氯化鈣複合藥劑提升聖誕紅耐熱性之前人研究。PP-333 等 triazole 類之生長阻礙劑可同時抑制吉貝素(gibberellin, GA)的生合成和離層素(abscisic acid, ABA)的代謝(Flecher et al., 2010；Grossmann, 1990)，進而同時矮化植株並提升其逆境耐受性。施用 PP-333 可提升玉米(*Zea mays* L.)於低溫逆境下之超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和抗壞血酸過氧化酶(ascorbate peroxidase, APX)之含量(Pinhero et al., 1997)。目前尚未有生長阻礙劑提升聖誕紅耐熱性之前人研究。

本研究旨在評估聖誕紅品種耐熱性，並透過施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 化學藥劑和生長阻礙劑等方式改善耐熱性，希望能藉此提升聖誕紅的生產品質。故本論文之研究目的，包括：

- (一) 利用膜熱穩定性、葉片溫度、葉綠素螢光等非破壞性生理指標評估聖誕紅品種耐熱性。
- (二) 利用水楊酸和氯化鈣藥劑提升聖誕紅耐熱性。
- (三) 利用生長阻礙劑提升聖誕紅耐熱性。

## 第二章 前人研究

### Chapter 2. Literature Review



#### 一. 聖誕紅之栽培條件

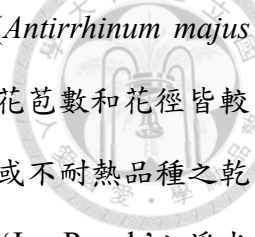
聖誕紅為短日植物，臨界日長自然花期約為 11 月到隔年 3 月。生長適溫為日溫 24-28°C，夜溫 21-23°C，在高溫逆境下聖誕紅易發生插穗產量減少、根系病害、植株生長停滯、盲芽、停心及狹葉化等生理障礙(楊，2015)。夜溫高於 23°C 時會延遲開花(Ecke, 2004)。水分需求方面，介質含水量宜保持在中等水勢(-5 kPa)與高水勢(-1 kPa)，若長時間處於低水勢(-50 kPa)後再灌溉，其生長品質易下降；營養生長期對土壤水勢的敏感度高於生殖生長期，受到低水勢逆境後對生長品質的影響較大(Nowak and Strojny, 1998)。吳(2015)指出聖誕紅栽培介質含水量不宜低於 30%VWC，否則容易落葉，造成品質下降。

肥料需求方面，聖誕紅為高需肥植物，於營養生長期需大量肥料，施用不足時嚴重影響觀賞品質(Ku and Hershey, 1997)。巨量元素建議施用濃度為氮(300-600 mg·L<sup>-1</sup>)、磷(50-200 mg·L<sup>-1</sup>)及鉀(200-400 mg·L<sup>-1</sup>)(Ecke et al., 2004)。聖誕紅缺鈣時枝條軟弱(Lawton et al., 1989)或葉片與苞片皺縮扭曲造成邊緣壞疽，苞葉或葉片壞疽的部分鈣濃度含量較低(Jacques et al., 1991)。吳(2015)指出聖誕紅苗期肥料施用時機，以扦插後 14 天開始施用液肥表現最佳，幼苗期高氮處理組(30N-4.6P-8.3K)，在各生長階段皆有最佳表現。

株高控制方面，聖誕紅移植後至摘心之前通常不使用矮化劑或僅噴施 1000 mg·L<sup>-1</sup> 克美素(chlormequat, CCC)即可；摘心後至花芽分化用 1500 mg·L<sup>-1</sup> CCC 或 10-25 mg·L<sup>-1</sup> 巴克素(pacllobutrazol, PP-333)；花芽分化後應避免使用太高濃度矮化劑以免影響苞片伸展及延遲開花(傅等，2010)。

#### 二. 高溫對花卉作物生長之影響

高溫會造成許多作物生長形態改變、葉片老化及脫落、地上部及地下部生長受



抑制、以及降低產量和品質等(Ismail and Hall, 1999)。金魚草(*Antirrhinum majus* L. 'Rohet Rose')、龍頭花 (*Mimulus ×hybridus* L.)生長於 32°C之花苞數和花徑皆較生長於 20 °C者低(Warner and Erwin, 2005)。高溫使聖誕紅耐熱或不耐熱品種之乾重、株高及莖徑等生長測值下降，使不耐熱品種 'Red Velvet'和'Ice Punch'之淨光合作用、氣孔導度及細胞間隙 CO<sub>2</sub> 濃度等生理指標降低(吳, 2015)。高溫逆境破壞細胞膜穩定性，使細胞質滲漏，也會造成脂質過氧化，產生活性氧族(reactive oxygen species, ROS)。抗氧化系統(antioxidant system)可清除 ROS，防止其對植物之破壞(Zhang et al., 2011)，過氧化氫酶(catalase, CAT)、抗壞血酸過氧化物酶(Ascorbate peroxidase, APOX)是植物體內的抗氧化酵素，具有清除自由基的功能(Dinakar et al., 2012)。日日春(*Catharanthus roseus*)相較於香豌豆(*Lathyrus odoratus*)具有比較高的耐熱性，於高溫下香豌豆的電解質滲漏率隨著溫度快速上升，表示其細胞膜較容易受到高溫傷害；香豌豆的 CAT、APOX 的活性於高溫下快速的下降，使其清除自由基的能力較日日春差(Anderson and Padhye, 2004)。高溫會破壞光系統II，抑制電子傳遞鏈進行，使植物需以螢光之方式消散多餘能量(Lin et al., 2007)。菊花(*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura)於 35°C以上其葉綠素螢光基值(Fo)隨著溫度增加而上升，使得 Fv/Fm 下降(Janka et al., 2013)。

### 三. 快速評估耐熱性之方法

篩選耐熱的品種將有利於抵抗高溫逆境，傳統耐熱育種流程中，田間篩選目標性狀所耗費之時間及勞力成本多，若有生理指標與植株耐熱程度及田間生育表現呈高度相關性，則可作為快速篩選耐熱品種之生理指標。快速、非破壞性篩選耐熱品種的指標有細胞膜熱穩定性(cell membrane thermo stability, CMT)、葉綠素螢光(陳, 2012)及葉片溫度。高溫會破壞細胞膜的穩定性，使得細胞質滲漏，因此 CMT 常作為植物耐逆境的指標。高溫也會抑制電子傳遞鏈進行，使植物必須以熱和螢光之方式消散多餘能量，故葉片溫度以及葉綠素螢光也可以做為評估耐熱性之指標



(Hackl et al., 2012)。

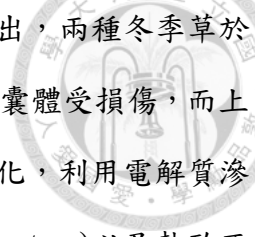
### (一) 葉綠素螢光(chlorophyll fluorescence)與光合作用

高溫逆境會傷害光合系統之細胞膜使其失去活性，光合器官之葉綠素螢光對溫度引起之變化較其他器官敏感(Camejo et al., 2005)。高溫會破壞光系統II，抑制電子傳遞鏈進行，使植物被迫以螢光之方式消散多餘能量(Lin et al., 2007)。葉綠素螢光能夠反應光合作用系統中，電子被激發後能量釋放的狀態。藉由調查葉綠素螢光可得知光系統利用光能的效率，在植物受到逆境傷害初期、外觀尚未有明顯變化時即可偵測出光系統是否受到抑制(Butler, 1978)。利用  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$  及  $Y(II)$ (光照下 PSII 的實際光量子產量，同 Yield)，可得知光系統 II(photosynthesis system II, PSII)中的電子傳遞鏈受阻情形。職務在正常狀況下之葉綠素螢光值為  $0.832 \pm 0.004$ (Long et al. 1993)。菊花(*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura)於  $35^\circ\text{C}$  以上其葉綠素螢光基值( $F_o$ )隨著溫度增加而上升，使得  $F_v/F_m$  下降(Janka et al., 2013)。李(2010)指出萵苣耐熱和不耐熱品種之葉綠素螢光於高溫逆境下具有顯著差異。不耐熱品種之葉片於高溫逆境 48 小時後，其電子傳遞速率持續下降；而耐熱品種葉片之電子傳遞速率開始回升，表示耐熱品種於高溫逆境 48 小時後開始適應高溫環境，而不耐熱品種對高溫適應和恢復的能力較差。

### (二) 細胞膜熱穩定性(cell membrane thermostability, CMT)

熱逆境會破壞膜系統之穩定性與滲透性，其中以類囊體膜熱穩定性最差，為熱逆境下最先受害的位置(Wise et al., 2004)。高溫容易造成細胞膜層結構破裂，引起細胞質滲漏(Xu et al., 2005)。菊花(*D. grandiflorum* (Ramat.) Kitamura)葉圓片於短暫(20-30 分鐘)高溫處理後之滲漏率變化，可計算出葉片之相對傷害值(relative injury, RI)，判別細胞膜熱穩定性(cell membrane thermostability, CMT)(王和葉，2013)。

利用 CMT 可快速精準地評估作物種類與品種之耐熱性(Wahid et al., 2007)。於高溫下香豌豆(*L. odoratus*)的 RI 值隨著溫度升高而快速上升，表示其細胞膜較容易



受到高溫傷害(Anderson and Padhye, 2004)。Xu 等(2005)研究指出，兩種冬季草於熱逆境下其 MDA 含量和 RI 值上升且基粒類囊體與基粒片層類囊體受損傷，而上升和損傷程度隨溫度上升而增加。RI 值經公式計算呈 S 曲線變化，利用電解質滲漏率 S 曲線之轉折中點、RI 值達 50%之熱致死溫度(lethal temperature)以及熱致死時間(lethal time)可區別物種或品種間對熱之生長反應差異，作為耐熱性的指標(Chen 等，1982；Hao et al., 2009；Yeh and Lin, 2003；Yeh and Hsu, 2004)。吳(2015)以 CMT 選拔聖誕紅耐熱品種，結果顯示‘Noel’、‘Jacobson Peterstar’、‘Jubilee Red’、‘Winter Rose’、‘Novia’、‘Marbella’、‘Luv U Pink’、‘Premier Red’及‘Shimmer Surprise’等 9 個品種為耐熱品種，且耐熱品種之淨光合作用、氣孔導度及細胞間隙 CO<sub>2</sub> 濃度等生理指標於高溫或室溫下栽培並沒有顯著的差異；而不耐熱品種則於高溫下各項生理指標顯著的較低，證實了 CMT 篩選的結果與高溫下栽培觀察到的結果符合，表示 55°C 水浴 15 分鐘之 RI 值可適用於聖誕紅耐熱品種之初步評估。

### (三)葉片溫度

葉片溫度是影響植物生長的重要因素，輻射較強的環境會加速葉片溫度升高的速度，若葉片溫度過高，葉片會受到灼傷(van Herk, 1998)。火鶴花(*Anthurium andraeanum* Lind.)在葉片溫度 18-28°C 時有較高的光合作用效率，若葉片溫度超過 30°C 則開始下降(黃，2008)。Berry and Bjorkman(1980)指出 C<sub>3</sub> 型植物若葉片溫度大於生長溫度時，rubisco 氧化酶活性會增加，導致淨光合作用下降。林(2016)以葉片溫度和 RI 值篩選薰衣草(*Lavandula officinalis* L.)耐熱品種，兩種篩選方式之結果相似，並且和外觀生長品質一致。

### (四)隸屬度(membership function value, MFV)

侯和呂(1995)指出植物對乾旱的耐受性是一種綜合的性狀表現，這種作用是微效的，必須由大量的因素綜合才容易表現，其中每一項因素都對抗乾旱能力有一定



的作用，但各項要素作用的機制跟趨勢並不完全相同，甚至可能彼此有出入，因此評估抗旱性應該綜合各項生理指標，才會和實際真實情況較接近。MFV 可綜合各項耐熱指標之結果，已經應用於許多作物評估逆境耐受性的研究中。Chen 等(2012)利用 MFV 整理小麥(*Triticum aestivum* L.) 之葉綠素讀值(SPAD-value)、氣孔導度、細胞間隙 CO<sub>2</sub> 濃度等 14 項性狀，並以平均隸屬度篩選耐旱品種；齊等(2011)亦利用 MFV 整理 RI 值、發芽率等性狀藉以篩選胡瓜(*Cucumis sativus* L.)之耐寒性。

#### 四. 提升耐熱性的方法

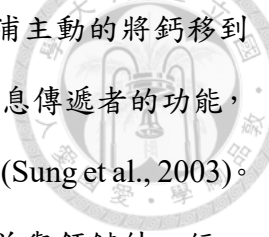
##### (一)水楊酸(salicylic acid, SA)和鈣(calcium, Ca)

###### 1. 水楊酸和鈣之簡介

水楊酸(鄰羥基苯甲酸，分子式 C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OH)COOH)為一種簡單酚類化合物，最早發現於柳樹(*Salix babylonica* L.)的葉片和樹皮中，之後發現廣泛存在於植物中(Hayat and Ahmad, 2007)，目前已經在多種植物的再生組織和葉片中鑑定出 SA 的存在，尤以天南星科植物的花序或植物受病原物感染的組織含量為高(Hayat et al., 2007; Raskin, 1992)。鈣為二價離子，於植物體中為不易移動之元素，其主要生理功能為參與細胞分裂、調節酵素活性，穩定細胞壁結構，細胞壁中膠層(middle lamella)即是由果膠酸鈣組成；此外鈣在質膜的表面亦扮演著調節膜通透性的作用。

###### 2. 水楊酸和鈣之生理作用

水楊酸可促進植物種子發芽和營養生長、調節氣孔開閉、促進醣酵解(glycolysis)、增進膜通透性、使澱粉沉積、抑制磷酸鹽和鉀離子的吸收(Hayat et al., 2007)，並提高葉綠素及胡蘿蔔素含量和光合速率、影響光合磷酸化和氧化磷酸化(Klessig and Malamy, 1994)，也能夠誘導開花、影響胡瓜性別分化(Raskin, 1992)，干擾乙烯和離層酸及細胞分裂素的生合成及作用、逆轉離層酸對葉片脫落的作用(Srivastava and Dwivedi, 2000)。




鈣在細胞質中一般都維持在低濃度，細胞會靠著鈣離子幫浦主動的將鈣移到細胞外或是內質網或粒腺體內的空腔。鈣於植物體中具有二級訊息傳遞者的功能，當逆境發生時，細胞質中鈣濃度的升高會引起細胞內的化學反應(Sung et al., 2003)。細胞內鈣離子感應蛋白如鈣調素或鈣離子蛋白激酶可辨識訊息並與鈣鍵結，經一連串的訊息傳遞而改變細胞的溶質傳送、酵素活性、蛋白質磷酸化作用及基因表現，最終達到對逆境適應性反應。

當植物遭遇環境逆境時，會發生脂質過氧化，產生活性氧族(reactive oxygen species, ROS)，ROS 對植物細胞而言是一種逆境之訊號，細胞接收到此訊號後會產生一連串之訊息傳遞，並做出適當的反應來抵禦逆境。於植物細胞中，鈣調蛋白激酶(calcium dependent protein kinase, CDPK)首先接收 ROS 的訊息，接者 CDPK 和鈣離子結合而活化，並放大 ROS 的訊息，使和逆境相關的蛋白磷酸化，產生一系列的保護反應。SA 於逆境訊息的傳導過程中屬於較下游的接收者，SA 接受到來自 CDPK 的訊號後會將此訊息傳達給細胞核，增加耐熱基因的表現，促使植物合成熱休克蛋白和其他抗氧化酵素。因此，鈣離子和 SA 於逆境訊息傳導的過程均扮演重要的角色(Gilroy, 2014；Mitter et al., 2011)。

### 3. 水楊酸和氯化鈣應用實例：

Dat 等(1998)指出噴施 SA 可提高芥菜苗的耐熱性；Shi 等(2006)指出噴施 SA 可增加胡瓜(*Cucumis sativa* L.)於高溫下超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和過氧化氫酶(catalase, CAT)的活性，並降低之 RI 值和過氧化氫(hydrogen peroxide, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)含量。Gong (1997)指出施用 10 mM CaCl<sub>2</sub>、鈣離子通道抑制劑及鈣調素拮抗作用抑制劑，可提升抗氧化酵素(SOD、APX 及 CAT)之活性，且 CaCl<sub>2</sub> 處理於高溫處理下，其存活率高於對照組；CaCl<sub>2</sub> 可提升高狐草(*Festuca arundinacea* Schreb)和肯塔基藍草(*Poa pratensis* L.)於高溫下栽培的外觀品質、相對含水量、葉綠素含量及抗氧化酵素的活性，並降低丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量(Jiang et al.,



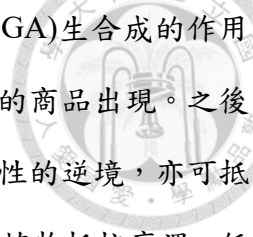
2001)；黃(2008)指出水楊酸能有效提升火鶴花(*A. andraeanum* Lind.)不耐熱品種‘Senator’於高溫逆境之葉綠素螢光、光子產量，並減少其葉片燒焦數；100  $\mu$ M SA 可減少四季秋海棠(*Begonia semperflorens-cultorum*)之 RI 值、降低 MDA 含量、增加株高及花朵數、降低 Fv/Fm 並得到較佳的外觀品質，施用頻率以一個月施用三次效果最顯著；由於四季秋海棠葉片表面具有蠟質，不易吸收藥劑，因此施用方式以澆灌較噴施更有效(Lin et al., 2011)；王等(2003)指出溫州蜜柑(*Citrus unshiu* Marc.)‘宮川’噴施 500  $\mu$ M SA、10 mM CaCl<sub>2</sub> 及 100  $\mu$ M SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 三種處理，於高溫逆境下其葉片光合速率下降較對照組低。

藥劑最適濃度因物種而異，且複合施用之效果可能較單獨施用更佳。Lin 等(2011)指出 100、200  $\mu$ M SA 可顯著降低高溫下四季秋海棠之 RI 值和 MDA 含量，800  $\mu$ M 以上不但無法降低 MDA 含量和 RI 值，甚至還會上升，表示 SA 具有濃度效應，使用時須注意濃度以免毒害。林(2016)指出澆灌 100  $\mu$ M SA 和 5 mM CaCl<sub>2</sub> 複合藥劑可提升鳳梨鼠尾草 (*Salvia elegans* ‘Scarlet Pineapple’) 於高溫下之葉綠素計讀值(SPAD-value)、Fv/Fm，降低 RI 值，並提升外觀等級。SA 和 CaCl<sub>2</sub> 具互相促進效應，施用複合藥劑的效果較單獨施用 SA 或 CaCl<sub>2</sub> 更佳。吳(2015)探討不同濃度 SA(0、100、200、400  $\mu$ M)和 CaCl<sub>2</sub>(0、10、20、40 mM)對聖誕紅耐熱性之影響，結果顯示施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 可降低聖誕紅高溫逆境下之受傷葉片數和葉片溫度，提升外觀品質、葉綠素螢光值，最佳之施用濃度為 200、400  $\mu$ M SA，10 mM CaCl<sub>2</sub>。

## (二)植物生長阻礙劑

### 1. 生長阻礙劑之簡介

植物生長阻礙劑(plant growth retardants; PGRs)，又稱植物矮化劑，在不影響植物器官分化與形成的條件下，抑制節間生長，使葉色加深、增加花朵數(Krug et al., 2007)。Triazole 最早於 1960 年代作為真菌類病害的殺菌劑，1990 年代研究指出



triazole 類殺菌劑(e.g. PP-333、UNI)具有抑制吉貝素(gibberellin, GA)生合成的作用(Fletcher et al.,1986；Jung et al., 1986)，於是開始有了生長阻礙劑的商品出現。之後有更多的研究指出 triazole 類生長阻礙劑除了幫助植物防禦生物性的逆境，亦可抵禦非生物性逆境，如今生長阻礙劑除了矮化植株，亦有許多幫助植物抵抗高溫、低溫、乾旱、淹水等環境逆境之研究(Flecher et al., 2010)。

## 2. 生長阻礙劑提升逆境耐受性之生理機制

吉貝素(gibberellin, GA)的生合成和離層酸(abscisic acid, ABA)的代謝需要植物細胞色素 *P*-450 單氧酶(cytochrome *P*-450 dependent monooxygenases)行加氧反應，而 triazole 類的生長阻礙劑具有一個含有孤對電子的氮，使得 triazole 得以取代氧，和植物細胞色素 *P*-450 單氧酶結合，進而同時抑制了 GA 的生合成和 ABA 的代謝(Flecher et al., 2010；Grossmann, 1990)。單氧酶的調控機制是植物對逆境的一種反應，當植物處於不適合生長的環境時會主動「關閉」單氧酶，使 GA 生成量減少，避免過度徒長，同時累積 ABA 含量，加強抵抗逆境之能力(Rademacher, 1997)。栽培者可藉由施用生長阻礙劑，透過人為的方式調控此機制，進而達到矮化植株外型並提升逆境耐受能力之目的。此外，有許多研究亦指出 triazole 可增加抗氧化酵素的活性，施用巴克素(paclobutrazol, PP-333)可提升玉米(*Zea mays* L.)於低溫逆境下之超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和抗壞血酸過氧化酶(ascorbate peroxidase, APX)之含量(Pinhero et al., 1997)；施用單克素(uniconazole, UNI)可提升油菜(*Brassica napus*)於淹水逆境下之 SOD、過氧化氫酶(catalase)及過氧化物酶(peroxidase)之活性(Leul et al., 1999)，使作物可清除產生過多的活性氧物質，增加逆境耐受性；Li 等(1998)指出玉米施用 UNI 可提升玉米不耐淹水品種之抗氧化酵素(CAT、POD 及 SOD 等)含量，並降低過氧化物(MDA、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)含量。其他生長阻礙劑的影響包括促進細胞分裂素生成、抑制固醇類和乙烯的生成等，對於逆境耐受性亦有間接之效果(Flecher et al., 2010)。



### 3. 生長阻礙劑對植物逆境耐受性之影響

已經有許多研究指出生長阻礙劑能幫助植物抵抗高溫、低溫、乾旱、淹水等環境逆境，施用 PP-333 可增加小麥(*T. aestivum* L.)於高溫下之葉綠素螢光參數、葉綠素含量以及存活率(Gilley and Fletcher, 1997)。施用 PP-333 可降低高羊茅草(*Festuca elata* L.)於高溫逆境下之 RI 值，並提升葉片相對含水量和葉綠素含量(申屠等, 2008)。施用克美素(chlormequat, CCC)可提升咖啡於乾旱逆境下之淨光合作用速率和水分利用效率(Daniel et al., 2010)。施用 UNI 可顯著增加玉米(*Z. mays* L.)不耐淹水品種於淹水環境下的抗氧化酵素之含量，並降低 MDA 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 之含量(Li et al., 1998)。



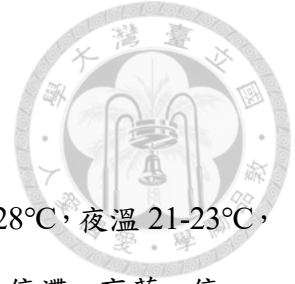
### 第三章 聖誕紅品種耐熱性之評估

## Chapter 3. Selection for Heat-Tolerant Cultivar of Poinsettia



### 摘要(Abstract)

聖誕紅(*Euphorbia pulcherrima* Willd.)是臺灣產量第二大的盆花作物，在臺灣夏季栽培時易發生插穗產量減少、植株生長停滯、盲芽、停心及狹葉化等生理障礙。篩選耐熱的品種將有利於抵抗高溫逆境。本試驗利用葉綠素螢光、葉片溫度及細胞膜熱穩定性評估聖誕紅品種耐熱性，試驗材料為‘聖誕節’(‘Noel’)、‘紅絲絨’(‘Red Velvet’)及‘冰火’(‘Ice Punch’)等 17 個品種，放置於日/夜溫 32/28°C，日長 14 小時，光強度為  $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之生長箱馴化 1 週後於生長箱中進行各項調查。根據隸屬度綜合各項評估指標，結果顯示‘美貝拉’(‘Marbella’)、‘彼得之星’(‘Jacobson Peterstar’)、‘聖誕玫瑰’(‘Winter Rose’)、‘四季桃喜’(‘Luv U Pink’)、聖誕節’(‘Noel’)及‘紅寶石’(‘Primero Glitter’)等六個品種之平均隸屬度 $>64\%$ ，為耐熱品種；‘倍利’(‘Pepride’)、‘桃莉’(‘Dulce Rosa’)、‘光輝’(‘Red Splendor’)、‘黃金粉’(‘Monet Early Red’)、‘聖誕卡羅’(‘Christmas Carol’)、‘紅絲絨’(‘Red Velvet’)之平均隸屬度介於  $44\%$  至  $64\%$  之間，為中度耐熱品種；‘冰火’(‘Ice Punch’)、‘威望’(‘Prestige Early’)、‘旺德福’(‘Wonderful’)、‘檸檬雪’(‘Lemon Snow’)及‘聖誕情閃耀’(‘Red Glitter’)之平均隸屬度 $<44\%$ ，為不耐熱的品種。本試驗評估結果與行政院農業委員會桃園區農業改良場專家實際栽培經驗、吳(2015)之結果相似，表示以隸屬度綜合葉片溫度、RI 值及葉綠素螢光值評估聖誕紅耐熱性應具有相當的參考價值。



## 一、前言(Introduction)

聖誕紅(*Euphorbia pulcherrima* Willd.)之生長適溫為日溫 24-28°C, 夜溫 21-23°C, 在高溫逆境下聖誕紅易發生插穗產量減少、根系病害、植株生長停滯、盲芽、停心及狹葉化等生理障礙(楊, 2015)。夜溫高於 23°C時易延遲開花(Ecke, 2004)。

篩選耐熱的品種將有利於抵抗高溫逆境, 利用各項耐熱生理指標可較傳統育種更快速篩選耐熱品種(陳, 2009)。快速評估耐熱的指標有膜熱穩定性(cell membrane thermostability, CMT)、葉綠素螢光及葉片溫度。高溫會破壞細胞膜的穩定性, 使得細胞質滲漏, 因此 CMT 常作為植物耐逆境的指標。高溫也會抑制電子傳遞鏈進行, 使植物耐熱性之指標(Hackl et al., 2012)。吳(2015)以細胞膜熱穩定性選拔聖誕紅耐熱品種, 結果顯示 55°C水浴 15 分鐘之 RI 值(relative injury, RI)可適用於耐熱品種之初步篩選。

植物的逆境耐受性是複雜的數量性狀, 很難靠單一指標代表(Fu et al., 2011; He et al., 2008; Meng et al., 2009)。隸屬度(membership function value, MFV)可綜合各項耐熱指標之結果, 已經應用於許多作物評估逆境耐受性的研究中(齊等, 2011; Chen 等, 2012)。目前尚未有以多項生理指標綜合評估聖誕紅耐熱性之研究, 本試驗調查 17 個聖誕紅品種之膜熱穩定性、葉綠素螢光及葉片溫度, 並計算平均隸屬度評估聖誕紅品種耐熱性。





## 二、材料與方法(Materials and Methods)

### 試驗一、聖誕紅於高溫生長箱中之葉片溫度變化

#### (一) 試驗材料

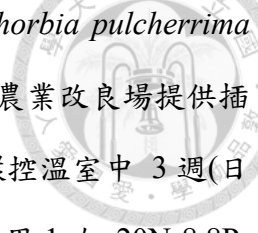
於 2016 年 9 月自桃園市復興區莊姓業者購買聖誕紅(*Euphorbia pulcherrima* Willd.) ‘美貝拉’(‘Marbella’)、‘四季桃喜’(‘Luv U Pink’)、聖誕情閃耀(‘Red Glitter’) ‘冰火’(‘Ice Punch’)及‘桃莉’(‘Dulce Rosa’)。扦插 3 週之 9 cm 盆幼苗，栽培於臺灣大學園藝分場環控溫室中 3 週(日均溫 30.4°C，日間平均最大光度 700-1800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )，每週施用 1 次 20N-8.8P-16.6K (Peters 20-20-20, Scotts, Marysville, Ohio)1000  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，每 2 週施用 1 次 Johnson’s solution 微量元素。待所有品種之新生側枝達 8 個節位時，移至日/夜溫 32/28°C，日長 14 小時，光強度 200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之生長箱。試驗時間自 2016 年 9 月 20 日至 2016 年 9 月 30 日。氣象資料以氣候蒐集記錄儀 HOBO data logger(HOBO UA-002-64, Onset, Cape Cod, Massachusetts)紀錄。

#### (二) 調查項目

葉片溫度：植株置於日/夜溫 32/28°C，日長 14 小時，光強度:200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之生長箱中，標定由上往下第一片成熟葉片作為調查樣本，並以保麗龍板調整植株高度，使所有標定葉片之高度一致。於放入生長箱後第 20、30、40、50 及 60 分鐘以紅外線熱像儀(TVS-200EX, Nippon Avionics, Tokyo, Japan)拍攝熱影像，以 TVS-200EX 軟體分析標定葉片之溫度，分析模式為 50 點區域分析，測量單位為°C。另計算環境溫度(生長箱內實際測量之氣溫)減去葉片溫度的差值定義為 $\Delta T$ ，用以表示植株葉片散熱的能力。

### 試驗二、聖誕紅品種耐熱性之評估

#### (一)試驗材料



於 2016 年 9 月自桃園市復興區莊姓業者購買聖誕紅(*Euphorbia pulcherrima* Willd.)扦插 3 週之 9 cm 盆幼苗，另有部分的品種則由桃園區農業改良場提供插穗，自行扦插繁殖。試驗材料栽培於臺灣大學芳蘭路園藝分場環控溫室中 3 週(日均溫 30.4°C，日間平均最大光度 700-1800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )，每週施用 1 次 20N-8.8P-16.6K (Peters 20-20-20, Scotts, Marysville, Ohio)1000  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，每 2 週施用一次 Johnson's solution 微量元素。試驗品種如下：‘聖誕節’(‘Noel’)、‘紅絲絨’(‘Red Velvet’)、‘冰火’(‘Ice Punch’)、‘倍利’(‘Pepride’)、‘彼得之星’(‘Jacobson Peterstar’)、‘光輝’(‘Red Splendor’)、‘聖誕玫瑰’(‘Winter Rose’)、‘檸檬雪’(‘Lemon Snow’)、‘旺得福’(‘Wonderful’)、‘威望-早生’(‘Prestige Early’)、‘桃莉’(‘Dulce Rosa’)、‘紅寶石’(‘Primerio Glitter’)、‘聖誕卡蘿’(‘Christmas Carol’)、‘美貝拉’(‘Marbella’)、‘四季桃喜’(‘Luv U Pink’)、聖誕情閃耀(‘Red Glitter’)及‘黃金粉’(‘Monet Early Red’)，共 17 個品種。待所有品種之新生側枝達 8 個節位時，移至日/夜溫 32/28°C，日長 14 小時，光強度 200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之生長箱馴化 1 週後進行各項調查，每品種 5 重複，1 植株為 1 重複，每重複調查間隔 1 週。試驗時間自 2016 年 9 月 30 日至 2016 年 11 月 30 日。氣象資料以氣候蒐集記錄儀 HOBO data logger(HOBO UA-002-64, Onset, Cape Cod, Massachusetts)紀錄。

## (二)調查項目

### 1. 葉片溫度

植株置於 32/28°C，日長 14 小時，光強度:200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之生長箱中，並以保麗龍板調整植株高度，使所有植株高度一致。40 分鐘後以紅外線熱像儀(TVS-200EX, Nippon Avionics, Tokyo, Japan)拍攝第一片成熟葉片之熱影像並進行分析，測量單位為°C。

### 2. 相對傷害值(relative injury, RI)

測定方式參考 Onwueme(1979)和吳(2015)，選取自莖頂向下之第 1 片完全展開葉，以直徑 0.9 cm 之打孔器剪取葉圓片，經一次蒸餾水漂洗後，每 5 片葉圓片放入裝有 15 mL 一次蒸餾水之試管，每試管 1 重複，共 5 重複。利用恆溫水浴槽(water bath G-20, Kingtech Scientific Co., Ltd. Taiwan.)以 55°C處理 15 分鐘，隨後置於 6±1°C之黑暗環境下 24 小時後取出，以電導度計(SC-170, Suntex, Taiwan)測定，此值定義為 R1；再將葉片組織於殺菌釜內高溫高壓(121°C, 20 分鐘)完全破壞，待冷卻後，測得最後之 EC 值為 R2，再代入公式中求出相對傷害值(Relative injury; RI)。計算公式：RI (%) = ( R1 / R2 ) × 100%

### 3. 葉綠素螢光值(chlorophyll fluorescence)

於高溫處理後第 0、1、2、4、6 天利用葉綠素螢光測定儀(Mini-Pam, Walz Co., Germany)量測葉綠素螢光值，調查參數為 Y(II)和 Fm'。於光照下可測得 Fm' 和 Y(II)，其分別代表光照下之最大螢光產量和最大光化學量子效率(Baker and Rosenqvist, 2004)。另調查葉綠素螢光值之下降率( $\Delta Fm'$ )，計算方式為第 0 天數值(F<sub>Day0</sub>)減去第 4 天數值(F<sub>Day4</sub>)，再將此差值除以第 0 天數值(F<sub>Day0</sub>)。

計算公式：
$$\frac{F_{Day0} - F_{Day4}}{F_{Day0}} \times 100\%$$

### (三) 統計分析

試驗採逢機完全區集設計(randomized complete block design, RCBD)，每重複調查間隔 1 週，每週為 1 個區集。數據以 Costat 6.4(CoHort software, Monterey, CA, USA)統計軟體整理，以最小顯著差異分析(least significant difference, LSD)分析處理間差異(P≤0.05)。並利用隸屬函數(membership functions)計算三項耐熱指標之隸屬度(membership function value, MFV)，透過平均隸屬度整理各項耐熱指標之綜合表現，隸屬函數計算公式為
$$MFV = \left(1 - \frac{X - X_{min}}{X_{MAX} - X_{min}}\right) \times 100\%$$
。繪圖採用 Sigma Plot 10.0

軟體 (Systat software INC., Richmond, CA, USA)。





### 三、結果(Results)

#### 試驗一、聖誕紅於高溫生長箱中之葉片溫度變化

將植株置於 32/28°C，日長 14 小時，光強度為 200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之生長箱中，於第 20、30、40、50 及 60 分鐘拍攝第一片成熟葉片之紅外線熱影像，結果如圖 3.2 所示。分析其葉片溫度，結果顯示 ‘Marbella’、‘Luv U Pink’、‘Red Glitter’、‘Ice Punch’及‘Dulce Rosa’在剛放進生長箱時之溫度分別為 32.27、32.97、33.78、32.94 及 33.28°C，溫度於 40 分鐘達到最大值，溫度分別為 32.41、33.12、33.96、33.68 及 33.81°C。50-60 分鐘溫度不再上升，呈現相對穩定的趨勢並有些微下降(圖 3.1)。

#### 試驗二、聖誕紅品種耐熱性之評估

將植株置於 32/28°C，日長 14 小時，光強度為 200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之生長箱中，並以保麗龍板調整植株高度，40 分鐘後拍攝第一片成熟葉片之熱影像並進行分析。葉片溫度範圍介於 32.72-34.32°C，葉溫(°C)由低至高排列依序為‘Luv U Pink’(32.72)、‘Monet Early Red’(32.75)、‘Noel’(32.96)、‘Marbella’(32.97)、‘Primero Glitter’(33.07)、‘Winter Rose’(33.31)、‘Christmas Carol’(33.48)、‘Pepride’(33.61)、‘Red Splendor’(33.62)、‘Red Velveten’(33.61)、‘Ice Punch’(33.63)、‘Prestige Early’(33.81)、‘Wonderful’(33.95)、‘Dulce Rosa’(34.17)及‘Lemon Snow’(34.22)(表 3.1，圖 3.3，圖 3.4)。

以環境溫度減去葉片溫度定義為 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ ，用以表示植株葉片散熱的能力。‘Luv U Pink’(-0.55)、‘Monet Early Red’(-0.51)、‘Noel’(-0.31)、‘Marbella’(-0.30)及‘Primero Glitter’(-0.20)等品種之葉溫低於環境溫度( $\Delta T < 0^{\circ}\text{C}$ )；‘Christmas Carol’(0.21)、‘Pepride’(0.34)、‘Red Velveten’(0.34)、‘Ice Punch’(0.36)、‘Prestige Early’(0.54)、‘Wonderful’(0.68)、‘Dulce Rosa’(0.90)及‘Lemon Snow’(0.93)等品種之葉片散熱能力

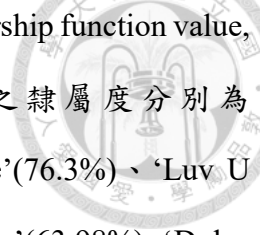


較差，葉溫高於環境溫度( $\Delta T > 0^{\circ}\text{C}$ )(圖 3.5)。

取自莖頂向下第一片完全展開葉以  $55^{\circ}\text{C}$  水浴 15 分鐘後，檢測細胞電解質滲漏經計算得到葉片相對傷害值(relative Injury, RI)。17 個品種聖誕紅之 RI 值介於 16.15%-50.19%，RI 值由低至高依序為‘Dulce Rosa’(16.15%)、‘Winter Rose’(21.41%)、‘Jacobson Peterstar’(21.90%)、‘Marbella’(24.40%)、‘Luv U Pink’(27.00%)、‘Lemon Snow’(29.12%)、‘Pepride’(30.53%)、‘Red Velveteen’(33.24%)、‘Prestige Early’(33.81%)、‘Noel’(35.63%)、‘Primero Glitter’(38.03%)、‘Wonderful’(39.98%)、‘Ice Punch’(40.12%)、‘Monet Early Red’(40.74%)、‘Red Glitter’(50.19%)(表 3.1，圖 3.6)。

於高溫處理後第 0、1、2、4、6 天調查葉綠素螢光值。Y(II)隨著時間並沒有明顯趨勢，以‘Prestige Early’、‘Lemon Snow’、‘Pepride’、‘Wonderful’、‘Monet Early Red’為例，高溫處理後第一天其 Y(II)分別為 0.73、0.71、0.72、0.70 及 0.72，0.71、0.68、0.70、0.67 及 0.70(圖 3.7)。部分品種之 Fm’於第 1 天、第 2 天開始有下降趨勢，第 4 天品種間的差異最為顯著。以‘Prestige Early’、‘Lemon Snow’、‘Pepride’、‘Wonderful’、‘Monet Early Red’為例，高溫處理後第一天其 Fm’分別為 1171.78、1288.00、1168.56、1262.00、1283.17，第四天分別為 1134.78、1145.25、1220.67、1225.25、1207.11。第四天中‘Lemon Snow’(1145.25)、‘Ice Punch’(1136.42)最低，‘Winter Rose’(1303.58)最高，第 6 天後則持平或緩慢上升(圖 3.8)。

。以第 0 天減去第 4 天的 Fm’差值來定義 Fm’之下降率( $\Delta Fm'$ )，結果如下(負值表示沒有下降反而上升)：‘Marbella’(-5.36)、‘Pepride’(-4.46)、‘Primero Glitter’(-2.95)、‘Winter Rose’(-2.75)、‘Noel’(-0.87)、‘Dulce Rosa’(-0.39)、‘Red Splendor’(0.32)、‘Ice Punch’(0.76)、‘Wonderful’(2.91)、‘Prestige Early’(3.16)、‘Red Velveteen’(3.30)、‘Christmas Carol’(3.38)、‘Luv U Pink’(4.67)、‘Red Glitter’(5.53)、‘Monet Early Red’(5.93)及‘Lemon Snow’(11.08)(表 3.1)。



計算 17 個品種聖誕紅之 $\Delta T$ 、RI 值、 $\Delta Fm'$ 之隸屬度(membership function value, MFV)，將其平均後得到平均隸屬度(表 3.2)。各品種之隸屬度分別為‘Marbella’(86.28%)、‘Jacobson Peterstar’(83.09%)、‘Winter Rose’(76.3%)、‘Luv U Pink’(69.05%)、‘Noel’(66.27%)、‘Primerio Glitter’(65.71%)、‘Pepride’(63.98%)、‘Dulce Rosa’(57.29%)、‘Red Splendor’(52.66%)、‘Monet Early Red’(52.25%)、‘Christmas Carol’(47.72%)、‘Red Velveten’(45.42%)、‘Ice Punch’(43.61%)、‘Prestige Early’(40.88%)、‘Wonderful’(32.25%)、‘Lemon Snow’(20.64%) 及 ‘Red Glitter’(16.88%)。所有品種之平均值為 54.13%，標準差(standard deviation, SD)為 19.95 %。

三種耐熱指標之間沒有顯著相關， $\Delta T$  和 RI ( $r=0.28$ )， $\Delta T$  和  $\Delta Fm'$  ( $r=0.32$ )， $\Delta Fm'$  和 RI( $r=0.28$ )，平均隸屬度和 $\Delta T$ 、RI 值、 $\Delta Fm'$ 之相關係數( $r$ )分別為 0.65、0.60、0.79，皆呈現顯著相關(表 3.3)。



#### 四、討論(Discussion)


##### 試驗一、聖誕紅於高溫生長箱中之葉片溫度變化

植株葉片溫度會隨著環境溫度升高而變化，將聖誕紅置於日/夜溫 32/28°C 放入生長箱後於第 20、30、40、50 及 60 分鐘調查葉片溫度，結果顯示溫度於 40 分鐘達到最大值，50-60 分鐘不再上升，呈現相對穩定的趨勢並有些微下降(圖 3.1)，表示 40 分鐘後之葉片溫度可代表聖誕紅葉片溫度之變化程度，應以 40 分鐘後之溫度作為評估耐熱性之標準取樣時間。

##### 試驗二、聖誕紅品種耐熱性之評估

葉片溫度是植物重要的生理指標，會受到水分逆境及鹽害影響(Hackl et al., 2012)，透過葉溫的量測了解作物本身的水分狀況以及所處環境之氣象變化。Blum (1988)指出植物遭受高溫逆境時葉片是最主要受傷害的部位，Booker 等(1911)則表示減少葉片溫度對於維持光合作用的功能是非常重要的。林(2016)以葉片溫度篩選薰衣草(*Lavandula officinalis* L.)耐熱品種，40°C 下 6 個品種薰衣草之葉片溫度有顯著差異，且和外觀生長情況一致，表示葉片溫度可做為篩選耐熱品種之指標。本試驗中 17 個品種聖誕紅於高溫環境下其葉片溫度介於 32.72-34.32°C 之間，品種間有顯著差異，其中‘Luv U Pink’(32.72°C)最低，‘Lemon Snow’(34.32°C)最高(圖 3.3、圖 3.4)。Berry and Bjorkman(1980)指出 C3 型植物若葉片溫度大於生長溫度時，Rubisco 氧化酶活性會增加，導致淨光合作用下降。本試驗以環境溫度減去葉片溫度定義為  $\Delta T$ ，用以表示植株葉片散熱的能力，結果顯示‘Luv U Pink’、‘Monet Early Red’、‘Noel’、‘Marbella’、‘Primero Glitter’等品種之葉片具有良好散熱能力，能使葉溫低於環境溫度( $\Delta T < 0^\circ\text{C}$ )；‘Christmas Carol’、‘Pepride’、‘Red Velveteen’、‘Ice Punch’、‘Prestige Early’、‘Wonderful’、‘Dulce Rosa’、‘Lemon Snow’等品種之葉片散熱能力較差，葉溫高於環境溫度( $\Delta T > 0^\circ\text{C}$ )(表 3.1、圖 3.5)。






葉片經短暫高溫處理後之電解質滲漏率來檢測細胞膜熱穩定性，具有快速、準確、空間需求小等優點(Wu and Wallner, 1984 ; Sriniasan et al., 1996 )，已被應用於許多作物耐熱性之鑑定，包括春石斛(Wu et al., 2017)、菊花(王和葉，2013； Yeh and Lin, 2003)、常春藤(Yeh and Hsu, 2004)、矮牽牛(林，2006)、甘藍(Nyarko et al., 2008)、番茄(Florida et al., 2011)、蘿蔔(Chen, et al., 2014)、棉花(Saleema et al., 2014)等。大量個體中選拔耐熱性品系時，藉由單一溫度來選拔大量品系可加速篩選工作，而此溫度必須接近 S 曲線中點溫度，且須能鑑別品種間差異(王和葉，2013； Martineau et al., 1979)。吳(2015)以 55°C水浴 15 分鐘之葉片相對傷害值(relative injury, RI)挑選聖誕紅耐熱品種，低 RI 值之品種在日夜溫(35/30°C)下之生理與生長表現顯著優於高 RI 值品種，表示 55°C水浴 15 分鐘之 RI 值可適用於耐熱品種之初篩選。

17 個品種聖誕紅之 RI 值介於 16.15% - 50.19% 之間，其中以‘Dulce Rosa’16.15%最低，‘Red Glitter’ 50.19%最高。RI 值較低的品種包括：‘Dulce Rosa’、‘Winter Rose’、‘Jacobson Peterstar’及‘Marbella’，其 RI 值<27%；RI 值較高的品種包括：‘Wonderful’(39.98%)、‘Ice Punch’、‘Monet Early Red’及‘Red Glitter’，其 RI 值>40%，品種間有顯著差異(表 3.1，圖 3.6)。吳(2015)針對 24 個品種聖誕紅依據 RI 值進行耐熱性評估，耐熱品種包括：‘Winter Rose’、‘Jacobson Peterstar’、‘Marbella’、‘Luv U Pink’、‘Novia’、‘Premier Red’、‘Jubilee Red’及‘Noel’；中度耐熱品種包括：‘Prestige Early’、‘Red Velveteen’、‘Dulce Rosa’、‘Red Splendor’、‘Red Velvet’、‘Majestic Red’、‘Davinci’及‘Christmas Carol’；不耐熱品種包括：‘Monet Early Red’、‘Ice Punch’、‘Wonderful’、‘Lemon Snow’、‘Pepride’、‘Primero Glitter’及‘Premio’。本試驗評估結果與吳(2015)相似。

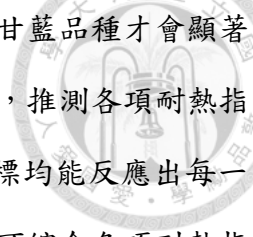
葉綠素螢光為快速、準確、非破壞性之植株逆境程度檢測方式，已被廣泛用於各種逆境耐受性之評估(Willits and Peet, 2001)。Fm’值越高表示越耐熱。聖誕紅經高溫處理後第 1 天、第 2 天部分品種之 Fm’開始呈現下降趨勢，第 4 天品種間的



差異最為顯著，第 6 天後則持平或緩慢上升，其中‘Lemon Snow’、‘Ice Punch’最低，‘Winter Rose’最高(圖 3.8)。以第 0 天之  $F_m'$  值減去第 4 天的差值來定義  $F_m'$  ( $\Delta F_m'$ )，結果顯示‘Marbella’、‘Pepride’、‘Primerio Glitter’、‘Winter Rose’、‘Noel’及‘Dulce Rosa’等品種下降率( $\Delta F_m'$ )較低，下降率( $\Delta F_m'$ ) $<1\%$ ；‘Lemon Snow’、‘Red Glitter’、‘Monet Early Red’及‘Luv U Pink’等下降率( $\Delta F_m'$ )較高，下降率( $\Delta F_m'$ ) $>4.5\%$ (表 3.1)。

本試驗聖誕紅經高溫處理後之兩項葉綠素螢光參數 [ $F_m'$ 、 $Y(II)$ ] 下降的程度均不如預期，推測可能的原因在於試驗用的生長箱其溫度和光度均不如溫室中實際栽培的高，由於生長箱所設定的條件未達足夠強的逆境水準，因此品種間之葉綠素螢光值不容易表現出差異。Greyvenstein(2015)利用葉綠素螢光和膜熱穩定性評估玫瑰(*Rosa × hybrida* L.)耐熱性，結果顯示膜熱穩定性可有效區分耐熱品種和不耐熱品種，但葉綠素螢光值則沒有顯著差異，推測是因為試驗用的生長箱其溫度和光度( $42^\circ\text{C}$ ,  $25 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )均不如溫室( $50^\circ\text{C}$ ,  $890 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )高，而 Bjorkman 等(1987)指出  $F_v/F_m$  值在溫室中(光強度  $1531 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )會下降，葉綠素螢光值可能需要在高溫且強光的條件下才會有明顯變化。

本試驗三項耐熱指標之間沒有顯著相關， $\Delta F_m'$  和  $RI$ ( $r=0.33$ )， $\Delta F_m'$  和  $\Delta T$ ( $r=0.33$ )， $RI$  和  $\Delta T$ ( $r=0.11$ )(表 3.3)，Nyarko (2008)以  $F_v/F_m$  和  $RI$  值篩選甘藍耐熱品種，結果兩種篩選指標間之相關係數僅 0.39，本試驗結果與 Nyarko (2008)相似。三項耐熱指標之間沒有顯著相關，可能原因有兩個，第一是各項耐熱指標間本身就有出入，彼此間的趨勢並不一致。前人研究指出植物的逆境耐受性是複雜的數量性狀，很難靠單一指標代表(He et al., 2008; Meng et al., 2009; Fu et al., 2011)。侯和呂(1995)指出植物對乾旱的耐受性是一種綜合的性狀表現，必須由大量的因素綜合才容易表現，其中每一項因素都對抗乾旱能力有一定的作用，但各項因素作用可能彼此有出入，評估抗旱性應該綜合各項生理指標，才會和實際真實情況較接近。第二個可能原因是不同品種對各項耐熱指標之敏感程度不同，因此變異較大。本試驗篩選之品種較多(17 個)，而不同品種對各項耐熱指標之敏感程度不同，因此變異較



大。Chauhan and Senboku (1996)指出 RI 值僅在對熱逆境敏感的甘藍品種才會顯著較高，在耐熱程度相似的品種間 RI 值差異太小不容易觀測出來，推測各項耐熱指標僅能在部分的範圍之內作為耐熱性標準，不一定每項耐熱指標均能反應出每一個品種品種的耐熱性。隸屬度(membership function value, MFV)可綜合各項耐熱指標之結果，已經應用於許多作物評估逆境耐受性的研究中。Chen 等(2012)利用隸屬函數整理小麥之葉綠素讀值(SPAD-value)、氣孔導度、細胞間隙 CO<sub>2</sub> 濃度等 14 項性狀，並以平均隸屬度篩選耐旱品種；齊等(2011)亦利用隸屬函數整理 RI 值、發芽率等性狀藉以評估胡瓜之耐寒性。

本試驗計算 17 個品種聖誕紅之 RI 值、 $\Delta Fm'$ 、 $\Delta T$  之隸屬度(membership function value, MFV)，並將其平均後得到平均隸屬度(表 3.2)，三種耐熱指標之間沒有顯著相關，各項耐熱指標 ( $\Delta T$ 、RI 值、 $\Delta Fm'$ )和平均隸屬度之相關係數(r)分別為 0.65、0.60、0.79，皆呈現顯著相關(表 3.3)，表示隸屬度可綜合各項耐熱指標，作為各項耐熱指標平均表現之代表。

根據平均隸屬度綜合各項耐熱指標，結果顯示所有品種之平均值為 54.13%，標準差(standard deviation, SD)為 19.95 %，定義若某品種平均隸屬度大於 64.11(平均值 +  $\frac{1}{2} SD$ )為耐熱品種；平均隸屬度介於 44.15%-64.11%為中度耐熱品種；平均隸屬度小於 44.15%為不耐熱品種。結果顯示‘美貝拉’(‘Marbella’)、‘彼得之星’(‘Jacobson Peterstar’)、‘聖誕玫瑰’(‘Winter Rose’)、‘四季桃喜’(‘Luv U Pink’)、‘聖誕節’(‘Noel’)及‘紅寶石’(‘Primerio Glitter’)等六個品種之平均隸屬度>64.11%，為耐熱品種；‘倍利’(‘Pepride’)、‘桃莉’(‘Dulce Rosa’)、‘光輝’(‘Red Splendor’)、‘黃金粉’(‘Monet Early Red’)、‘聖誕卡羅’(‘Christmas Carol’)及‘紅絲絨’(‘Red Velveten’)之平均隸屬度介於 44.15% 至 64.11% 之間，為中度耐熱品種；‘冰火’(‘Ice Punch’)、‘威望’(‘Prestige Early’)、‘旺德福’(‘Wonderful’)、‘檸檬雪’(‘Lemon Snow’)及‘聖誕情閃耀’(‘Red Glitter’)之平均隸屬度<44.15%，為不耐熱的品種。

桃園區農業改良場專家根據栽培經驗將聖誕紅 17 個品種依據耐熱程度分為耐



熱種、中度耐熱種及不耐熱種 3 種。:1.耐熱種:‘彼得之星’(‘Jacobson Peterstar’)、‘聖誕節’(‘Noel’)、‘精華’(‘Premio’)、‘紅寶石’(‘Primero Glitter’)、‘威望’(‘Prestige Early’)、‘紅輝’(‘Red Glory’)及‘公主’(‘Princess’)；2.中度耐熱種:‘紅絲絨’(‘Red Velvet’)、‘旺德福’(‘Wonderful’)、‘桃莉’(‘Dulce Rosa’)、‘諾維亞’(‘Novia’)及‘天鵝絨’(‘Red Velvet’)；3.不耐熱種:‘冰火’(‘Ice Punch’)、‘新天鵝絨’(‘Majestic Red’)、‘首相’(‘Premier Red’)及‘金喜’(‘Shimmer Surprise’)(私人通訊)。吳(2015)針對 24 個品種聖誕紅依據 RI 值進行耐熱性評估,耐熱品種包括:‘聖誕玫瑰’(‘Winter Rose’)、‘彼得之星’(‘Jacobson Peterstar’)、‘美貝拉’(‘Marbella’)、‘四季桃喜’(‘Luv U Pink’)、‘嘉年華’(‘Jubilee Red’)、‘諾維亞’(‘Novia’)、‘首相’(‘Premier Red’)、‘金喜’(‘Shimmer Surprise’)及‘聖誕節’(‘Noel’)；中度耐熱品種包括:‘威望’(‘Prestige Early’)、‘紅絲絨’(‘Red Velvet’)、‘桃莉’(‘Dulce Rosa’)、‘光輝’(‘Red Splendor’)、‘天鵝絨’(‘Red Velvet’)、‘新天鵝絨’(‘Majestic Red’)、‘達文西’(‘Davinci’)及‘聖誕卡蘿’；不耐熱品種包括:‘黃金粉’(‘Monet Early Red’)、‘冰火’(‘Ice Punch’)、‘旺德福’(‘Wonderful’)、‘檸檬雪’(‘Lemon Snow’)、‘倍利’(‘Pepride’)、‘紅寶石’(‘Primero Glitter’)及‘精華’(‘Premio’)。本試驗耐熱性評估結果與桃園區農業改良場實際栽培經驗、吳(2015)之結果相似,表示以隸屬度綜合葉片溫度、RI 值及葉綠素螢光值評估聖誕紅應具有相當的參考價值。

表 3.1. 17 個品種聖誕紅於高溫處理下之葉片溫度與環境溫度之差值( $\Delta T$ )、葉片相對傷害值(RI)及葉綠素螢光參數( $F_m'$ )之下降百分比( $\Delta F_m'$ )。

Table 3.1. Differences of leaf temperature, relative injury (RI) and differences of chlorophyll fluorescence value ( $\Delta F_m'$ ) in 17 cultivars of poinsettia at heat stress.

Cultivar	$\Delta T(^{\circ}C)^z$	RI( $\%^y$ )	$\Delta F_m'(\%^x$ )
Marbella	-0.3	24.4	-5.36
Jacobson Peterstar Pink	-	21.91	-
Winter Rose	0.04	21.41	-2.75
Luv U Pink	-0.55	27	4.67
Noel	-0.31	35.63	-0.87
Primero Glitter	-0.2	38.03	-2.95
Pepride	0.34	30.53	-4.46
Dulce Rosa	0.9	16.15	-0.39
Red Splendor	0.34	-	0.32
Monet Early Red	-0.52	40.74	5.93
Christmas Carol	0.21	-	3.38
Red Velvet	0.35	33.24	3.3
Ice Punch	0.36	40.12	0.76
Prestige Early	0.54	33.82	3.16
Wonderful	0.68	39.98	2.91
Lemon Snow	0.93	29.12	11.08
Red Glitter	-	50.19	5.53

<sup>z</sup>  $\Delta T$  were the differences between environment leaf temperature and temperature.

<sup>y</sup> RI value were calculated at 55°C. <sup>x</sup>  $\Delta F_m'$  were the differences between day 0 and day 4.

表 3.2. 17 個品種聖誕紅於高溫逆境下各耐熱指標之隸屬度(MFV)和平均隸屬度  
 Table 3.2. Membership function value and mean membership function values (%) of each heat tolerance indicators in 17 cultivars of poinsettia.

Cultivar	MFV $_{\Delta T}(\%)^z$	MFV $_{RI}(\%)^y$	MFV $_{\Delta Fm'}(\%)^x$	MeanMFV(%)
Marbella	82.97	75.77	100	86.25
Jacobson Peterstar Pink	-	83.09	-	83.09
Winter Rose	60.22	84.54	84.15	76.3
Luv U Pink	100	68.14	39.01	69.05
Noel	83.31	42.79	72.72	66.27
Primero Glitter	76.06	35.73	85.35	65.71
Pepride	39.65	57.76	94.53	63.98
Dulce Rosa	2.06	100	69.8	57.29
Red Splendor	39.87	-	65.44	52.66
Monet Early Red	97.64	27.76	31.36	52.25
Christmas Carol	48.58	-	46.85	47.72
Red Velveteen	39.14	49.8	47.32	45.42
Ice Punch	38.47	29.59	62.76	43.61
Prestige Early	26.33	48.1	48.21	40.88
Wonderful	17.06	29.99	49.7	32.25
Lemon Snow	0	61.91	0	20.64
Red Glitter	-	0	33.76	16.88

<sup>z</sup>  $\Delta T$  were the differences between environment leaf temperature and temperature.

<sup>y</sup> RI value were calculated at 55°C. <sup>x</sup>  $\Delta Fm'$  were the differences between day 0 and day 4.

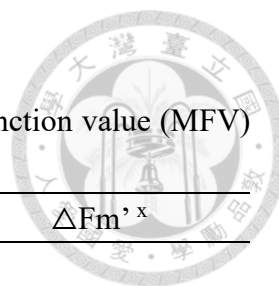


表 3.3. 三種耐熱指標與平均隸屬度之相關性

Table 3.3. Simple correlation coefficients among the membership function value (MFV) of each heat tolerance indicators.

	$\Delta T^z$	RI <sup>y</sup>	$\Delta Fm' ^x$
RI'	0.28 ns		
$\Delta Fm'$	0.32 ns	0.28 ns	
Mean <sub>MFV</sub>	0.65**	0.60*	0.79***

ns, \*, \*\*, \*\*\* = not significant, or significant at  $P \leq 0.05$ ,  $P \leq 0.01$ ,  $P \leq 0.001$  respectively.

<sup>z</sup>  $\Delta T$  were the differences between environment leaf temperature and temperature.

<sup>y</sup> RI value were calculated at 55°C.

<sup>x</sup>  $\Delta Fm'$  were the differences between first day and forth day after heat treatment .

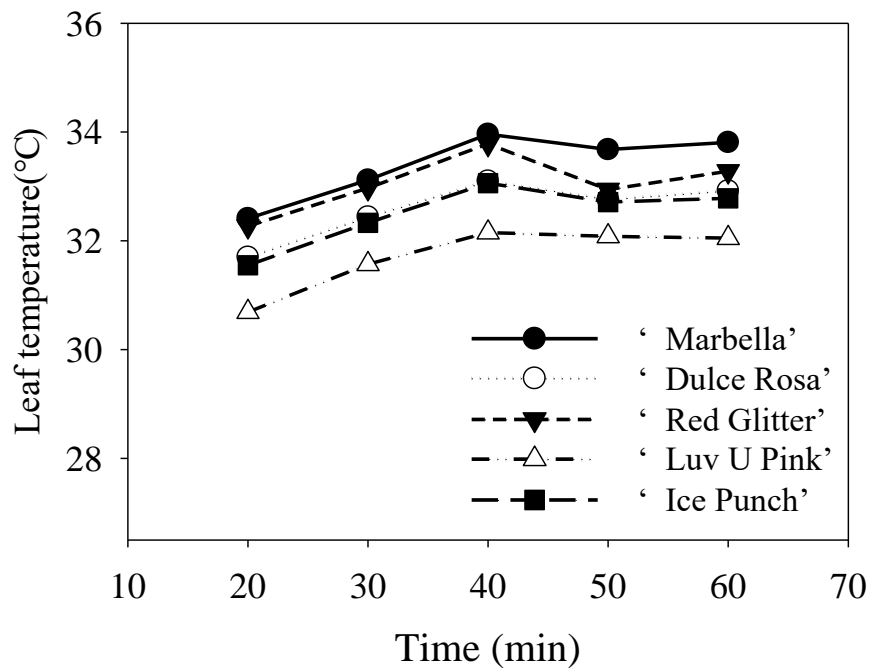


圖 3.1. 聖誕紅‘美貝拉’、‘四季桃喜’、‘聖誕情閃耀’、‘冰火’及‘桃莉’於 32°C 下之葉片溫度變化

Fig. 3.1. Changes of leaf temperature in poinsettia ‘Marbella’, ‘Luv U Pink’, ‘Red Glitter’, ‘Ice Punch’, and ‘Dulce Rosa’ treated at 32°C.



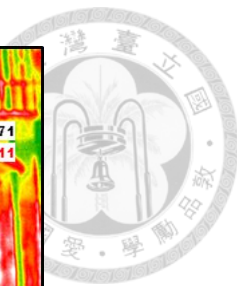
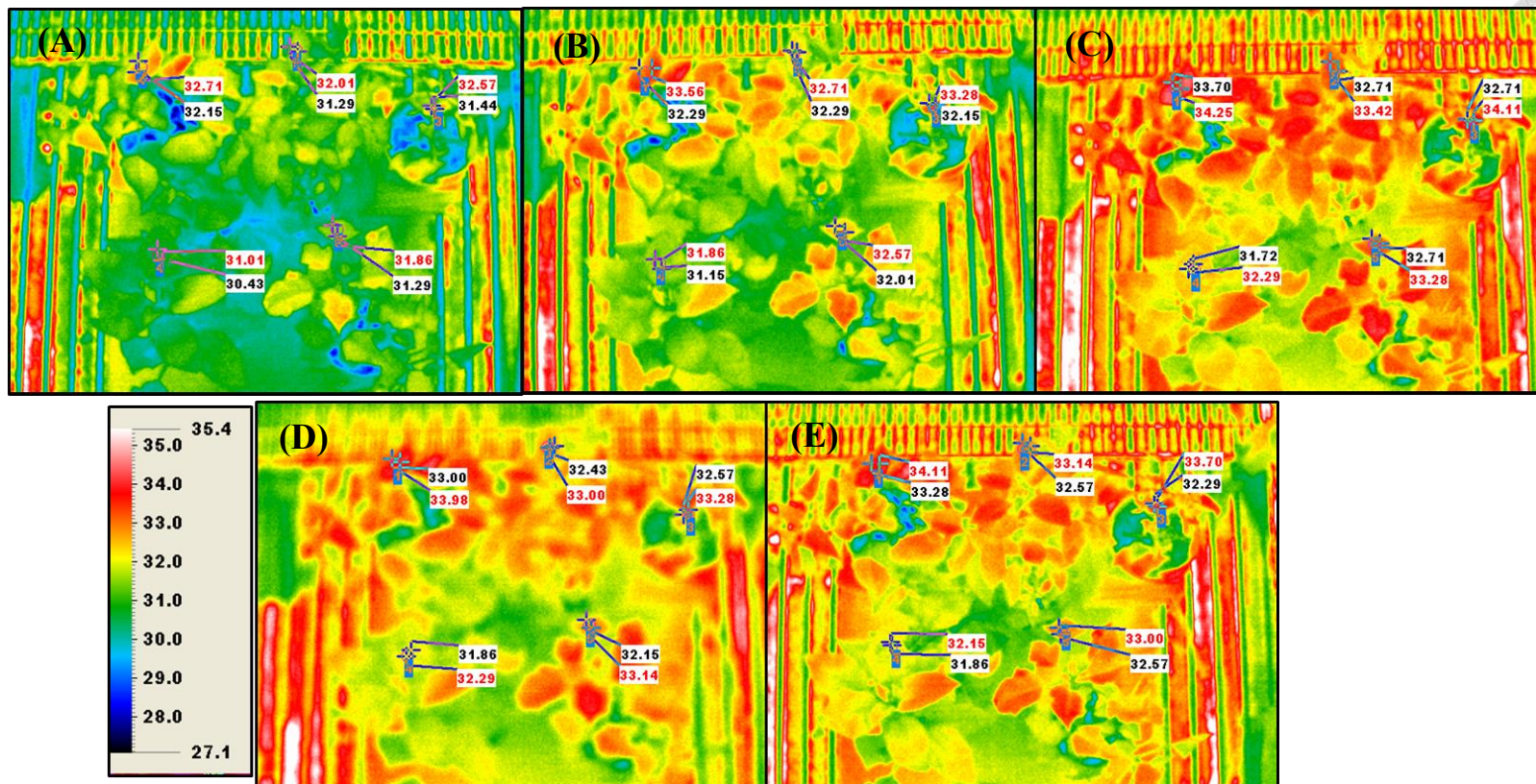


圖 3.2. 聖誕紅‘美貝拉’、‘四季桃喜’、‘聖誕情閃耀’、‘冰火’及‘桃莉’於 32°C 下之紅外線影像。(A)20 分鐘(B)30 分鐘(C)40 分鐘(D)50 分鐘(E)60 分鐘

Fig. 3.2. Infra-red thermograph in poinsettia ‘Marbella’, ‘Luv U Pink’, ‘Red Glitter’, ‘Ice Punch’, and ‘Dulce Rosa’ treated at 32°C. (A)20 mins, (B)30 mins, (C)40 mins, (D)50 mins, (E)60 mins.

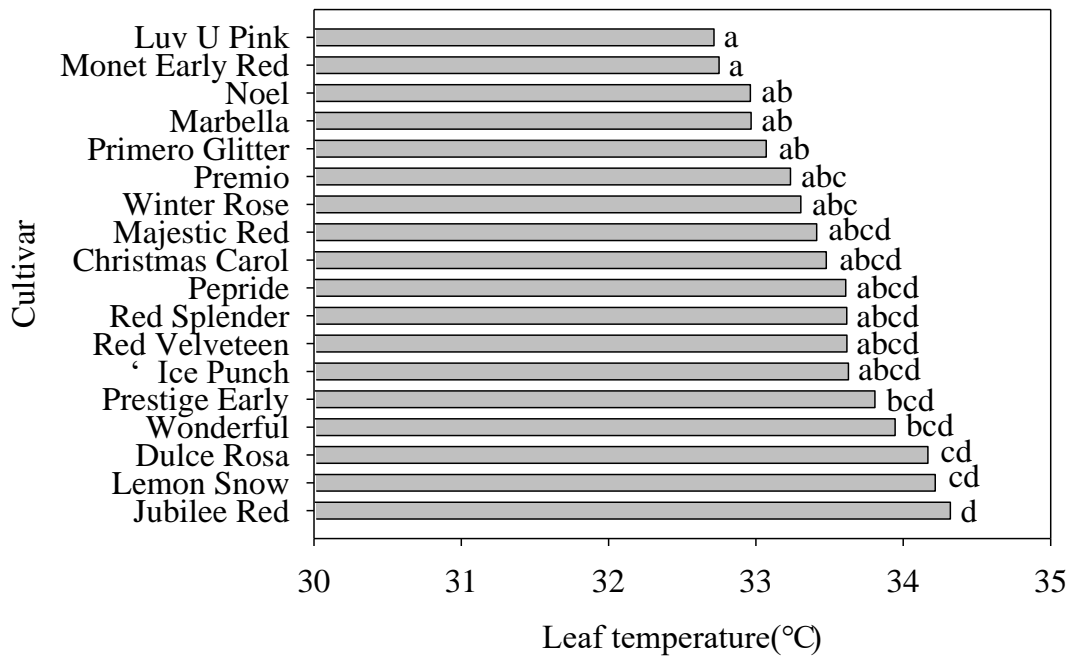


圖 3.3. 17 個品種聖誕紅於 32°C 下之葉片溫度

Fig. 3.3. Leaf temperature in 17 cultivars of poinsettia treated at 32°C. Mean separation within cultivars by LSD at  $P \leq 0.05$ .

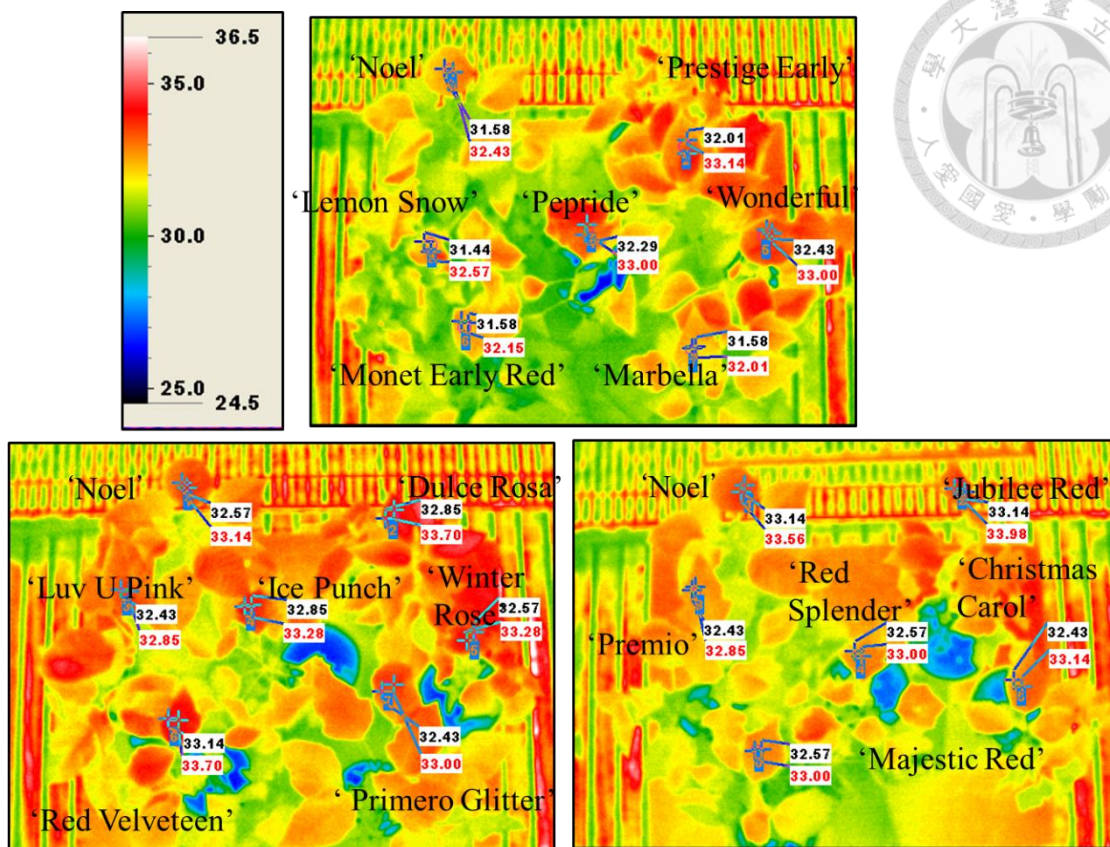


圖 3.4. 17 個品種聖誕紅於於 32°C 下之熱影像圖

Fig. 3.4. Infra-red thermograph in 17 cultivars of poinsettia treated at 32°C.

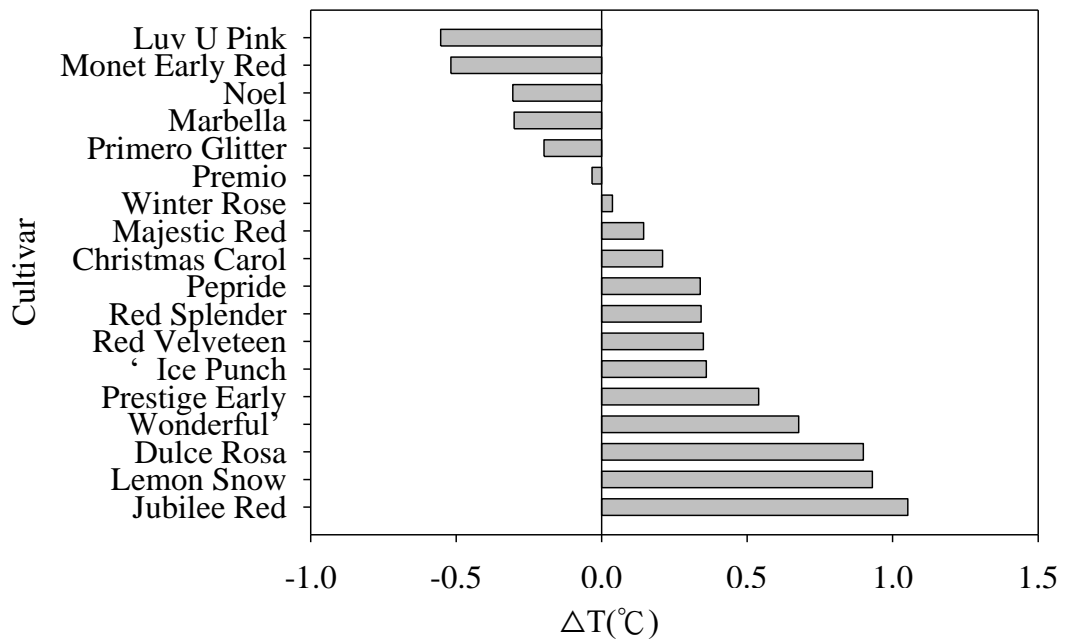


圖 3.5. 17 個品種聖誕紅於 32°C 下葉片溫度與環境溫度之差值( $\Delta T$ )

Fig. 3.5. Differences between leaf and environment temperature ( $\Delta T$ ) in 17 cultivars of poinsettia treated at 32°C.

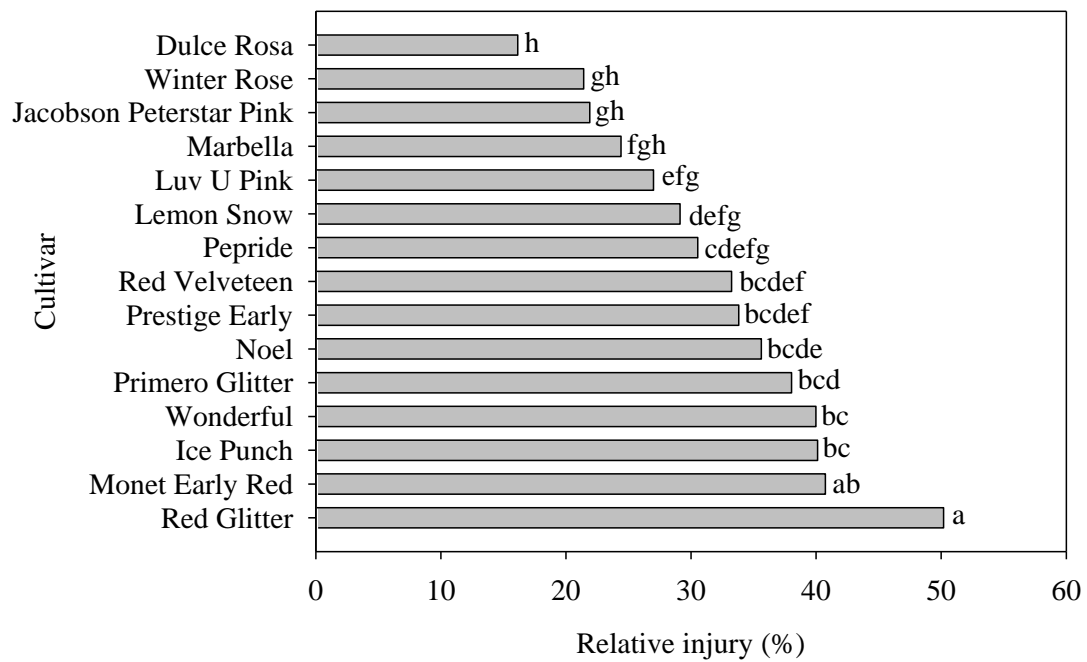


圖 3.6. 15 個品種聖誕紅於水浴溫度 55°C 下 15 分鐘之葉片相對傷害值

Fig. 3.6. Relative injury (RI) in 15 cultivars of poinsettia treated at 55°C for 15 min.

Mean separation within cultivars by LSD at  $P \leq 0.05$ .

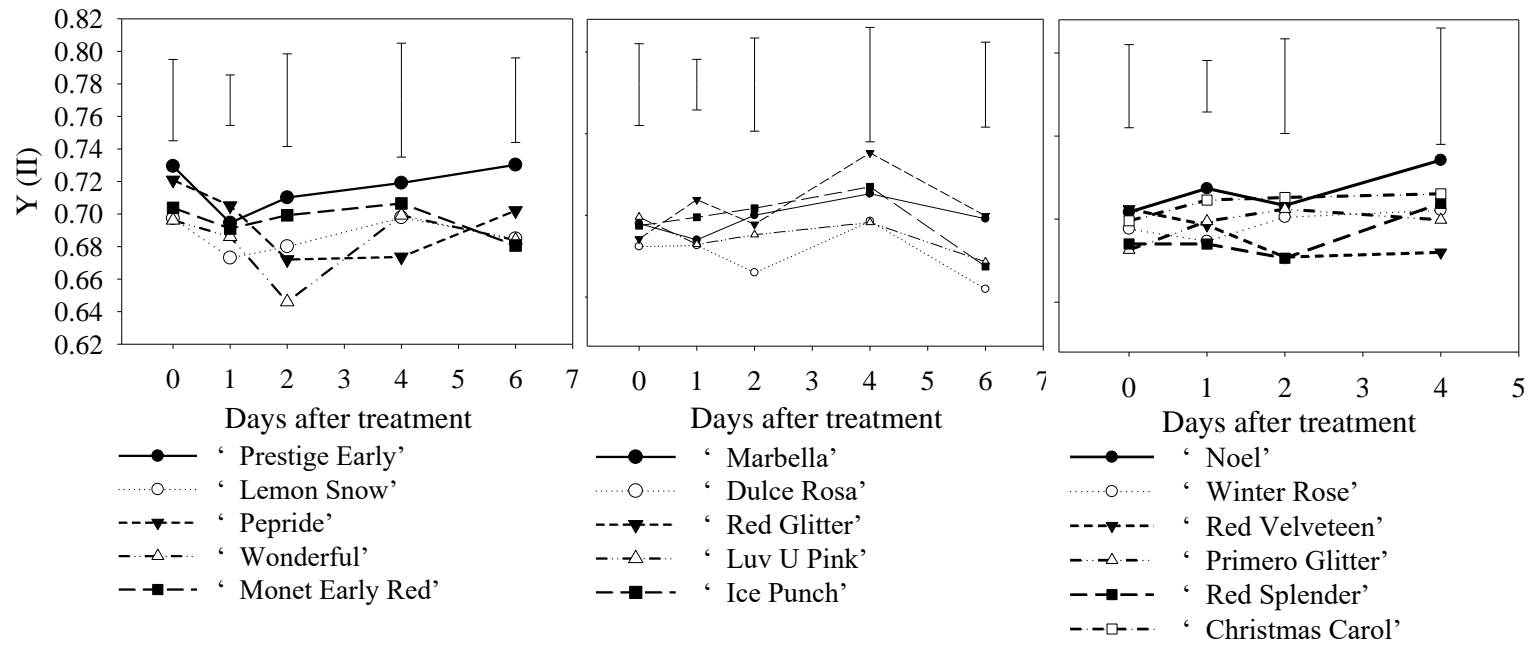


圖 3.7. 16 個品種聖誕紅於 32°C 下之葉綠素螢光參數 Y(II) 變化

Fig. 3.7. Changes of chlorophyll fluorescence value(Y(II)) in 16 cultivars of poinsettia treated at 32°C. Vertical bars indicate LSD values ( $P \leq 0.05$ ) for cultivars.

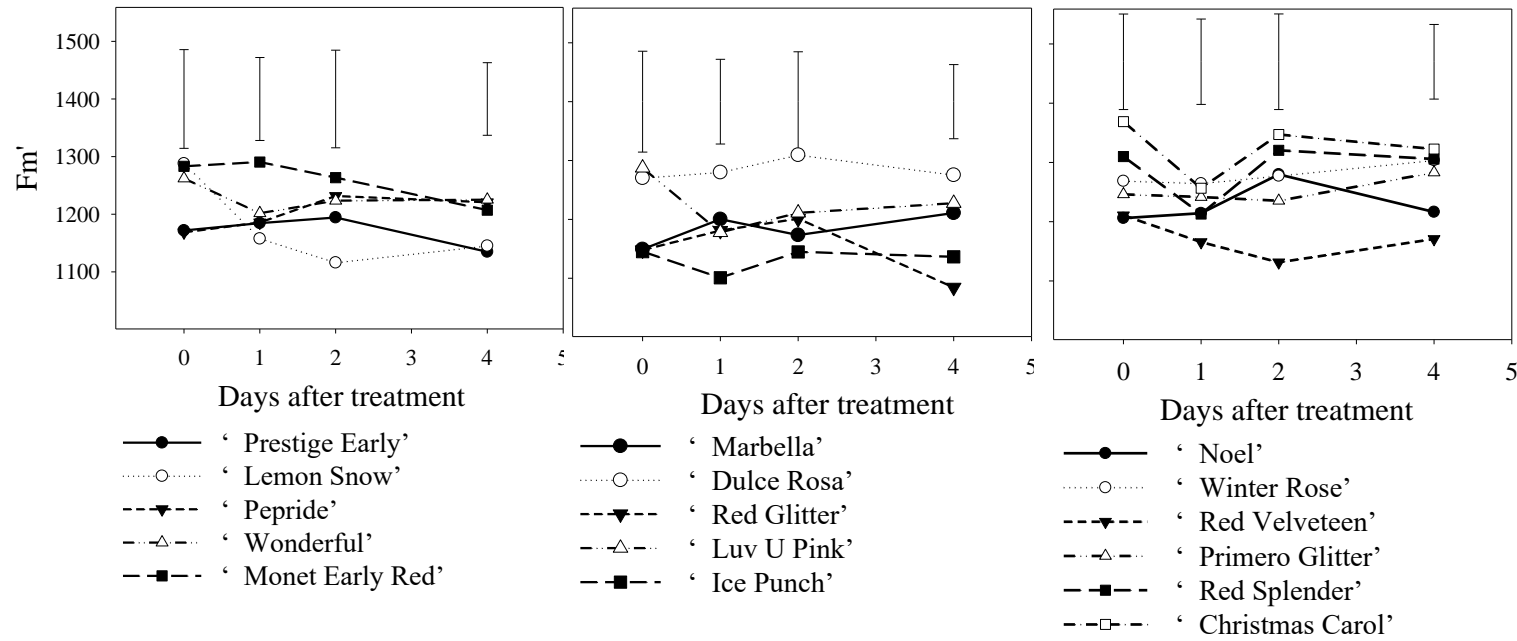


圖 3.8. 16 個品種聖誕紅於 32°C 下之葉綠素螢光參數 Fm' 變化

Fig. 3.8. Changes of chlorophyll fluorescence value(Fm') in 16 cultivars of poinsettia treated at 32°C. Vertical bars indicate LSD values ( $P \leq 0.05$ ) for cultivars.





#### 第四章 施用水楊酸和氯化鈣提升聖誕紅耐熱性之應用

### Chapter 4. Effect of Salicylic Acid and Calcium Chloride to Heat Tolerance of Poinsettia



#### 摘要(Abstract)

聖誕紅(*Euphorbia pulcherrima* Willd.)在臺灣夏季栽培時易發生插穗產量減少、植株生長停滯、盲芽、停心及狹葉化等生理障礙。水楊酸(salicylic acid, SA)和氯化鈣(calcium chloride, CaCl<sub>2</sub>)具有提升作物耐熱性之效果。本研究藉由施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 改善聖誕紅之高溫耐受性，探討 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 之施用濃度和比例以及施用方式對聖誕紅耐熱性提升之影響。試驗以聖誕紅‘Winter Rose’、‘Noel’、‘Ice Punch’扦插 6 週苗為材料，試驗分為去離子水(對照組)、10 mM CaCl<sub>2</sub>、200 μM SA、400 μM SA、10 mM CaCl<sub>2</sub> + 200 μM SA、10 mM CaCl<sub>2</sub> + 400 μM SA 等 6 種處理，植株噴施藥劑 5 小時後放置於 42°C 生長箱 50 分鐘，隨後取出植株進行各項調查。結果顯示各藥劑處理皆可提升葉綠素螢光值、降低葉片相對傷害值和葉片溫度，並提升側芽萌發率、新葉數和外觀品質。最適濃度方面，‘Winter Rose’ 為 400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 最佳；‘Noel’ 各藥劑處理間無顯著差異；‘Ice Punch’ 則以 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 最佳。噴施或澆灌 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 複合藥劑皆可提升聖誕紅之耐熱性，兩種處理方式之間沒有顯著差異。施用 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 可顯著降低‘Noel’ 高溫逆境後之丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量，並提升過氧化氫酶(catalase, CAT)之活性。總結來說，施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 藥劑可提升聖誕紅各項耐熱生理指標，唯複合施用更能提升外觀等級，最適濃度依品種而異。



## 一、前言(Introduction)

聖誕紅(*Euphorbia pulcherrima* Willd.)之生長適溫為日溫 24-28°C, 夜溫 21-23°C, 在高溫逆境下聖誕紅易發生插穗產量減少、植株生長停滯、盲芽、停心及狹葉化等生理障礙(楊, 2015)。

施用化學藥劑水楊酸(salicylic acid, SA)和氯化鈣(calcium chloride, CaCl<sub>2</sub>)能提升作物之耐熱性, 在抗氧化系統中, 鈣離子具有訊息傳遞、增加抗氧化酵素活性及調節氣孔開閉等功能。SA 則有訊息傳導、維持鈣離子平衡、促進抗逆境蛋白質產生、減少過氧化物等功能, 因此施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 可提升作物的耐熱性(Jiang and Huang, 2001)。

施用 CaCl<sub>2</sub> 可提升兩種溫帶草於高溫下栽培的外觀品質、相對含水量、葉綠素含量及抗氧化酵素的活性, 並降低丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量(Jiang et al., 2001)。100 μM SA 可減少四季秋海棠葉片相對傷害值(relative injury, RI)、降低 MDA 含量、增加株高及花朵數; 施用方式以澆灌較噴施更有效, 澆灌 100 μM 可以降低 Fv/Fm, 且得到較佳的外觀品質 (Lin et al., 2011)。澆灌 100 μM SA 和 5 mM CaCl<sub>2</sub> 複合藥劑可提升鳳梨鼠尾草於高溫下之葉綠素計讀值(SPAD-value)、Fv/Fm, 降低 RI 值, 且提升外觀等級, 施用複合藥劑的效果較單獨施用 SA 或 CaCl<sub>2</sub> 更佳(林, 2016)。

目前仍尚未有利用水楊酸和氯化鈣複合藥劑提升聖誕紅耐熱性之前人研究, 本研究藉由施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 改善聖誕紅之高溫耐受性, 探討 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 之施用濃度和比例以及施用方式對聖誕紅耐熱性提升之影響。



## 二、材料與方法(Materials and Methods)

### 試驗一、水楊酸和氯化鈣複合藥劑對聖誕紅高溫下生理和生長之影響

#### (一)植物材料

於 2017 年 6 月自桃園市復興區莊姓業者購買聖誕紅‘聖誕玫瑰’(‘Winter Rose’)、‘聖誕節’(‘Noel’)、‘冰火’(‘Ice Punch’)扦插 3 週之 9 cm 盆幼苗，栽培於臺灣大學芳蘭路園藝分場環控溫室中 3 週(日均溫 30.4°C，日間平均最大光度 700-1800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )，每週施用 1 次 20N-8.8P-16.6K (Peters 20-20-20, Scotts, Marysville, Ohio)1000  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，每 2 週施用一次 Johnson’s solution 微量元素。待所有品種之新生側枝達 7 個節位時，移至 32/28°C，日長 14 小時，光強度:180  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之生長箱馴化 1 週。試驗時間自 2017 年 6 月 20 日至 2017 年 8 月 30 日。氣象資料以氣候蒐集記錄儀 HOBO data logger(HOBO UA-002-64, Onset, Cape Cod, Massachusetts)紀錄。


#### (二)試驗處理

將植株噴施藥劑，5 小時後放置於 42°C 生長箱 50 分鐘，之後每天調查 1 次。噴施藥劑共 6 種處理，每處理 5 重複，6 種處理分別為：去離子水(對照組)、10 mM  $\text{CaCl}_2$ 、200  $\mu\text{M}$  SA、400  $\mu\text{M}$  SA、10 mM  $\text{CaCl}_2$  + 200  $\mu\text{M}$  SA、10 mM  $\text{CaCl}_2$  + 400  $\mu\text{M}$  SA。

#### (三)調查項目：

##### 1. 相對傷害值(relative injury, RI)

測定方式參考 Onwueme(1979)和吳(2015)，選取自莖頂向下之第 1 片完全展開葉，以直徑 0.9 cm 之打孔器剪取葉圓片，經一次蒸餾水漂洗後，每 5 片葉圓片放入裝有 15 mL 一次蒸餾水之試管，每試管 1 重複，共 5 重複。利用恆溫水浴



槽(water bath G-20, Kingtech Scientific Co., Ltd. Taiwan.)以 55°C處理 15 分鐘，隨後置於  $6 \pm 1^\circ\text{C}$  之黑暗環境下 24 小時後取出，以電導度計(SC-170, Suntex, Taiwan)測定，此值定義為 R1；再將葉片組織於殺菌釜內高溫高壓(121°C, 20 分鐘)完全破壞，待冷卻後，測得最後之 EC 值為 R2，再代入公式中求出相對傷害值(Relative injury; RI)。計算公式為： $RI(\%) = (R1 / R2) \times 100\%$

## 2. 葉綠素螢光值(chlorophyll fluorescence)

於高溫處理前以及處理後第 0、1、3、5 天利用葉綠素螢光測定儀(Mini-Pam, Walz Co., Germany)量測葉綠素螢光值，調查參數為 Y(II)和 Fv/Fm。於光照下可測得 Y(II)，代表最大光化學量子效率；葉片經 30 分鐘暗適應可測得 Fv/Fm，代表最大 PSII 的光能轉換效率(Baker and Rosenqvist, 2004)。

3. 新葉數：藥劑處理 2 週後調查植株之新葉數目，新葉定義為新生未完全展開之葉片。

4. 側芽萌發率：藥劑處理 2 週後調查植株之總芽數和側芽萌發數，相除後計算側芽萌發率。

5. 外觀等級評分：藥劑處理 2 週後調查外觀等級評分，共分為 1-5 分，評分標準如下：

5 分：受害葉片數小於 1 片。

4 分：受害葉片數 1-2 片。

3 分：受害葉片數 3-4 片。

2 分：受害葉片數 5-6 片。

1 分：受害葉片數大於 6 片。

受害葉片：包含高溫處理後落葉、黃化或焦枯的葉片。



#### (四) 統計分析

試驗採完全逢機設計(complete randomized design, CRD)。數據以 Costat 6.4(CoHort software, Monterey, CA, USA)統計軟體整理，以最小顯著差異(least significant difference, LSD)分析處理間差異( $P \leq 0.05$ )，繪圖採用 Sigma Plot 10.0 軟體 (Systat software INC., Richmond, CA, USA)。

試驗二、澆灌或噴施複合藥劑對聖誕紅耐熱性之影響

#### (一)植物材料

同試驗一。

#### (二)試驗處理

試驗共 3 種處理，每處理 5 重複，3 種處理如下：

1. 對照組：澆灌二次水 50 ml，並且噴施二次水於全株葉片表面；
2. 澆灌(drench)藥劑：澆灌複合藥劑(10 mM  $\text{CaCl}_2$  + 200  $\mu\text{M}$  SA) 50 ml 並且噴施二次水於全株葉片表面；
3. 噴施(spray)藥劑：噴複合藥劑(10 mM  $\text{CaCl}_2$  + 200  $\mu\text{M}$  SA)於全株葉片表面並且澆灌二次水 50 ml。

藥劑處理 5 小時後將植株放置於 42°C 生長箱 60 分鐘，之後進行各項調查。

#### (三)調查項目：



### 1. 相對傷害值(relative injury, RI)

測定方式參考 Onwueme(1979)和吳(2015)，選取自莖頂向下之第 1 片完全展開葉，以直徑 0.9 cm 之打孔器剪取葉圓片，經一次蒸餾水漂洗後，每 5 片葉圓片放入裝有 15 mL 一次蒸餾水之試管，每試管 1 重複，共 5 重複。利用恆溫水浴槽(water bath G-20, Kingtech Scientific Co., Ltd. Taiwan.)以 55°C處理 15 分鐘，隨後置於  $6 \pm 1^\circ\text{C}$ 之黑暗環境下 24 小時後取出，以電導度計(SC-170, Suntext, Taiwan)測定，此值定義為 R1；再將葉片組織於殺菌釜內高溫高壓(121°C, 20 分鐘)完全破壞，待冷卻後，測得最後之 EC 值為 R2，再代入公式中求出相對傷害值(Relative injury; RI)。計算公式為： $\text{RI} (\%) = (\text{R1} / \text{R2}) \times 100\%$

### 2. 葉片溫度

植株置於 32/28°C，日長 14 小時，光強度： $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之生長箱中，並以保麗龍板調整植株高度，使所有植株高度一致。40 分鐘後以紅外線熱像儀(TVS-200EX, Nippon Avionics, Tokyo, Japan)拍攝第一片成熟葉片之熱影像並進行分析，測量單位為°C。

### 3. 葉綠素螢光值(chlorophyll fluorescence)

於高溫處理前及處理後第 0、1、2、4、6 天利用葉綠素螢光測定儀(Mini-Pam, Walz Co., Germany)量測葉綠素螢光值，調查參數為 Y(II)和 Fv/Fm。於光照下可測得 Y(II)，代表最大光化學量子效率；葉片經 30 分鐘暗適應可測得 Fv/Fm，代表最大 PSII的光能轉換效率(Baker and Rosenqvist, 2004)。

### (四) 統計分析

同試驗一。

試驗三、水楊酸和氯化鈣複合藥劑對聖誕紅抗氧化酵素系統之影響



### (一)植物材料

將聖誕紅‘Noel’扦插3週之9 cm 盆幼苗，栽培於臺灣大學芳蘭路園藝分場環控溫室中3週(日均溫26.8°C，日間平均最大光度600-1400  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )，每週施用1次20N-8.8P-16.6K (Peters 20-20-20, Scotts, Marysville, Ohio)1000  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，每2週施用一次Johnson’s solution 微量元素。待所有品種之新生側枝達7個節位時，移至日/夜溫32/28°C，日長14小時，光強度為180  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之生長箱馴化1週。試驗時間自2018年4月20日至2018年5月20日。氣象資料以氣候蒐集記錄儀HOBO data logger(HOBO UA-002-64, Onset, Cape Cod, Massachusetts)紀錄。

### (二)試驗處理

試驗分為2種處理，將植株分別噴施去離子水(對照組)和200  $\mu\text{M}$  SA +  $\text{CaCl}_2$ 10 mM，5小時後放置於42°C生長箱50分鐘，24小時後取樣進行丙二醛和抗氧化酵素之分析。每處理3重複，1植株為1重複。

### (三)調查項目

#### 1. 丙二醛(malondialdehyde ; MDA)含量

測定方式參照Heath和Packer(1968)，取熱處理後之葉片90~100 mg，加入4 mL 5% TCA(trichloroacetic acid)研磨，之後以20°C，10000 g 離心5分鐘，取1 mL 上清液加入4 mL TBA(thiobarbituric acid；將0.5% TBA 溶於20% TCA 中)，以95°C 熱水浴30分鐘，再將加熱後之試管迅速插入冰中以終止反應，利用超音波震盪15分鐘去除氣泡，轉速3000 g 離心10分鐘，最後以分光光度計(U2800A Spectrophotometer, Hitachi, Japan)測定萃取後溶液在A532及A600之吸光值，MDA含量計算方式如下：

$$\text{MDA}(\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}) = (\text{A}532 - \text{A}600) \div 155(\text{K}, \text{mM}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}) \times 5(\text{反應體積}) \times 4(\text{稀釋倍數}) \times 1000 \div \text{FW}(\text{g})$$



## 2. 過氧化氫酶(catalase, CAT)活性

測定方式參照 Hwang and VanToai(1991)，取 0.2 g 的樣品加入 1ml sodium phosphate buffer(50mM, pH=6.8)，以 4°C 轉速 12000g 離心 20 分鐘，離心完迅速將上清液移至新的離心管，並放入冰中保持低溫測量 Catalase 活性。取 200 $\mu$ L 萃取液石英管 + 2.7 mL sodium phosphate buffer(100mM, pH=7.0) + 0.1mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(1M, 新鮮配製)，所有藥物加完後，加蓋混合均勻，置入分光光度計(U2800A Spectrophotometer, Hitachi, Japan)測量一次，測 A<sub>240</sub> 1 分鐘後，再測量一次 A<sub>240</sub>。

CAT 活性計算方式如下：

CAT activity (Units g<sup>-1</sup>) =

$\Delta A_{240} \div 40(\text{反應係數}) \times 3(\text{反應體積}) \times 5(\text{稀釋倍數}) \div 1(\text{min}) \div \text{FW}(\text{g})$

1Unit = 1nmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> consumed min<sup>-1</sup>

## 3. 超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性

測定方式參照Paoletti等(1981)，取0.5 g樣品，加入3 mL sodium phosphate buffer (50 mM, pH 7.4)混合震盪，以4°C轉速15000 g 離心3分鐘，取0.2 mL上清液，分別加入0.08 mL NADH (7.5 mM, 新鮮配製)、1.6 mL Tea-Dea buffer (triethanolamine-diethanolamine, 100 mM, pH 7.4)、0.05 mL EDTA/MnCl<sub>2</sub> (100 mM/50 mM, pH 7.0)、1 mL 2-Mercaptoethanol (10 mM, 啟動反應)。藥品混合後，立即置於石英管中，以分光光度計(U2800A Spectrophotometer, Hitachi, Japan)偵測波長 340nm 之吸光值 10 分鐘，blank以0.2 mL sodium phosphate buffer 取代酵素萃取液。SOD活性計算方式如下：

$$\text{SOD activity (Unit g}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{空白組 } \Delta A_{340} - \text{樣品之 } \Delta A_{340})}{\text{空白組之 } \Delta A_{340}} \times 100\% \div 50\% \times 15 (\text{稀釋倍數}) \div 10 (\text{min}) \div \text{FW} (\text{g})$$

1 Unit 定義為 SOD 抑制 50% NADH 每分鐘之氧化速率





#### (四)統計分析

試驗採完全逢機設計(complete randomized design, CRD)。數據以 Costat 6.4(CoHort software, Monterey, CA, USA)統計軟體進行 *t*-test 分析( $P \leq 0.05$ )，繪圖採用 Sigma Plot 10.0 軟體 (Systat software INC., Richmond, CA, USA)。



### 三、結果(Results)

#### 試驗一、水楊酸和氯化鈣複合藥劑對聖誕紅高溫下生理和生長之影響

在耐熱生理指標方面，所有藥劑處理皆可恢復‘Winter Rose’之 Fv/Fm 至 0.7 以上，處理間差異不顯著；200  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>、400  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>、10 mM CaCl<sub>2</sub> 及 400  $\mu\text{M}$  SA 等 4 種處理可恢復‘Ice Punch’之 Fv/Fm 至 0.7 以上，但 4 種處理間差異不顯著；對‘Noel’之葉綠素螢光值則無顯著影響(圖 4.1、圖 4.2)。「Winter Rose」對照組 RI 值 31.81%，藥劑處理可使 RI 值降低至 30% 以下其中 400  $\mu\text{M}$  SA + CaCl<sub>2</sub> 10 mM 處理之 RI 值最低(21.39%)；‘Noel」對照組 RI 值 16.68%，藥劑處理可使 RI 值降低至 16% 以下，其中 200  $\mu\text{M}$  SA + CaCl<sub>2</sub> 10 mM (12.97%)、400  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> (12.84%)及 10 mM CaCl<sub>2</sub> (11.68%)三種處理之 RI 值最低；‘Ice Punch」對照組之 RI 值 34.13%，藥劑處理可顯著降低 RI 值至 25% 以下，處理間無顯著差異(圖 4.3)。

在植株生長表現方面，經藥劑處理有較高的側芽萌發率，其中以 200  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 和 10 mM CaCl<sub>2</sub> 最有效，可提高至 80% 以上；‘Ice Punch」經藥劑處理有較高的側芽萌發率，其中以 200  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>、400  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 及 400  $\mu\text{M}$  SA 最有效，可提高至 70% 以上；對‘Noel」側芽萌發率則無顯著差異(圖 4.4)。藥劑處理可提升‘Winter Rose」之新葉數，其中 400  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 和 10 mM CaCl<sub>2</sub> 和 10 mM CaCl<sub>2</sub> 最有效(皆 24.33 片)；‘Ice Punch」經藥劑處理有較高的新葉數(超過 30 片)，但處理間差異不顯著；對‘Noel」之新葉數則無顯著影響(圖 4.5)。藥劑處理可提升三個品種聖誕紅之外觀等級，‘Winter Rose」以 10 mM CaCl<sub>2</sub> (4.2 分)、400  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 最佳(4.4 分)(圖 4.6)，其對照組落葉嚴重，複合藥劑處理可以減少落葉情形(圖 4.7)；‘Noel」各藥劑處理皆可提升外觀品質，處理間無顯著差異(圖 4.6)，其對照組之新葉有畸形的徵狀，而 400  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 處理之葉片則完全沒有觀察到畸形葉片的發生(圖 4.8)；‘Ice Punch」以 200

$\mu\text{M SA} + 10 \text{ mM CaCl}_2$  最佳(4.8 分)(圖 4.6), 對照組之新葉呈現狹葉化之畸形徵狀, 各藥劑處理之葉片則無觀察到此徵狀(圖 4.9)。水楊酸和氯化鈣處理對各品種後期轉色之表現如圖 4.10、圖 4.11、圖 4.12 所示。



#### 試驗二、澆灌或噴施複合藥劑對聖誕紅耐熱性之影響

澆灌或噴施複合藥劑( $200 \mu\text{M SA} + 10 \text{ mM CaCl}_2$ )均可降低‘Winter Rose’之 RI 值並提升 Fv/Fm 值、Y(II)值, 兩種處理方式間無顯著差異(表 4.1、圖 4.13); 對葉片溫度則無顯著影響(表 4.1)。

#### 試驗三、水楊酸和氯化鈣複合藥劑對聖誕紅抗氧化酵素系統之影響

‘Noel’ 對照組經過高溫逆境後其 MDA 含量高達  $101.51 \text{ nmol/g}$ , 施用  $200 \mu\text{M SA} + 10 \text{ mM CaCl}_2$  可顯著降低 MDA 含量至  $69.35 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ , 並提升 CAT 活性, 對 SOD 活性則沒有顯著影響(表 4.2)。



#### 四、討論(Discussion)

##### 試驗一、水楊酸和氯化鈣複合藥劑對聖誕紅高溫下生理和生長之影響

本試驗 42°C 高溫會使聖誕紅之 Fv/Fm 值和觀賞品質下降，RI 值和丙二醛含量上升。菊花(*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura)於 35°C 以上其葉綠素螢光基值(Fo)隨著溫度增加而上升，使 Fv/Fm 下降(Janka et al., 2013)；胡瓜(*Cucumis sativa* L.)於高溫 40°C 其 RI 值和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 上升(Shi et al., 2006)，聖誕紅於高溫 35°C 其 Fv/Fm 值、生長品質皆下降(吳，2015)，本試驗結果與前人研究相似。

施用化學藥劑 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 能提升作物之耐熱性，在抗氧化系統中，鈣離子具有訊息傳遞、增加抗氧化酵素活性及調節氣孔開閉等功能。SA 則有訊息傳導、維持鈣離子平衡、促進抗逆蛋白物質產生、減少過氧化物等功能，因此施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 可提升作物的耐熱性(Jiang and Huang, 2001)。施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 可降低聖誕紅高溫逆境下之 RI 值、MDA 含量，並提升 Fv/Fm 值(吳，2015)。CaCl<sub>2</sub> 可提升兩種溫帶草於高溫下栽培的相對含水量、葉綠素含量及抗氧化酵素的活性，並含有較少的丙二醛(malondialdehyde, MDA) (Jiang et al., 2001)；100 μM SA 可減少四季秋海棠(*Begonia semperflorens-cultorum*)RI 值、降低 MDA 含量、提升 Fv/Fm(Lin et al., 2011)。本研究結果顯示施用複合藥劑可降低三個品種聖誕紅之 RI 值，並提升‘Winter Rose’、‘Ice Punch’之葉綠素螢光值至 0.7 以上，與前人研究結果相似，表示 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 具有維持細胞膜穩定性的功能、減少葉綠體受到高溫逆境之傷害。

水楊酸或氯化鈣具有濃度效應，不同物種有最適合之施用濃度，Lin 等人(2011)以 0、100、200、400、800、1600 μM 對四季秋海棠進行試驗，結果顯示 100、200 μM SA 可顯著降低高溫下四季秋海棠之 RI 值和 MDA 含量，但 800 μM 以上不但無法降低 MDA 含量和 RI 值，甚至較對照組更高；吳(2015)探討不同濃度 SA(0、100、200、400 μM)和 CaCl<sub>2</sub> (0、10、20、40 mM)對聖誕紅耐熱性之影響，結果顯示 SA 最佳之施用濃度為 200、400 μM，CaCl<sub>2</sub> 則為 10 mM。本試驗參考吳(2015)

之試驗結果，進一步探討複合施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 是否較單獨施用效果更佳。林(2016)指出澆灌 100 μM SA 和 5 mM CaCl<sub>2</sub> 複合藥劑可提升鳳梨鼠尾草 (*Salvia elegans* ‘Scarlet Pineapple’) 於高溫下之葉綠素計讀值(SPAD-value)和 Fv/Fm 值，並降低 RI 值，且有較高的外觀等級，施用複合藥劑的效果較單獨施用 SA 或 CaCl<sub>2</sub> 更佳。本試驗結果與林(2016)相似，相較於單獨施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub>，複合施用更能提升三個品種聖誕紅於高溫逆境後之側芽萌發率、新葉數以及外觀等級(圖 4.4、圖 4.5、圖 4.6)。總結來說，單獨或複合施用 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 均能提升聖誕紅之耐熱性，惟複合施用更能提升外觀品質。

不同品種的植物對於藥劑的反應會有所不同，黃(2008)指出水楊酸能有效提升火鶴花(*Anthurium andraeanum* Lind.)不耐熱品種‘Senator’於高溫逆境之葉綠素螢光、光子產量，並減少其葉片燒焦數，但對耐熱品種‘Tropical’的效果則不明顯，推測可能是因為耐熱品種本身的耐熱機制比水楊酸的作用更強。Jiang 等人(2001)指出 CaCl<sub>2</sub> 可提升高狐草(*Festuca arundinacea* Schreb)和肯塔基藍草(*Poa pratensis* L.)於高溫下的外觀品質、相對含水量、葉綠素含量及抗氧化酵素的活性，並降低 MDA 含量，而且對較不耐熱的高狐草效果比耐熱的肯塔基藍草更明顯。本試驗根據第三章試驗針對耐熱性所評估的結果，分別挑選了‘Winter Rose’、‘Noel’、‘Ice Punch’作為耐熱種、中度耐熱種及不耐熱種的代表進行藥劑試驗，結果 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 處理對‘Winter Rose’、‘Ice Punch’各項耐熱指標和外觀表現皆有顯著提升，但對‘Noel’除了外觀等級以外，對其他調查項目的效果皆不顯著，原因是‘Noel’的對照組並不如其他兩個品種有顯著受到高溫傷害的情形，因此和處理組之間差異不顯著。造成‘Noel’的對照組沒有顯著差異的原因可能有兩個：1.‘Noel’本身較耐熱，且耐熱程度更勝於‘Winter Rose’，故其對照組本身就具有相當耐熱能力，和對照組才會沒有差異，此結果和第三章的評估結果有出入，應將‘Noel’歸類為耐熱品種；2. 由於操作過程的時間順序、擺放位置等因素造成試驗誤差。

藥劑處理對聖誕紅開花期轉色之表現如圖 4.10、圖 4.11、圖 4.12 所示，水楊酸

和氯化鈣處理和對照組外觀上似乎沒有明顯差異，推測可能原因是植株經過高溫逆境後(42°C 50 分鐘)，於園藝分場恢復了 4 個月(10 月-2 月)的時間才調查，由於沒有經歷長時間的高溫逆境，故後期對開花轉色較無顯著影響。


以外觀品質和葉片相對傷害值作為標準，各品種最佳之藥劑配方為：‘Winter Rose’為 400  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>；‘Noel’為 400  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 和、200  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>；‘Ice Punch’為 200  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>。

### 試驗二、澆灌或噴施複合藥劑對聖誕紅耐熱性之影響

澆灌或噴施複合藥劑(200  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>)兩種方式均可降低‘Winter Rose’之 RI 值(表 4.1)，並提升 Fv/Fm 值、Y(II)值，對照組之 Fv/Fm 值、Y(II)值經過高溫處理後迅速下降，直到 72 小時後才有所恢復，而兩種藥劑施用處理皆可於第 24 小時即迅速恢復 Fv/Fm 值、Y(II)值(圖 4.13)，但澆灌或噴施間無顯著差異。Lin 等人(2011)指出由於四季秋海棠之葉片具有蠟質不易吸收藥劑，因此澆灌 100  $\mu\text{M}$  SA 較噴施更能增加四季秋海棠於高溫逆境下之 Fv/Fm。本試驗材料聖誕紅之葉片表面無明顯蠟質或絨毛，因此噴施或澆灌均不影響藥劑之效果，使用者可根據使用習慣選擇適合的方式。

### 試驗三、水楊酸和氯化鈣複合藥劑對聖誕紅抗氧化酵素系統之影響

高溫逆境會造成細胞的脂質過氧化，產生活性氧族(reactive oxygen species, ROS)。酵素抗氧化系統(antioxidant system)可清除 ROS，防止其對植物細胞之破壞(Zhang et al., 2011)，抗氧化酵素包括超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、過氧化氫酶(catalase, CAT)、抗壞血酸過氧化物酶(ascorbate peroxidase, APX)及穀胱甘肽還原酶(glutathione Reductase, GR)(Dinakar et al., 2012)。SOD 和 CAT 是清除 ROS 最主要的抗氧化酵素，其中 SOD 負責將超氧陰離子(superoxide anion, O<sup>2-</sup>)還原成過氧化氫(hydrogen peroxide, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)，CAT 則進一步將 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 還原成 H<sub>2</sub>O(Sairam,



and Tyagi, 2004), Shi 等(2006)指出噴施 SA 可降低胡瓜(*Cucumis sativa* L.)於高溫逆境下之 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量和 RI 值，並提升 SOD 和 CAT 的活性。本試驗施用 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 可顯著提升 CAT 之活性，並降低 MDA 含量，表示藥劑確實能減少脂質過氧化的情形發生(表 4.2)，與前人研究結果相似，但施用 SA 對 SOD 活性則沒有顯著影響，可能是試驗操作過程未盡完善，或者 SA 和 CaCl<sub>2</sub> 對於提升聖誕紅 SOD 活性的作用不明顯。

表 4.1. 澆灌或噴施水楊酸和氯化鈣複合藥劑對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’葉片溫度和 RI 值之影響

Table. 4.1. Effect of salicylic acid and calcium chloride treatment by medium drench or foliar spray on leaf relative injury of poinsettia ‘Winter Rose’ under heat treatment.

Treatment	Leaf temperature (°C)	Relative injury (%)
Control	33.49 a <sup>z</sup>	87.59 a
Drench <sup>y</sup>	33.02 a	82.77 b
Spray	32.26 a	82.25 b

<sup>z</sup>Mean separation within columns by LSD at  $P \leq 0.05$ .

<sup>y</sup>The plants were drench or spray on 200  $\mu$ M salicylic acid + 10 mM calcium chloride.



表 4.2. 水楊酸和氯化鈣複合藥劑對高溫處理之聖誕紅‘聖誕節’丙二醛(MDA)含量以及 superoxide dismutase(SOD)、catalase(CAT)活性之影響

Table 4.2 Effect of salicylic acid and calcium chloride treatment on malondialdehyde(MDA) content and the activity of Superoxide dismutase(SOD) and Catalase(CAT) of poinsettia ‘Noel’ under heat treatment.

Treatment	MDA (nmol/g)	SOD (Unit/g)	CAT (Unit/g)
Control	101.51	36.00	0.02
200 $\mu$ M SA + CaCl <sub>2</sub> 10 mM	69.35	30.36	0.10
<i>t</i> -test	**	NS	*

\*,\*\* means significant at  $P \leq 0.01, 0.05$  respectively. NS means not significant at  $P \leq 0.05$

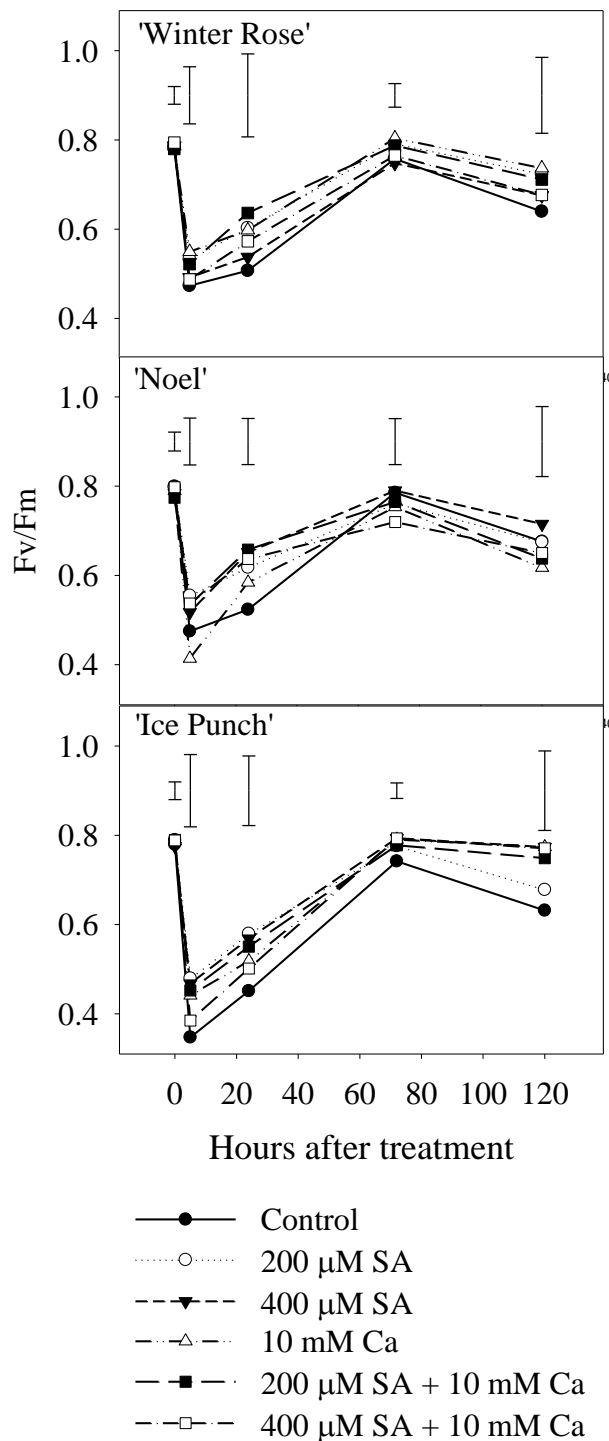


圖 4.1. 水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’、‘聖誕節’及‘冰火’葉綠素螢光值(Fv/Fm)之影響

Fig. 4.1. Effect of salicylic acid and calcium chloride on chlorophyll fluorescence value (Fv/Fm) of poinsettia ‘Winter Rose’, ‘Noel’ and ‘Ice Punch’ under heat treatment. Vertical bars indicate LSD values ( $P \leq 0.05$ ) for treatment.

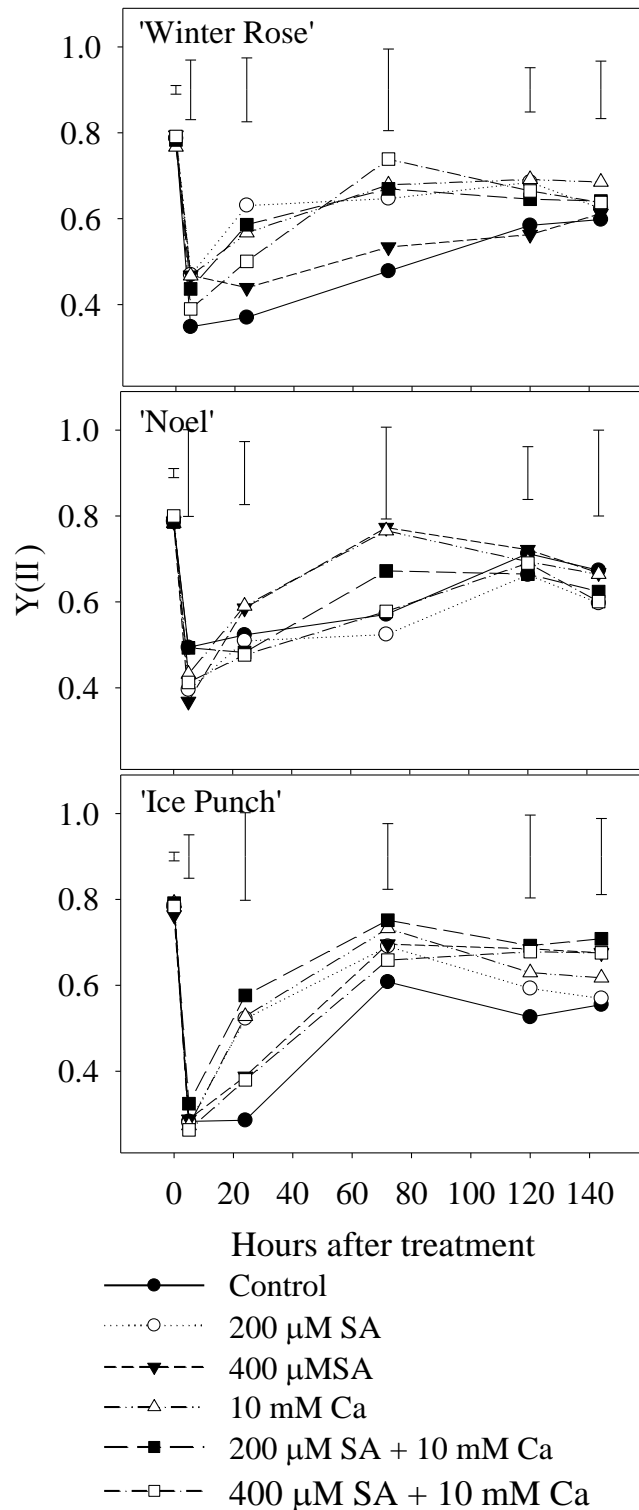


圖 4.2. 水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’、‘聖誕節’及 ‘冰火’葉綠素螢光值(Y(II))之影響

Fig. 4.2. Effect of salicylic acid and calcium chloride on chlorophyll fluorescence value(Y(II)) of poinsettia 'Winter Rose', 'Noel' and 'Ice Punch' under heat treatment. Vertical bars indicate LSD values ( $P \leq 0.05$ ) for treatment.

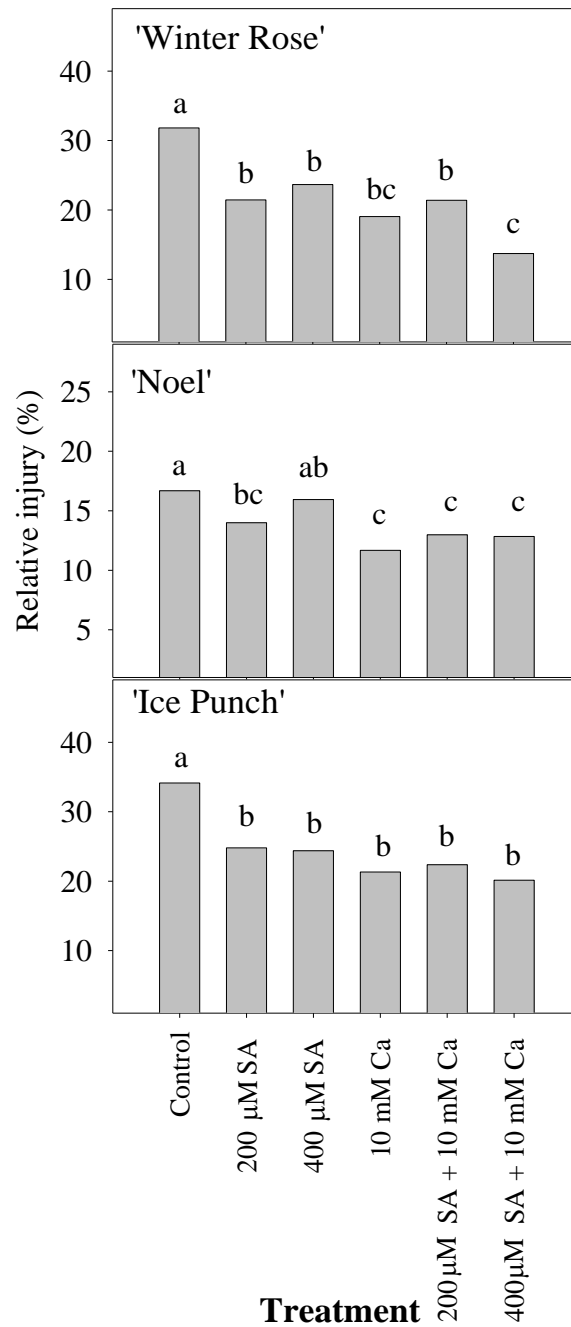


圖 4.3. 水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’、‘聖誕節’及‘冰火’葉片相對傷害值之影響

Fig. 4.3. Effect of salicylic acid and calcium chloride on relative injury of poinsettia ‘Winter Rose’ and ‘Ice Punch’ under heat treatment. Mean separation within cultivars by LSD at  $P \leq 0.05$ .

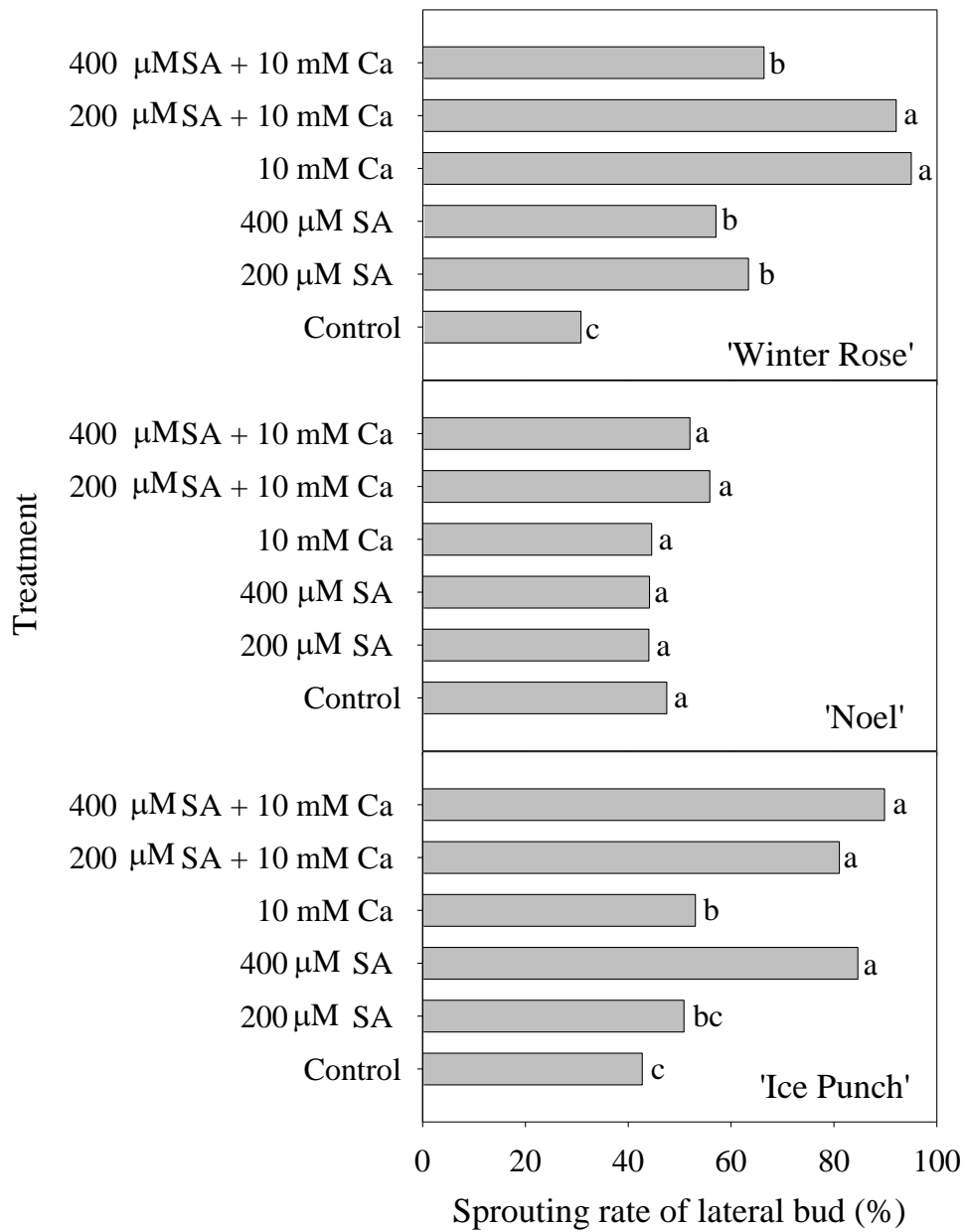
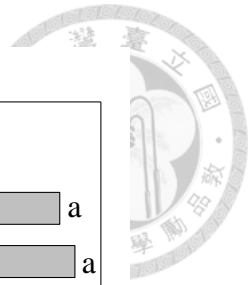


圖 4.4. 水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’、‘聖誕節’及‘冰火’側芽萌發率之影響

Fig. 4.4. Effect of salicylic acid and calcium chloride on sprouting rate of lateral bud (%) of poinsettia ‘Winter Rose’, ‘Noel’ and ‘Ice Punch’ under heat treatment. Mean separation within treatments by LSD at  $P \leq 0.05$ .

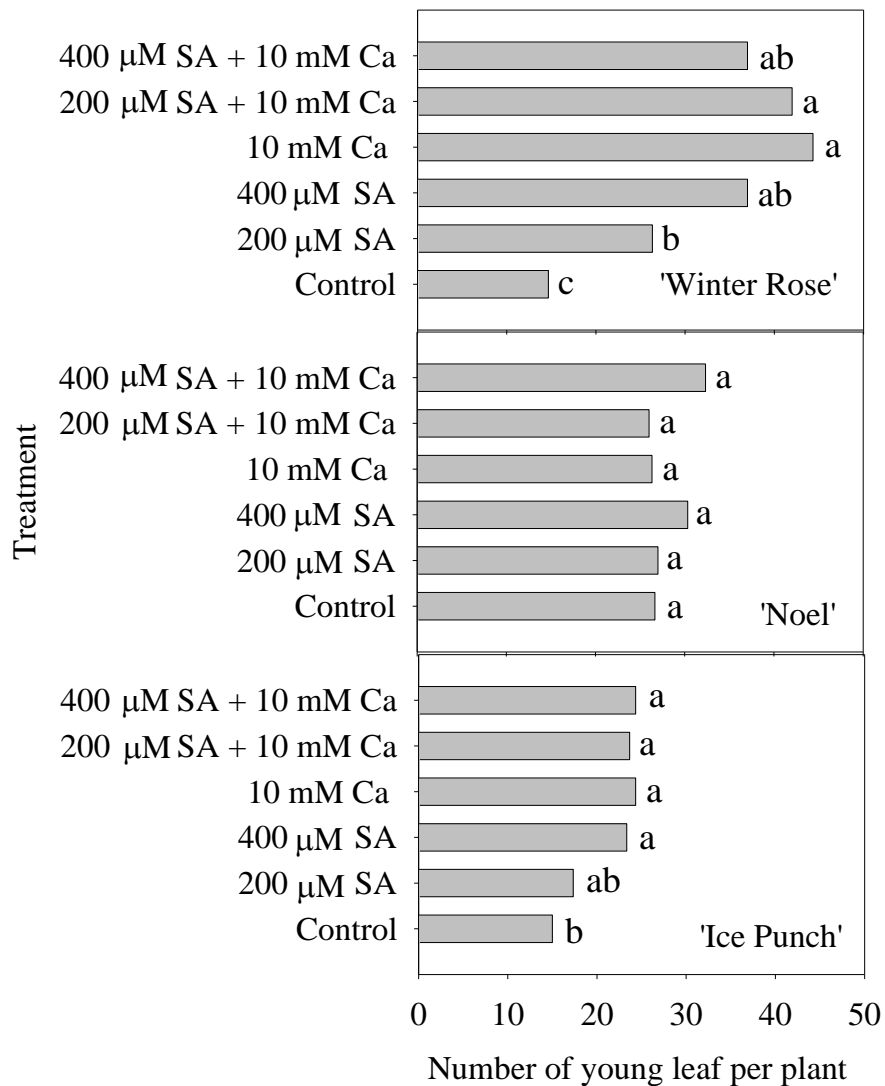


圖 4.5. 水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’、‘聖誕節’及‘冰火’新葉數之影響

Fig. 4.5. Effect of salicylic acid and calcium chloride on the number of new leaves of poinsettia ‘Winter Rose’, ‘Noel’ and ‘Ice Punch’ under heat treatment. Mean separation within treatments by LSD at  $P \leq 0.05$ .

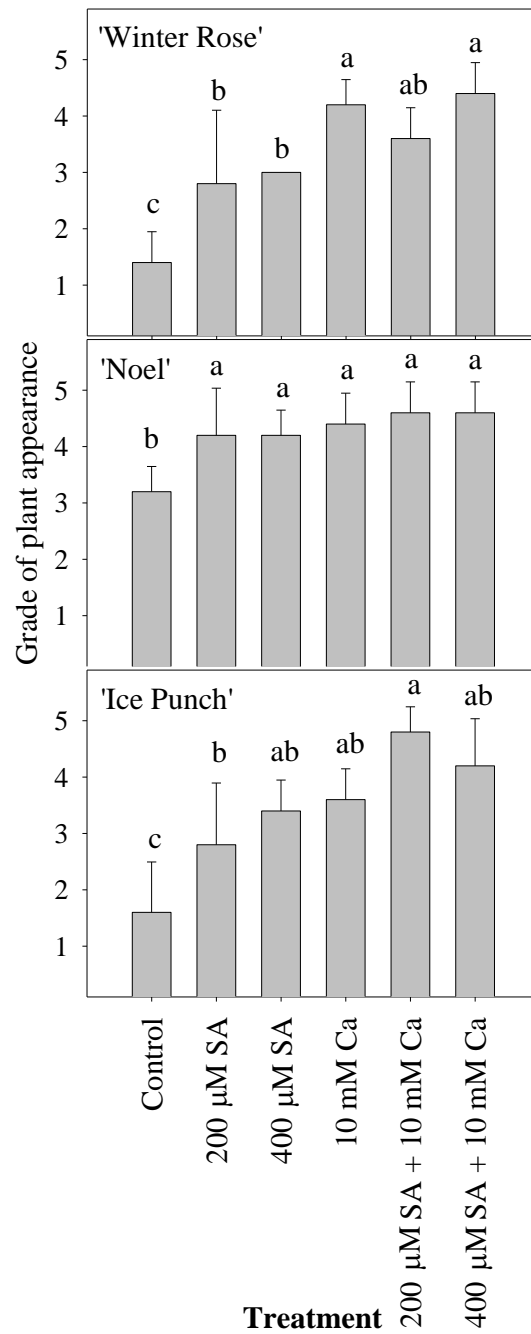


圖 4.6. 水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’、‘聖誕節’及‘冰火’外觀等級之影響

Fig. 4.6. Effect of salicylic acid and calcium chloride on grade of appearance of poinsettia ‘Winter Rose’, ‘Noel’ and ‘Ice Punch’ under heat treatment. Mean separation within treatments by LSD at  $P \leq 0.05$ .



圖 4.7. 不同濃度組合之水楊酸和氯化鈣對高溫處理後之聖誕紅‘聖誕玫瑰’外觀之影響

Fig. 4.7. Effect of different concentration of salicylic acid and calcium chloride on appearance of poinsettia ‘Winter Rose’ after heat treatment .





圖 4.8. 不同濃度組合之水楊酸和氯化鈣對高溫處理後之聖誕紅‘聖誕節’外觀之影

Fig. 4.8. Effect of different concentration of salicylic acid and calcium chloride on appearance of poinsettia ‘Noel’ after heat treatment.



Control

200  $\mu\text{M}$

400  $\mu\text{M}$  SA



10 mM  $\text{CaCl}_2$

200  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM  $\text{CaCl}_2$

400  $\mu\text{M}$  SA + 10 mM  $\text{CaCl}_2$



圖 4.9 水楊酸和氯化鈣對高溫處理後之聖誕紅 ‘冰火’外觀之影響

Fig. 4.9. Effect of different concentration salicylic acid and calcium chloride on appearance of poinsettia ‘Ice Punch’ after heat treatment.





圖 4.11. 不同濃度組合之水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘聖誕節’開花轉色之影響

Fig. 4.11. Effect of different concentration of salicylic acid and calcium chloride on flowering of poinsettia ‘Noel’ after heat treatment.



圖 4.12. 不同濃度組合之水楊酸和氯化鈣對高溫處理之聖誕紅‘冰火’開花轉色之影響

Fig. 4.12. Effect of different concentration of salicylic acid and calcium chloride on flowering of poinsettia ‘Ice Punch’ after heat treatment.

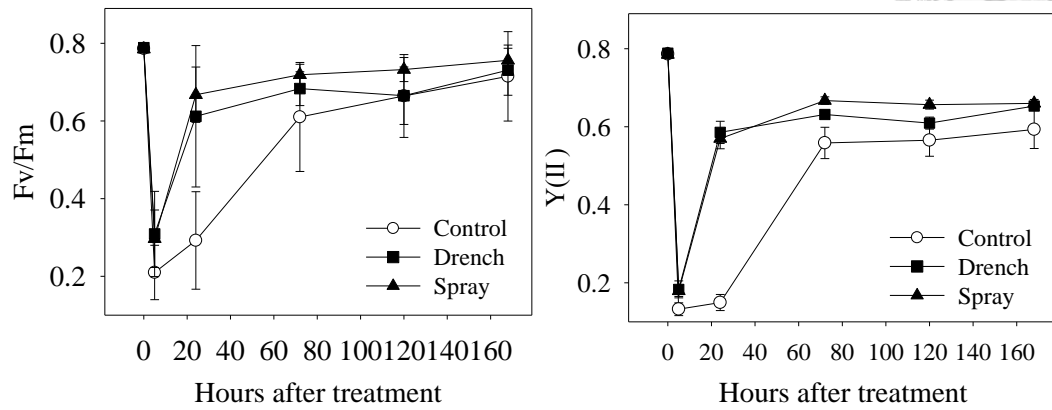
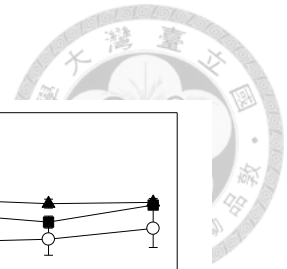


圖 4.13. 澆灌或噴施水楊酸和氯化鈣複合藥劑對高溫處理之聖誕紅‘聖誕玫瑰’葉綠素螢光值(Fv/Fm、Y(II))之影響

Fig. 4.13. Effect of salicylic acid and calcium chloride treatment by medium drench or foliar spray on chlorophyll fluorescence value(Fv/Fm、Y(II)) of poinsettia Winter Rose' under heat treatment. The plants were drench or spray on 200  $\mu$ M salicylic acid + 10 mM calcium chloride. Mean separation within cultivars by LSD at  $P \leq 0.05$ .<sup>z</sup>.

## 第五章 施用生長阻礙劑提升聖誕紅耐熱性之應用

### Chapter 5. Effect of Plant Growth Retardants to Heat Tolerance of Poinsettia



#### 摘要(Abstract)

聖誕紅(*Euphorbia pulcherrima* Willd.)於臺灣夏季栽培時易受到高溫逆境而生長不良。生長阻礙劑除了矮化植株以外尚具有提升作物逆境耐受性之功能。本試驗藉由施用生長阻礙劑改善聖誕紅之高溫耐受性，探討生長阻礙劑之種類以及施用時期對聖誕紅耐熱性提升之影響。將聖誕紅‘Winter Rose’、‘Noel’、‘Ice Punch’扦插7週苗進行摘心，再隔2週後待側芽長2cm時將植株移至32/28°C生長箱進行生長阻礙劑處理。試驗共分為三處理，分別為去離子水、巴克素(paclobutrazol, PP-333) 23.5 mg·L<sup>-1</sup>、克美素(chlormequat, CCC) 1500 mg·L<sup>-1</sup>。於處理第30天將植株移置到另一個生長箱中模擬高溫逆境(42°C, 50分鐘)。結果顯示，PP-333處理可增加三個品種聖誕紅之Y(II)值、Fv/Fm值。CCC處理亦可增加‘Noel’、‘Ice Punch’之Y(II)值、Fv/Fm值，並降低‘Ice Punch’之葉片相對傷害值。分別於摘心後側芽長2、3、5cm時澆灌23.5 mg·L<sup>-1</sup> PP-333，結果顯示側芽長2cm時施用PP-333之株高最低，葉長、葉寬最小，葉綠素計讀值亦較其他兩個處理低；於側芽長5cm時施用PP-333除了能降低株高，並兼具提升CMR及葉長葉寬之效果。耐熱指標方面，各時期施用PP-333皆可減緩高溫處理後Fv/Fm、Y(II)下降的幅度並降低RI值，處理間則沒有顯著差異。負日夜溫差(difference in day and night temperature, DIF)(25/30°C)處理30天可降低‘Winter Rose’之株高，但對各項耐熱生理指標均無顯著影響，推測影響聖誕紅耐熱性之因子可能為生長阻礙劑之化學特性，其他矮化植物的方式對耐熱性不一定有顯著影響。總結來說，施用PP-333可顯著提升聖誕紅耐熱性，施用時期以摘心後側芽長5cm可兼具降低株高和提升耐熱性之效果。



## 一、前言(Introduction)

聖誕紅(*Euphorbia pulcherrima* Willd.)之生長適溫為日溫 24-28°C, 夜溫 21-23°C, 在高溫逆境下聖誕紅易發生插穗產量減少、植株生長停滯、盲芽、停心及狹葉化等生理障礙(楊, 2015), 而夜溫高於 23°C時會延遲開花(Ecke, 2004)。

植物生長阻礙劑(Plant Growth Retardants; PGRs), 又稱植物矮化劑, 具有抑制節間生長, 使葉色加深、增加花朵數等功能(Krug et al., 2007)。研究指出 triazole 類生長阻礙劑除了幫助植物防禦生物性的逆境, 亦可抵禦非生物性逆境, 施用巴克素(paclobutrazol, PP-333)可增加小麥於高溫下之葉綠素螢光參數、葉綠素含量以及存活率(Gilley and Fletcher, 1997)。施用 PP-333 可降低高羊茅草高溫逆境下之 RI 值, 並提升葉片相對含水量和葉綠素含量(申屠等, 2008)。施用克美素(chlormequat, CCC)可提升咖啡於乾旱逆境下之淨光合作用速率和水分利用效率(Daniel et al., 2010)。施用單克素(uniconazole, UNI)可顯著增加玉米不耐淹水品種於淹水環境下的抗氧化酵素的含量, 並降低 MDA、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量(Li et al., 1998)。

目前尚未有生長阻礙劑提升聖誕紅耐熱性之前人研究, 本研究藉由施用生長阻礙劑改善聖誕紅之高溫耐受性, 探討生長阻礙劑之種類和以及施用時期對聖誕紅耐熱性提升之影響。





## 二、材料與方法(Materials and Methods)

試驗一、生長阻礙劑對聖誕紅耐熱性之影響。

### (一)植物材料

於 2017 年 11 月自桃園市復興區莊姓業者購買聖誕紅‘聖誕玫瑰’(‘Winter Rose’)、‘聖誕節’(‘Noel’)、‘冰火’(‘Ice Punch’)扦插 3 週之 9 cm 盆幼苗，栽培於臺灣大學芳蘭路園藝分場環控溫室中 4 週後進行摘心(日均溫 28.5°C，日間平均最大光度 500-1300  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )，再隔 2 週後待側芽長 2cm 時將植株移至花卉館 32/28°C 生長箱，進行生長阻礙劑處理。栽培期間每週施用 1 次 20N-8.8P-16.6K (Peters 20-20-20, Scotts, Marysville, Ohio)1000  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，每 2 週施用一次 Johnson’s solution 微量元素。驗時間自 2017 年 11 月 10 日至 2017 年 12 月 20 日。氣象資料以氣候蒐集記錄儀 HOBO data logger(HOBO UA-002-64, Onset, Cape Cod, Massachusetts)紀錄。

### (二) 試驗處理

植株放置於生長箱中，設定日夜溫 30/25°C，光強度為 180  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。於第 0、20 天進行生長阻礙劑澆灌處理，試驗共分為三處理，分別為去離子水、23.5  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PP-333、1500  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  CCC。於第 30 天將植株自生長箱取出並移置到另一個生長箱中進行高溫逆境之處理，溫度設定 42°C，處理 50 分鐘後取出植物調查。生長阻礙劑施用方式參考傅等(2010)、Ecke (2004)。

### (三) 調查項目

#### 1. 相對傷害值(relative injury, RI)

測定方式參考 Onwueme(1979)和吳(2015)，選取自莖頂向下之第 1 片完全展開葉，以直徑 0.9 cm 之打孔器剪取葉圓片，經一次蒸餾水漂洗後，每 5 片葉圓片放入裝有 15 mL 一次蒸餾水之試管，每試管 1 重複，共 5 重複。利用恆溫水浴槽

(water bath G-20, Kingtech Scientific Co., Ltd. Taiwan.)以 55°C處理 15 分鐘，隨後置於  $6 \pm 1^\circ\text{C}$  之黑暗環境下 24 小時後取出，以電導度計(SC-170, Suntext, Taiwan)測定，此值定義為 R1；再將葉片組織於殺菌釜內高溫高壓(121°C, 20 分鐘)完全破壞，待冷卻後，測得最後之 EC 值為 R2，再代入公式中求出相對傷害值(Relative injury; RI)。計算公式為： $\text{RI} (\%) = (\text{R1} / \text{R2}) \times 100\%$

## 2. 葉綠素螢光值(chlorophyll fluorescence)

於高溫處理後第 0、1、2、4、6 天利用葉綠素螢光測定儀(Mini-Pam, Walz Co., Germany)量測葉綠素螢光值，調查參數為 Y(II)和 Fv/Fm。於光照下可測得 Y(II)，代表最大光化學量子效率；葉片經 30 分鐘暗適應可測得 Fv/Fm，代表最大 PSII 的光能轉換效率(Baker and Rosenqvist, 2004)。

## 3. 葉片溫度

植株置於  $32/28^\circ\text{C}$ ，日長 14 小時，光強度： $180 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之生長箱中，並以保麗龍板調整植株高度，使所有植株高度一致。40 分鐘後以紅外線熱像儀(TVS-200EX, Nippon Avionics, Tokyo, Japan)拍攝第一片成熟葉片之熱影像並進行分析，測量單位為 $^\circ\text{C}$ 。

4. 株高：於生長阻礙劑處理 8 週後調查株高，單位為公分(cm)。

## (四) 統計分析

試驗採完全逢機設計(complete randomized design, CRD)。數據以 Costat 6.4(CoHort software, Monterey, CA, USA)統計軟體整理，以最小顯著差異(least significant difference, LSD)分析處理間差異( $P \leq 0.05$ )，繪圖採用 Sigma Plot 10.0 軟體 (Systat software INC., Richmond, CA, USA)。



試驗二、負日夜溫差(difference in day and night temperature, DIF)對聖誕紅耐熱性之影響。

#### (一) 植物材料

同試驗一。

#### (二) 試驗處理

試驗共分為兩處理，每處理三品種，每品種五重複。兩處理分別為：a.) 對照組：將植株放置於生長箱中，設定日夜溫 30/25°C，光強度為  $180 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。b.) 處理組：將植株放置於生長箱中，設定日夜溫 25/30°C。於第 30 天將植株取出並移置到另一個生長箱中進行高溫逆境之處理，溫度設定 42°C，處理 50 分鐘後進行各項調查。

#### (三) 調查項目

同試驗一。

#### (四) 統計分析

同試驗一。

試驗三、生長阻礙劑施用時期對聖誕紅耐熱性之影響

#### (一) 植物材料

於 2017 年 11 月自桃園市復興區莊姓業者購買聖誕紅‘聖誕節’(‘Noel’)、‘冰火’(‘Ice Punch’)扦插 3 週之 9 cm 盆幼苗，栽培於臺灣大學芳蘭路園藝分場環控溫室中(日均溫 25.0°C，日間平均最大光度  $500\text{-}1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )，4 週後進行摘心，隨後將植株移至花卉館 32/28°C 生長箱進行生長阻礙劑處理。栽培期間每週施用 1

次 20N-8.8P-16.6K (Peters 20-20-20, Scotts, Marysville, Ohio)1000 mg·L<sup>-1</sup>，每 2 週施用一次 Johnson's solution 微量元素。驗時間自 2017 年 11 月 10 日至 2018 年 1 月 5 日。氣象資料以氣候蒐集記錄儀 HOBO data logger(HOBO UA-002-64, Onset, Cape Cod, Massachusetts)紀錄。

## (二)試驗處理

試驗共分為 4 處理，每處理 5 重複。將植株放置於生長箱中，設定日夜溫 32/28°C，光度維持 180 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。生長阻礙劑施用濃度參考傅等(2010)、Ecke(2004)，對照組施用去離子水，處理組分別於摘心後 7 天(側芽長 2cm)、摘心後 10 天(側芽長 3cm)以及摘心後 14 天(側芽長 5cm)澆灌 23.5 mg·L<sup>-1</sup> PP-333，之後將植株移置另一個生長箱中進行高溫逆境之處理，溫度設定 42°C，處理 50 分鐘後進行調查。

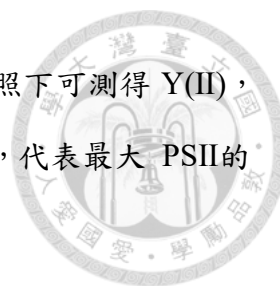
## (三)調查項目

### 1. 相對傷害值(relative injury, RI)

測定方式參考 Onwueme(1979)和吳(2015)，選取自莖頂向下之第 1 片完全展開葉，以直徑 0.9 cm 之打孔器剪取葉圓片，經一次蒸餾水漂洗後，每 5 片葉圓片放入裝有 15 mL 一次蒸餾水之試管，每試管 1 重複，共 5 重複。利用恆溫水浴槽(water bath G-20, Kingtech Scientific Co., Ltd. Taiwan.)以 55°C 處理 15 分鐘，隨後置於 6 ± 1°C 之黑暗環境下 24 小時後取出，以電導度計(SC-170, Suntex, Taiwan)測定，此值定義為 R1；再將葉片組織於殺菌釜內高溫高壓(121°C, 20 分鐘)完全破壞，待冷卻後，測得最後之 EC 值為 R2，再代入公式中求出相對傷害值(Relative injury; RI)。計算公式為：RI (%) = (R1 / R2) × 100%

### 2. 葉綠素螢光值(chlorophyll fluorescence)

於高溫處理後第 0、1、2、4、6 天利用葉綠素螢光測定儀(Mini-Pam, Walz Co.,



Germany)量測葉綠素螢光值，調查參數為  $Y(II)$ 和  $F_v/F_m$ 。於光照下可測得  $Y(II)$ ，代表最大光化學量子效率；葉片經 30 分鐘暗適應可測得  $F_v/F_m$ ，代表最大 PSII 的光能轉換效率(Baker and Rosenqvist, 2004)。

### 3. 葉片溫度

植株置於 32/28°C，日長 14 小時，光強度為  $180 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之生長箱中，並以保麗龍板調整植株高度，使所有植株高度一致。40 分鐘後以紅外線熱像儀 (TVS-200EX, Nippon Avionics, Tokyo, Japan)拍攝第一片成熟葉片之熱影像並進行分析，測量單位為°C。

4. 株高：於生長阻礙劑處理 8 週後調查株高，單位為公分(cm)。

5. 葉綠素計讀值(chlorophyll meter reading value, CMR, SPAD-value)

隨機選取一主要分枝，利用葉綠素計(SPAD-502, Minolta Camera Co., Japan)測量葉片於 605 nm 和 940 nm 波長吸收率之差異，估算葉綠素含量。取莖頂向下數第 1 片完全展開葉，每片葉測定 2 點取平均，測量點集中於葉片中間並避開葉脈。

6. 常態化差異植生指數(normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

隨機選取一主要分枝，以可攜式簡易光譜測定儀(NDVI 300, Photon Systems Instruments, Drasov, Czech)測量葉片在紅外光(660 nm)與近紅外光(740 nm)兩波長下肢反射值，並計算 NDVI。取莖頂向下數第 1 片完全展開葉，每片葉測定 2 點取平均，測點集中於葉片中間及避開葉脈。

計算公式為： $NDVI=(R_{740} - R_{660})/(R_{740} + R_{660})$

### (四) 統計分析

同試驗一。



### 三、結果(Results)

#### 試驗一：生長阻礙劑對聖誕紅耐熱性之影響

兩種生長阻礙劑皆可降低聖誕紅之株高，‘Winter Rose’、‘Noel’、‘Ice Punch’對照組株高分別為 34.5、30.5、29 cm，澆灌 23.5mg·L<sup>-1</sup> PP-333 之株高分別為 15.5、16.5、18.5 cm，澆灌 1500 mg·L<sup>-1</sup> CCC 之株高分別為 22.6、27.5、27.25 cm(圖 5.1)；植株外觀如圖 5.3 所示。兩種生長阻礙劑對葉片溫度沒有顯著影響，PP-333 可降低‘Ice Punch’之 RI 值(16.63%)，對其他品種則較不顯著(表 5.1)。PP-333 可增加三個品種聖誕紅之 Y(II)值、Fv/Fm 值；CCC 亦可增加‘Noel’、‘Ice Punch’之 Y(II)值、Fv/Fm 值(圖 5.2)。

#### 試驗二：負日夜溫差對聖誕紅耐熱性之影響

負日夜溫差(difference in day and night temperature, DIF)(25/30°C)處理 30 天可降低‘Winter Rose’之株高(22.6 cm)，對‘Noel’、‘Ice Punch’則無顯著影響(圖 5.1)；植株外觀如圖 5.3 所示。對三個品種聖誕紅之葉片溫度、葉片相對傷害值、葉綠素螢光值(圖 5.2)均沒有顯著影響，甚至增加‘冰火’之葉片相對傷害值(32.76%)(表 5.1)。

#### 試驗三：生長阻礙劑施用時期對聖誕紅耐熱性之影響

不同生長時期對‘Noel’施用生長阻礙劑，對照組之株高為 14.72 cm，各處理中以摘心後第 7 天(側芽 2 cm)施用 PP-333 23.5 mg·L<sup>-1</sup> 之株高最低(9.16 cm)，葉長(3.275 cm)、葉寬(3.33 cm)最小，CMR(38.02)亦較其他兩個處理低；於摘心後第 10、14 天(側芽 3、5 cm)施用 PP-333 除了能降低株高(10.00、11.18 cm)，並兼具提升 CMR 之效果(46.34、50.36)，對 NDVI 則沒有影響(表 5.2、圖 5.6)。耐熱指標方面，摘心後各時期施用 PP-333 皆可減緩高溫處理後 Fv/Fm、Y(II)下降的幅度，並使

Fv/Fm 恢復至 0.75 以上，處理間則沒有顯著差異(圖 5.5)；摘心後各時期施用 PP-333 皆可降低 RI 值，處理間差異不顯著(圖 5.4)。

‘Ice Punch’對照組之株高為 12.9 cm，摘心後 7 天(側芽長 2 cm)施用 23.5 mg·L<sup>-1</sup> PP-333 之株高最低(9.44 cm)，葉長(2.53)和葉寬(1.95)最小，而 NDVI(0.80)亦較其他兩個處理低；摘心後 14 天(側芽長 5 cm)施用 PP-333 除了能降低株高(11.64 cm)，並兼具提升 CMR (50.4)、NDVI(0.91)的效果；此外，‘Ice Punch’之葉長和葉寬均小於‘Noel’，兩者有品種間的差異(表 5.2、圖 5.6)。耐熱指標方面，摘心後各時期施用 PP-333 皆對 RI 值和葉綠素螢光值沒有顯著影響(圖 5.4)。



#### 四、討論(Discussion)

##### 試驗一：生長阻礙劑對聖誕紅耐熱性之影響

GA 的生合成和 ABA 的代謝需要植物細胞色素 P-450 單氧酶(cytochrome P-450 dependent monooxygenases)行加氧反應，而 triazole 類的生長阻礙劑具有一個含有孤對電子的氮，使得 triazole 得以取代氧，和植物細胞色素 P-450 單氧酶結合，進而同時抑制了 GA 的生合成和 ABA 的代謝(Grossmann, 1990; Flecher et al., 2010)。單氧酶的調控機制是植物對逆境的一種反應，當植物處於不適合生長的環境時會主動「關閉」單氧酶，使 GA 合成減少，避免過度徒長，並同時累積 ABA 含量，加強抵抗逆境之能力(Rademacher, 1997)。

本試驗中 PP-333、CCC 兩種生長阻礙劑皆可降低聖誕紅之株高，經澆灌  $23.5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PP-333 處理之株高最低，三個品種皆小於 20 cm，其中‘Winter Rose’(15.5 cm)最低，‘Noel’(16.5 cm) 次之，‘Ice Punch’(18.5 cm)最高，推測‘Winter Rose’和‘Noel’對 PP-333 反應較敏感(圖 5.1、圖 5.3)。耐熱指標方面，兩種生長阻礙劑對葉片溫度沒有顯著影響。PP-333 可顯著提升三個品種之葉綠素螢光值，並降低不耐熱品種‘Ice punch’之 RI 值(表 5.1、圖 5.2)。CCC 亦可提升‘Noel’和‘Ice punch’之葉綠素螢光值，但效果較不顯著(圖 5.2)。前人研究指出施用生長阻礙劑可提升植物逆境耐受性，施用 PP-333 可降低番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)RI 值(Still et al., 2004)；施用 PP-333 可增加小麥(*Triticum aestivum* L.)於高溫下之葉綠素螢光參數、葉綠素含量以及存活率(Gilley and Fletcher, 1997)。施用 PP-333 可降低高羊茅草坪草(*Festuca elata* L.)高溫逆境下之 RI 值，並且提升葉片相對含水量和葉綠素含量(申屠等，2008)。施用 CCC 可提升咖啡於乾旱逆境下之淨光合作用速率和水分利用效率(Daniel et al., 2010)。本試驗結果與前人研究相似。





### 試驗二：負日夜溫差對聖誕紅耐熱性之影響

根據試驗一之結果，生長阻礙劑能提升聖誕紅之耐熱性，而試驗二主要目的為探討其他矮化植物的方式是否具有同樣的效果。結果顯示負日夜溫差(difference in day and night temperature, DIF)(25/30°C)處理 30 天可降低‘Winter Rose’之株高，但對葉片溫度、RI 值、葉綠素螢光值等耐熱指標均沒有顯著影響(表 5.1、圖 5.2、圖 5.3)，因此推測影響聖誕紅耐熱性之因子可能為生長阻礙劑之化學特性，其他矮化植物的方式對耐熱性不一定有顯著影響。

負日夜溫差對‘Noel’和‘Ice Punch’之株高和各項耐熱指標均無顯著影響，甚至增加‘Ice Punch’之葉片相對傷害值(表 5.1、圖 5.1、圖 5.3)。傅(2010)指出高溫(25-30°C)加上低光(20000 lux)的情況最不利聖誕紅生長，本試驗夜晚溫度設定 30°C，再加上全黑暗的環境，可能因此抑制了聖誕紅之生長，-DIF 的效果反而無法完全發揮。試驗二的夜溫設定 30°C 的目的主要是為了和試驗一進行比較，然而高夜溫對於耐熱性較差的兩個品種‘Noel’和‘Ice Punch’反而造成反效果，若調整試驗設計將夜溫降低，可能會有不同的結果，-DIF 對聖誕紅耐熱性之影響有待進一步確認。

### 試驗三：生長阻礙劑施用時期對聖誕紅耐熱性之影響

摘心後 7 天(側芽長 2 cm)施用 23.5 mg·L<sup>-1</sup> PP-333 之株高最低，但其苞片亦最小，嚴重影響外觀品質。摘心後 14 天(側芽長 5 cm)施用 PP-333 除了能降低株高，並兼具提升 CMR、NDVI 之效果，且有較大的葉長葉寬，對於整體植株生長品質較佳。各時期施用生長阻礙劑均能提升葉綠素螢光值並降低葉片相對傷害值，因此，綜合考量外觀品質和提升耐熱性的效果而言，過早施用生長阻礙劑不但會抑制苞片生長，亦無法更提升耐熱性，故沒有提早施用之必要。待摘心後側芽長 5cm 後施用矮化劑，可兼具降低株高、提升外觀品質，同時提升耐熱性之優點。

李(2004)指出 PP-333、益收(Ethephon)等生長阻礙劑均具有一定程度調節地毯

草(*Axonopus affinis*)之耐旱性，然而不適當的施用濃度、植體部位、草種皆可能會不利生長進而降低品質。因此使用生長阻礙劑必須綜合考量品種、藥劑種類與濃度、施用時機等因素，才能在保持外觀品質的前提下，達到矮化植株甚至提升抗逆境能力的目的。

表 5.1. 生長阻礙劑和負日夜溫差(-DIF)對聖誕紅相對傷害值、葉片溫度之影響  
 Table 5.1. Effect of different kind of plant growth retardants and difference in day and night temperature(-DIF) on relative injury and leaf temperature of poinsettia.

Cultivars	Treatment	Leaf temperature (°C)	Relative injury (%)
Winter Rose	Control	27.57 a <sup>z</sup>	13.57 a
	PP-333 <sup>y</sup>	27.57 a	13.37 a
	CCC	28.65 a	17.02 a
	-DIF	28.10 a	13.45 a
Noel	Control	27.52 a	29.09 a
	PP-333	27.26 a	26.49 a
	CCC	27.82 a	39.45 a
	-DIF	27.85 a	26.23 a
Ice Punch	Control	28.81 a	23.55 b
	PP-333	29.07 a	16.63 c
	CCC	28.68 a	19.21 bc
	-DIF	28.22 a	32.76 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by LSD at  $P \leq 0.05$ .

<sup>y</sup> PP-333 = 23.5 mg·L<sup>-1</sup> paclobutrazol; CCC = 1500 mg·L<sup>-1</sup> chlormequat; -DIF = day/night temperature 25/30°C.



表 5.2. 不同時期施用巴克素(Paclobutrazol, PP-333) 23.5 mg·L<sup>-1</sup> 對聖誕紅‘聖誕節’和‘冰火’之株高、葉長、葉寬、葉綠素計讀值(CMR)及常態化差異植生指數(NDVI)之影響

Table 5.2. Effect of different applying time of 23.5 mg·L<sup>-1</sup> paclobutrazol(PP-333) on plant height, leaf length, leaf width, chlorophyll meter reader(CMR), normalized difference vegetation Index(NDVI) of poinsettia ‘Noel’ and ‘Ice punch’.

Cultivars	Treatment <sup>z</sup>	Plant height (cm)	Leaf length(cm)	Leaf width(cm)	NDVI	CMR
Noel	Control	14.72 aA <sup>y</sup>	6.84 aA	6.00 aA	0.89 aA	37.02 bA
	I	9.16 cA	3.26 cA	3.33 cA	0.89 aA	38.02 bA
	II	10.00 bcA	4.70 bcA	4.27 bA	0.87 aA	46.34 aA
	III	11.18 bA	5.28 bA	5.12 bA	0.87 aA	50.36 aA
Ice Punch	Control	12.9 aB	6.06 aB	4.00 aB	0.81 cA	34.70 bA
	I	9.44 bA	2.53 cB	1.95 cB	0.80 cB	35.42 bA
	II	11.67 abA	2.93 bB	2.83 bcB	0.87 bA	22.54 cB
	III	11.24 abA	3.43 bB	3.20 bB	0.91 aA	50.40 aA

<sup>z</sup>I, II and III means plants drenched in 23.5mg·L<sup>-1</sup> PP-333 when lateral bud was 2, 3 and 5 cm respectively. Control: no PP-333 treatment.

<sup>y</sup>Mean separation within columns of each cultivars(lowercase) and cultivars(uppercase) by LSD at  $P \leq 0.05$ .

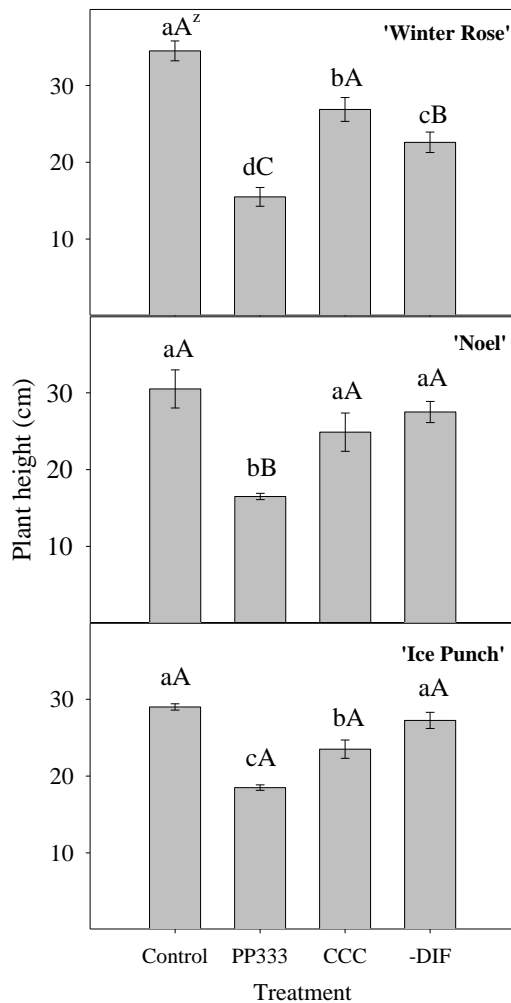


圖 5.1. 生長阻礙劑和負日夜溫差(-DIF)對聖誕紅株高之影響

Fig. 5.1. Effect of different kind of plant growth retardants and -DIF on plant height of poinsettia.

<sup>z</sup> Mean separation within treatments(lower case) and cultivars(uppercase) by LSD at  $P \leq 0.05$ .

<sup>y</sup> PP-333 = 23.5 mg·L<sup>-1</sup> paclobutrazol; CCC = 1500 mg·L<sup>-1</sup> chlormequat; -DIF = day/night temperature 25/30°C.

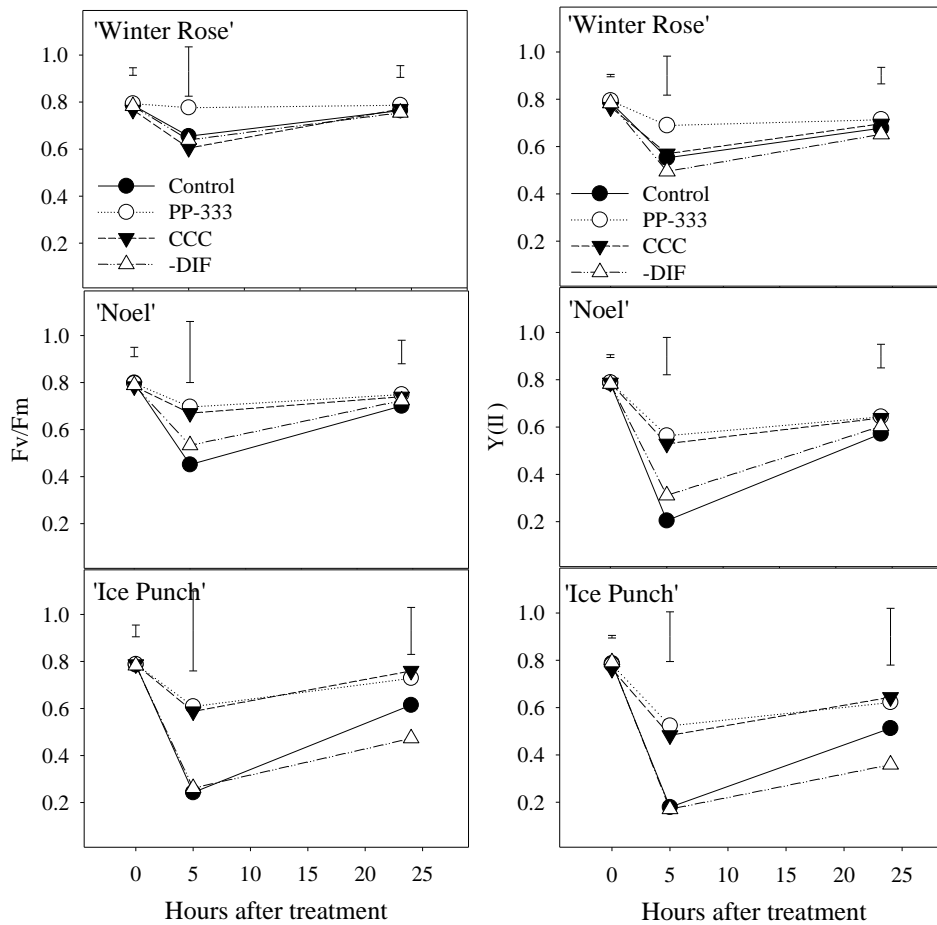


圖 5.2. 不同種類生長阻礙劑和負日夜溫差(-DIF)對聖誕紅葉綠素螢光值(Fv/Fm、Y(II))之影響

Fig. 5.2. Effect of different kind of plant retardants and -DIF on chlorophyll fluorescence value(Fv/Fm, Y(II)) of poinsettia. Vertical bars indicate LSD values ( $P \leq 0.05$ ) for treatment.

<sup>z</sup> Mean separation within treatments(lower case) and cultivars(uppercase) by LSD at  $P \leq 0.05$ .

<sup>y</sup> PP-333 =  $23.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  paclobutrazol; CCC =  $1500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  chlormequat; -DIF = day/night temperature  $25/30^\circ\text{C}$ .



圖 5.3. 生長阻礙劑和負日夜溫差(-DIF)對聖誕紅外觀之影響

Fig. 5.3. Effect of different kind of plant growth retardants and -DIF on appearance of poinsettia. PP-333 =  $23.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  paclobutrazol; CCC =  $1500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  chlormequat; -DIF = day/night temperature  $25/30^\circ\text{C}$ .

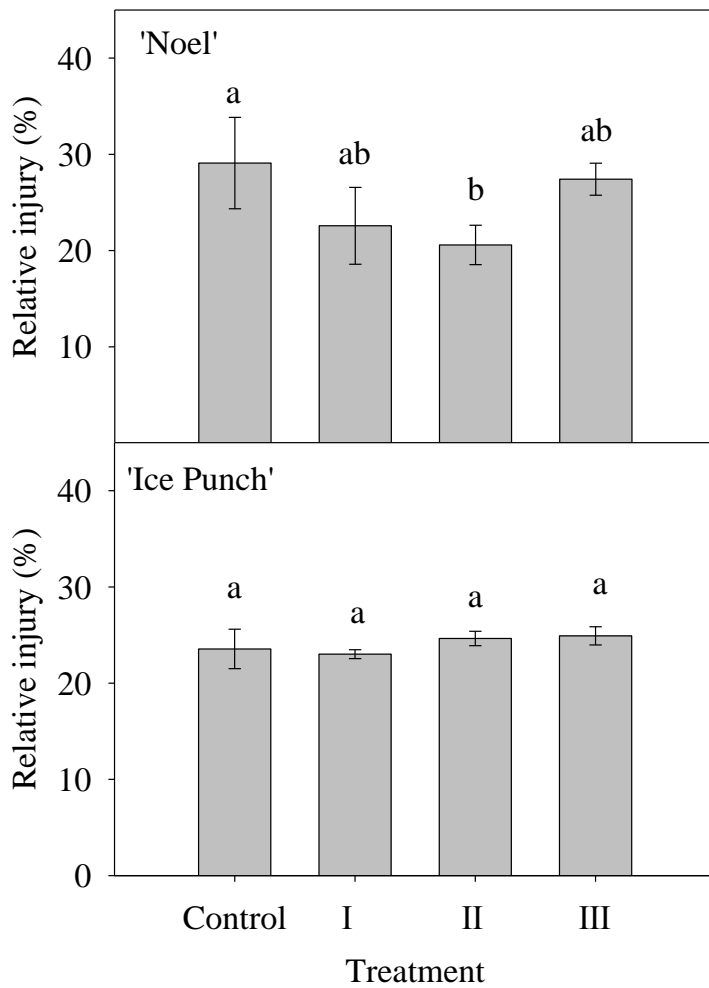


圖 5.4. 不同時期施用巴克素(Paclobutrazol, PP-333) 23.5 mg·L<sup>-1</sup> 對聖誕紅‘聖誕節’、‘冰火’葉片相對傷害值之影響

Fig. 5.4. Effect of different applying time of 23.5 mg·L<sup>-1</sup> paclobutrazol (PP-333) on leaf relative injury of poinsettia ‘Noel’ and ‘Ice punch’. I, II and III means plants drenched in PP-333 when lateral bud was 2, 3 and 5 cm respectively. Control: no PP-333 treatment. Mean separation within treatments by LSD at  $P \leq 0.05$ .



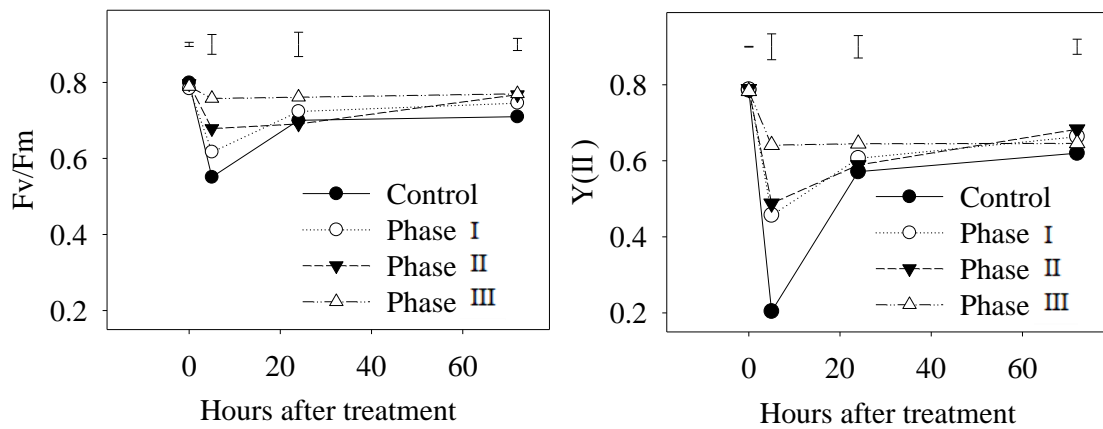


圖 5.5. 不同時期施用巴克素(Paclobutrazol, PP-333)  $23.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  對聖誕紅‘聖誕節’葉綠素螢光值(Fv/Fm、Y(II))之影響

Fig. 5.5. Effect of different applying time of  $23.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  paclobutrazol(PP-333) on chlorophyll fluorescence value(Fv/Fm, Y(II)) of poinsettia. Phase I, II and III means plants drenched in PP-333 when lateral bud was 2, 3 and 5 cm respectively. Control: no PP-333 treatment. Vertical bars indicate LSD values ( $P \leq 0.05$ ) for treatment.

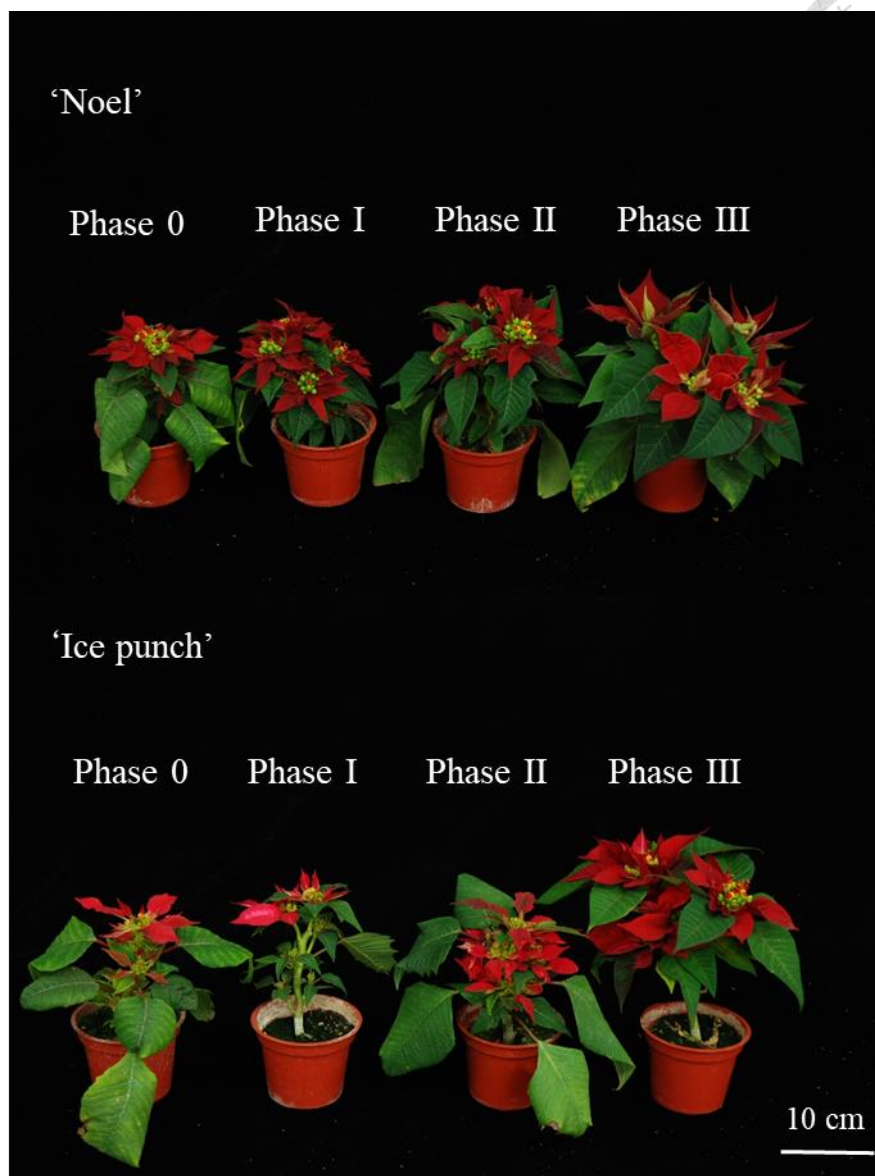


圖 5.6. 不同時期施用巴克素(Paclobutrazol, PP-333)  $23.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  對聖誕紅‘聖誕節’和‘冰火’外觀之影響

Fig. 5.6. Effect of different applying time of  $23.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  paclobutrazol (PP-333) on appearance of poinsettia. Phase I, II and III means plants drenched in PP-333 when lateral bud was 2, 3 and 5 cm respectively; Phase 0 means drenched in PP-333 before lateral bud sprout.

## 第六章 結論

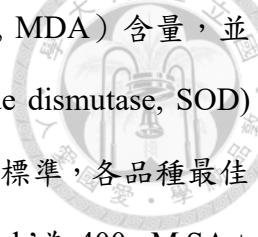
### Chapter 6. Conclusion



聖誕紅(*Euphorbia pulcherrima* Willd.)目前在臺灣生產上最大的問題為夏季扦插繁殖因高溫逆境所引起之生理障礙，因此，本研究透過各項耐熱生理指標評估並瞭解聖誕紅耐熱品種的生理反應，並透過施用水楊酸(salicylic acid, SA)和氯化鈣(calcium chloride, CaCl<sub>2</sub>)藥劑及生長阻礙劑等方式改善耐熱性。

綜合葉綠素螢光、葉片溫度及細胞膜熱穩定性三項生理指標，‘美貝拉’(‘Marbella’)、‘彼得之星’(‘Jacobson Peterstar’)、‘聖誕玫瑰’(‘Winter Rose’)、‘四季桃喜’(‘Luv U Pink’)、聖誕節’(‘Noel’)及‘紅寶石’(‘Primero Glitter’)為較耐熱品種；‘倍利’(‘Pepride’)、‘桃莉’(‘Dulce Rosa’)、‘光輝’(‘Red Splendor’)、‘黃金粉’(‘Monet Early Red’)、‘聖誕卡羅’(‘Christmas Carol’)及‘紅絲絨’(‘Red Velveteen’)為中度耐熱品種；‘冰火’(‘Ice Punch’)、‘威望’(‘Prestige Early’)、‘旺德福’(‘Wonderful’)、‘檸檬雪’(‘Lemon Snow’)、‘聖誕情閃耀’(‘Red Glitter’)為較不耐熱的品種。本試驗耐熱性評估結果與桃園區農業改良場專家實際栽培經驗、吳(2015)之結果相似，表示以隸屬度綜合葉片溫度、RI 值及葉綠素螢光值評估聖誕紅耐熱性應具有相當的參考價值。

SA 和 CaCl<sub>2</sub> 可恢復‘Winter Rose’ 和‘Ice Punch’之 Fv/Fm 值至 0.7 以上，並降低三個品種聖誕紅之 RI 值，‘Winter Rose’以 400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 處理之 RI 值最低；‘Noel’以 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>、400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 及 10 mM CaCl<sub>2</sub> 三種處理之 RI 值最低；‘Ice Punch’則是處理間無顯著差異。在植株生長表現方面，經藥劑處理可提高‘Winter Rose’ 和‘Ice Punch’之側芽萌發率和新葉數，‘對‘Noel’則無顯著影響。藥劑處理可提升三個品種聖誕紅之外觀等級，‘Winter Rose’以 10 mM CaCl<sub>2</sub>、400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 最佳；‘Noel’各藥劑處理間無顯著差異；‘Ice Punch’則以 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 最佳。施用 200 μM SA + 10 mM



CaCl<sub>2</sub> 可顯著降低‘Noel’ 高溫逆境後之丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 含量，並提升過氧化氫酶(catalase, CAT)之活性，對超氧歧化酶(superoxide dismutase, SOD) 則沒有顯著影響。總結來說，以外觀品質和葉片相對傷害值作為標準，各品種最佳之藥劑配方為：‘Winter Rose’為 400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>；‘Noel’為 400 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub> 和 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>；‘Ice Punch’為 200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>。澆灌或噴施複合藥劑(200 μM SA + 10 mM CaCl<sub>2</sub>)均可降低‘Winter Rose’之 RI 值並提升 Fv/Fm 值、Y(II)值，兩種處理方式間無顯著差異，使用者可依據使用習慣選擇適合之方式。總結來說，施用水楊酸和氯化鈣藥劑可提升聖誕紅各項耐熱生理指標，唯複合施用更能提升外觀等級，最適濃度依品種而異。

施用 PP-333 23.5 mg·L<sup>-1</sup> 可增加三個品種聖誕紅之 Y(II)值、Fv/Fm 值，CCC 1500 mg·L<sup>-1</sup> 亦可增加‘Noel’、‘Ice Punch’之 Y(II)值、Fv/Fm 值，並降低‘Ice Punch’之 RI 值。分別於摘心後 7 天(側芽長 2cm)、摘心後 10 天(側芽長 3 cm)以及摘心後 14 天(側芽長 5cm)澆灌 23.5 mg·L<sup>-1</sup> PP-333。摘心後 7 天(側芽長 2 cm)施用 PP-333 之株高最低，葉長、葉寬最小，葉綠素計讀值亦較其他兩個處理低；於摘心後第 14 天(側芽長 5 cm)施用 PP-333 除了能降低株高，並兼具提升葉綠素計讀值以及葉長葉寬之效果。耐熱指標方面，摘心後各時期施用 PP-333 皆可減緩高溫處理後 Fv/Fm 和 Y(II)下降的幅度，並使 Fv/Fm 恢復至 0.75 以上，處理間則沒有顯著差異；摘心後各時期施用 PP-333 皆可降低 RI 值，處理間差異不顯著。總結來說，施用 PP-333 可提升聖誕紅耐熱性，於摘心後待側芽長 5 cm 後施用 PP-333，可兼具降低株高、提升外觀品質，同時提升耐熱性之優點。總結來說，施用 PP-333 可顯著提升聖誕紅耐熱性，施用時期以摘心後側芽長 5 cm 可兼具降低株高和提升耐熱性之效果。

## 參考文獻(References)



- 丁韶伶、林鴻志. 2015. 卓蘭地區聖誕紅產業發展概況. 苗栗區農業專訓 70 : 23-24.
- 王利軍、李家承、劉允芬、劉琪瑾、黃衛東、石玉林. 2003. 高溫乾旱脅迫下水楊酸和鈣對柑橘光合作用和葉綠素螢光的影響. 中國農學通報 19 : 185-189.
- 王進學、葉德銘. 2013. 菊花之細胞膜熱穩定性檢測及其應用於篩選耐熱實生苗. 臺灣園藝 59 : 153-166.
- 申屠文月、陳秉初、張純大、袁靈芝. 2006. 多效唑對高羊茅草坪草耐熱性的影響. 園藝學報 33 : 172-174.
- 吳承叡. 2015. 環保聖誕紅盆花生產體系之建立. 國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文. 臺北市.
- 呂鳳山、侯建華 1994. 陸稻抗旱性主要指標的研究. 華北農學報 9:7-12.
- 李安然. 2005. 草坪草類抗旱性指標篩選與抗旱增進之研究. 臺灣大學園藝學研究所學位論文. 臺北市
- 林嘉洋. 2006. 耐熱矮牽牛之耐熱性與耐熱指標. 國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝學系碩士論文. 臺北市
- 林澤延. 2016. 水楊酸及氯化鈣提升薰衣草及鼠尾草耐熱性之探討. 國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文. 臺北市.
- 陳葦玲. 2013. 作物耐熱性篩選指標之建立. 臺中區農業改良場特刊: 217-220.
- 陳葦玲、郭孚耀、陳榮五. 2009. 利用細胞膜熱穩定性技術篩選高耐熱性葉用蘿蔔. 臺中區農業改良場研究彙報 102:15-29
- 陳銘正、黃秀真. 2009. 利用矮化劑處理高品質的銀柳盆栽. 國立宜蘭大學農業推廣季刊 49 : 1-6.
- 傅仰人、楊雅淨、陳錦木、羅士凱. 2010. 聖誕紅栽培技術. 聖誕紅專輯. 桃園區農業改良場編印 : 13-17.
- 黃怡嘉. 2008. 溫度, 光強度及水楊酸對火鶴花光合作用與生育品質之影響. 臺灣

大學園藝學研究所學位論文：1-101.

楊雅淨. 2015. 104 年聖誕紅產銷檢討座談會紀實. 桃園區農業專訓 92：20-21.

齊曉花、張萍、徐強、陳學好. 2011. 黃瓜種子及幼苗期耐冷性鑑定. 中國蔬菜：34-38.

Anderson, J.A. and S.R. Padhye. 2004. Protein aggregation, radical scavenging capacity, and stability of hydrogen peroxide defense systems in heat-stressed vinca and sweet pea leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129:54-59.

Arora, R., D.S. Pitchay, and B.C. Bearce. 1998. Water-stress-induced heat tolerance in geranium leaf tissues: A possible linkage through stress proteins? *Physiol. Plant.* 103:23-34.

Baker, N.R. and E. Rosenqvist. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *J. Exp. Bot.* 55:1607-1621.

Berry, J. and O. Bjorkman. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 31:491-543.

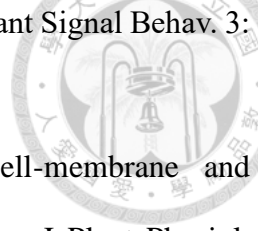
Bjorkman, O. and B. Demmig. 1987. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170:489-504.

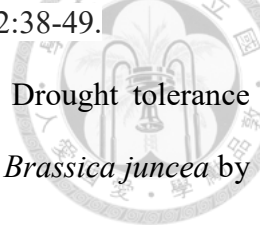
Blum, A. 1988. *Plant breeding for stress environments*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Booker, H.M., T.J. Gillespie, G. Hofstra, and R.A. Fletcher. 1991. Uniconazole-induced thermotolerance in wheat seedlings is mediated by transpirational cooling. *Physiol. Plant.* 81:335-342.

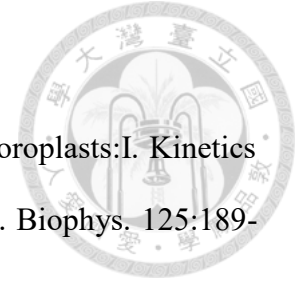
Camejo, D., P. Rodríguez, M.A. Morales, J.M. Dell'Amico, A. Torrecillas, and J.J. Alarcón. 2005. High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. *J. Plant Physiol.* 162:281-289.



- 
- Carvalho, M.D. 2008. Drought stress and reactive oxygen species. *Plant Signal Behav.* 3: 156-165.
- Chauhan, Y.S. and T.Senboku. 1996. Thermostabilities of cell-membrane and photosynthesis in cabbage cultivars differing in heat tolerance. *J Plant Physiol.* 149:729-734.
- Chen, W.L., W.J. Yang, H.F. Lo, and D.M. Yeh. 2014. Physiology, anatomy, and cell membrane thermostability selection of leafy radish (*Raphanus sativus* var. *oleiformis* Pers.) with different tolerance under heat stress. *Sci. Hort.* 179:367-375.
- Chen, X., D. Min, T.A. Yasir, and Y.G. Hu. 2012. Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). *Field Crops Res.* 137:195-201.
- Daniel, G., G.F. D'Souza, C.G. Anand, B. Lamani, M.G. Awati, V.M. Saraswathy, and N. Sadananda. 2010. Effect of foliar application of *Lantana camara* leaf extract and chlormequat chloride (CCC) for drought tolerance in robusta coffee. *J. Coffee Res.* 38:48-58.
- Dinakar C., D. Djilianov, and D. Bartels. 2012. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: energy metabolism and antioxidative stress defense. *Plant Sci.* 182:29-41.
- Ecke, P.III, J.E. Faust, A. Higgins, and J. William. 2004. *The Ecke poinsettia manual*. Ball Publishing, Batavia.
- Fletcher, R.A., A. Gilley, N. Sankhla, and T.D. Davis. 2010. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. *Hort. Rev.* 24:55-138.
- Florido, B., R. Plana, G. Álvarez, L. Moya, R. Lara, N. Varela, and S. Shagarodsky. 2011. Relationship between the thermostability of membrane, cell viability and tolerance criteria for the assessment of tolerance to heat in tomato (*Solanum* L. section

- 
- Lycopersicon Lycopersicon* subsection). *Cultivos Tropicales*. 32:38-49.
- Fu, M.L., G.Z. Li, Q.H. Yang, X.Y. Yuan, and J.Q. Wang. 2011. Drought tolerance identification of interspecific hybrids from *Brassica napus* and *Brassica juncea* by subordinate function values. *Chin. J. Oil Crop Sci.* 33:368-373.
- Gilley, A. and R.A. Fletcher. 1997. Relative efficacy of paclobutrazol, propiconazole and tetraconazole as stress protectants in wheat seedlings. *Plant Growth Regul.* 21:169-175.
- Gilroy, S., N. Suzuki, G. Miller, W.G. Choi, M. Toyota, A.R. Devireddy, and R. Mittler. 2014. A tidal wave of signals: calcium and ROS at the forefront of rapid systemic signaling. *Trends Plant Sci.* 19:623-630.
- Greyvenstein, O., T. Starman, B. Pemberton, G. Niu, and D. Byrne. 2015. Development of a rapid screening method for selection against high temperature susceptibility in garden roses. *HortScience*. 50:1757-1764.
- Grossmann, K. 1990. Plant growth retardants as tools in physiological research. *Physiol. Plantarum*. 78:640-648.
- Hackl, H., J.P. Baresel, B. Mistele, Y. Hu, and U. Schmidhalter. 2012. A comparison of plant temperatures as measured by thermal imaging and infrared thermometry. *J. Agron. Crop Sci.* 198:415-29.
- Hao, H., C. Jiang, L. Shi, Y. Tang, J. Yao, and Z. Li. 2009. Effects of root temperature on thermostability of photosynthetic apparatus in *Prunus mira* seedlings. *J. Plant Ecol-Chinese* 33:984-992.
- Hayat, S., B. Alt, and A. Ahmad. 2007. Salicylic acid: biosynthesis, metabolism and physiological role in plants. *Salicylic acid: a plant hormone*. Springer Verlag. 1-14.
- He, X.Y., R.L. Wen, C.R. Wu, J.G. Zhou. 2008. Analysis of maize drought resistance at seeding stage by fuzzy subordination method. *Southwest China J. Agric. Sci.* 21:52-





56.

Heath, R.L. and L. Packer. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch. Biochem. Biophys. 125:189-198.

Hwang, S.Y. and T.T. Van Toai. 1991. Abscisic acid induces anaerobiosis tolerance in corn. Plant Physiol. 97:593-597.

Jacques, D.J., R.E.J. Boerner, J.C. Peterson, 1991. The effect of calcium spray on leaf and bract distortion, bound: unbound calcium ratio, and calcium distribution in two poinsettia cultivars. J. Plant. Nutri. 14:1391-1410.

Janka, E., O. Körner, E. Rosenqvist, and C.O. Ottosen. 2013. High temperature stress monitoring and detection using chlorophyll a fluorescence and infrared thermography in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*). Plant physiol. Biochem. 67:87-94.

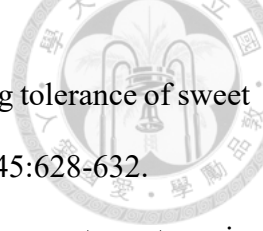
Jiang, Y.W. and B. Huang. 2001. Effects of calcium on antioxidant activities and water relations associated with heat tolerance in two cool-season grass. J. Exp. Bot. 52: 341-349.

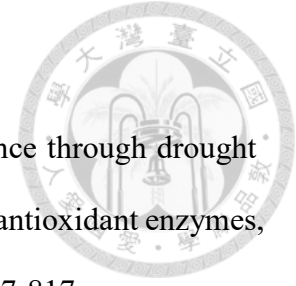
Klessig, D.F., and J. Malamy. 1994. The salicylic acid signal in plants. Plant Mol. Biol. 26:1439-1458.

Lawton, K.A., G.L. McDaniel, and E.T. Graham. 1989. Nitrogen source and calcium supplement affect stem strength of poinsettia. HortScience 24:463-465.

Leul, M. and W.J. Zhou. 1999. Alleviation of waterlogging damage in winter rape by uniconazole application: effects on enzyme activity, lipid peroxidation, and membrane integrity. J. Plant Growth Regul. 18:9-14.

Li, L., J. van Staden, and A.K. Jäger. 1998. Effects of plant growth regulators on the antioxidant system in seedlings of two maize cultivars subjected to water stress.

- 
- Plant Growth Regul. 25.2:81-87.
- Lin, K.H., W.C. Hwang, and H.F. Lo. 2007. Chilling stress and chilling tolerance of sweet potato as sensed by chlorophyll fluorescence. *Photosynthetica* 45:628-632.
- Lin, L.N., K.L. Huang, and Okuibo, H. 2011. Alleviation of high temperature stress in wax begonia (*Begonia* × *semperflorens-cultorum* Hort.) by salicylic acid. *J. Fac. Agr. Kyushu Univ.* 56:193-198.
- Long, S.P., W.F. Postl, and H.R. Bolhar-Nordenkamp. 1993. Quantum yields for uptake of carbon dioxide in C3 vascular plants of contrasting habitats and taxonomic groupings. *Planta*. 189:226-234.
- Meng, Q.L., Z.B. Guan, B.L. Feng, Y. Chai, and Y.G. Hu. 2009. Principal component analysis and fuzzy clustering on drought-tolerance related traits of foxtail millet (*Setaria italica*). *Sci. Agric. Sin.* 42:2667-2675.
- Mittler, R., S. Vanderauwera, N. Suzuki, G. Miller, V. B. Tognetti, K. Vandepoele, and F. Van Breusegem. 2011. ROS signaling: the new wave?. *Trends Plant Sci.* 16:300-309.
- Nowak, J.S., and Z. Strojny. 1998. Effect of soil water potential on poinsettia plant. *Acta Hort.* 458:273-276.
- Nyarko, G., P.G. Alderson, J. Craigon, E. Murchie, and D.L. Sparkes. 2008. Comparison of cell membrane thermostability and chlorophyll fluorescence parameters for the determination of heat tolerance in ten cabbage lines. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 83:678-682.
- Onwueme, I.C. 1979. Rapid, plant-conserving estimation of heat tolerance in plants. *J. Agric. Sci.* 92:527-535.
- Paoletti, F., D. Aldinucci, A. Mocali, and A. Capparini. 1986. A sensitive spectrophotometric method for the determination of superoxide dismutase activity



in tissue extracts. *Anal. Biochem.* 154:536-541.

Peng, Y., C. Xu, L. Xu, and B. Huang. 2012. Improved heat tolerance through drought preconditioning associated with changes in lipid composition, antioxidant enzymes, and protein expression in Kentucky bluegrass. *Crop Sci.* 52:807-817.

Pinhero, R.G., M.V. Rao, G. Paliyath, D.P. Murr, and R.A. Fletcher. 1997. Changes in activities of antioxidant enzymes and their relationship to genetic and paclobutrazol-induced chilling tolerance of maize seedlings. *Plant Physiol.* 114:695-704.

Rademacher, W. 1997. Biaregulation of crop plants with inhibitors of gibberellin biosynthesis. *Proc. Plant Growth Reg. Soc. Am.* 24:27-31.

Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 43: 439-463.

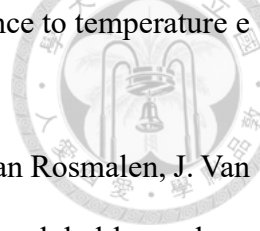
Sairam, R.K. and A. Tyagi. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Curr. Sci.* 86:407-421.

Saleema, M.F., M.F. Bilala, S.A. Anjuma, H.Z. Khana, M. Sarwara, and W. Farhadb. 2014. Planting time and N nutrition on cell membrane thermostability, bolls' retention and fibre traits in cotton. *J. Anim. Plant Sci.* 24:829-837.

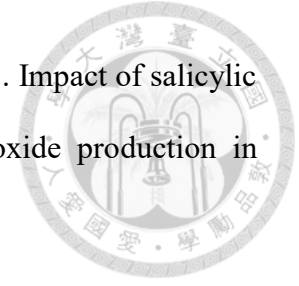
Shi, Q., Z. Bao, Z. Zhu, Q. Ying, and Q. Qian. 2006. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Regulat.* 48:127-135

Sriniasan, A., H. Takeda, and T. Senboku. 1996. Heat tolerance in food legumes as evaluated by cell membrane thermostability and chlorophyll fluorescence techniques. *Euphytica* 88:35-45.

Still, J.R. and W.G. Pill. 2004. Growth and stress tolerance of tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in response to seed treatment with paclobutrazol. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 79:197-203.

- 
- Sung, D.Y., F. Kaplan, K.J. Lee and C.L. Guy. 2003. Acquired tolerance to temperature extremes. *Trends in Plant Sci.* 8:79-187.
- Van Herk, M., M. Van Koppen, S. Smeding, C.J. Van Der Elzen, N. Van Rosmalen, J. Van Dijk, and J. Van Spingelen. 1998. *Cultivation guide anthurium: global know-how for growers around the globe.* Bleiswijk, Holland: Anthura BV (Ed.).
- Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf, and M.R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environ. Expt. Bot.* 61:199-223.
- Whipker, B.E., I. McCall, and B.A. Krug. 2006. Flurprimidol substrate drenches and foliar sprays control growth of blue champion' *Exacum*. *HortTechnology* 16:354-356.
- Wise, R.R., A.J. Olson, S.M. Schrader, and T.D. Sharkey. 2004. Electron transport is the functional limitation of photosynthesis in field-grown Pima cotton plants at high temperature. *Plant Cell Environ.* 27:717-724.
- Wu, M.T. and S.J. Wallner. 1984. Heat stress responses in cultured plant cells heat tolerance induced by heat shock versus elevated growing temperature. *Plant physiol.* 75:778-780.
- Wu, S.K., I. Miyajima, K.L. Huang, Y.C. Kuo, and R.S. Lin. 2017. Assessment of cell membrane thermostability and silicon supplement on *Dendrobium Lucky Girl*. *九州大学大学院農学研究院紀要* 62:337-343.
- Xu, S., J. Li, X. Zhang, H. Wei, and L. Cui. 2005. Effects of heat acclimation pretreatment on changes of membrane lipid peroxidation, antioxidant metabolites, and ultrastructure of chloroplasts in two cool-season turfgrass species under heat stress *Environ. Exp. Bot.* 56:274-285.
- Yeh, D.M. and P.Y. Hsu. 2004. Heat tolerance in English ivy as measured by an electrolyte leakage technique. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 79:298–302.


Zhang, W.P., B. Jiang, L.N. Lou, M.H. Lu, M. Yang, J.F. Chen. 2011. Impact of salicylic acid on the antioxidant enzyme system and hydrogen peroxide production in *Cucumis sativus* L. under chilling stress. 7:413-422.



## 附錄 (Appendix)

附錄 1. Johnson 養液配方

Appendix 1. Composition of Johnson's solution.



Chemical composition	Concentration (mg·L <sup>-1</sup> )	Element	Concn. of element (mg·L <sup>-1</sup> )
CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	688.68	Ca	160.32
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	246.47	Mg	24.31
KCl	3.728	Cl	1.773
FeSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	1.112	Fe	0.223
HBO <sub>3</sub>	1.546	B	0.283
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	0.845	Mn	0.382
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.575	Zn	0.131
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.125	Cu	0.032
H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	0.016	Mo	0.010



