

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝學系

碩士論文

Graduate Institute of Horticulture

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

花椰菜對高溫淹水之生理反應

Physiological Response of Cauliflower

(*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.) to

High Temperature and Waterlogging

石佩玉

Pei-Yu Shih

指導教授：羅筱鳳 博士

Advisor: Hsiao-Feng Lo, Ph. D.

中華民國 100 年 6 月

June, 2011

誌謝

碩士修業期間，承蒙恩師 羅筱鳳老師於研究及生活上之教導與照顧，曹幸之老師於進度考核之指導與建議，楊雯如老師於實驗室 meeting 時的指點與啟發，能夠在諸位老師的教導下學習是件很幸運的事，學生受益良多。羅筱鳳老師於撰稿期間多次詳細審閱與指正，使論文得以順利完成。文稿初成，復蒙曹幸之老師、中興大學園藝學系 宋妤老師與亞洲蔬菜研究發展中心前副研究員 張連宗老師撥冗審查，給予諸多寶貴意見，使本論文更趨於嚴謹、內容更臻完善，特誌卷首，謹此致上最誠摯的謝意與敬意。

就讀研究所兩年，感謝羅筱鳳老師的關懷與包容，讓學生一步步向前邁進。試驗期間感謝亞蔬 張連宗老師提供植物材料與試驗上的指導、臺灣大學生物資源暨農學院附設農業試驗場園藝組 沈志誠技正與 鐘秀媚技士的協助，雲林縣二崙鄉 陳慶杉農友、欣樺種苗公司 施辰東總經理與 施任青專員提供田間試驗場所與協助栽培管理，以及農業委員會農業試驗所臺灣作物種原中心、欣樺種苗公司、慶農種苗公司 蔡慶昌董事長提供試驗用種子，方能完成本研究。感謝博士後研究信宏學長；研究助理智緯與君衡學長；同學易蕙、佩華、明芳、煜恆、旻翰、瑜家；學弟妹晏安、佳玲、兆良、瑞妤與依玲於試驗上的協助及帶來歡樂融洽的學習環境，珍惜且懷念與你們相處的日子，你們開懷的笑聲為我碩士班生活增添了許多色彩。感謝所有於求學期間教導及關心我的師長及朋友，沒有你們，就沒有此論文之付梓，在此致上最真誠的謝意。

最後，感謝家人全年無休的關懷與支持，謹以此論文獻給諸多關心愛護我的親友。

石佩玉 謹誌

國立臺灣大學園藝學系

中華民國一百年六月

摘要

花椰菜(*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.)為臺灣花菜類中栽培最多之大眾化蔬菜，颱風及豪雨為臺灣夏季花椰菜產量損失之主要因素，產業上有育成適於夏季耐淹水栽培品種之需求。本研究依據夏季淹水產量試驗，篩選耐及不耐高溫淹水之品種，探討其苗期於高溫淹水逆境下之生理差異。2009 年夏季，花椰菜 58 個品種種植於雲林縣田間，在花球形成早期、花球膨大約 1.5 cm 時給予淹水及不淹水 2 天，'嬌雪'為 58 品種中產量最高。根據產量挑選'嬌雪'、'H-46'、'雪美 45 天'及'農生 45 天'，另加入欣樺種苗公司 9104 品系，復於 2010 年夏季進行淹水產量試驗，臺南市種植期間為 4-8 月，亦以'嬌雪'產量最高，而'農生 45 天'最低，臺北市種植期間為 7-10 月，亦於花球膨大約 1.5 cm 時給予淹水及不淹水處理兩天，淹水組產量以'雪美 45 天'最高、'嬌雪'次之、'農生 45 天'最低，故挑選'嬌雪'與'農生 45 天'進行苗期淹水試驗。'嬌雪'與'農生 45 天'於苗期測量原生質膜之熱穩定性，'嬌雪'原生質膜之熱致死溫度為 49.4°C，比'農生 45 天'之 47.1°C 高，顯示'嬌雪'之原生質膜於高溫下具有較佳之穩定性。於臺灣大學 25/20°C 人工氣候室培育'嬌雪'與'農生 45 天'，20 天齡苗株給予 35/30°C 不淹水、35/30°C 淹水、25/20°C 淹水及 25/20°C 不淹水 4 種處理。'嬌雪'於 35/30°C 不淹水、25/20°C 淹水及 35/30°C 淹水後之苗株生長量，相對於 25/20°C 不淹水，均大於'農生 45 天'，顯示'嬌雪'苗期在三種逆境下具有較佳之生長能力。兩品種另於 25/20°C、光週 16/8 小時生長箱內育苗 4 週後，仍給予上述 4 種處理，'嬌雪'於 35/30°C 淹水 24 小時後，抗氧化酵素過氧化氫酶(catalase, CAT)與抗壞血酸過氧化酶(Ascorbate peroxidase, APX)活性顯著上升；而'農生 45 天'之 CAT 與 APX 活性至 48 小時才顯著增加，顯示 35/30°C 淹水後'嬌雪'較早提升 CAT 與 APX 活性以清除活性氧，減輕氧化逆境造成之傷害。田間夏季淹水試驗中產量高與低的兩品種，其苗期原生質膜之熱穩定性、35/30°C 淹水下之生長能力、CAT 與 APX 活性也表現出相對應的顯著優劣性，或可做為選育耐高溫淹水花椰菜之參考。

關鍵字：花椰菜、高溫逆境、淹水逆境、抗氧化酵素、細胞膜熱穩定性

Abstract

Cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.) is a popular vegetable with the largest cultivated area among flower vegetables in Taiwan. Typhoon and heavy rain are the main disasters of cauliflower production in summer of Taiwan. There is a demand of breeding waterlogging-tolerant cultivars for summer production of cauliflower. In this research, tolerant and sensitive cultivars were selected according to summer yields in waterlogging trials to study the physiological differences of seedlings under high temperature and waterlogging. In 2009 summer, fifty-eight cauliflower cultivars were grown in the field of Yunlin. Plants were treated by waterlogging and non-waterlogging for two days when curd diameter was about 1.5 cm. 'Charming Snow' exhibited the highest yield. 'Charming Snow', 'H-46', 'Snow Beauty 45 days', and 'Nong-sheng 45 days' and line 9104 from Sing-flow seed trading company were selected to conduct waterlogging yield trial in 2010 summer. In Tainan trial from April to August, 'Charming Snow' also showed the highest yield and 'Nong-sheng 45 days' the lowest. In Taipei trial from July to October, 'Snow Beauty 45 days' and 'Charming Snow' showed the highest yields, and 'Nong-sheng 45 days' the lowest. High temperature and waterlogging tolerant cultivar Charming Snow and sensitive cultivar Nong-sheng 45 days were selected to conduct the seedling waterlogging experiments. Cell membrane thermostability of 'Charming Snow' and 'Nong-sheng 45 days' seedling were measured. The heat killing temperature of 'Charming Snow' is 49.4°C which is higher than 47.1°C for 'Nong-sheng 45 days'. 'Charming Snow' exhibited better plasma membrane stability under high temperature. 'Charming Snow' and 'Nong-sheng 45 days' were then grown in phytotron of Nation Taiwan University under 25/20°C for 20 days. Seedlings were treated with 35/30°C, 35/30°C with waterlogging, 25/20°C, and 25/20°C with waterlogging, separately. Compared to 25/20°C treatment, the relative growth ratios of 'Charming Snow' plants

applied by 25/20°C with waterlogging, 35/30°C, 35/30°C with waterlogging were greater than 'Nong-sheng 45 days'. 'Charming Snow' seedlings showed better growth ability under 3 stress treatments. Two cultivars were grown in growth chamber of 25/20°C and 16/8 hr photoperiod for four weeks. Seedlings were also applied by 4 treatments mentioned above. The activities of antioxidant enzymes catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) increased in 'Charming Snow' seedlings treated with 35/30°C and waterlogging for 24 hours, while those of 'Nong-sheng 45 days' increased until 48 hours. The activities of CAT and APX of 'Charming Snow' increases earlier after high temperature and waterlogging than 'Nong-sheng 45 days' to scavenge reactive oxygen species to prevent oxidative damage. Two cultivars with high and low yield in waterlogging trials in summer separately also showed significantly better and worse cell membrane thermostability, relative growth under stress, CAT and APX activities which may be as a reference for breeding high temperature and waterlogging tolerant cauliflower cultivars.

Key word: cauliflower, high temperature stress, waterlogging stress, antioxidative enzymes, cell membrane thermostability

目錄

口試委員審定書.....	I
誌謝.....	II
中文摘要.....	III
英文摘要.....	IV
第一章 前言.....	1
第二章 前人研究	
2.1 花椰菜概述.....	2
2.2 植物於高溫逆境下之生理反應.....	6
2.3 植物於淹水逆境下之生理反應.....	12
第三章 材料方法	
3.1 花椰菜 58 個品種苗期夏季淹水試驗.....	16
3.2 花椰菜夏季淹水產量試驗	
3.2.1 花椰菜 58 個品種夏季淹水產量試驗.....	17
3.2.2 花椰菜 5 個品種(系)夏季淹水產量試驗.....	18
3.3 花椰菜 2 個品種苗期高溫淹水試驗.....	19
3.4 統計分析.....	22
第四章 結果	
4.1 花椰菜 58 個品種苗期夏季淹水試驗.....	23
4.2 花椰菜夏季淹水產量試驗	
4.2.1 花椰菜 58 個品種夏季淹水產量試驗.....	24
4.2.2 花椰菜 5 個品種(系)夏季淹水產量試驗.....	24
4.3 花椰菜 2 個品種苗期高溫淹水試驗.....	25
第五章 討論	
5.1 花椰菜 58 個品種苗期夏季淹水試驗.....	28

5.2 花椰菜夏季淹水產量試驗	
5.2.1 花椰菜 58 個品種夏季淹水產量試驗.....	29
5.2.2 花椰菜 5 個品種(系)夏季淹水產量試驗.....	29
5.3 花椰菜 2 個品種苗期高溫淹水試驗.....	30
第六章 結論.....	34
參考文獻.....	35

表目錄

表 1. 花椰菜田間栽培試驗時程表(臺南)(2010).....	46
表 2. 花椰菜田間栽培試驗時程表(臺北)(2010).....	46
表 3. 花椰菜 58 個品種苗期之株高.....	47
表 4. 花椰菜 58 個品種 14 天苗之莖徑.....	49
表 5. 花椰菜 58 個品種 26 天苗於夏季溫室內淹水 24、48 及 72 小時 SPAD 之變 方分析.....	50
表 6. 花椰菜 58 個品種 26 天苗於夏季溫室內淹水 24、48 及 72 小時之葉綠素計 SPAD 讀值	51
表 7. 花椰菜 58 個品種 26 天苗於夏季溫室內淹水 72 小時之垂葉情形.....	55
表 8. 花椰菜 5 個品種(系)淹水處理之葉綠素螢光 Fv/Fm 變方分析.....	56
表 9. 花椰菜 5 個品種(系)於淹水處理之葉綠素螢光 Fv/Fm 值.....	57
表 10. 花椰菜 5 個品種(系)夏季淹水試驗之地上部鮮重與花球鮮重(臺南).....	58
表 11. 花椰菜 5 個品種(系)淹水地上部鮮重與花球鮮重之變方分析.....	59
表 12. 花椰菜 5 個品種(系)夏季淹水試驗之地上部鮮重與花球鮮重(臺北).....	59
表 13. 花椰菜'嬌雪'及'農生 45 天'逆境處理下之地上部鮮重與乾重.....	60
表 14. 花椰菜'嬌雪'及'農生 45 天'逆境處理下之地下部鮮重與乾重.....	61

圖目錄

圖 1. 雲林花椰菜田間栽培試驗時程圖(2009).....	62
圖 2. 花椰菜 58 個品種夏作淹水產量.....	63
圖 3. 花椰菜 5 品種(系)夏季淹水試驗之葉綠素螢光 Fv/Fm 值.....	64
圖 4. 花椰菜'嬌雪'及'農生 45 天' 20 天苗株於逆境處理下之地上部鮮重(A)及(B) 與地上部乾重(C)及(D).....	65
圖 5. 花椰菜'嬌雪'及'農生 45 天' 20 天苗株於逆境處理下之地下部鮮重(A)及(B) 與地下部乾重(C)及(D).....	66
圖 6. 花椰菜'嬌雪'(A)及'農生 45 天'(B)以不同水浴溫度處理之相對熱傷害值.....	67
圖 7. 不同處理下花椰菜'嬌雪'(A)及'農生 45 天'(B)苗期之葉綠素螢光 Fv/Fm 值..	68
圖 8. 不同處理下花椰菜'嬌雪'(A)及'農生 45 天'(B)苗期之相對水分含量.....	69
圖 9. 不同處理下花椰菜'嬌雪'(A)及'農生 45 天'(B)苗期之超氧歧化酶活性.....	70
圖 10. 不同處理下花椰菜'嬌雪'(A)及'農生 45 天'(B)苗期之過氧化氫酶活性.....	71
圖 11. 不同處理下花椰菜'嬌雪'(A)及'農生 45 天'(B)苗期之抗壞血酸過氧化酶活 性.....	72

附表目錄

附表 1. 2008 年臺灣花椰菜重大災害.....	73
附表 2. 試驗期間亞洲蔬菜研究發展中心溫室之最高與最低溫度(2009/7-8).....	73
附表 3. 試驗期間雲林平均溫度與雨量(2009/8/16-11/30).....	74
附表 4. 試驗期間臺北平均溫度與雨量(2010).....	74



附圖目錄

附圖 1. 臺灣花椰菜 2005-2010 年農場價格.....	75
附圖 2. 花椰菜異常花球 Bracting (A)、Riciness (B)、與 Leafy head (C)	75
附圖 3. 試驗期間臺南田間之最高、最低及平均溫度與雨量(2010).....	76



第一章 前言

花椰菜(*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.)是十字花科芸薹屬一、二年生蔬菜作物，為臺灣花菜類中栽培最多者，年栽培面積約 3 千公頃，佔蔬菜栽培面積 15 萬公頃之 2%，在臺灣蔬菜生產中佔有一席之地(陳，1995)，其口感柔嫩具清香、風味鮮美，是臺灣重要之大眾化蔬菜(郁，1992)。

花椰菜之栽培時間於蔬菜作物中相對較長，又因採收部位為花球，從營養生長轉至生殖生長為必要之過程，期間易受環境因子影響。臺灣夏季高溫多濕、病蟲害嚴重等因素影響花椰菜產量，常造成花椰菜夏季供應不足，加以 5-10 月種植採收者產量均偏低，導至供需失調，價格昂貴(陳，1995)，臺灣 2005-2010 年每月平均價格以十月份每公斤 45.64 元最高，為一月份價格的三倍以上(附圖 1)(農業統計月報，2010)。花椰菜之根系細小不耐浸水(陳和林，2005)，如遇颱風侵襲，強風暴雨或田間浸水數小時足以影響植株生長，甚至整株萎凋枯死(廖，1993)。颱風及豪雨為臺灣夏季花椰菜產量損失之主要因素，2008 年產量損失估計達一億六千多萬元(附表 1)(行政院農業委員會，2008)。廖(1993)對於花椰菜亟待解決之問題及研究方向也提及，育成耐風、耐淹水、適於夏季栽培品種之需求性，期能達到供銷平衡為首要任務。

植物於高溫逆境下，其原生質膜穩定性降低、光合作用受抑制、類囊體膜之完整性受到破壞、葉綠素含量下降、活性氧生成。淹水逆境造成植株處於低氧或缺氧環境，有氧呼吸受到抑制，產生無氧發酵導致細胞質酸化、能源供給下降、分子之氧化還原狀態改變、原生質膜之區隔功能減弱、活性氧生成及光合組織不健全。於淹水逆境下，溫度愈高愈加重淹水對植株所產生的傷害，造成更為嚴峻的逆境，故植株如何於高溫且淹水之逆境下生存相當重要。

本研究探討花椰菜於高溫及/或淹水逆境下植株耐受性之生理機制，依據夏季試驗淹水之產量篩選高及低耐受性品種，進一步探討苗期於高溫淹水逆境下之生理差異，作為研究高溫淹水耐受性生理之參考，並期有助於選擇合適之生理指標，輔助花椰菜耐高溫淹水品種之選育。

第二章 前人研究

2.1 花椰菜概述

花椰菜(*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.)，英名 cauliflower，別名花菜、菜花，為十字花科莖薹屬一、二年生作物，原產於歐洲地中海沿岸一帶，2000 多年前羅馬已有栽培，為甘藍變種演化而來，演化起源中心在地中海東部沿岸，於義大利演變後，四百年前散佈至中歐及北歐，成為第二種源中心，奠定一、二年生花椰菜在溫帶國家栽培之基礎，200 年前英國殖民印度時，在印度演化產生較適應熱帶地區濕熱環境之花椰菜(Dixon, 2007)。世界主要栽培國家為中國、印度、西班牙、義大利、法國(FAOSTAT, 2009)。

2.1.1 臺灣花椰菜演進及產業現況

花椰菜大約在 19 世紀中葉由歐洲和美國傳入中國大陸沿海一帶，85 年前由中國大陸引入臺灣栽培(陳和林, 2005)。花椰菜雖由外地引入，但散布各地加上多年栽培馴化選育，許多品種殆已失去原來之品種特性，成為固定型之優良地方品種，加上育成優良品種之推廣，所以目前臺灣的花椰菜品種比當初引入之品種優良，更能適應臺灣之氣候(王, 1957)。臺灣花椰菜育種之重要歷程簡述如下，1941 年鳳山分所引進印度的極早生固定品種'Panta Early'，經過多年的分離選拔，1955 年育成'鳳山極早生 40 天'花椰菜。1967 年陳文江先生育成'楠梓極早生 40 天 1 號'花椰菜，是第一個可於盛夏栽培的耐熱品種；兩年後育出'楠梓 40 天大型 2 號'，適應性更廣，是第一個適合春作的品種；1979 年推出的'楠梓 65 天 7 號'，在南部秋冬作可以連續不停播種至一月下旬，首度完成臺灣花椰菜週年播種生產之大業(張, 1998)。

臺灣花椰菜依花球收穫期的早晚及春化作用所需之溫度，可區分為極早生種(定植後 35-45 天可採收之品種)、早生種(定植後 45-55 天可採收之品種)、中生種(定植後 55-65 天可採收之品種)、中晚生種(定植後 65-80 天可採收之品種)及晚

生種(定植後 80-90 天以上可採收之品種)等類別(陳等, 1995; 林等, 2010), 可依不同季節選擇適宜品種, 週年普遍生產(沈, 1986; 陳和林, 2005)。近 10 年來花椰菜栽培面積相當穩定, 約為 3000 公頃左右, 產量約 67,000 公噸 (行政院農委會, 2008), 主要產區依序為彰化縣、嘉義縣、高雄縣、雲林縣。此外, 臺灣外銷東南亞地區之花椰菜種子量每年亦高達 10 公噸以上, 外銷產值約新臺幣 6,000-10,000 萬, 亟具商機(林等, 2010)。

2.1.2 花椰菜生長分化過程及花球構造

花椰菜植株生育過程由發芽經幼苗期, 待營養生長達到一定葉片數後, 在適宜溫度下, 於莖頂形成花球。以電子顯微鏡觀察生長點的發育變化, 可將花椰菜由營養生長至開花分為 9 個時期, 營養生長期(vegetative stage), 營養生長頂端尖窄; 半圓球形成期(dome-forming stage), 形成半圓且平坦的生殖生長點; 花球形成早期(early curd-forming stage)形成花序原基(inflorescence primordia); 花球形成中期(intermediate curd-forming stage)增加花序原基數目及面積; 花球形成晚期(late curd-forming stage)花序原基佈滿花球表面; 萼片形成期(sepal-forming stage)花器開始分化, 萼片形成; 雄蕊及雌蕊形成期(stamen and pistil-forming stage); 花瓣形成期(petal-forming stage); 花瓣伸長期(petal-elongation stage), 花瓣伸長開花(Fujim and Okuda, 1996)。

花椰菜之主要食用部位一般稱之為花球、花蕾或蕾球, 花球為同時具有營養與生殖生長頂端特性的前花(preflora)構造(Wien and Wurr, 1997), 其似營養生長的構造為主莖先端附近之側芽伸長且分枝, 第一級分枝後形成第二級分枝、再形成第三級分枝等(Fujim and Okuda, 1996), 且其分枝排列如同營養生長之葉序。葉片在花球構造上則發育為苞片; 分枝末端的生長點為花序原基, 此為生殖生長的特性(Wien and Wurr, 1997), 故認為花球為同時具有營養與生殖生長特性之構造。依照花球的發育過程, 可分為四期, 營養生長期(vegetative)、花球(圓頂)形成期(curd-, dome-formation)、花球增厚期(curd-thickening)與花球成熟期

(curd-maturing) (Fujim and Okuda, 1996)，花椰菜食用部位之花球為完成花球增厚期之肉質狀花序，花球成熟期花梗已抽長開花，不具商品價值。

2.1.3 溫度、水分及日照對花椰菜花球生長之影響

花椰菜喜好冷涼溫和氣候，耐熱、耐寒性都不強，花芽分化需要較低的溫度，高溫促進營養生長，延後花球形成，故溫度為花椰菜生長最重要的控制因子(曹和羅，2001)。營養生長適溫為 20-25℃ 左右，花球發育適溫 18 ℃ 左右，屬綠植株春化型作物，所需感應溫度依品種不同而異，但是經由品種改良，花椰菜在 25 ℃ 以上之溫暖氣候亦可生長及生產(林等，2010)。品種間對低溫之感應時期的早晚和所需時間之長短亦有差別，一般而言，早生種植株對低溫時間之要求較短，植株較小時就可感應；反之，晚生種在植株較大時對低溫才感應，且需要較低的溫度及較長的時間才能順利花芽分化，低溫不足或播種期不適當影響花球大小、收量及品質甚鉅(廖，1993)。Liptay (1981)依據高溫 30-40℃ 下之花球形成能力，將花椰菜分為三類：第一類為不受溫度影響，於相對高溫下即可順利形成花球，且時間不受高溫延遲；第二類為中間型反應，其於 30-40℃ 下可形成花球，但時間受到延遲；第三類為易受溫度影響，高溫時花球形成受抑制，幾乎不形成花球或形成時間嚴重延遲。

花椰菜喜濕潤氣候，不耐乾旱，在枝葉旺盛生長及花球形成時期若缺水，會導致地上部乾重下降，植株生長不良。在營養生長後期及花球形成期，需充足水分供應，此階段為對外界水分供應之敏感時期(曹和羅，2001; Kage et al., 2004; Madhavi and Ghosh, 1998)。Kage 等(2004)於灌溉試驗中發現，在限制水分供給情況下，相較於地上部乾重，花球所受到的衝擊較大，嚴重影響花球品質和產量。此外，花椰菜之根系細小，亦不耐浸水(陳和林，2005)，栽培時需選擇排水良好的土壤，並作高畦防止根部浸水(郁，1992)。

日週期對花椰菜之花芽分化或花蕾發育無多大之影響(李，1982)，但花球的大小與增長速度和營養器官同化能力密切相關，光照強度則會影響植株碳同化作

用。於遮陰試驗中，遮陰降低光強度時，雖然使花椰菜植株之葉面積比(leaf area ratio, LAR)與比葉面積(specific leaf area, SLA)增加，而相對增加日射截取量、提升光能利用效能(使相對生長速率增加)，但是花球創始後的生長發育仍顯著較弱，花球乾重顯著降低(Rahman et al., 2007)，遮陰亦會延遲花球創始或使花球不形成(Nowbuth & Pearson, 1998)。於'Delira'和'Elgon'花椰菜的田間試驗發現，花球生長所需時間與此時期日照量成負相關，花球創始後較低的日照量會使花球生長所需時間增長、延遲採收時間(Booij, 1987)。

2.1.4 花球異常

花椰菜如遇氣候不適，植株性狀變異頗大，會產生多葉、花球小、毛狀、疏鬆、色澤不正等情形(李，1982)，花球品質與商品價格密切相關，花球異常會降低品質，減低售價。花椰菜常見的異常花球如下：

盲芽(Blind bud)有兩種情形，一種為植株只長莖、葉，不生花蕾，另一種為中心生長點膨大形成肉質圓錐狀，而看不到花蕾，亦不結花球，而無產量(李，1982)。盲芽發生的原因如氣溫高，花椰菜幼苗未經歷足夠低溫環境，難以滿足春化需求而不結花球，或是於營養生長期間氮肥施用過多，造成莖葉徒長，不形成花球(謝等，2002)。

鈕釦花(Buttoning)指小花球，花椰菜於收穫時花球很小，達不到商品要求，原因如冬植時混雜早生品種，其可迅速通過春化階段開始結花球，由於此時葉片、植株尚未長大，營養不足，花球發育不良，形成的花球較小。苗期缺氮肥及缺水、株體受傷或苗株定植過遲、罹患病害等，均有礙營養生長正常進行，誘發苗株快速通過春化階段，因而提前形成花芽(謝等，2002)。

毛花為花球頂端部位，部分小花之花柱或花絲非順序性伸長，使花球表面呈毛絨狀而不光潔，降低商品價值。毛花是由於溫度變化劇烈、溫度條件不適宜的情況下，促使花芽的發育加速，花器伸長超過花球表面造成，多在花球臨近成熟時遽然降溫、升溫或濃霧天易發生(謝等，2002)。

紫斑為花球表面變為紫、紫黃等不正常的顏色，形成原因為花球臨近成熟時突然降溫，花球內的糖轉化為花青素，使部分花球變為紫色(謝等，2002)。

花球鬆散為花球表面高低不平，鬆散不緊密，其可能形成原因包括：收穫過晚，花球老熟；營養及水分供應不足，花球生長受抑制或停止生長；溫度過高，不適宜花球生長，以及病蟲害危害等(謝等，2002)。

Bracting 為苞片延著花序原基發育突出表面形成毛狀花球(Fuzzy head)，造成原因為花球形成後遇到高溫，誘發營養生長，被視為去春化作用(Grevsen et al., 2003)。

Leafy head 為第一級花梗上的側苞片生長超出花球，使花球表面出現綠色苞片(Fujime& Okuda, 1996)。

Riciness 為花序原基不規則的開始重新發育，形成花器(如萼片)，使花球表面成米粒狀(Ricey curd)，成因為蕾球形成時遇過低溫度，使花芽發育超過花球發育，是一種強烈春化作用。

造成花椰菜 bracting 和 riciness 需由植株發育時期及溫度範圍兩者同時配合，如利用 Plana F1 ('Royal Sluis')花椰菜試驗，顯示花球於直徑約 11.5 mm 時，如遇高溫(15°C 以上)易產生 bracting；花球直徑約 0.35 mm 時，幼年期結束，植株進入對春化作用高敏感期，如遇低溫易產生 riciness (Fujim and Okuda, 1996; Grevsen et al., 2003)。

2.2 植物於高溫逆境下之生理反應

高溫逆境指植株生長高於其最適生長溫度之 10~15°C (Allakhverdiev et al., 2008; Wahid et al., 2007)，是作物生產的主要限制因子之一，特別是當溫度為植物生長的臨界範圍時，作物的適應能力對於其存活就顯得很重要(Chen., 1982)。植物耐熱性(Heat tolerance)定義為植物於高溫環境下仍可生長、並生產經濟產量(Wahid et al., 2007)，菜豆、馬鈴薯、大豆、番茄在高溫下的著果及產量可用以評估及區分不同基因型的耐熱能力(Chen., 1982)。

2.2.1 高溫對原生質膜熱穩定性之影響

高溫對植物細胞最直接之影響為原生質膜之完整性，膜穩定性之破壞為高溫傷害之初級症狀，其可在其它逆境症狀表現前被測量(Camejo et al., 2005)。原生質膜主要由磷脂質構成，上有鑲嵌膜蛋白做為離子通道，磷脂質的疏水性構造可防止離子及大分子物質通過細胞膜，具有區隔的功能。高溫造成細胞膜上脂質流動性增加與膜蛋白變性，使細胞膜穩定性降低、選擇能力下降、通透性上升，使細胞內物質向外滲漏(Raison et al., 1980)。因此，高溫對原生質膜結構的影響程度決定植物的耐熱性。

植物胞器中，葉綠體對高溫比較敏感，甘藍耐熱品種在高溫逆境下，其葉肉細胞的結構保持正常狀態和完整性，但熱敏感品種經高溫逆境(38-39°C)處理後，葉綠體變圓、被膜(envelope)出現不同程度的斷裂，類囊體(thylakoid)片層鬆散，基質片層(stroma lamellae)模糊不清(苗等, 1994)。豌豆也有類似之情形，其類囊體隨著外界環境溫度升高，其結構堆疊鬆散，呈現較圓球狀(Semenova, 2004)，此結構上的轉變，增加了離子滲漏情形(Allakhverdiev et al., 2008)。Ristic (1992)等人發現葉綠體結構受高溫逆境破壞較大，而呼吸作用的器官粒腺體，其耐熱能力較葉綠體好，由於高溫逆境下粒線體比葉綠體相對較具穩定性，導致同化產物之消耗比生成占優勢(苗等, 1994)。

原生質膜之穩定性最常以電導度(Electrical Conductivity, EC)測試，其為偵測植物耐熱性的好方法(Camejo et al., 2005)。電導度直接表示介質溶液中可溶性鹽類的濃度，電導度越高，表示離子滲漏越嚴重，即原生質膜破壞越嚴重。此外，利用電導度原理延伸出細胞膜熱穩定性(Cell membrane thermostability, CMT) 技術，測量植物器官於不同溫度或不同熱處理時間下之電解質滲漏(electrolyte leakage)程度，以評估植物細胞的熱耐受能力，其為一敏感、快速、操作簡單、空間需求小、適用於多種植物及組織之方法(Lester, 1985; Wu and Wallner, 1993)。在許多農藝及園藝作物中，CMT 都能有效鑑別不同品種之耐熱性(陳, 2009)，且因較佳的細胞膜耐熱性可使作物適應較高溫的環境，故不同基因型的

細胞膜耐熱性與高溫下的田間表現相關(Chauhan and Senboku, 1996; Chen. et al., 1982)。CMT 試驗中，常觀察熱致死溫度(Heat killing temperature)或熱致死時間(Heat killing time)作為評估，熱致死溫度為固定加熱時間，利用不同水浴溫度加熱植物組織，於相對傷害值(Relative injury, RI)達 50%時之水浴溫度(Temp⁵⁰)；熱致死時間則為植物組織於固定溫度下，利用不同時間加熱植物組織，相對傷害值達 50%時之水浴時間(Time⁵⁰)。利用熱致死溫度或熱致死時間皆可量化細胞膜之熱穩定性，作為植物耐熱指標，也可用以分辨不同物種或品種間的耐熱性(Yeh and Lin, 2003)，較高的熱致死溫度或熱致死時間表示植物具有較佳的耐熱性。無論是根據熱致死溫度或熱致死時間，電解質滲漏率或相對熱傷害值皆隨水浴溫度上升或水浴時間增加而呈 s 形曲線上升，包括甘藍(Chauhan and Senboku, 1996)、大豆(Martineau et al., 1979)、蘿蔔(陳，2009)、甜瓜(Lester, 1985)、番茄(Inaba and Crandall, 1988)、番椒(Anderson et al., 1990)、柑橘(Ingram and Bunchanan, 1984)、冬麥(Saadalla et al., 1990)、菊花(Wang and Yeh, 2008)、肯塔基藍草(Marcum, 1998)、七里香(Ingram, 1985)等皆呈類似 S 曲線反應。

植物若經過高溫馴化，則更易區分耐熱及熱敏感品種，如番茄耐熱品種'saladette'及熱敏感品種'UC-828'之熱致死時間均是 15 分鐘，經過高溫馴化，耐熱品種熱致死時間延至 60 分鐘，熱敏感品種則僅 50 分鐘。菜豆具有相同情形，耐熱品種'BBL-415-1'及熱敏感品種'BBL-47'之熱致死時間均是 5 分鐘，經過高溫馴化後，耐熱品種熱致死時間延至 85 分鐘，熱敏感品種僅 50 分鐘(Chen et al., 1982)。

2.2.2 高溫對光合作用與葉綠素螢光之影響

植物細胞之光合作用活力是對熱最敏感的功能，在其它逆境症狀表現之前即被抑制(Camejo et al., 2005; Allakhverdiev et al., 2008)。逆境導致光合作用能力下降可分為：逆境對光合作用直接造成的傷害，或是間接性的影響如活性氧族(reactive oxygen species, ROS)產生，新蛋白合成受抑制，抑制 PSII 和/或 PSI 的修復(Allakhverdiev et al., 2008)。高溫對光合組織引起多處傷害(Berry and

Björkman, 1980), 於光反應中, 光捕獲複合體 II (light-harvesting complex II, LHC II) 將能量轉移至光系統 II (photosystem II, PS II) 中心會受溫度升高影響, 釋氧複合物 (oxygen-evolving complex, OEC) 的錳離子穩定度下降, ATP 生成亦對熱逆境敏感 (Allakhverdiev et al., 2008), 最不穩定的則是電子傳遞鏈 (Havaux et al., 1996)。ROS 會破壞胞器 OEC 上的 D1 蛋白質, 造成 PSII 不活化 (Taiz and Zeiger, 2006), 導致光合作用下降 (Camejo et al., 2005)。而碳反應中, 由於高溫會使 rubisco activase 失去活性, 進而抑制 rubisco 的活性 (Allakhverdiev et al., 2008), 加上卡爾文循環 (Calvin cycle) 酵素於高溫下穩定度下降, 因此碳同化作用對溫度的提高非常敏感, 且於高溫下被抑制 (Berry and Björkman 1980; Camejo et al., 2005)

植物之葉綠素螢光 (chlorophyll fluorescence), 可用以檢測和定量光合胞器的變化。葉綠素分子吸收光能後, 分子會由基態 (ground state, S₀) 跳渡到激發態 (lower excited states, S₁ 和 highest excited states, S₂), 被激發的葉綠素分子很不穩定, 會釋放出一些熱能以沉降到 S₁, 而葉綠素分子從 S₁ 回到 S₀ 時, 其能量的釋放有幾種路徑: (1) 光化學 (photochemical): 天線分子吸收光能, 將能量傳給反應中心, 進行光合作用。(2) 熱發散 (thermal deactivation): 分子以熱的形式將能量釋放至環境。(3) 釋放螢光 (fluorescence): 螢光是一種光的形式, 波長較吸收光譜長, 植物所釋放螢光波常大約在 660-800 nm 之間 (姚等, 2002)。三種釋放能量之方式彼此間存在互補關係, 若光化學受到抑制, 則螢光釋放增加, 葉綠素螢光即利用此原理測量光合胞器之活力, 其結果敏感而可靠。若經由 (1) 至 (3) 仍無法消散過剩能量, 則會經由電子還原作用產生活性氧, 容易引起膜傷害 (Hopkins and Hüner, 2004; Maxwell and Johnson, 2000; Taiz and Zeiger, 2006)。

葉綠素螢光測量乃應用 Kautsky effect (Kautsky and Hirsch, 1934), 主要利用葉綠素螢光儀 (chlorophyll fluorometer) 測量 PS II 所釋放之螢光, 當葉片或葉綠體處於暗適應狀態, 電子傳遞路徑的中間產物皆回到還原狀態, 此時以不同種類之人工光源透過濾鏡照射在葉片上, 促進 PS II 螢光迅速發射, 葉片的反射光譜也經濾鏡存留螢光波長部分, 再經放大器將訊號強化, 由記錄器記錄螢光值, 並計

算螢光參數(Krause and Weis, 1991)。光系統 I (photosystem I, PS I)與 PS II 所測得的螢光不同，且 PSI 所發出的螢光變化幅度較小，不足以干擾 PS II 所測得的螢光變化(Franck et al., 2002)。常見之葉綠素螢光參數如下：

Fo 是最低螢光值(minimum fluorescence)，又稱初始螢光值(basal fluorescence)，為植物處於暗適應後測量之螢光值，此時 PS II 的第一個電子接受者 quinone acceptor (QA)處於氧化態，可以有效接收電子，代表所有 PS II 反應中心處於完全開啟狀態的螢光產量，非光化學消散也在最低狀態。若 PS II 反應中心失活，則 Fo 上升，表示激發光能進入反應中心的速率降低，或是有部分天線葉綠素(chlorophyll antenna)與反應中心分離(Pastenes and Horton, 1996)。

Fm 是最高螢光值(maximum fluorescence)，為黑暗下最大的螢光放射量。葉片在暗適應下，施予一快速飽和閃光(saturation pulse/saturation light)後，使其 QA 均處於還原態，即所有 PS II 反應中心呈現關閉狀態，此時之螢光值為最高螢光值。若 Fm 下降，主要和 PS II 之電子傳遞減緩有關(Aro et al., 1993)。

Fv (variable fluorescence)，其值為 Fm-Fo 而得，最低與最高螢光產量間之差值。Fv/Fm：在暗適應下 PS II 的最大光化學效率，代表光合胞器之生理狀況，對健康植物而言，Fv/Fm 幾乎為常數(0.832±0.004)，但植物處在逆境時，其值往往下降，亦為光抑制(photoinhibition)之最佳指標(Maxwell, 2000)。

一般植物在逆境時其螢光參數明顯改變，多有 Fo 增加、Fm 與 Fv/Fm 下降的現象(Mohanty et al., 1989)。螢光參數 Fo 和 Fv/Fm 均被證實與耐熱生理有關，可方便監測高溫引起的 PS II 變化(Yamada et al.1996; Yamane et al. 2000)。Lu and Zhang (1999)利用小麥幼苗進行高溫處理，當溫度超過 35°C 時，其 Fv/Fm 與 Fm 降低，Fo 則上升。野生耐熱番茄 Nagcarlang，Fo 與 Fv/Fm 值於熱處理前後無顯著差異，而熱敏感品種'Cambell' Fo 顯著較處理前上升，Fv/Fm 值於熱處理後顯著下降，葉綠素螢光可有效區別不同基因型之耐熱性(Camejo et al., 2004)。

2.2.3 高溫對抗氧化酵素之影響

氧為植物延續生命和進行代謝所需，在一般情況下不具有毒性，但若於氧化

還原反應過程中，單價電子或質子不足，使氧的還原反應不完全，則誘使活性氧族(ROS, reactive oxygen species)產生，如超氧自由基(superoxide radical, O_2^-)，氫氧自由基(hydroxyl radical, OH)，過氧化氫(hydrogen peroxide, H_2O_2)和單態氧(singlet oxygen, 1O_2)。ROS 為不穩定的狀態，很容易自其他分子搶奪電子以穩定自身結構，故對細胞造成氧化傷害，ROS 累積會導致膜脂過氧化，蛋白質變性、酵素活性受抑制與核酸受損等，破壞植物之代謝平衡(Yin et al., 2008)。在正常情況下，植物細胞所產生之 ROS 量很低，通常也會有足夠的抗氧化酵素與抗氧化物將之清除，防止 ROS 對植物之傷害。但當植物處於逆境下，ROS 生成過多，使 ROS 與抗氧化系統之間失去平衡，則對植物造成傷害(Scandalions, 1993; Apel and Hirt, 2004)。

但植物於逆境下產生之 ROS，雖然對細胞造成威脅，卻也具有開啟逆境防禦系統的訊息傳導功能，如程序性細胞凋亡(programmed cell death, PCD)即是由氧化逆境誘導細胞局部死亡。由於 ROS 本身具破壞性，但又有訊息傳導功能，擔任雙重角色，故細胞內 ROS 含量需嚴格被控制，需有調控細胞內 ROS 濃度之機制，以幫助植物在逆境中存活(蔣和蔣，2004)。對於 ROS，植物演化出之保護機制為抗氧化系統，可清除 ROS 以減輕氧化傷害(Noctor and Foyer, 1998; Apel and Hirt, 2004)，活性氧清除機制主要包括抗氧化酵素和非酵素分子，抗氧化酵素包括超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、過氧化氫酶(Catalase, CAT)、抗壞血酸過氧化酶(Ascorbate peroxidase, APX)、過氧化酶(peroxidase, POD)、穀胱甘肽還原酶(Glutathione reductase, GR)等。非酵素分子為抗氧化物，例如抗壞血酸(ascorbic acid, AsA)、維他命 E (α -tocopherol)和穀胱甘肽(Glutathione, GSH) (Yin et al., 2008)。抗氧化系統之運作可以有效抑制 ROS 造成之傷害，因此植物受逆境影響之程度，與抗氧化系統能力之高低有關(Mittle, 2002)。常探討的抗氧化酵素如下：

- (1) Superoxide dismutase (SOD)：主要作用是將 O_2^- 轉換成 H_2O_2 ，為防禦系統的第一步。SOD 生合成的量常受 O_2^- 濃度影響， O_2^- 會誘導 SOD 生合成(蔣和蔣，

2004)。SOD 催化之歧化作用需金屬離子做為 co-factor，依 SOD 所需之金屬離子可分為 FeSOD、MnSOD 及 Cu/ZnSOD 三種 isoforms，FeSOD 位於葉綠體，MnSOD 位於粒線體和過氧化體，而 Cu/ZnSOD 則在細胞質、葉綠體、過氧化體均有發現(Alscher et al., 2002)。

(2) Catalase (CAT)：CAT 可直接催化 H_2O_2 轉變為 H_2O 及 O_2 ，存在於過氧化小體 (peroxisomes)，清除由光呼吸產生之 H_2O_2 ，對抗光氧化逆境有極佳之保護作用(蔣和蔣，2004)。

(3) Ascorbate peroxidase (APX)：APX 為 ascorbate-glutathione cycle (AsA-GSHcycle)內的主要酵素之一，APX 為此循環的第一個酵素，將 H_2O_2 還原成 H_2O ，同時氧化 ascorbate 成為 monodehydroxyascorbate (MDHA)，APX 結合有效的 AsA-GSH cycle 在光合組織中防止 H_2O_2 累積(Asada, 1992)。

在高溫逆境下，ROS 增加快速，ROS 與抗氧化系統之間的平衡受破壞即對植物造成氧化傷害(Levitt, 1990; Scandalions, 1993)。許多研究顯示，高溫逆境下之 ROS 清除機制對於保護植物具有重要的作用(Allakhverdiev et al., 2008)，抗氧化酵素活性增強有助於植物對抗高溫逆境(Yin et al., 2008)。鐵砲百合於 37 和 42°C 進行熱處理， O_2^- 及 H_2O_2 未顯著增加，47°C 處理 4 小時以上，超氧自由基及過氧化氫則隨熱處理時間增加而累積，抗氧化酵素如 SOD、CAT、APX、GR 活性皆隨時間增加而增加，防止 O_2^- 及 H_2O_2 之累積，而於 47°C 處理 4 小時以上，上述各酵素活性可能因為過高溫而導致活性下降，減低 ROS 清除功能，因而產生 ROS 累積情形(Yin et al., 2008)。其它作物如番茄(Rivero, 2003)、小麥(Almeselmani, 2003)、玉米(Ming et al., 1997)等於高溫逆境下，抗氧化酵素活性常有上升之情形。

2.3 植物於淹水逆境下之生理反應

淹水使原本氧氣存在的土壤空隙被水填滿，大氣中的氧氣雖可以透過水表面擴散進入水中，但氧氣在水中的擴散速率是在空氣中的萬分之一(Armstrong,

1979; Barrett-Lennard, 2003), 故一旦根及微生物的呼吸作用溶於水中的氧氣消耗殆盡, 此時淹水的土壤很容易成為部份缺氧(hypoxia, 3% O₂)或幾近完全缺氧(anoxia, <0.02% O₂)狀態(Jackson and Drew, 1984), 故淹水對植物所造成的傷害主要是由土壤缺氧所造成(Kumutha et al., 2009)。

植物在淹水逆境下, 土壤缺乏氧氣會降低根對水分之吸收能力, 亦使其吸收養分的功能受到阻礙, 影響生理代謝, 包括氣孔關閉、蒸散作用與光合作用能力下降、ATP 產出量低、蛋白質合成受抑制、光合產物之運移受阻與葉片累積澱粉等, 導致生長發育不良。缺氧逆境造成根部變黑、腐爛, 加速葉片黃化、老化、凋零與脫落, 嚴重時導致植株死亡(朱, 1993; 高, 2002; 彭, 2006; Hsu et al., 2000)。植物遭遇淹水時, 也會因不同生育時期、淹水時間及溫度等而有不同的敏感性(Boem et al., 1996; Zhou and Lin, 1995)。

2.3.1 淹水逆境對光合作用與植株生長之影響

植株遭受淹水逆境時, 氣孔關閉以減少水分蒸發、維持體內水分之平衡(Castonguay et al., 1993), 但氣孔關閉亦使光合作用所需之二氧化碳減少, 而降低光合作用效率(Beckman et al., 1992; Thomas, 2001), 紫花苜蓿淹水兩天, 其氣孔導度與光合作用皆顯著低於對照組(Castonguay and Simard, 1993)。

植物於淹水逆境下, 光合作用明顯降低(Huang et al., 1994; Pezeshki, 1993), 不僅由於葉片氣孔關閉影響二氧化碳之擴散, 碳同化酵素活性下降與葉綠素降解也影響光合作用之碳固定的能力(Ahmed et al., 2002; 吳和朱, 2003)。油菜淹水兩天, 光合作用即顯著下降(Zhou, 1995)。

淹水使植株地上部及地下部生長皆受到抑制(Kozlowski, 1984), 使作物損失產量(Sangeeta and Grover, 2006)。莧菜淹水 6-10 天, 隨淹水天數增加, 其地上部鮮重與乾重遞減(楊等, 2002); 番茄在淹水逆境下 5 天後, 地上部和地下部的生長都受抑制(McNamara and Mitchell, 1989); 淹水處理顯著降低大豆產量, 且隨淹水時間延長, 產量降低情形越嚴重(Xu, 1993)。

2.3.2 淹水逆境對呼吸作用與膜體結構之影響

淹水逆境下植物體內代謝改變最主要在於根部的無氧呼吸(朱, 1993)。在正常有氧情況下,呼吸作用是一分子六碳糖經由糖解作用得到兩分子丙酮酸並生成兩分子 ATP 及 NADH, 丙酮酸經由檸檬酸循環後產生 NADH 及 FADH₂, 再經由電子傳遞鏈產生 36 個 ATP 分子提供植體利用, 在電子傳遞鏈中將 NADH 氧化成 NAD⁺, NAD⁺ 為植體代謝中接受電子的重要物質。由於氧分子為電子傳遞鏈中最後的電子接受體, 故在缺氧逆境下, 電子傳遞鏈之作用減緩或停止, 導致 ATP 生成量減少, 並且在根部發現 NADH 有大量累積的現象, 植物為了獲得能量及 NAD⁺ 提供代謝利用, 會行發酵作用將糖解作用產生的 NADH 氧化成 NAD⁺ 以再生 NAD⁺。而發酵作用先生成乳酸, 乳酸的累積可導致細胞質酸化, 使細胞質 pH 值降低, 活化丙酮酸脫羧酶(pyruvate decarboxylase)產生乙醛, 再經酒精脫氫酶(alcohol dehydrogenase)催化產生乙醇。不論乳酸發酵或酒精發酵皆會消耗先前糖解作用所產生的 NADH 以再生 NAD⁺, 而總反應淨得兩個 ATP 分子, 相較於有氧呼吸所得的 36 個 ATP 分子, ATP 生成量大幅減少, 影響其他生理生化反應(柯, 2006)。根細胞進行無氧解糖之過程, 其最終產物是具有毒性之乙醛、乙醇及乳酸等, 這有毒物質會迅速累積在植物細胞內, 破壞細胞構造, 導致細胞死亡(朱, 1993; 彭, 2006)。

細胞質酸化的原因除了乳酸累積之外, 在缺氧情況下根部細胞沒有足夠的 ATP 提供液胞膜上之 H⁺-ATPase, 將細胞質中多餘的 H⁺運送至液泡內也是原因之一。此外, 也有研究指出, 液胞膜通透性增加也可能會造成質子滲漏至細胞質中, 導致酸化加劇。細胞質酸化與質子的累積會造成原生質膜之氧化還原電位失衡, 使通透性增加, 導致離子滲漏。乙醇具有高度的脂質溶解能力(lipid solubility), 會破壞細胞膜及胞器的膜層構造, 也會造成電解質滲漏。

2.3.3 淹水逆境對抗氧化酵素之影響

淹水逆境下，植株葉片氣孔關閉，使光合作用所需的 CO_2 減少，阻礙卡爾文循環導致光反應中電子的堆積，電子易傳遞至氧分子上，誘發 ROS 產生 (Garczarska and Bednarski, 2004)，例如玉米淹水 3 天後，葉片之 O_2^- 與 H_2O_2 顯著上升(晏等, 1995)。為了清除 ROS 對抗淹水逆境，抗氧化酵素系亦會啟動，對木豆(*Cajanus cajan* L.)耐淹水 ICP 301 及淹水敏感 PUSA 207 品系進行淹水試驗，耐淹水品系之抗氧化酵素 SOD、CAT、APX、GR 活性隨淹水天數增加而增加，退水恢復後活性漸下降，而對淹水敏感品系之 SOD、CAT、APX、GR 活性於淹水後未上升，無法如耐淹水品系藉由提升抗氧化酵素活性，防止活性氧累積 (Kumutha et al, 2009)。若植體內產生大量之活性氧未能及時清除，將引起膜質之過氧化傷害(Grishman, 1992)，使膜損傷變性，導致膜之區隔功能喪失，滲漏物質流出，嚴重時細胞死亡(Yan et al., 1996)。玉米幼苗淹水 7 天，葉片 O_2^- 產生速率增加，同時造成細胞滲漏(Yan et al., 1996)。



第三章、材料與方法

3.1 花椰菜 58 個品種苗期夏季淹水試驗

供試品種：

本試驗採用花椰菜(*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.) 58 個品種為材料，品種及其來源如下(括號內為該品種自定植至採收所需天數):

購自農友種苗股份有限公司：'鳳山極早生'(40-45)、'農友極早生'(40)、HV-008
'雪華'(45)、HV-079'和成'(42)、HV-009'雪姬'(75)、
HV-134'農友 324'(75)、'麗雪'(65)、'嬌雪'(50)、
HV-178'愛玉'(60-65)、HV-204'鳳玉'(50-55)

慶農種苗股份有限公司提供：'H-69'、'H-71'、'H-75'、'S-85'、'S-90'、'H-50'、'H-61'、
'M-48'、'M-60'、'M-70'、'S-55'、'S-65'、'S-35'、'S-45'、
'H-41'、'H-46'、'M-45'

欣樺種苗股份有限公司提供：'東夏 40 天'

亞洲蔬菜研究發展中心張連宗先生提供(代號 CF)：'雪瑞 45 天'、'青莖 50 天 2
號'、'雪白 60 天'、'雪玉 65 天'、'冬雪 70 天'、'豐田 45A'、
'夏欣 50 天'、'雪樺 45 天'、'瑞農 40 天'、'豐田耐熱 45 天'
(又名'雪美 45 天')、'豐田耐熱松花'、'青骨花菜 40 天'、
CN 'H-37'、CN 'H-42'、CN 'H-55'

農業試驗所種源庫提供：'青骨尖葉正晚生'、'80 天'、'晚生花椰'、'50 天'、
'6-1 號'、'NO.5'、'安南早生 3 號'(50)、'瑞農 10 號'、
'瑞農 11 號'、'45 天花椰菜'、'45 天花椰菜-2'、'富農極早
春 40 天'、'農生 45 天'、'安南極早生'、'35 天特早生白晶'

試驗地點：亞洲蔬菜研究發展中心，位於臺南市善化區

育苗：

供試花椰菜種子在 2009 年 7 月播於 50 格 PE 圓孔穴盤，穴盤長×寬×高為

53×27.5×4 cm，穴格上方直徑為 46 mm，底部直徑 37 mm，容積為 55 mL，介質採用泥炭土 Unistrat DIN 11540，於亞洲蔬菜中心玻璃溫室內培育，每週施用 500 倍獅馬液肥(Foliar nitrophoska 20N-19P-19K-0.5Mg，德國康普有限公司)，於兩片本葉時間拔至每穴格一株。

處理及調查項目：

播種後每週調查株高，株高為土表面至莖頂之高度。於第二週測量莖徑，以數位式游標尺測量距離土表約 1 cm 處之莖徑，每重複 1 株，6 重複。播種後 26 天，將淹水處理組植株浸於塑膠盆中，淹水高度至穴盤表面，淹水 72 小時。於淹水 24、48、72 小時，使用葉綠素儀(Chlorophyll meter, Konica Minolta SPAD-502, Japan)測定由上往下數第 3 片葉之 SPAD 值。淹水 72 小時，觀察處理組葉片下垂情形，並予分級，葉面中心點(最大葉長與最大葉寬兩垂直線之交點)與主莖之夾角大於 90 度視為下垂葉片，植株無下垂葉片為 1 級、1-2 片下垂葉片為 2 級，3 片以上之下垂葉片為 3 級。

3.2 花椰菜夏季淹水產量試驗

3.2.1 花椰菜 58 個品種夏季淹水產量試驗

供試品種：

同上述花椰菜 58 個品種苗期夏季淹水試驗，包括'鳳山極早生' (40-45)、'農友極早生' (40)、HV-008、'雪華' (45)、HV-079'和成' (42)、HV-009'雪姬' (75)、HV-134'農友 324' (75)、'麗雪' (65)、'嬌雪' (50)、HV-178'愛玉' (60-65)、HV-204'鳳玉' (50-55)、'H-69'、'H-71'、'H-75'、'S-85'、'S-90'、'H-50'、'H-61'、'M-48'、'M-60'、'M-70'、'S-55'、'S-65'、'S-35'、'S-45'、'H-41'、'H-46'、'M-45'、'東夏 40 天'、'雪瑞 45 天'、'青莖 50 天 2 號'、'雪白 60 天'、'雪玉 65 天'、'冬雪 70 天'、'豐田 45A'、'夏欣 50 天'、'雪樺 45 天'、'瑞農 40 天'、'豐田耐熱 45 天' (又名'雪美 45 天')、'豐田耐熱松花'、'青骨花菜 40 天'、CN 'H-37'、CN 'H-42'、CN 'H-55'、'青骨尖葉正晚生'、'80 天'、'晚生花椰'、'50 天'、'6-1 號'、'NO.5'、'安南早生 3 號' (50)、'瑞農

10 號'、'瑞農 11 號'、'45 天花椰菜'、'45 天花椰菜-2'、'富農極早春 40 天'、'農生 45 天'、'安南極早生'、'35 天特早生白晶'。

試驗地點：雲林縣二崙鄉

處理及調查項目：

2009 年 7-8 月育苗後定植於田間，調整 58 個品種之播種及定植日期(圖 1)，以利各品種於採收時達到其定植至採收所需日數。試驗採裂區設計，田間分為淹水與不淹水處理兩主區，品種採逢機排列，4 重複，每重複 2 株。田間畦面寬 1.2 m，雙行植，株距 0.5 m。於花球形成早期，花球膨大至直徑約 1.5 cm，給予處理組淹水兩天，田間淹水高度至畦面。採收時量測花球鮮重，供挑選不同耐受性之品種做翌年之產量試驗。

3.2.2 花椰菜 5 個品種(系)夏季淹水產量試驗

3.2.2.1. 臺南 4-8 月淹水產量試驗

供試品種：自試驗(1)中挑選花椰菜 '嬌雪'、'H-46'、'雪美 45 天'、'農生 45 天'，以及欣樺種苗公司提供之 9104 品系

試驗地點：欣樺種苗有限公司位於臺南市安定區之試驗田

淹水處理：

2010 年 5-6 月定植於田間，調整播種及定植時間(表 1)，以利各品種於採收時達到其定植至採收所需日數，採裂區設計(split plot design)，4 區集，主區包括淹水 2 天與不淹水兩種處理，品種為副區，每品種之小區面積為 7.2 m² (6×1.2 m²)，雙行植，株距 0.5 m，每品種 20 株。於花球形成早期，花球膨大至直徑約 1.5 cm，給予淹水處理兩天，田間淹水高度至畦面。

調查項目：

於淹水處理前、淹水 24 小時、淹水 48 小時、退水後 24 小時、退水後 48 小時，測量葉綠素螢光 Fv/Fm 值，每重複 1 株，5 重複。於夜間葉片達到暗馴化狀態時測量，使用 Pocket PEA Chlorophyll Fluorimeter (Hansatech, UK)測量由上往下數第 5 片展開葉之葉綠素螢光。當花球停止膨大後連續採收，採收時測量地

上部鮮重及花球鮮重。

3.2.2.2. 臺北市 7-10 月淹水產量試驗

供試驗品種：花椰菜 '嬌雪'、'H-46'、'雪美 45 天'、'農生 45 天' 及欣樺公司 9104 品系(同 3.2.2.1. 臺南 4-8 月淹水產量試驗)

試驗地點：臺灣大學園藝試驗分場，位於臺北市大安區

處理及調查項目：

'嬌雪'、'H-46'、'雪美 45 天'、'農生 45 天' 及 9104 品系於 25/20°C 人工氣候室之 7 月自然光週下育苗 4 週，苗株於 7-8 月定植於田間(表 2)。田間採裂區設計(split plot design)，4 區集，主區包括淹水 2 天與不淹水兩種處理，品種為副區，每品種之小區面積為 4.2 m² (3.5×1.2 m²)，雙行植，株距 0.5 m，每品種 14 株。於花球形形成早期，花球膨大至直徑約 1.5 cm，給予淹水處理兩天，田間淹水高度至畦面，採收時測量地上部鮮重及花球鮮重，根據花球鮮重挑選出耐及不耐高溫淹水各一品種進行苗期試驗。

3.3 花椰菜 2 個品種苗期高溫淹水試驗

自產量試驗所篩選出之兩品種'嬌雪'與'農生 45 天'，播種於 72 格 PE 圓孔穴盤，穴盤長×寬×高為 59.5×30.5×4.2 cm，穴格上方直徑為 45 mm，底部直徑 32 mm，高 42 mm，以泥炭土(BIO-MIX POTTING SUBSTRATUM 110B (Tref, The Netherlands))與南海 3 號蛭石及南海 3 號珍珠石以 8：1：1 混拌作為栽培介質。育苗期間每週施用 1000 倍 Peters 20-20-20 (Scotts-Sierra Horticultural Products Company)，於苗期進行下述試驗：

3.3.1 高溫 35/30°C 下生長之鮮重與乾重

在人工氣候室日夜溫 25/20°C 及 4 月自然光週下育苗 20 天後給予四種處理：

1. 高溫淹水：苗株移至日夜溫 35/30°C 生長，並淹水至穴盤表面
2. 高溫不淹水：苗株移至日夜溫 35/30°C 生長
3. 常溫淹水：苗株留在日夜溫 25/20°C 生長，並淹水至穴盤表面

4. 對照組：苗株留在日夜溫 25/20°C 生長

於處理前及處理後 5、10、15 天，取樣調查地上部及地下部鮮重，於 70°C 烘箱中乾燥 72 小時後測量乾重，每重複 1 株，6 重複。

3.3.2 細胞膜熱穩定性試驗

兩品種於 25/20°C 及光週 16/8 小時之生長箱育苗三週，依據 Wang 等人(2008)之方法稍事修改，取由上往下數第 2 片展開葉，利用打孔器避開主脈取直徑 6 mm 葉圓片，每重複 3 片，放入加有 1 mL 去離子水之試管(25×150 mm)中，附蓋鋁箔紙。對照組(control, C)未經加熱處理，僅加入 10 mL 去離子水，在室溫下靜置 1 小時後，以電導度計(Eutech Cyberscan CON510, Malaysia)測定最初電導度為 CI；處理組(treatment, T)放入循環式水浴槽中，分別於 40、42、44、46、48、50、52、54、56、58、60°C 加熱 20 min 後，加入 10 mL 去離子水，於室溫下靜置 1 hr，再測定最初電導度值為 TI；之後各試管再置於 100°C 水浴 40 min，使細胞完全被破壞，試管取出後待溫度降到 25°C 時，以電導度計測定最末電導度(對照組為 CF、處理組 TF)，利用下列公式計算相對熱傷害值(relative injury, RI)。公式中 C 與 T 分別代表對照組與處理組；I 與 F 分別代表最初及最末電導度值。

$$RI (\%) = \{ 1 - [1 - (TI/TF)] / [1 - (CI/CF)] \}$$

3.3.3 苗期高溫淹水試驗

花椰菜'嬌雪'與'農生 45 天'於 25/20°C 及光週 16/8 小時生長箱育苗 4 週，以高溫 35/30°C 不淹水、高溫 35/30°C 淹水、常溫 25/20°C 淹水及常溫 25/20°C 不淹水 4 種處理 48 hr，之後退水並移至 25/20°C。淹水處理為水面淹過穴盤表面 1 cm。調查項目如下：

(1) 葉綠素螢光值

於處理前、處理 48 小時及恢復 48 小時，測量由上往下數第 3 片展開葉之葉綠素螢光 Fv/Fm 值，每重複 1 株，10 重複。植株先經過 20 min 之暗期馴化後再進行測量。

(2) 葉片相對水分含量(Relative water content, RWC)

修改自 Mukherjee and Choudhuri (1983)之方法，於處理前、處理 48 小時及恢復 48 小時，取由上往下數第 3 片展開葉，以打孔器避開主脈取直徑 6 mm 葉圓片，每重複 4 片，6 重複，植株切離後立即秤其鮮重，之後使葉圓片浸泡於去離子水中，靜置於室溫黑暗環境 24 hr，將表面水分吸乾，秤重為膨潤重，將葉圓片置於 70°C 烘箱中乾燥 72 小時後秤乾重。相對水分含量計算公式如下：

$$\text{RWC (\%)} = (\text{鮮重} - \text{乾重} / \text{膨潤重} - \text{乾重}) \times 100\%$$

(3) 超氧歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性

SOD 活性分析為依據 Paoletti 等(1986)的方法部分修正，於處理前、處理 24 小時、處理 48 小時、恢復 24 小時，取由上往下數第 3 片展開葉用液態氮研磨至均質粉末，並以 sodium phosphate buffer (50 mM, pH 7.4)依 1:5 (g:mL)比例萃取，於 4°C 以 15,000 g 離心 30 min 後，取 200 μL 上清液於石英管中，再依序加入 1.6 mL Tea-Dea buffer (triethanolamine-diethanolamine, 100 mM, pH7.4)、0.08 mL NADH (7.5 mM)、0.05 mL EDTA/MnCl₂ (100 mM/50 mM, pH 7.0) 及 1 mL 2-mercaptoethanol (10 mM)，混合均勻後，立即以分光光度計(Jasco U-630 Spectrophotometer, Japan)測量波長 340 nm 下 10 分鐘之吸光值變化；以空白石英管做空白組，不含酵素萃取液之 ΔA_{340} 係以 0.2 mL sodium phosphate buffer 代替酵素萃取液。1 Unit 定義為 SOD 抑制 50% NADH 氧化速率為 1 min⁻¹。

SOD activity (Units/g)

$$= \frac{(\text{不含酵素萃取液之}\Delta A_{340}) - (\text{含酵素萃取液之}\Delta A_{340})}{0.5 (\text{不含酵素萃取液之}\Delta A_{340})} \times \text{稀釋倍數} \div \text{時間}(\text{min}) \div \text{鮮重}(\text{g})$$

(4) 過氧化氫酶(catalase, CAT)活性

CAT 活性分析為依據 Kato and Shimizu (1987)的方法作部分修正，於處理前、處理 24 小時、處理 48 小時、恢復 24 小時，取由上往下數第 3 片展開葉，用液態氮研磨至均質粉末，以 sodium phosphate buffer (50 mM, pH 6.8) 依 1:5 (g:mL)比例萃取，於 4°C 以 12,000 g 離心 20 min 後，取 200 μL 上清液加入石英管，並依序加入 2.7 mL sodium phosphate buffer (100 mM, pH 7.0) 及 0.1

mL H₂O₂ 混合均勻後，立即以分光光度計測量波長 240 nm 下之 1 分鐘吸光值變化，空白組以去離子水代替酵素萃取液。酵素反應之速率常數以 40 (K, mM⁻¹cm⁻¹) 計算，1 Unit 定義為每分鐘 1 nmol H₂O₂ 之消耗量。

$$\text{CAT activity (Units/g)} = \Delta A_{240} \div 40 (\text{K, mM}^{-1}\text{cm}^{-1}) \times \text{反應體積} \times \text{稀釋倍數} \div 1 (\text{min}) \div \text{FW (g)}$$

(5) 抗壞血酸過氧化酶(ascorbate peroxidase, APX)活性

APX 活性分析為依據 Nakano and Asada (1981)的方法作部分修正，於處理前、處理 24 小時、處理 48 小時、恢復 24 小時，取由上往下數第 3 片展開葉用液態氮研磨至均質粉末，以 sodium phosphate buffer (50 mM, pH 6.8) 依 1:5 (g : mL) 比例萃取，於 4°C 以 12,000 g 離心 20 min 後，取 200 μL 上清液加入石英管，並依序加入 1 mL potassium phosphate buffer (150 mM, pH 7.0), 1 mL ascorbate (1.5 mM), 0.4 mL EDTA (0.75 mM) 及 0.5 mL H₂O₂ (6 mM) 於混合均勻後，立即以分光光度計測量波長 290 nm 下 1 min 之吸光值變化，空白組以去離子水代替酵素萃取液。酵素反應之速率常數以 2.8 (K, mM⁻¹cm⁻¹) 計算，1 Unit 定義為每分鐘 1 μmol ascorbate 之消耗量。

$$\text{APX activity (Units/g)} = \Delta A_{290} \div 2.8 (\text{K, mM}^{-1}\text{cm}^{-1}) \times \text{反應體積} \times \text{稀釋倍數} \div 1 (\text{min}) \div \text{FW (g)}$$

3.4 統計分析

試驗數據統計採用 SAS 套裝軟體(SAS Institute)中的 PROC ANOVA (analysis of variance procedure)進行變方分析(α=0.05)，以 Fisher's protected LSD 進行平均值比較。

第四章、結果

4.1 花椰菜 58 個品種苗期夏季淹水試驗

2009 年夏季於亞洲蔬菜研究發展中心溫室內培育之 58 個花椰菜品種，其苗期株高生長情形見表 3，苗齡 7 天之植株，株高大於 2 cm 之品種有'鳳山極早生'(40-45)、'農友極早生'(40)、HV-134'農友 324'(75)、CF60 CN'H-42'、'H-46'、'H-50'、'M-45'、'M-48'、'M-60'、'S-55'、CF10'雪玉 65 天'、CF49'耐熱王 45 天'、'NO.5'、'安南早生 3 號'(50)。苗齡 14 天株高大於 3 cm 之品種為'鳳山極早生'(40-45)、'農友極早生'(40)、HV-134'農友 324'(75)、HV-204'鳳玉'(50-55)、'H-46'、'H-50'、'M-45'、'M-48'、'M-60'、CF10'雪玉 65 天'、CF26'豐田 45A'、CF49'耐熱王 45 天'。苗齡 21 天株高大於 4 cm 之品種有'鳳山極早生'(40-45)、'農友極早生'(40)、HV-008'雪華'(45)、HV-134'農友 324'(75)、'H-41'、CF60 CN'H-42'、'H-46'、'H-50'、'M-45'、'M-48'、'S-35'、'S-45'、CF49'耐熱王 45 天'、'NO.5'、'安南早生 3 號'(50)、'35 天特早生白晶花椰菜'、'東夏 40 天'(表 3)。

苗期第二週之莖徑大於 1.5 mm 之品種有 CF72 'H-55'、'M-60'、'S-55'、'S-65'、'S-85'、'S-90'、CF09'雪白 60 天'、CF10'雪玉 65 天'、CF11'冬雪 70 天'、'45 天花椰菜'-2，上述品種皆為生育日數大於 55 天之中、晚生品種(表 4)。


58 品種苗株於夏季溫室內淹水處理對 SPAD 值之影響，淹水 24 小時具顯著差異，品種間於處理 24、48、72 小時呈極顯著差異，品種與淹水處理之交感作用亦達極顯著差異，表示不同品種於淹水處理下之反應表現不一致(表 5)，如淹水處理後 SPAD 值 HV-204'鳳玉'變化不大；'M-46'與'S-90'隨淹水時間增加而 SPAD 值下降；'青莖 50 天 2 號'淹水後 SPAD 值上升，各品種表現均不同(表 6)。

根據葉片下垂情形分為 3 級，葉片無下垂為 1 級、輕微下垂為 2 級，明顯下垂為 3 級，淹水 72 小時後多數品種葉片無下垂，僅 HV-204'鳳玉'、CF60 CN'H-42'、'H-75'、CF07'青莖 50 天 2 號'、CF58'青骨花菜 40 天'、'45 天花椰菜'、'45 天花椰菜'-2、'青骨尖葉正晚生'、'富農極早春 40 天'、'瑞農 10 號'、'瑞農 11 號'、'東夏

40 天'為等級 2，呈現輕微下垂，CF30'雪樺 45 天'、CF31'瑞農 40 天'、'農生 45 天'、'50 天'、'35 天特早生白晶花椰菜'為等級 3，明顯出現葉片下垂之徵狀(表 7)。

4.2 花椰菜夏季淹水產量試驗

4.2.1 花椰菜 58 個品種夏季淹水產量試驗

花椰菜 58 個品種夏季淹水產量試驗結果顯示，'農生 45 天'、'H-61'及'愛玉'之淹水處理組與對照組達顯著差異(圖 2)。'嬌雪'之淹水處理組與對照組皆為所有品種中產量最高者，生育時間大於 65 天之中晚生種與晚生種之產量均低或無花球形成。早生品種通常較具耐熱性，又為了提高試驗操作之精準性，故自生育期 45-50 天、目前仍商業化生產種子之品種中挑選產量較佳之'嬌雪'與'H-46'，以及處理組與對照組產量較具差異性之'雪美 45 天'與'農生 45 天'進行隔年之夏作淹水產量試驗。

4.2.2 花椰菜 5 個品種(系)夏季淹水產量試驗

4.2.2.1. 臺南 4-8 月淹水產量試驗

花椰菜'嬌雪'、'H-46'、'雪美 45 天'、'農生 45 天'及 9104 品系，於 2010 年 5-6 月定植於臺南之試驗田，於淹水處理前、淹水 24 小時、淹水 48 小時、退水 24 小時、退水 48 小時測量葉綠素螢光 Fv/Fm 值，淹水處理與對照組於退水 24 與 48 小時達顯著差異(表 8)，處理組分別為 0.706 與 0.631 顯著低於對照組之 0.836 與 0.841。各品種各處理之 Fv/Fm 值見表 9，退水 24 小時'嬌雪'對照組與處理組之 Fv/Fm 值無顯著差異，其餘品種之處理組 Fv/Fm 值均顯著低於對照組。退水 48 小時各品種處理組之 Fv/Fm 值亦皆比對照組顯著為低。若比較各淹水時間，各品種淹水處理組 Fv/Fm 值均於退水後顯著下降，對照組則變化不顯著(圖 3)。

2010 年 7 月 24 日淹水處理並退水 48 小時結束後，中南部地區即連續降雨一週，導至田間嚴重淹水，已遭受過淹水逆境、植株較為衰弱之處理組全數死亡。對照組受到豪雨淹水後，也處於淹水逆境下，生長受到抑制。採收時調查各品種

之地上部鮮重與花球鮮重。地上部鮮重以'嬌雪' $878\pm 324\text{ g/m}^2$ 顯著最高，'H-46'、'雪美 45 天'、'農生 45 天'與 9104 間無顯著差異，花球鮮重以'嬌雪'與'H-46'顯著較高，分別為 143 ± 84 與 $29\pm 19\text{ g/m}^2$ ，'雪美 45 天'、'農生 45 天'與 9104 間則無顯著差異(表 10)。

4.2.2.2. 臺北 7-10 月淹水產量試驗

花椰菜 '嬌雪'、'H-46'、'雪美 45 天'、'農生 45 天' 及 9104 品系，於 2010 年 7-8 月定植於臺北之試驗田，採收時測量其地上部鮮重與花球鮮重，地上部鮮重於品種間有顯著差異，'嬌雪'最高為 724 g/m^2 ，'雪美 45 天'為 489 g/m^2 次之、'H-46' 142 g/m^2 最低，各品種之地上部鮮重於淹水與不淹水處理間無顯著差異，淹水組之地上部鮮重以'嬌雪' $515\pm 88\text{ g/m}^2$ 最高。花球鮮重於淹水處理、品種間均未達顯著差異，淹水處理組以'雪美 45 天'最高為 $114\pm 81\text{ g/m}^2$ ，'嬌雪' $94\pm 62\text{ g/m}^2$ 次之，'農生 45 天' $2\pm 2\text{ g/m}^2$ 最低(表 11)(表 12)。

4.3 花椰菜 2 個品種苗期高溫淹水試驗

於高溫 $35/30^\circ\text{C}$ 人工氣候室，'嬌雪'經高溫淹水處理 10 天之苗株，其地上部鮮重顯著低於同時間其他三種處理之苗株，其他三種處理彼此間無顯著差異存在；'農生 45 天'苗株於處理第 10 天時亦以高溫淹水者顯著低於其他三種處理，且高溫不淹水處理顯著低於對照組(表 13)。於處理第 15 天，'嬌雪'地上部鮮重於淹水處理者與對照組之間無顯著差異，高溫處理者顯著低於對照組，而以高溫淹水之苗株顯著最低；'農生 45 天'之地上部鮮重於處理第 15 天，各處理間存在顯著差異，由大到小依序為對照組、常溫淹水、高溫不淹水、高溫淹水之苗株。地上部乾重變化之情形與地上部鮮重相似。處理第 15 天之地下部鮮重，'嬌雪'以對照組顯著最高，高溫淹水者顯著最低，高溫不淹水與常溫淹水之間無顯著差異存在(表 14)；'農生 45 天'於處理第 15 天之地下部鮮重，以對照組顯著最高，高溫不淹水與高溫淹水處理間無顯著差異，兩者為顯著最低，高溫不淹水與常溫淹水

者亦無顯著差異存在。'嬌雪'處理第 15 天之地下部乾重情形與其鮮重相同，亦為對照組顯著最高，高溫淹水者顯著最低，高溫不淹水與常溫淹水之間無顯著差異存在；'農生 45 天'處理第 15 天之地下部乾重以對照組顯著最高，其他三種處理彼此間無顯著差異存在。

比較處理第 15 天和第 5 天之參數值，可以了解各處理期間之參數變化。'嬌雪'與'農生 45 天'兩品種於地上部鮮重之變化相同，對照組與淹水處理組於第 15 天地上部鮮重顯著大於第 5 天，高溫處理組於兩時間點無顯著差異，而高溫淹水處理者，第 15 天地上部鮮重顯著小於第 5 天(表 13) (圖 4)。'嬌雪'除高溫淹水處理者之地上部乾重於處理後各時間點均無顯著差異外，其餘三種處理之地上部乾重第 15 日均顯著大於第 5 天。'農生 45 天'之地上部乾重於高溫淹水與高溫處理者，處理後各時間點之地上部鮮重均無顯著差異，對照組與淹水處理第 15 天地上部鮮重均顯著大於第 5 天。兩品種之地下部乾重於各處理下之變化趨勢與地上部乾重相同(圖 5)。

'嬌雪'原生質膜之熱致死溫度為 49.4°C ，比'農生 45 天'之 47.1°C 高(圖 6)，顯示'嬌雪'之原生質膜於高溫下具有較佳之穩定性。於生長箱內進行之苗期高溫淹水試驗中，葉綠素螢光 Fv/Fm 值顯著受到淹水 48 小時處理之影響，'農生 45 天'除了常溫淹水組之綠素螢光 Fv/Fm 值於退水恢復 48 小時後顯著較淹水前下降之外，其餘處理在淹水前、淹水 48 小時及退水 48 小時均無顯著差異(圖 7)。相對水分含量於處理 48 小時顯著受溫度與淹水影響，且兩因子存在交感關係，兩品種之相對水分含量於高溫淹水組於退水恢復 48 小時後都顯著下降(圖 8)。抗氧化酵素 SOD 活性顯著受到淹水 24 小時處理影響，溫度與淹水兩因子存在交感關係，兩品種之 SOD 活性於常溫淹水 24 小時都顯著上升(圖 9)，而於淹水 48 小時後，溫度、淹水與品種因子皆不影響 SOD 活性。CAT 活性於處理 24 小時只受到溫度顯著影響，於處理 48 小時顯著受到溫度、淹水及品種 3 個因子影響，且任兩個因子間皆存在交感關係，'嬌雪'於高溫淹水處理 24 小時後，CAT 活性顯著上升；而'農生 45 天'至處理 48 小時，CAT 活性才顯著上升(圖 10)。APX 活性於

淹水處理 48 小時後，顯著受到溫度與淹水處理影響，且兩因子之間有交互關係，APX 於高溫淹水處理之活性變化情形與 CAT 相似，'嬌雪'於處理 24 小時後 APX 活性顯著上升；而'農生 45 天'至處理 48 小時，APX 活性才顯著上升(圖 11)。



第五章 討論

5.1 花椰菜 58 個品種苗期夏季淹水試驗

花椰菜 58 個品種中，株高在苗齡 7 天大於 2 cm、14 天大於 3 cm 且 21 天大於 4 cm 之品種為'鳳山極早生'(40-45)'、'農友極早生'(40)'、HV-134'農友 324'(75)'、'H-46'、'H-50'、'M-45'、'M-48'及 CF49'耐熱王 45 天'，除 HV-134'農友 324'之橘色花椰菜為定植至採收時間為 75 天外，其餘品種都是生育日數 50 天以內之早生品種，符合一般早生品種具有生育速度較快、所需生長期短之特性(郝，1992)。而莖徑則為中、晚生品種較寬，故中晚生品種苗期之莖幹較早生品種來的短而粗。

淹水使葉綠體構造受損，葉綠素含量隨之減少，造成葉片黃化，以葉綠素濃度作為耐淹水選拔依據，淹水下葉片能維持綠色者為耐淹水性品種(Daugherty and Musgrave, 1994)。於苜蓿(Teutsch and Sulc, 1997)、大豆(倪和李，2000)、甘藷(吳和朱，2003)等作物中發現植株遭受淹水逆境後，葉綠素含量明顯降低，排水後有些植株會有恢復之情形。高溫逆境使葉綠素合成受抑制，ROS 的傷害又加速其降解，故高溫導致葉綠素含量下降(Tewari and Tripathy, 1998)，高溫逆境下水稻劍葉葉綠素含量下降，逆境過後之恢復期稍有回升，且耐熱品系 996 葉綠素含量高於熱敏感品系 4628(張等，2007)，甘藍也有相同情形，甘藍熱敏感品種 YU kinshun 在高溫逆境下，葉綠素受損情形較嚴重(Chauhan and Senboku, 1998)。故不論是高溫或是淹水皆會造成葉綠素含量下降，但本次苗期試驗中，苗期淹水 72 小時後，SPAD 值未顯著下降，葉片也未黃化，僅有少數品種出現葉片下垂之症狀，可能由於亞蔬中心溫室內溫度高於 28°C 時即會開啟風扇降溫，光度大於 90 klux 時會自動開啟遮陰網，導至淹水處理期間最大溫度僅 30°C 左右(附表 2)，造成高溫逆境不夠強烈，於此溫度下淹水處理 72 小時仍不足以有效區隔品種間之差異。

5.2 花椰菜夏季淹水產量試驗

5.2.1 花椰菜 58 個品種夏季淹水產量試驗

花椰菜屬於綠植株春化型作物，春化所需溫度依品種不同而異，研究顯示極早生種花椰菜花芽分化所需之溫度為 22-23°C，早生種為 17-19°C，中、晚生品種則需更低溫度及較長時間才能花芽分化(廖，1993)。本試驗期間之溫度高於中、晚生品種春化所需之溫度，故即使滿足該品種所需之生育日數，仍無花球形成，或花球生成延遲，採收時仍為小花球，產量較低。若依照 Liptay (1981) 高溫 30-40°C 下花球形成能力之分類，則產量較高之極早生品種為不受溫度影響、可在相對高溫下順利形成花球；而中晚生品種為延遲花球形成或不形成花球。

作物對逆境之耐受性為於逆境下仍可維持其生存及經濟產量，高溫或淹水逆境皆會導致作物產量下降，如不耐熱之番茄產量較低(Yin, 2001)，莧菜隨淹水天數增加而產量遞減(楊等，2002)。以田間試驗產量評估品種間高溫淹水耐受性為最直接且可靠的方法，因此選取產量較高之'嬌雪'與'H-46'，其可能具有較佳之高溫淹水耐受性，另選取淹水組與對照組產量差異較大之'雪美 45 天'與'農生 45 天'，作為探討造成產量差異原因之試驗材料。

5.2.2 花椰菜 5 個品種(系)夏作淹水產量試驗

5.2.2.1. 臺南 4-8 月淹水產量試驗

一般植物在逆境時多有葉綠素螢光 Fv/Fm 值下降的情形(Mohanty et al., 1989)。耐熱番茄 Fv/Fm 值於熱處理前後無顯著差異，熱敏感品種 Fv/Fm 值則於熱處理後顯著下降(Camejo et al., 2004)。Smethurst and Shabala (2003)於紫花苜蓿淹水後 15 天後，也可根據葉綠素螢光下降程度之差異，區分不同品種對淹水之耐受性。本試驗各品種之葉綠素螢光 Fv/Fm 值皆於退水後顯著下降，顯示各品種都受到淹水逆境之影響，導致光合作用能力下降。於退水 24 小時，處理組僅'嬌雪'維持較高之 Fv/Fm 值(表 9)，顯示其可維持較佳之光合作用光反應。退水後 48 小時，各品種處理組之 Fv/Fm 值均較淹水前顯著下降，光合作用光反應受到

逆境抑制(圖 3)。

5.2.2.2. 臺北 7-10 月淹水產量試驗

臺北 7-10 月產量試驗由於第 4 區集遮陰嚴重，生育情形較差，加上臺大園藝分場訴求有機栽培，不噴施農藥，本試驗雖以白色紗網覆蓋防蟲，但植株仍受蟲害影響，生長較差。整體而言產量偏低，但'嬌雪'仍表現出較為穩定之生育，具有較佳之地上部鮮重與花球鮮重，而'農生 45 天'於淹水處理之花球鮮重最低。

5.3 花椰菜 2 個品種苗期高溫淹水試驗

'嬌雪'高溫處理組地上部鮮重於第 10 天與對照組無顯著差異，但'農生 45 天'高溫處理組顯著低於對照組，顯示高溫處理 10 天後，'農生 45 天'之地上部生長情形受到高溫抑制，但'嬌雪'無顯著差異。處理第 15 天時，'嬌雪'常溫淹水處理與對照組無顯著差異，顯示於常溫下，'嬌雪'地上部之生長情形較不受到淹水所抑制；而'農生 45 天'於常溫淹水下，地上部鮮重仍顯著較對照組低，對淹水較為敏感。'農生 45 天'於處理第 15 天之地地上部鮮重，淹水處理顯著大於高溫處理，顯示對於'農生 45 天'，高溫逆境比起淹水逆境造成之傷害較大。

'嬌雪'處理第 15 天之地下部鮮重，高溫不淹水處理與常溫淹水處理之間無顯著差異存在，表示此兩種逆境影響'嬌雪'地下部生長之程度相近。'農生 45 天'於處理 15 天之地下部乾重，於高溫不淹水、常溫淹水、高溫淹水三種處理間無顯著差異，不論是單一之高溫或淹水逆境、或高溫並淹水，對'農生 45 天'地下部生長都造成嚴重抑制，顯著下降。以處理時間為基礎，比較各處理間乾重變化，'嬌雪'除高溫淹水處理生長受抑制外，其餘處理第 15 天之地地上部乾重均顯著大於第 5 天時之地地上部乾重，表示仍維持生長狀態，而農生高溫淹水與高溫不淹水組，生長都受到抑制，兩種處理之間於各處理時間點均無顯著差異。若以對照組乾重之生長速率訂為 100%，將各處理組相對於對照組之生長速率比進行計算： $(\text{處理組第 15 天之乾重}-\text{處理前之乾重})/(\text{對照組第 15 天之乾重}-\text{對照組最初之乾重})$ ，則發現不論地上部或地下部於高溫、淹水、及高溫淹水處理下，'嬌雪'之生

長速率比皆大於該處理下'農生 45 天'之生長速率比；高溫淹水下之地上部與地下部生長速率比於'嬌雪'分別為 27%與 9%，'農生 45 天'為 17%與 3%；高溫下'嬌雪'之地上部與地下部生長速率比分別為 58%與 40%，'農生 45 天'為 35%與 23%；淹水下'嬌雪'為 97%與 46%，'農生 45 天'為 68%與 32%。高溫淹水逆境抑制兩品種生長最為嚴重，其次為高溫逆境，而淹水逆境造成之傷害最輕，對'嬌雪'之地上部生長幾乎不構成影響，仍可維持 97%之生長速率。本試驗中高溫淹水抑制生長之情形大於常溫淹水處理，與陳等(2008)之試驗結果相同，黃金白菜於淹水處理下，溫度愈高愈加重淹水處理對植株所產生的傷害，高溫 30/25 °C 之產量顯著低於 25/20 °C 及 20/15 °C，可能是因為淹水逆境增加水分進入根部之阻力，使植株根部不易吸水，但是地上部卻因高溫而持續進行蒸散作用，造成水分供需不平衡，植株生長受抑制(高，1988)。孟等(2000)研究不同耐熱性黃瓜品種對高溫逆境之生理反應，結果顯示黃瓜於 38°C 下高溫處理 60-72 小時之胚根長度可作為黃瓜耐熱性之指標。本試驗也有相同結果，於高溫生長下 15 天之地下部乾重，'嬌雪'顯著大於'農生 45 天'，也可表現出'嬌雪'具有較佳之耐熱能力。

熱致死溫度或熱致死時間皆可量化細胞膜之熱穩定性，作為耐熱指標，也可分辨不同物種或品種間的耐熱性，較高的熱致死溫度或熱致死時間表示植株具有較佳的耐熱性(Yeh and Lin,2003)。春夏定植之菊花品種，其熱致死溫度為 48.6-53.1°C，比秋冬定植品種之熱致死溫度 44.8-46.4 °C 高出許多，顯示適合於春夏季節較高溫度下栽培之品種，具有較高之熱致死溫度(Wang et al., 2008)。本試驗中'嬌雪'原生質膜之熱致死溫度為 49.4°C，比'農生 45 天'之 47.1°C 高(圖 10)，顯示'嬌雪'之原生質膜於高溫下具有較佳之穩定性，此與'嬌雪'於夏季淹水處理下具有較高產量相互呼應。

'農生 45 天'常溫淹水處理於退水後 48 小時之葉綠素螢光 Fv/Fm 值較淹水前顯著下降，葉綠素螢光 Fv/Fm 值下降是由於 Fo 上升或 Fm 下降所致，Fo 上升表示激發光能進入反應中心的速率降低，或是有部分天線葉綠素(chlorophyll antenna)與反應中心分離(Pastenes and Horton, 1996)，而 Fm 下降，主要和 PS II 之

電子傳遞減緩有關(Aro et al., 1993)，使得 PS II 反應中心失活，光合作用光反應效率下降，顯示'農生 45 天'之光合作用光反應受到淹水逆境所傷害，而'嬌雪'於各處理之葉綠素螢光 Fv/Fm 值，於處理 48 小時及退水 48 小時皆與淹水前無顯著差異，顯示高溫淹水、高溫不淹水與常溫淹水處理 48 小時不影響'嬌雪'苗期之光合作用光反應。兩品種葉片之相對水分含量於高溫淹水組在退水恢復 48 小時後都顯著下降，顯示兩品種都受到高溫淹水逆境影響。淹水造成土壤缺氧，植物根部有氧呼吸受到抑制，改行無氧呼吸路徑，大幅降低 ATP 生成量，ATP 為植物主動吸水所需，故根部吸水能力下降(朱，1993)，加上於較高之環境溫度下，蒸散作用有助於植株散熱，故於高溫淹水逆境中葉片之相對水分含量顯著下降，可能是因為蒸散作用持續進行，根部吸水又不足，兩者加成影響所導致。葉綠素螢光 Fv/Fm 值與相對水分含量表現情形如同田間試驗之葉綠素螢光 Fv/Fm 值，皆於退水後才顯著下降，可能是由於植物遭受逆境到造成傷害需要一段時間，如根部細胞進行無氧呼吸產生之乙醛、乙醇及乳酸等有毒物質，累積在植物細胞內造成細胞構造受到破壞，進而導致細胞死亡(朱，1993; 彭，2006)，根部受損後大量降低水分及養份的吸收，更劇烈影響植株其它生理生化反應，包括氣孔關閉、蒸散作用與光合作用能力下降、ATP 產出量低、蛋白質合成受抑制、葉片累積澱粉與光合產物之運移受阻，導致生長發育不良等。整體而言，葉綠素螢光 Fv/Fm 值與葉片相對水分含量於各種處理下之變化不明顯，可能是逆境處理程度不夠強烈或是處理時間不夠長，再者生長箱之栽培環境不如田間嚴峻，於生長箱栽培使用之介質相對乾淨，且光照較弱，使得這些測量參數於處理下差異不顯著。

抗氧化酵素 SOD 活性於淹水處理 24 小時後，顯著受到淹水處理影響，且溫度與淹水兩因子之間存在交感關係，CAT 與 APX 活性於逆境處理 48 小時後，顯著受到溫度與淹水處理影響，且兩因子也存在交感關係，得知抗氧化酵素 SOD、CAT 與 APX 活性皆顯著受到溫度與淹水兩因子影響，且高溫與淹水處理之間有交感關係，相互影響抗氧化酵素活性改變。'嬌雪'於高溫淹水處理 24 小時後，CAT 與 APX 活性顯著上升；而'農生 45 天'至處理 48 小時 CAT 與 APX 活性

才顯著上升，顯示'嬌雪'較早提升其抗氧化酵素活性以清除活性氧，減輕活性氧造成之傷害。此結果與 Lin 等(2010)將青花菜經高溫逆境後，較耐熱的品種 CAT 活性較早上升之結果相同，'欣樺 1208'比起'優秀'為較耐熱之青花菜品種，兩品種於高溫 40°C 處理下之 CAT 活性，'欣樺 1208'於處理後 6 小時顯著較對照組(25°C)上升，而較不耐熱之'優秀'於處理後 24 小時才顯著上升，且與花椰菜同種而不同變種之青花菜，經高溫處理後，CAT 與 APX 活性會顯著上升，而 SOD 活性於高溫處理下不同耐受性之基因型間無明顯區別。與花椰菜同為十字花科芸薹屬之結球白菜於高溫 35°C 或 40°C 處理下，耐熱品種葉片 APX 活性皆顯著高於不耐熱品種，以 40°C 處理 72 小時，較耐熱品種'桃園亞蔬二號'之 APX 活性甚至高於不耐熱品種'瑞農 720'之 10 倍(Lin et al., 2010)。顯示芸薹屬作物多有提高抗氧化酵素 CAT 與 APX 活性去除活性氧以抵禦高溫及淹水逆境。



第六章 結論

本研究依據夏季淹水產量試驗，篩選產量最高之'嬌雪'為耐高溫淹水品種，產量最低之'農生 45 天'為不耐高溫淹水品種，進一步探討兩品種於高溫淹水逆境下之生理差異。結果顯示'嬌雪'苗期之原生質膜於高溫下具有較佳之穩定性、高溫和/或淹水逆境下具有較佳之生長能力、高溫淹水逆境下抗氧化酵素 CAT 與 APX 活性比'農生 45 天'較快上升之情形。夏季淹水試驗產量高與低的兩品種，其苗期之細胞膜熱穩定性、及高溫淹水逆境下之生長速率比、CAT 與 APX 活性皆顯著表現出相對應的優劣性，或可做為高溫淹水耐受性之篩選指標。



參考文獻

1. 王炘. 1957. 臺灣之西瓜與花椰菜. 蔬菜研討會專題講演集專刊第七號. 國立臺灣大學農學院印行. p. 83-89.
2. 行政院農業委員會. 2008. 花椰菜. p. 60. 刊於：行政院農業委員會編著. 97年農業統計年報. 行政院農業委員會編印. 臺北.
3. 行政院農業委員會. 2008. 農業災害-農作物被害狀況-花椰菜. p253. 刊於：行政院農業委員會編著. 農業統計年報 97年. 行政院農業委員會編印. 臺北.
4. 朱德民. 1993. 植物與淹水逆境. p. 65-86. 刊於：國立編譯館主編. 植物與環境逆境. 國立編譯館出版. 臺北.
5. 李伯年. 1982. 花菜. p. 68-77. 刊於：國立編譯館主編. 蔬菜育種與採種. 茂昌圖書有限公司. 臺北.
6. 沈再發. 1986. 十字花科蔬菜生產問題及研究方向. 蔬菜研究及生產改進研討會專刊. 臺灣省政府農林廳 中國園藝學會聯合編印. p. 86-97.
7. 吳昌祐、朱德民. 2003. 淹水逆境對甘藷植株生理反應之探討Ⅲ. 供源葉片光合作用及光合作用產物代謝之變化. 中華農藝 13:39-58.
8. 孟煥文、張彥峰、程智慧、蘇菁、崔鴻文. 2000. 黃瓜幼苗對熱脅迫的生理反應及耐熱鑒定指標篩選. 西北農業學報 9:96-99.
9. 林楨祐、羅惠齡、王三太、黃雅穗、洪桂煜、許秀惠、陳甘澍. 2010. 花椰菜種原觀摩會暨花椰菜義大利種原觀摩會紀實. 臺灣之種苗 111:5-9.
10. 倪君蒂、李振國. 2000. 淹水對大豆生長的影響. 大豆科學 19:42-48.
11. 姚銘輝、盧虎生、朱鈞. 2002. 葉綠素螢光與作物生理反應. 科學農業 50:31-41.
12. 郁宗雄. 1992. 臺灣早生花椰菜的栽培要點. 刊於：農友種苗股份有限公司編輯. 郁宗雄先生著作選集第二集. 郁維強、郁維珍刊印. 高雄.

13. 苗琛、利容千、王建波. 1994. 甘藍熱脅迫葉片細胞的超微結構研究. 植物學報 36:730-732.
14. 高景輝. 1988. 淹水與植物發育. 科學農業社編印. 臺北.
15. 高景輝. 2002. 淹水逆境. 中華農藝學報 12:185~198.
16. 陳甘澍、林照能. 2005. 花椰菜. p. 445-450. 刊於：臺灣農家要覽增修訂三版策劃委員會編著. 臺灣農家要覽 農作篇(二). 財團法人豐年社. 臺北.
17. 陳亮懌、蔡秀隆、鄭延景. 2008. 不同溫度下淹水對小白菜產量與品質的影響. 臺灣農學會報 9:446-459.
18. 陳添來. 1995. 花菜類栽培現況與展望. 臺灣蔬菜產業改進研討會專輯. 臺中區農業改良場編印. p. 167-176.
19. 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.
20. 曹幸之、羅筱鳳. 2001. 花菜類. p. 127-134. 蔬菜(II). 復文書局. 臺南.
21. 張桂蓮、陳立雲、張順堂、劉國華、唐丈邦、賀治洲、王明. 2007. 抽穗開花期高溫對水稻劍葉理化特性的影響. 中國農業科學 40:1345-1352.
22. 張連宗. 1998. 臺灣十字花科蔬菜品種改良. 十字花科蔬菜產業發展研討會專刊. 桃園區農業改良場編印. p. 35-53.
23. 楊純明、張芳銘、陳榮坤、李裕娟、沈百奎. 2002. 淹水對莧菜生長及植體水分含量之影響. 中華農業氣象 9:49-54.
24. 彭德昌. 2006. 颱風災後宿根性蔬菜肥培管理之研究. 花蓮區農業改良場研究彙報 24:39-43.
25. 廖公益. 1993. 臺灣之花椰菜. 臺灣蔬菜演進四十年專刊. 農業試驗所出版. p. 202-211.
26. 蔣永正、蔣慕琰. 2004. 植物抗氧化系統與除草劑之氧化性毒害. 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所專題報導. 行政院農委會農業藥物毒物試驗所編印. p. 72:1-12.

27. 謝明憲、王仁晃、林棟樑、王仕賢. 2002. 花椰菜生理障礙. 農業世界 224:97-99.
28. Ahmed, S., E. Nawata, M. Hosokawa, Y. Domae, and T. Sakuratani. 2002. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging. *Plant Sci.* 163:117-123.
29. Allakhverdiev, S.I., V.D. Kreslavski, V.V. Klimov, D.A. Los, R. Carpentier, and P. Mohanty. 2008. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosyn. Res.* 98:541-550.
30. Almeselmani, M., P.S. Deshmukh, R.K. Sairam, S.R. Kushwaha, and T.P. Singh. 2006. Protective role of antioxidant enzymes under high temperature stress. *Plant Sci.* 171:382-388.
31. Alscher, R.G., N. Erturk, and L.S. Heath. 2002. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *J. Expt. Bot.* 53:1331-1341.
32. Anderson, J., G. McCollum, and W. Roberts. 1990. High temperature acclimation in pepper leaves. *HortScience* 25:1272-1274.
33. Apel, K. and H. Hirt. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55:373-399.
34. Armstrong, W. 1979. Aeration in higher plants. *Adv. Botanical Res.* 7:225-232.
35. Jackson, M.B. and M.C. Drew. 1984. Effect of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants, p. 47-128. In: T.T. Kozlowski (ed.). *Flooding and Plant Growth*. Academic Press Inc., New York.
36. Aro, E.M., I. Virgin, and B. Andersson. 1993. Photoinhibition of photosystem II. Inactivation, protein damage and turnover. *Biochimica et Biophysica Acta* 1143:113-134.
37. Asada, K. 1992. Ascorbate peroxidase - a hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. *Physiol. Plant.* 85:235-241.

38. Ashraf, M. and H. Rehman. 1999. Interactive effects of nitrate and long-term waterlogging on growth, water relations, and gaseous exchange properties of maize (*Zea mays* L.). *Plant Sci.* 144:35-43.
39. Barrett-Lennard, E.G. 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: causes, consequences and implications. *Plant Soil* 253: 35-54.
40. Beckman, T.G., R.L. Perry, and J.A. Flore. 1992. Short-term flooding affects gas exchange characteristics of containerized sour cherry trees. *HortScience* 27:1297-1301.
41. Berry, J. and O. Björkman. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31:491–543.
42. Booij, R. 1987. Environment factors in curd initiation and curd growth of cauliflower in the field. *Neth. J. Agr. Sci.* 35:435-445.
43. Camejo, D., P. Rodríguez, M.A. Morales, J.M. Dell'Amico, A. Torrecillas, and J.J. Alarcón. 2005. High temperature effects on photosynthesis of two tomato cultivars with different heat susceptibility. *J. Plant Physiol.* 162:281-289.
44. Castonguay, Y., P. Nadeau, and R.R. Simard. 1993. Effects of flooding on carbohydrate and ABA levels in roots and shoots of alfalfa. *Plant Cell Environ.* 16:695-702.
45. Chauhan, Y.S. and T. Senboku. 1996. Thermostabilities of cell-membrane and photosynthesis in cabbage cultivars differing in heat tolerance. *Plant Physiol.* 149: 729-734.
46. Chen, H.H., Z.Y. Shen, and P.H. Li. 1982. Adaptability of crop plants to high temperature stress. *Crop Sci.* 22:719-725.
47. Daugherty, C.J. and M.E. Musgrave. 1994. Characterization of populations of rapid-cycling *Brassica rapa* L. selected for differential waterlogging tolerance. *J. Expt. Bot.* 45:385-392.

48. Dixon G.R. 2007. Origins and diversity of *Brassica* and its relatives, p. 1-33. In: G.R. Dixon (ed.). Vegetable brassicas and related crucifers. CAB International, London.
49. Drew, M.C. 1992. Soil aeration and plant root metabolism. *Soil Sci.* 154: 259-268.
50. FAOSTAT. 2009. Food and Agriculture Commodities Production: Cauliflowers and Broccoli. Italy. 03 Feb. 2011. < <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> >.
51. Franck, F., P. Juneau, and R. Popovi. 2002. Resolution of the Photosystem I and Photosystem II contributions to chlorophyll fluorescence of intact leaves at room temperature. *Biochimica et Biophysica Acta* 1556:239-246.
52. Fujime, Y. and N. Okuda. 1996. The physiology of flowering in *Brassicas*, especially about cauliflower and broccoli. *Acta Hort.* 407:247-254.
53. Grevsen, K., J.E. Olesen, and B. Veierskov. 2003. The effect of temperature and plant developmental stage on the occurrence of the curd quality defects “bracting” and “riciness” in cauliflower. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 78:638-646.
54. Boem, F.H.G, R.S. Lavado, and C.A. Porcelli. 1996. Note on the effects of winter and spring waterlogging on growth, chemical composition and yield of rapeseed. *Field Crops Res.* 47:175-179.
55. Han, X., R. Li, and J. Wang. 1997. Cellular structural comparison between different thermo-resistant cultivars of *Raphanus sativus* L. under heat stress. *J. Wuhan Bot. Res.* 15:173-178.
56. Havaux, M., F. Tardy, J. Rayenel, D. Chanu, and P. Parot. 1996. Thylakoid membrane stability to heat stress by flash spectroscopic measurements of the electrochromic shift in intact potato leaves: Influence of the xanthophyll content. *Plant Cell Environ.* 19:1359-1368.

57. Hopkins, W.G. and N.P.A. Hüner. 2004. The dual role of sunlight: energy and information, p. 45-61. In: K. Witman and V.A. Vargas (eds.). *Plant Physiology*. John Wiley and Sons, New York.
58. Hsu, F.H., J.B. Lin and S.R. Chang. 2000. Effect of waterlogging on seed germination, electric conductivity of seed leakage and developments of hypocotyls and radicle in sudangrass. *Botanical Bul. Academia Sinica* 41: 267-273.
59. Huang, B., J.W. Johnson, S. Nesmith, and D.C. Bridges. 1994. Growth, physiological and anatomical responses of two wheat genotypes to waterlogging and nutrient supply. *J. Expt. Bot.* 45:193-202.
60. Inaba M. and P.G. Crandall. 1988. Electrolyte leakage as an indicator of high-temperature injury to harvested mature green tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:96-99.
61. Ingram, D.L. 1985. Modeling high temperature and exposure time interaction on *Pittosporum tobira* root cell membrane thermostability. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110:470-473.
62. Ingram, D.L. and D.W. Bunchanan. 1984. Lethal high temperature for root of three citrus rootstocks. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109:189-193.
63. Kage, H., M. Kochler, and H. Stüzel. 2004. Root growth and dry matter partition of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. *European J. Agron.* 20:379-394.
64. Kato, M. and S. Shimizu. 1987. Chlorophyll metabolism in higher plants. V II. Chlorophyll degradation in senescing tobacco leaves; phenolic-dependent peroxidative degradation. *Can. J. Bot.* 65:729-735.

65. Kautsky, H. and A. Hirsch. 1934. Chlorophyll fluoreszenz und Kohlensäureassimilation I. Das Fluoreszenzverhalten grüner Pflanzen Biochem. Zeitschrift 274:423-434.
66. Kozlowski, T.T. 1984. Plant responses to flooding of soil. BioScience 34: 162–166.
67. Krause, G.H. and E. Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 42:313–349.
68. Kumutha D., K. Ezhilmathi, R.K. Sairam, G.C. Srivastava, P.S. Eshmukh, and R.C. Meena. 2009. Waterlogging induced oxidative stress and antioxidant activity in pigeonpea genotypes. Biologia Plant. 53:75-84.
69. Lester, G.E. 1985. Leaf cell membrane thermostabilities of *Cucumis melo*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110:506-509.
70. Lin, K.H., H.C. Huang, and C.Y. Lin. 2010. Cloning, expression and physiological analysis of broccoli catalase gene and Chinese cabbage ascorbate peroxidase gene under heat stress. Plant Cell Rpt. 29:575-593.
71. Liptay, A. 1981. Cauliflower: Curd initiation and timing of production in a high-temperature. Acta Hort. 122:47-52.
72. Lu, C.M. and J.H. Zhang. 1999. Heat-induced multiple effects on PS II in wheat plants. J. Plant Physiol. 156:259-265.
73. Madhavi, D.L. and S.P. Ghosh. 1998. Cauliflower, p. 323-336. In: D.K. Salunkhe and S.S. Kadam (eds.). Handbook of vegetable science and technology production, composition, storage, and processing. Marcel Dekker Inc. N.Y.
74. Marcum, K.B. 1998. Cell membrane thermostability and whole plant heat tolerance of Kentucky bluegrass. Crop Sci. 38:1214-1218.

75. Martineau, J.R., J.E. Specht, J.H. Williams, and C.Y. Sullivan. 1979. Temperature tolerance in soybeans. I. Evaluation of a technique for assessing cellular membrane thermostability. *Crop Sci.* 19:75-78.
76. Maxwell, K. and G.M. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical gride. *J. Expt. Bot.* 51:659-668.
77. Ming G., S.N. Chen, Y.Q. Song, and Z.G. Li. 1997. Effect of calcium and calmodulin on intrinsic heat tolerance in relation to antioxidant systems in maize seedlings. *Australian J. Plant Physiol.* 24:371-379.
78. Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7:405-410.
79. Mohanty, N., J. Vass, and S. Demeter. 1989. Impairment of photosystem II activity at the level of secondary quinone electron acceptor in chloroplasts treated with cobalt, nickel and zinc ions. *Physiol. Plant.* 76:386-390.
80. McNamara, S.T. and C.A. Mitchell. 1989. Differential flood stress resistance of two tomato genotypes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114:976-980.
81. Mukherjee, S.P. and M.A. Choudhuri. 1983. Implications of water stress-induced changes in the level of endogenous ascorbic acid and hydrogen peroxide in *Vigna* seedlings. *Physiol. Plant.* 58:166-170.
82. NaKano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol.* 22:867-880.
83. Noctor, G. and C.H. Foyer. 1998. A scorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:249-279.
84. Nowbuth, R.D. and S. Pearson. 1998. The effect of temperature and shade on curd initiation in temperate and tropical cauliflower. *Acta Hort.* 459:79-87.

85. 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.
86. Pastenes, C. and P. Horton. 1996. Effect of high temperature on photosynthesis in beans (I. oxygen evolution and chlorophyll fluorescence). *Amer. Soc. Plant Biologists* 112:1245-1251.
87. Pezeshki, S.R. 1993. Differences in patterns of photosynthetic responses to hypoxia in flood-tolerance and flood-sensitive trees species. *Photosynthetica* 28:423-430.
88. Rahman, H.U., P. Hadley, S. Pearson, and M.D. Dennett. 2007. Effect of incident radiation integral on cauliflower growth and development after curd initiation. *Plant Growth Regulat.* 51:41-52.
89. Raison, J.K., J.A. Berry, P.A. Armond, and C.S. Pike. 1980. Membrane properties in relation to the adaptation of plants to high and low temperature stress, p. 261-273. In: N.C. Turner and P.J. Kramer (eds.). *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. Wiley-Interscience, New York.
90. Reynolds, M.P., R.P. Singh, A. Ibrahim, O.A. Ageeb, A. Larque-Saaverdra, and J.S. Quick. 1998. Evaluation physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments. *Euphytica* 100:85-94.
91. Rivero, R.M., J.M. Ruiz, E. Sa´nchez, and L. Romero. 2003. Does grafting provide tomato plants an advantage against H₂O₂ production under conditions of thermal shock? *Physiol. Plant.* 117:44-50.
92. Saadalla, M.M., J.S. Quick, and J.F. Shanahan. 1990. Heat tolerance in winter wheat II. Membrane thermostability and field performance. *Crop Sci.* 30:1248-1251.

93. Sangeeta, A. and A. Grover. 2006. Molecular Biology, biotechnology and genomics of flooding-associated low O₂ stress response in plants. *Critical Rev. Plant Sci.* 25:1-21.
94. Scandalios, J.G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Physiol.* 107:7-12.
95. Semenova, G.A. 2004. Structural reorganization of thylakoid systems in response to heat treatment. *Photosynthetica* 42:521-527.
96. Smethurst, C.F. and S. Shabala. 2003. Screening methods for waterlogging tolerance in lucerne: comparative analysis of waterlogging effects on chlorophyll fluorescence, photosynthesis, biomass and chlorophyll content. *Functional Plant Biol.* 30:335-343.
97. Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. Photosynthesis: the light reactions, p. 125-158. In: L. Taiz, and E. Zeiger. (eds.). *Plant Physiology*. Sinauer associates, Inc. U.S.A.
98. Teutsch, C.D. and R.M. Sulc. 1997. Influence of seeding growth stage on flooding injury in alfalfa. *Agron. J.* 89:970-975.
99. Tewari, A.K. and B.C. Tripathy. 1998. Temperature-stress-induced impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat. *Amer. Soc. Plant Physiologists* 117:851-858.
100. Thomas, D.S. and D.W. Turner. 2001. Banana (*Musa sp.*) leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in response to soil drought, shading and lamina folding. *Scientia Hort.* 90:93-108.
101. Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf, and M.R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environ. Expt. Bot.* 61:199-223.
102. Wang, C.H., D.M. Yeh, and C.S. Sheu. 2008. Heat tolerance and flowering-heat-delay sensitivity in relation to cell membrane thermostability in chrysanthemum. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 133:754-759.

103. Wien, H.C. and D.C.E. Wurr. 1997. Cauliflower, broccoli, cabbage and brussels sprouts, p. 511-552. In: H.C. Wien (ed.). The physiology of vegetable crops. CAB international, London.
104. Wu, M.T. and S.J. Wallner. 1993. Heat stress response in cultured plant cells: development and comparison of viability tests. *Plant Physiol.* 72:817-820.
105. Xu, Y., Z. He, Y. Song, Z. Du, and D. Yin. 1993. Waterlogging damage of soybean and variety resistance. *Soybean Genetics Nwsl.* 20:48-55.
106. Yamada, M., T. Hidaka, and H. Fukamachi. 1996. Heat tolerance in leaves of tropical fruit crops as measured by chlorophyll fluorescence. *Scientia Hort.* 67:39-48.
107. Yamane, Y., T. Shikanai, H. Koike, and K. Satoh. 2000. Reduction of QA in the dark: another cause of fluorescence F_0 increases by high temperatures in higher plants. *Photosyn. Res.* 63:23-34.
108. Yeh, D.M. and H.F. Lin. 2003. Thermostability of cell membranes as a measure of heat tolerance and relationship to flowering delay in chrysanthemum. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128:656-660.
109. Yin, X.G., Q.X. Luo, W.Q. Wang, Y. Zhang, G.H. Pan, Q.F. Yang, and S.L. Yin. 2001. Studies on method for identification of heat tolerance of tomato. *Southwest China J. Agr. Sci.* 14:62-65.
110. Yin H., Q. Chen, and M. Yi. 2008. Effects of short-term heat stress on oxidative damage and responses of antioxidant system in *Lilium longiflorum*. *Plant Growth Regul.* 54:45-54.
111. Zhou, W. and X. Lin. 1995. Effects of waterlogging at different growth stages on physiological characteristics and yield of winter rape (*Brassica napus* L.). *Field Crops Res.* 44:103-110.

表 1. 花椰菜田間栽培試驗時程表(臺南)(2010)

Table 1. Time scheme of field yield trail of cauliflower (Tainan)(2010).

Days from planting to harvest	Dates			
	Sowing	Planting	Waterlogging	Harvest
70 days	4/13	5/13		
50 days	5/3	6/2	7/20	8/30
45 days	5/8	6/7		
40 days	5/13	6/12		

表 2. 花椰菜田間栽培試驗時程表(臺北)(2010)

Table 2. Time scheme of field yield trail of cauliflower (Taipei)(2010).

Days from planting to harvest	Dates			
	Sowing	Planting	Waterlogging	Harvest
50 days	6/28	7/26		
45 days	7/3	7/30	9/8	10/30
40 days	7/7	8/3		

表 3. 花椰菜 58 個品種苗期之株高

Table 3. The plant heights of seedlings of 58 cauliflower cultivars.

Cultivars	Plant height (cm)		
	7 days ^x	14 days	21 days
'農友極早生' (40) ^y	2.05	3.07	4.22
'鳳山極早生' (40-45)	2.33	3.12	4.22
HV-O79'和成' (42)	1.62	2.55	3.50
HV-OO8'雪華' (45)	1.25	1.82	4.00
'嬌雪' (50)	1.92	2.80	3.42
HV-204'鳳玉' (50-55)	1.87	3.20	4.08
HV-178'愛玉' (60-65)	1.55	2.50	3.48
'麗雪' (65)	1.93	2.93	3.50
HV-OO9'雪姬' (75)	1.63	2.68	3.53
HV-134'農友 324'(75)	2.13	3.18	4.82
CF70 CN'H-37'	1.68	2.33	2.67
'H-41'	1.77	2.90	4.02
CF60 CN'H-42'	2.20	2.85	4.20
'H-46'	2.45	3.25	4.60
'H-50'	2.28	3.42	4.60
CF72CN 'H-55'	1.98	2.67	3.45
'H-61'	1.07	1.77	2.43
'H-69'	0.92	1.52	2.00
'H-71'	1.88	2.42	3.33
'H-75'	1.12	2.03	3.53
'M-45'	2.58	3.78	5.00
'M-48'	2.75	3.47	4.07
'M-60'	2.48	3.17	3.87
'M-70'	1.45	2.12	3.00
'S-35'	1.03	2.20	4.15
'S-45'	0.98	2.28	4.33
'S-55'	2.00	2.67	3.50
'S-65'	1.33	2.03	2.63
'S-85'	1.67	2.27	2.57
'S-90'	1.60	2.17	2.50
'東夏 40 天'	1.48	2.78	4.75
CF31'瑞農 40 天'	0.92	1.60	2.50
CF30'雪樺 45 天'	1.28	1.90	2.93
CF02'雪瑞 45 天'	1.48	2.02	2.92

CF29'夏欣 50 天'	1.58	2.38	3.00
CF10'雪玉 65 天'	2.22	3.02	3.38
CF11'冬雪 70 天'	1.32	1.92	2.63
'瑞農 10 號'	1.47	2.35	3.67
'瑞農 11 號'	1.08	1.63	2.80
CF26'豐田 45A'	1.82	3.10	3.28
CF57'豐田耐熱松花菜'	1.77	2.50	3.33
CF58'青骨花菜 40 天'	1.32	2.12	3.05
CF49'耐熱王 45 天'	2.40	3.13	4.00
CF07'青莖 50 天 2 號'	1.68	2.33	2.67
CF09'雪白 60 天'	1.70	2.38	3.00
'安南極早生'	1.35	2.08	3.00
'安南早生 3 號' (50)	2.08	2.90	4.35
'35 天特早生白晶花椰菜'	1.45	2.17	4.70
'富農極早春 40 天'	1.43	2.50	3.40
'45 天花椰菜'	1.32	2.30	3.28
'45 天花椰菜'-2	1.30	1.82	2.67
'農生 45 天'	1.45	2.13	3.00
'50 天'	1.62	2.73	3.48
'青骨尖葉正晚生'	0.98	1.63	3.25
'晚生花椰菜'	1.12	2.12	3.52
'80 天'	1.17	2.05	3.18
'NO.5'	2.00	2.97	4.17
'6-1 號'	1.30	2.25	3.50

x: Days after sowing (2009/07/02) in the greenhouse of Asian Vegetable Research and Development Center.

y: Number in the parentheses indicates days required from planting to harvest.

表 4. 花椰菜 58 個品種 14 天苗之莖徑

Table 4. The stem diameters of 14-day-old seedlings of 58 cauliflower cultivars.

Cultivar	Diameter (mm)	Cultivar	Diameter (mm)	Cultivar	Diameter (mm)
'農友極早生'	1.36 ^x	'M-45'	1.46	CF57'豐田耐熱松花菜'	1.39
'鳳山極早生'	1.37	'M-48'	1.19	CF58'青骨花菜 40 天'	1.25
HV-O79'和成'	1.30	'M-60'	1.65	CF49'耐熱王 45 天'	1.24
HV-OO8'雪華'	1.15	'M-70'	1.38	CF07'青莖 50 天 2 號'	1.15
'嬌雪'	1.40	'S-35'	1.05	CF09'雪白 60 天'	2.03
HV-204'鳳玉'	1.34	'S-45'	1.14	'安南早生 3 號'	1.32
HV-178'愛玉'	1.46	'S-55'	1.51	'安南極早生'	1.13
'麗雪'	1.38	'S-65'	1.78	'35 天特早生白晶花椰菜'	1.26
HV-OO9'雪姬'	1.43	'S-85'	1.78	'富農極早春 40 天'	1.34
HV-134'農友 324'	1.23	'S-90'	1.69	'45 天花椰菜'	1.37
CF70 CN'H-37'	1.15	'東夏 40 天'	1.29	'45 天花椰菜'-2	1.64
'H-41'	1.25	CF31'瑞農 40 天'	0.96	'農生 45 天'	1.38
CF60 CN'H-42'	1.36	CF30'雪樺 45 天'	1.01	'50 天'	1.34
'H-46'	1.30	CF02'雪瑞 45 天'	1.07	'青骨尖葉正晚生'	1.39
'H-50'	1.28	CF29'夏欣 50 天'	1.18	'晚生花椰菜'	1.30
CF72CN 'H-55'	1.63	CF10'雪玉 65 天'	1.73	'80 天'	1.29
'H-61'	1.40	CF11'冬雪 70 天'	1.51	NO.5	1.12
'H-69'	1.26	'瑞農 10 號'	1.23	'6-1 號'	1.33
'H-71'	1.45	'瑞農 11 號'	1.13		
'H-75'	1.37	CF26'豐田 45A'	1.17		

x: sown on 2009/07/02, measured on 2009/07/16 in Asian Vegetable Research and Development Center greenhouse.

表 5. 花椰菜 58 個品種 26 天苗於夏季溫室內淹水 24、48 及 72 小時 SPAD 值之變方分析

Table 5. The analysis of variance of SPAD of 26-day-old seedlings for 58 cauliflower cultivars under waterlogging for 24, 48, and 72 hours in greenhouse in summer.

Source of variance	DF	Mean square		
		W24	W48	W72
Waterlogging (W)	1	11.44*	4.15	1.04
Cultivar (C)	57	47.87**	47.82**	45.64**
W×C	57	4.83**	4.68**	6.48**
Error	232	2.01	1.96	1.80
Total	347			

*, **: Significant at 5% and 1% levels, respectively.

Sown on 2009/07/02, treated on 2009/07/28 with waterlogging 24 (W24), 48 (W48), and 72 (W72) hours in Asian Vegetable Research and Development Center greenhouse.



表 6. 花椰菜 58 個品種 26 天苗於夏季溫室內淹水 24、48 及 72 小時之葉綠素計 SPAD 值

Table 6. The chlorophyll meter SPAD value of 26-day-old seedlings of 58 cauliflower cultivars under waterlogging for 24, 48, and 72 hours in greenhouse in summer.

Cultivar	Treatment	SPAD		
		W24	W48	W72
'農友極早生' (40)	CK ^y	32.27±0.29 ^{xz}	31.50±0.21	31.20±0.15
	W	32.43±0.39	31.33±0.43	31.67±0.22
'鳳山極早生' (40-45)	CK	32.17±0.49	31.97±0.49	30.70±0.30
	W	31.20±0.10	30.27±0.19	30.90±0.26
HV-O79'和成' (42)	CK	36.10±0.31	33.93±1.56	33.40±0.75
	W	35.30±0.49	34.47±0.09	34.97±0.45
HV-OO8'雪華' (45)	CK	33.57±0.50	35.23±0.58	35.17±0.43
	W	35.33±0.50	34.77±0.33	36.17±1.53
'嬌雪' (50)	CK	35.20±0.55	35.13±1.97	34.53±1.12
	W	34.60±0.06	34.10±0.15	33.53±0.12
HV-204'鳳玉' (50-55)	CK	33.87±0.78	33.83±0.50	33.77±0.30
	W	34.77±0.44	33.00±0.44	32.50±0.30
HV-178'愛玉' (60-65)	CK	34.63±0.17	39.57±0.44	36.73±1.42
	W	34.43±0.35	35.63±0.62	35.30±0.76
'麗雪' (65)	CK	35.50±0.53	34.17±1.33	33.47±0.69
	W	34.13±0.27	33.13±0.20	32.57±0.38
HV-OO9'雪姬' (75)	CK	37.27±0.50	31.97±1.17	30.63±1.58
	W	33.13±0.64	34.17±0.41	33.10±0.15
HV-134'農友 324' (75)	CK	39.37±0.07	37.30±1.54	39.27±0.58
	W	37.47±0.17	39.03±0.12	38.03±0.12
CF70 CN'H-37'	CK	35.83±0.61	34.53±0.73	35.20±0.62
	W	33.87±0.55	32.80±0.62	31.70±0.38
'H-41'	CK	33.13±1.37	30.63±0.99	30.63±1.33
	W	31.13±0.58	31.50±0.42	31.40±0.67
CF60 CN'H-42'	CK	33.20±1.26	34.00±1.15	28.20±1.28
	W	35.60±0.31	33.00±0.40	34.17±0.28
'H-46'	CK	36.13±0.93	37.17±1.01	34.67±1.04
	W	36.23±0.72	36.10±0.45	35.40±0.70
'H-50'	CK	32.60±1.34	32.80±0.51	33.87±1.16
	W	33.40±0.64	36.10±0.10	34.23±0.38
CF72 CN'H-55'	CK	36.17±0.32	36.77±1.35	34.80±2.25
	W	34.47±0.15	35.40±0.78	33.90±0.20

'H-61'	CK	35.77±1.03	36.17±1.82	33.87±1.05
	W	35.70±0.78	37.77±0.39	36.13±0.61
'H-69'	CK	35.70±1.62	31.07±0.49	31.93±1.28
	W	34.60±0.46	33.87±0.73	32.63±0.38
'H-71'	CK	37.57±0.48	37.63±0.77	36.63±0.15
	W	38.03±0.38	38.67±1.04	38.27±0.98
'H-75'	CK	43.73±0.84	43.13±1.53	42.87±1.77
	W	44.30±0.12	41.93±0.48	42.50±0.32
'M-45'	CK	30.20±0.25	30.67±0.34	32.60±0.53
	W	31.03±0.84	31.83±0.38	31.07±0.98
'M-48'	CK	29.03±0.74	28.23±0.45	27.63±0.71
	W	31.27±0.55	29.30±0.31	30.03±0.73
'M-60'	CK	35.10±0.95	33.50±0.64	32.77±0.19
	W	35.10±0.06	33.43±0.07	32.57±0.58
'M-70'	CK	33.40±0.65	36.20±1.58	33.93±0.63
	W	31.97±0.61	34.77±0.49	32.27±0.18
'S-35'	CK	31.97±0.69	33.83±0.93	31.80±0.70
	W	34.17±0.35	33.60±0.12	33.27±0.88
'S-45'	CK	31.83±0.20	34.07±0.41	34.67±0.37
	W	33.10±0.12	33.73±0.44	32.87±0.32
'S-55'	CK	36.57±0.24	34.77±0.77	35.53±0.18
	W	34.70±0.17	34.93±0.62	34.20±0.23
'S-65'	CK	39.70±0.15	39.40±0.60	36.97±0.12
	W	34.73±0.32	34.50±0.75	34.33±0.88
'S-85'	CK	37.97±0.52	37.70±0.72	37.67±0.09
	W	35.60±0.45	36.13±0.43	35.23±0.19
'S-90'	CK	40.60±0.75	39.73±1.13	36.77±0.58
	W	40.00±0.42	39.03±0.28	37.53±0.19
'東夏 40 天'	CK	34.43±0.38	36.57±1.03	36.20±0.36
	W	34.60±0.20	33.73±0.22	33.33±0.48
CF31'瑞農 40 天'	CK	33.60±0.36	33.70±0.95	32.57±0.88
	W	32.03±1.14	32.67±0.26	33.90±0.12
CF30'雪樺 45 天'	CK	28.17±0.52	30.00±1.87	29.10±0.49
	W	31.40±0.26	32.23±0.03	29.63±1.13
CF02'雪瑞 45 天'	CK	27.07±0.95	31.30±0.72	30.30±0.91
	W	30.77±1.41	32.73±0.38	31.10±1.45
CF29'夏欣 50 天'	CK	36.47±1.39	38.90±0.40	37.57±0.44
	W	35.50±0.67	36.33±0.77	35.70±0.30

CF10'雪玉 65 天'	CK	36.70±0.95	35.90±0.46	34.50±0.58
	W	35.10±0.32	35.00±0.36	34.67±0.64
CF11'冬雪 70 天'	CK	35.57±0.69	32.70±1.10	34.27±1.09
	W	32.90±0.92	33.27±0.47	32.37±0.20
'瑞農 10 號'	CK	33.40±0.25	32.00±0.45	33.17±1.13
	W	32.63±0.20	32.70±0.15	33.20±0.10
'瑞農 11 號'	CK	38.60±0.71	39.63±1.99	39.67±1.50
	W	37.57±0.67	35.60±0.26	37.80±0.47
CF26'豐田 45A'	CK	28.80±0.10	27.17±0.28	27.17±0.41
	W	28.63±0.09	27.97±0.32	27.77±0.32
CF57'豐田耐熱松花菜'	CK	33.60±0.25	32.67±0.66	35.33±1.6
	W	33.57±0.22	32.77±0.09	34.17±0.47
CF58'青骨花菜 40 天'	CK	33.97±1.43	35.80±2.81	39.37±1.46
	W	35.23±0.07	34.50±0.23	34.70±0.35
CF49'耐熱王 45 天'	CK	31.90±1.64	32.13±0.15	31.70±0.75
	W	31.33±0.61	33.33±0.57	32.30±0.62
CF07'青莖 50 天 2 號'	CK	33.30±0.70	32.77±1.65	34.66±0.47
	W	29.87±1.52	34.17±0.20	33.13±0.15
CF09'雪白 60 天'	CK	38.13±2.08	40.37±1.03	38.80±0.59
	W	35.37±0.46	36.47±0.18	35.70±0.50
'安南極早生'	CK	33.93±0.52	34.57±0.74	35.27±0.48
	W	32.77±0.12	33.67±0.44	32.37±0.32
'安南早生 3 號' (50)	CK	33.50±1.04	32.90±0.45	33.70±1.30
	W	31.70±0.44	31.70±0.36	31.57±0.33
'35 天特早生白晶花椰菜'	CK	33.27±0.27	33.03±0.20	33.47±0.38
	W	34.57±0.86	32.87±0.48	32.00±0.31
'富農極早春 40 天'	CK	32.23±0.95	33.63±0.55	30.43±0.64
	W	36.03±1.80	35.40±0.86	36.80±0.12
'45 天花椰菜'	CK	31.37±1.04	31.63±0.19	31.20±0.70
	W	31.23±1.63	32.47±0.95	32.73±0.55
'45 天花椰菜'-2	CK	29.83±0.89	32.93±1.02	33.40±0.31
	W	31.70±0.59	32.43±0.58	33.63±1.18
'農生 45 天'	CK	35.80±2.06	31.73±0.44	31.77±0.19
	W	34.97±0.81	34.40±0.66	32.73±0.47
'50 天'	CK	33.80±1.45	35.00±1.07	35.53±0.72
	W	33.17±0.95	34.87±0.23	35.10±0.42
'青骨尖葉正晚生'	CK	38.30±1.04	36.97±1.42	36.27±0.93
	W	37.30±1.61	39.90±0.72	40.57±1.84

'晚生花椰菜'	CK	41.00±1.21	42.43±0.95	41.13±0.52
	W	40.67±1.50	42.07±0.64	40.67±1.29
'80 天'	CK	34.73±0.80	34.13±0.15	33.43±0.50
	W	36.80±0.85	34.53±0.44	35.17±0.23
'NO.5'	CK	33.70±0.23	34.10±0.46	32.13±0.09
	W	31.73±0.52	32.20±0.50	31.20±1.03
'6-1 號'	CK	34.73±0.63	35.10±0.21	33.70±0.50
	W	34.07±1.70	35.43±0.24	34.83±0.30

x: Sown on 2009/07/02, treated on 2009/07/28 with waterlogging 24 (W24), 48 (W48), and 72 (W72)

hours in Asian Vegetable Research and Development Center greenhouse.

y: CK represents control and W represents waterlogging treatment

z: Mean ± standard error (S.E.).



表 7. 花椰菜 58 個品種 26 天苗於夏季溫室內淹水 72 小時之垂葉情形

Table 7. The wilting grades of 26-day-old seedlings of 58 cauliflower cultivars under waterlogging for 72 hours in greenhouse in summer.

Cultivar	Grade	Cultivar	Grade	Cultivar	Grade
'農友極早生'	1 ^{xy}	'M-45'	1	CF57'豐田耐熱松花菜'	1
'鳳山極早生'	1	'M-48'	1	CF58'青骨花菜 40 天'	2
HV-O79'和成'	1	'M-60'	1	CF49'耐熱王 45 天'	1
HV-008'雪華'	1	'M-70'	1	CF07'青莖 50 天 2 號'	2
'嬌雪'	1	'S-35'	1	CF09'雪白 60 天'	1
HV-204'鳳玉'	2	'S-45'	1	'安南極早生'	1
HV-178'愛玉'	1	'S-55'	1	'安南早生 3 號'	1
'麗雪'	1	'S-65'	1	'35 天特早生白晶花椰菜'	3
HV-009'雪姬'	1	'S-85'	1	'富農極早春 40 天'	2
HV-134'農友 324'	1	'S-90'	1	'45 天花椰菜'	2
CF70 CN'H-37'	1	'東夏 40 天'	2	'45 天花椰菜'-2	2
'H-41'	1	CF31'瑞農 40 天'	3	'農生 45 天'	3
CF60 CN'H-42'	2	CF30'雪樺 45 天'	3	'50 天'	3
'H-46'	1	CF02'雪瑞 45 天'	1	'青骨尖葉正晚生'	2
'H-50'	1	CF29'夏欣 50 天'	1	'晚生花椰菜'	1
CF72 'CNH-55'	1	CF10'雪玉 65 天'	1	'80 天'	1
'H-61'	1	CF11'冬雪 70 天'	1	'NO.5'	1
'H-69'	1	'瑞農 10 號'	2	'6-1 號'	1
'H-71'	1	'瑞農 11 號'	2		
'H-75'	2	CF26'豐田 45A'	1		

x: Sown on 2009/07/02, 2009/07/28 treated waterlogging 72 hours in Asian Vegetable Research and Development Center greenhouse.

y: 1 represents wilting; 2 represents slight wilting; 3 represents obvious wilting.

表 8. 花椰菜 5 個品種(系)淹水處理之葉綠素螢光 Fv/Fm 變方分析

Table 8. The analysis of variance of chlorophyll fluorescence Fv/Fm of 5 cauliflower cultivars (line) under waterlogging.

Source of variance	DF	Mean square				
		BW ^x	W24	W48	R24	R48
Block (B)	3	0.00010496*	0.00005024*	0.00345792*	0.00814253*	0.02070464 **
Waterlogging (W)	1	8.1E-8	0.00002161	0.01852442	0.16770250 *	0.44070605*
B×W	3	0.00003244	0.00000832	0.00343026*	0.00886744*	0.02373629**
Cultivar (C)	4	0.00004303	0.00002600	0.00084592	0.00469620	0.00514960
W×C	4	0.00002181	0.00002355	0.00086430	0.00500567	0.00340871
Error	24	0.00002368	0.00001503	0.00097858	0.00222723	0.00305695

*, **: Significant at 5% and 1% levels, respectively.

x: 2010/07/20 treated waterlogging 24 (W24) and 48 (W48) hours and then recovery 24 (R24) and 48 (R48) in Tainan field

BW means before waterlogging

表 9. 花椰菜 5 個品種(系)於淹水處理之葉綠素螢光 Fv/Fm 值

Table 9. The chlorophyll fluorescence Fv/Fm of waterlogged 5 cauliflower cultivars (line).

Cultivar	Treatment	Fv/Fm				
		BW ^x	W24	W48	R24	R48
'嬌雪'	CK ^z	0.829±0.002 ab B ^y	0.840±0.003 ab A	0.835±0.003 ab AB	0.836±0.003 a AB	0.842±0.004 a A
'Charming Snow'	W	0.831±0.002 ab AB	0.837±0.002 b A	0.803±0.015 abc AB	0.758±0.008 ab B	0.627±0.053 bc C
'H-46'	CK	0.832±0.005 ab B	0.839±0.002 ab AB	0.837±0.003 ab AB	0.836±0.002 a AB	0.843±0.004 a A
	W	0.833±0.002 ab A	0.843±0.001 ab A	0.806±0.012 abc A	0.627±0.075 c B	0.636±0.068 bc B
'雪美 45 天'	CK	0.830±0.002 ab A	0.838±0.001 ab A	0.836±0.002 ab A	0.832±0.004 a A	0.839±0.006 a A
'Snow Beauty 45 days'	W	0.827±0.002 b A	0.837±0.001 b A	0.766±0.041 c A	0.722±0.028 b A	0.602±0.072 bc B
'農生 45 天'	CK	0.832±0.003 ab B	0.842±0.003 ab A	0.840±0.003 a AB	0.841±0.003 a A	0.847±0.002 a A
'Nong-sheng 45 days'	W	0.835±0.003 ab A	0.842±0.002 ab A	0.817±0.005 abc A	0.698±0.031 bc B	0.705±0.040 b B
9104	CK	0.836±0.002 a A	0.844±0.001 a A	0.844±0.003 a A	0.833±0.002 a A	0.834±0.010 a A
	W	0.831±0.003 ab A	0.838±0.003 ab A	0.784±0.039 bc AB	0.726±0.035 b B	0.585±0.053 c C

x: 2010/07/20 treated waterlogging 24 (W24) and 48 (W48) hours and then recovery 24 (R24) and 48 (R48) hours in Tainan field. BW represents before waterlogging.

y: Mean ± standard error (S.E.). Means within a column (in small letter) and within a row (in capital letter) followed by the same letter(s) are not significantly different at $p < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

z: CK represents control and W represents waterlogging treatment.

表 10. 花椰菜 5 個品種(系)夏季淹水試驗之地上部鮮重與花球鮮重(臺南)

Table 10. The shoot and curd fresh weights of 5 cauliflower cultivars (line) in summer waterlogging yield trail (Tainan).

Cultivar	Treatment	Shoot fresh weight (g/m ²)	Curd fresh weight (g/m ²)
'嬌雪'	CK ^x	878±324 ^y	143±84 a ^z
'Charming Snow'	W	-	-
'H-46'	CK	277±110	29±19 ab
	W	-	-
'雪美 45 天'	CK	202±69	20±20 b
'Snow Beauty 45 days'	W	-	-
'農生 45 天'	CK	253±127	8±7 b
'Nong-sheng 45 days'	W	-	-
9104	CK	281±133	21±12 b
	W	-	-

x: CK represents control and W represents waterlogging treatment.

y: Mean ± standard error (S.E.).

z: Means with same letters are not significantly different at $p < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

Growth period 2010/04-2010/08

-: missing data

表 11. 花椰菜 5 個品種(系)淹水地上部鮮重與花球鮮重之變方分析

Table 11. The analysis of variance of shoot and curd fresh weights of 5 waterlogged cauliflower cultivars (line).

Source of variance	DF	Mean square	
		Shoot fresh weight (g/m ²)	Curd fresh weight (g/m ²)
Block (B)	3	207912.82	22017
Waterlogging (W)	1	394211.57	31130
B×W	3	262507.26*	20016
Cultivar (C)	4	404294.94**	29708
W×C	4	79187.76	5252
Error	24	71998.82	12410

*, **: Significant at 5% and 1% levels, respectively.

2010/09/08 treated waterlogging in Taipei field.

表 12. 花椰菜 5 個品種(系)夏季淹水試驗之地上部鮮重與花球鮮重(臺北)

Table 12. The shoot and curd fresh weights of 5 cauliflower cultivars (line) in summer waterlogging yield trail (Taipei).

Cultivar	Treatment	Shoot fresh weight (g/m ²)	Curd fresh weight (g/m ²)
'嬌雪'	CK ^x	934±329 ^y	209±122 ^z
'Charming Snow'	W	515±88	94±62
'H-46'	CK	193±90	54±30
	W	93±62	13±11
'雪美 45 天'	CK	645±112	193±61
'Snow Beauty 45 days'	W	333±211	114±81
'農生 45 天'	CK	376±208	69±60
'Nong-sheng 45 days'	W	122±73	2±2
9104	CK	338±65	48±26
	W	429±155	71±31

x: CK represents control and W represents waterlogging treatment.

y: Mean ± standard error (S.E.).

z: Means with same letters are not significantly different at $p < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

Growth period 2010/04-2010/08

-: missing data

表 13. 花椰菜'嬌雪'及'農生 45 天'逆境處理下之地上部鮮重與乾重

Table 13. The shoot fresh and dry weights of 'Charming Snow' and 'Nong-sheng 45 days' cauliflower under stresses.

Cultivar	Treatment	Shoot							
		Fresh weight (g)				Dry weight (g)			
		0 day	5 ^y days	10 days	15 days	0 day	5 days	10 days	15 days
'嬌雪' 'Charming Snow'	CK	1.75 a C ^x	2.22 b C	3.45 a B	5.15 a A	0.135 a C	0.223 a C	0.377 a B	0.633 a A
	W	1.70 a C	2.85 a B	3.26 a B	4.72 a A	0.122 a C	0.270 a B	0.332 ab B	0.605 a A
	H	1.70 a B	2.89 a A	3.05 a A	2.97 b A	0.126 a D	0.268 a C	0.354 a B	0.413 b A
	HW	1.73 a B	2.65 ab A	1.87 b B	1.86 c B	0.124 a B	0.236 a A	0.240 b A	0.257 c A
'農生 45 天' 'Nong-sheng 45 days'	CK	1.56 a C	2.50 a C	4.22 a B	5.79 a A	0.111 a C	0.214 a C	0.440 a B	0.755 a A
	W	1.50 a C	2.92 a B	3.61 ab AB	4.14 b A	0.104 a C	0.252 a B	0.390 a B	0.543 b A
	H	1.51 a B	3.18 a A	2.66 b A	2.39 c A	0.104 a B	0.309 a A	0.328 ab A	0.330 c A
	HW	1.41 a B	2.15 a A	1.57 c AB	1.37 d B	0.097 a B	0.237 a A	0.255 b A	0.206 c A

CK: control (25/20°C); W: 25/20°C with waterlogging; H: 35/30°C; HW: 35/30°C with waterlogging.

^x Mean ± standard error (S.E.). Means within a column (in small letter) and within a row (in capital letter) followed by same letter(s) are not significantly different at $p < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

^y: Sown on 2010/04/01 in phytotron of Nation Taiwan University under 25/20°C for 20 days, treatment from 04/20 for 5, 10, 15 days.

表 14. 花椰菜'嬌雪'及'農生 45 天'逆境處理下之地下部鮮重與乾重

Table 14. The root fresh and dry weights of 'Charming Snow' and 'Nong-sheng 45 days' cauliflower under stresses.

Cultivar	Treatment	Root							
		Fresh weight (mg)				Dry weight (mg)			
		0 day	5 ^y days	10 days	15 days	0 day	5 days	10 days	15 days
'嬌雪'	CK	83 a C ^x	174 a B	453 a A	533 a A	9 a D	27 a C	50 a B	66 a A
'Charming Snow'	W	97 a C	96 b C	167 bc B	307 b A	11 a C	14 bc BC	20 bc B	37 b A
	H	92 a B	81 b B	211 b A	230 b A	11 a C	19 b B	31 b A	34 b A
	HW	93 a A	50 b A	83 c A	123 c A	10 a A	9 c A	9 c A	15 c A
'農生 45 天'	CK	51 a B	135 a B	395 a A	546 a A	6 a C	19 a C	38 a B	66 a A
'Nong-sheng 45 days'	W	54 a B	76 ab B	86 b B	220 b A	6 a B	11 b B	12 b B	25 b A
	H	55 a B	114 ab AB	98 b AB	128 bc AB	6 a B	14 ab AB	20 b A	20 b A
	HW	48 a A	59 b A	73 b A	55 c A	6 a A	11 b A	11 b A	8 b A

CK: control (25/20°C); W: 25/20°C with waterlogging; H: 35/30°C; HW: 35/30°C with waterlogging.

^x Mean ± standard error (S.E.). Means within a column (in small letter) and within a row (in capital letter) followed by same letter(s) are not significantly different at $p < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

^y: Sown on 2010/04/01 in phytotron of Nation Taiwan University under 25/20°C for 20 days, treatment from 04/20 for 5, 10, 15 days.

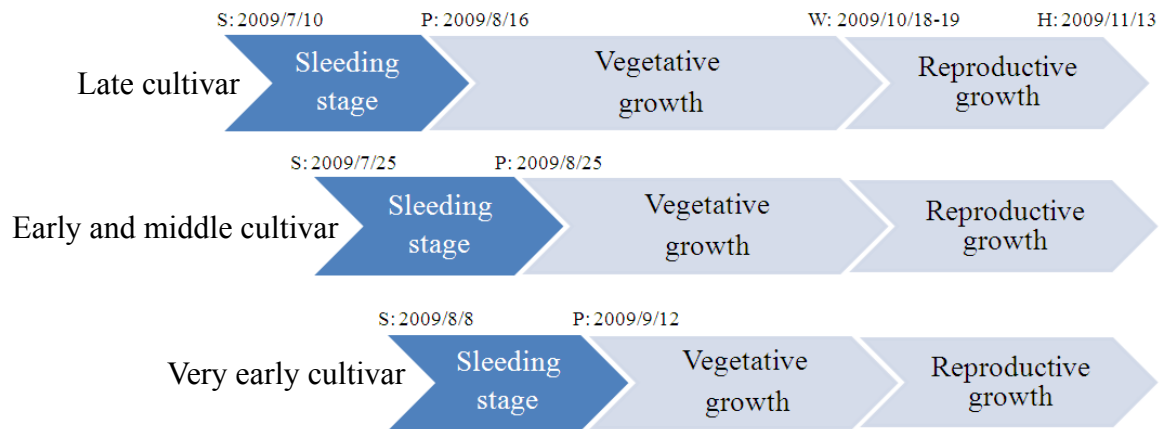


圖 1. 雲林花椰菜田間栽培試驗時程圖(2009)

Fig. 1. Time scheme of cauliflower field trail in Yunlin (2009).

(): Number in the parentheses indicates the days from planting to harvest.

S: sowing date, P: planting date, W: waterlogging date, H: harvest date.



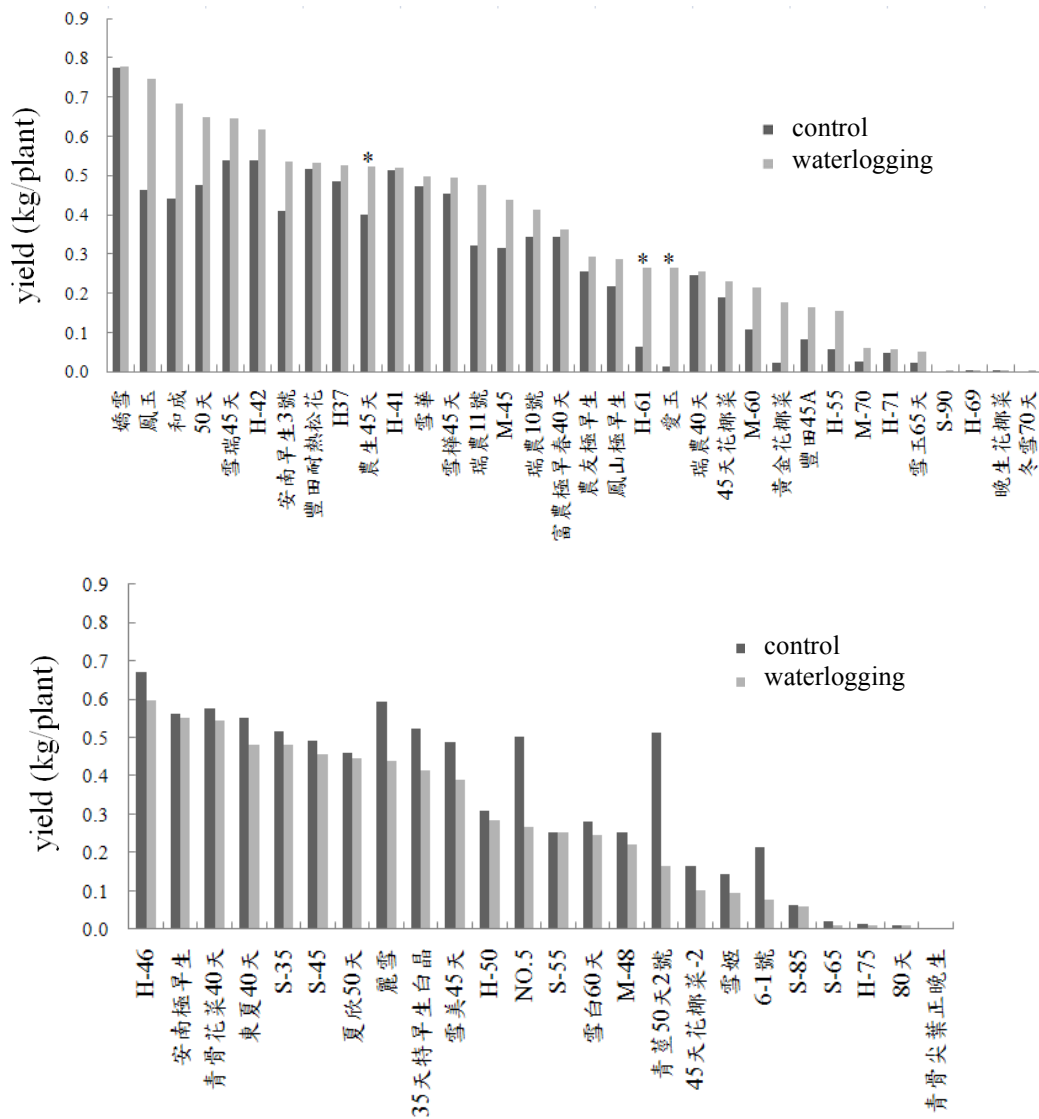


圖 2. 花椰菜 58 個品種夏作淹水產量

Fig. 2. The yields of 58 cauliflower cultivars in waterlogging trail in summer.

*Significant at 5% level.

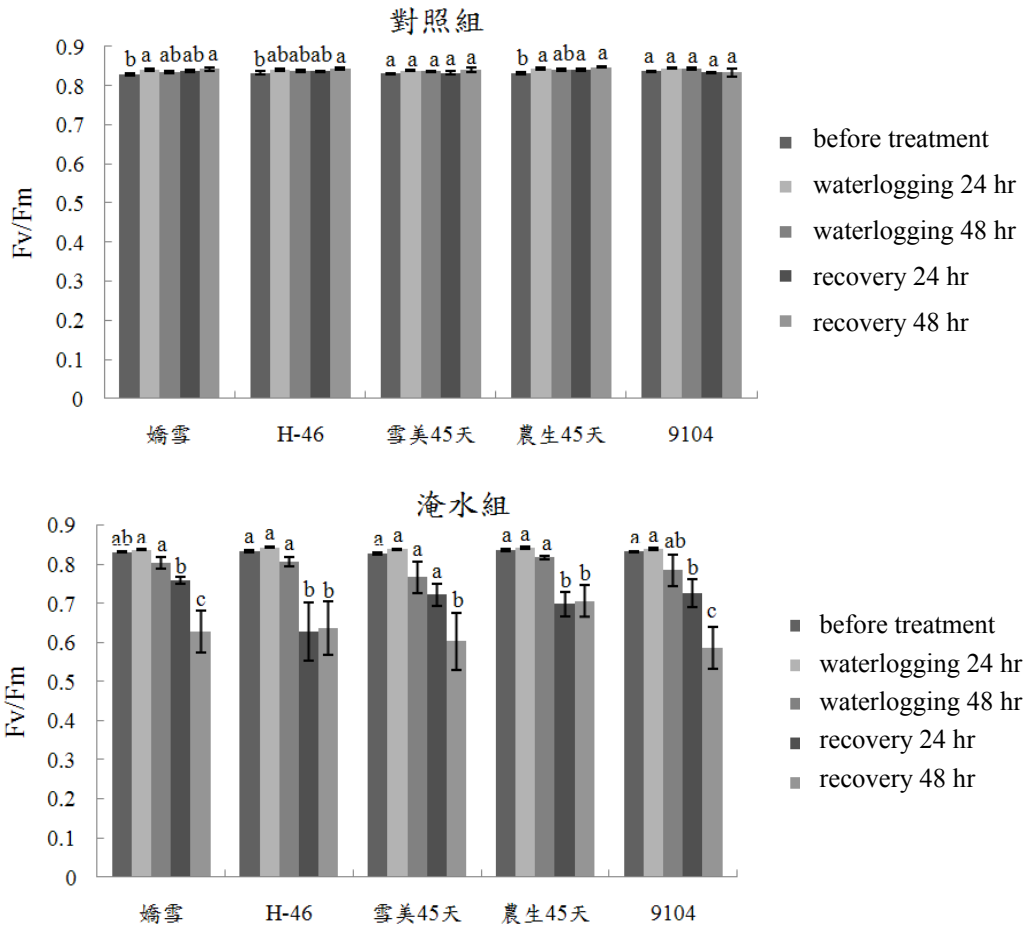


圖 3. 花椰菜 5 品種(系)夏季淹水試驗之葉綠素螢光 Fv/Fm 值

Fig. 3. The chlorophyll fluorescence Fv/Fm of 5 cauliflower cultivars (line) in waterlogging trail in summer.

Error bar is the standard error of mean.

Means with same letters are not significantly different at $p < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

Planting on 2010/6/2- 6/12. 7/20 treated waterlogging 24 and 48 hours and then recovery 24 and 48 in Tainan field.

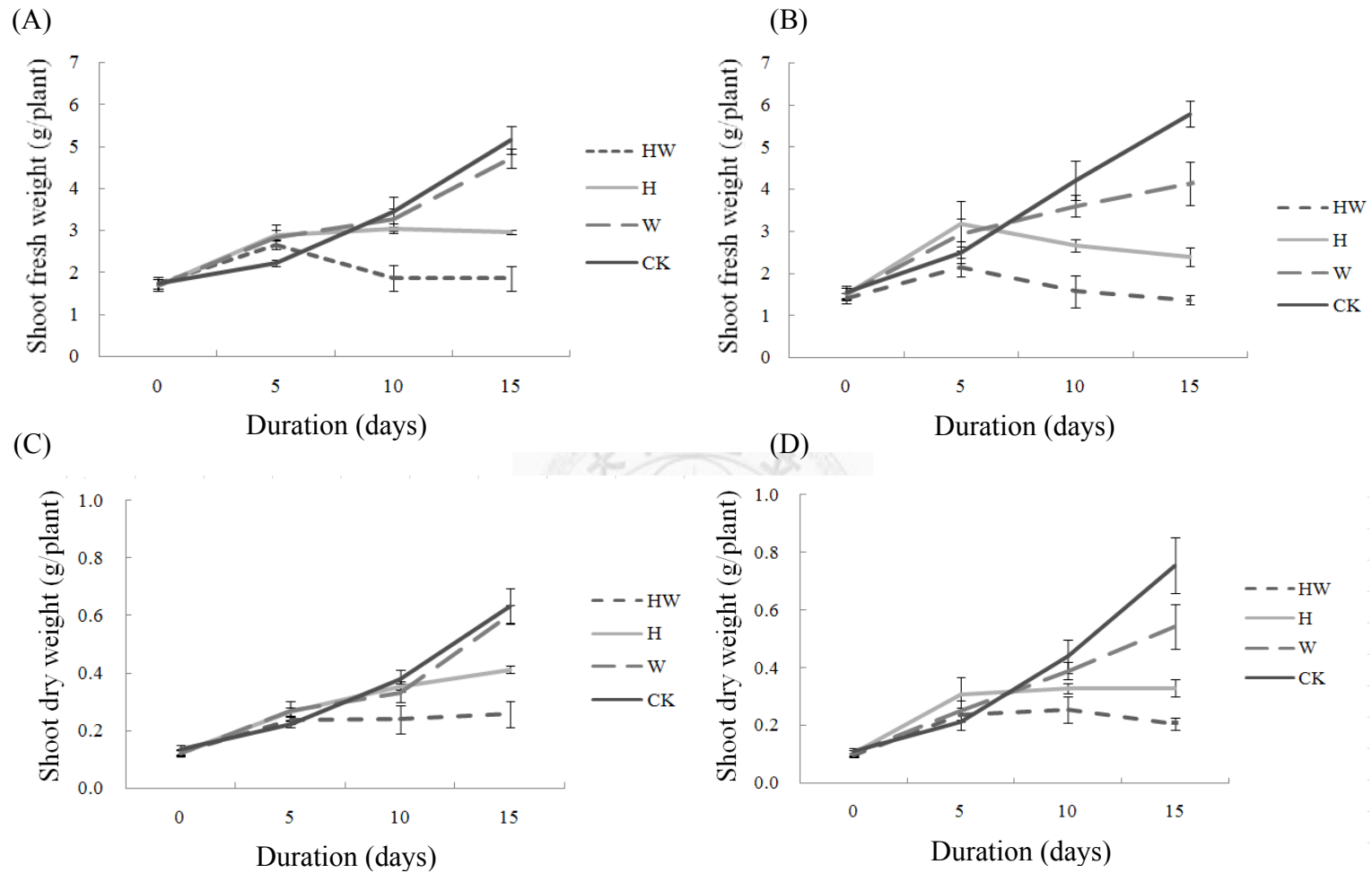


圖 4. 花椰菜'嬌雪'及'農生 45 天' 20 天苗株於逆境處理下之地上部鮮重(A)及(B)與地上部乾重(C)及(D)

Fig. 4. The shoot fresh weight (A) (B) and shoot dry weight (C) (D) of 20 day-seedlings of 'Charming Snow' and 'Nong-sheng 45 days' cauliflower under stresses. Error bar is the standard error of mean. CK: control (25/20°C); HW: high temperature 35/30°C with waterlogging; H: high temperature 35/30°C; W: 25/20°C with waterlogging.

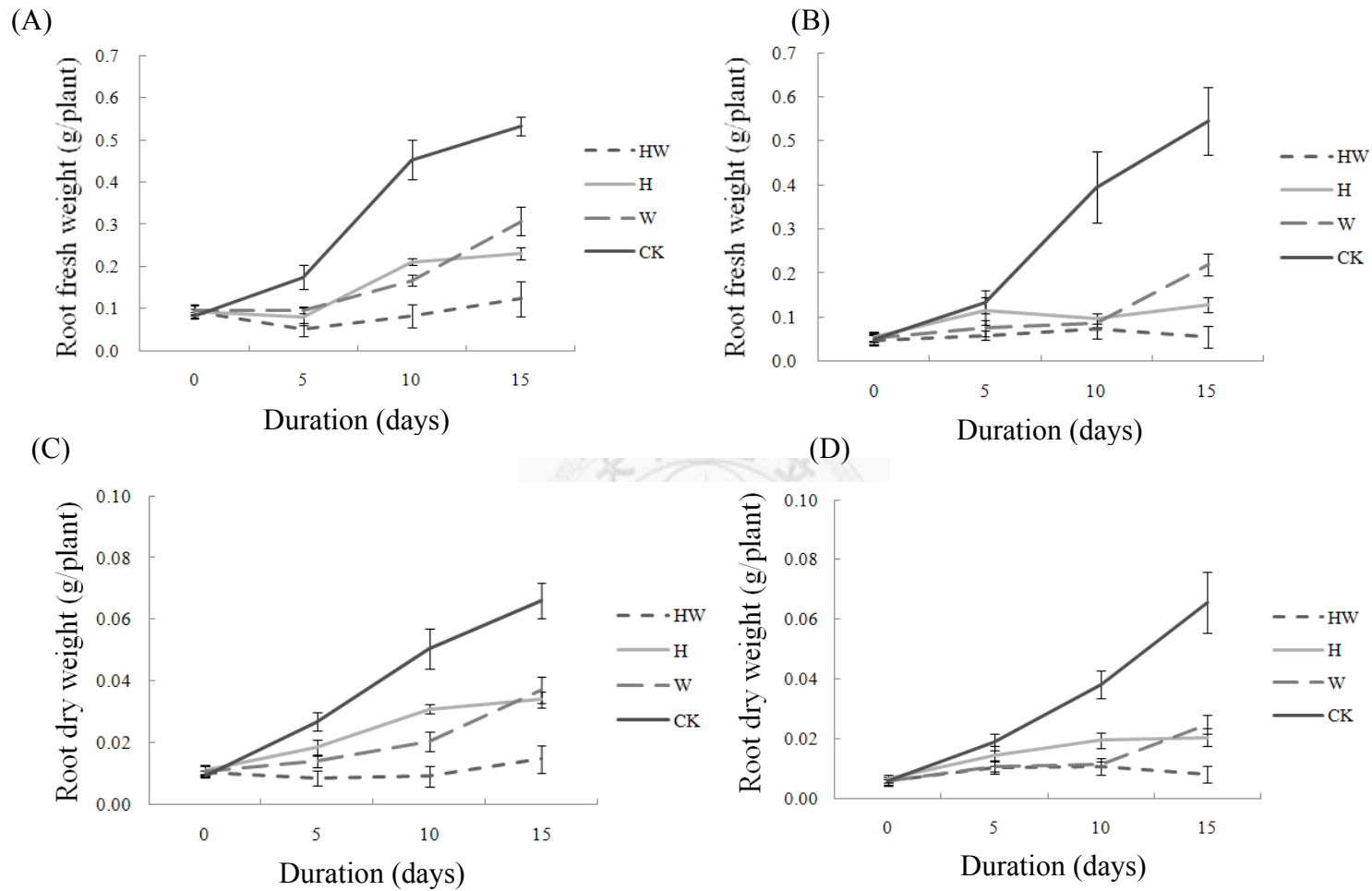


圖 5. 花椰菜'嬌雪'及'農生 45 天' 20 天苗株於逆境處理下之地下部鮮重(A)及(B)與地下部乾重(C)及(D)

Fig. 5. The root fresh weight (A) (B) and root dry weight (C) (D) of 20 day-seedlings of 'Charming Snow' and ' Nong-sheng 45 days ' cauliflower under stresses. Error bar is the standard error of mean. CK: control (25/20°C); HW: high temperature 35/30°C with waterlogging; H: high temperature 35/30°C; W: 25/20°C with waterlogging.

(A)

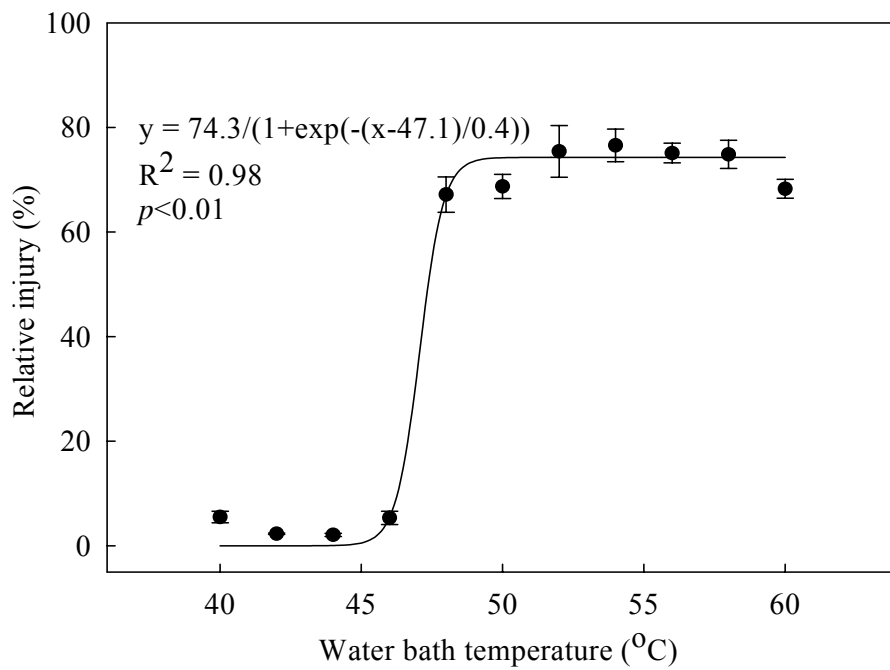
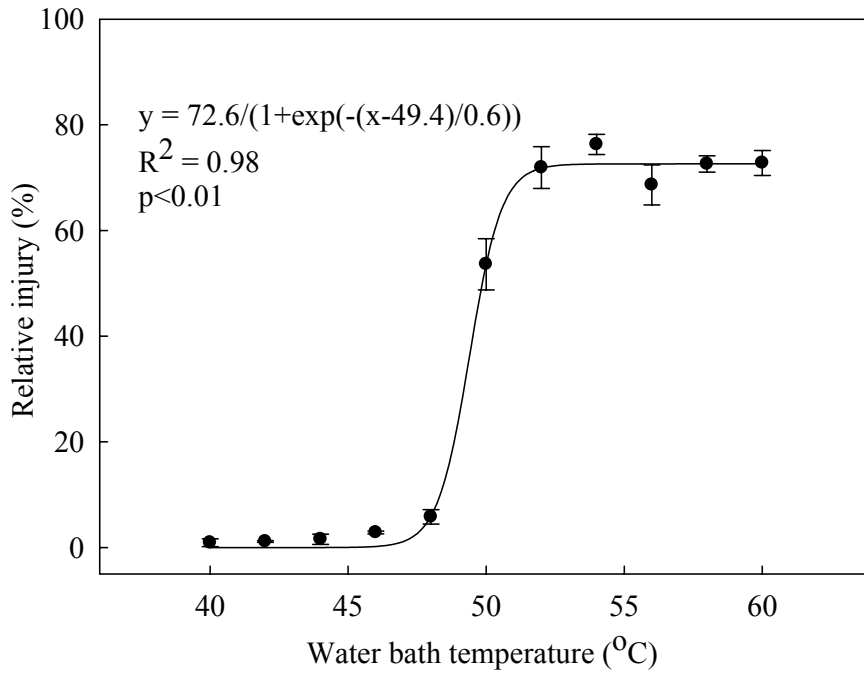
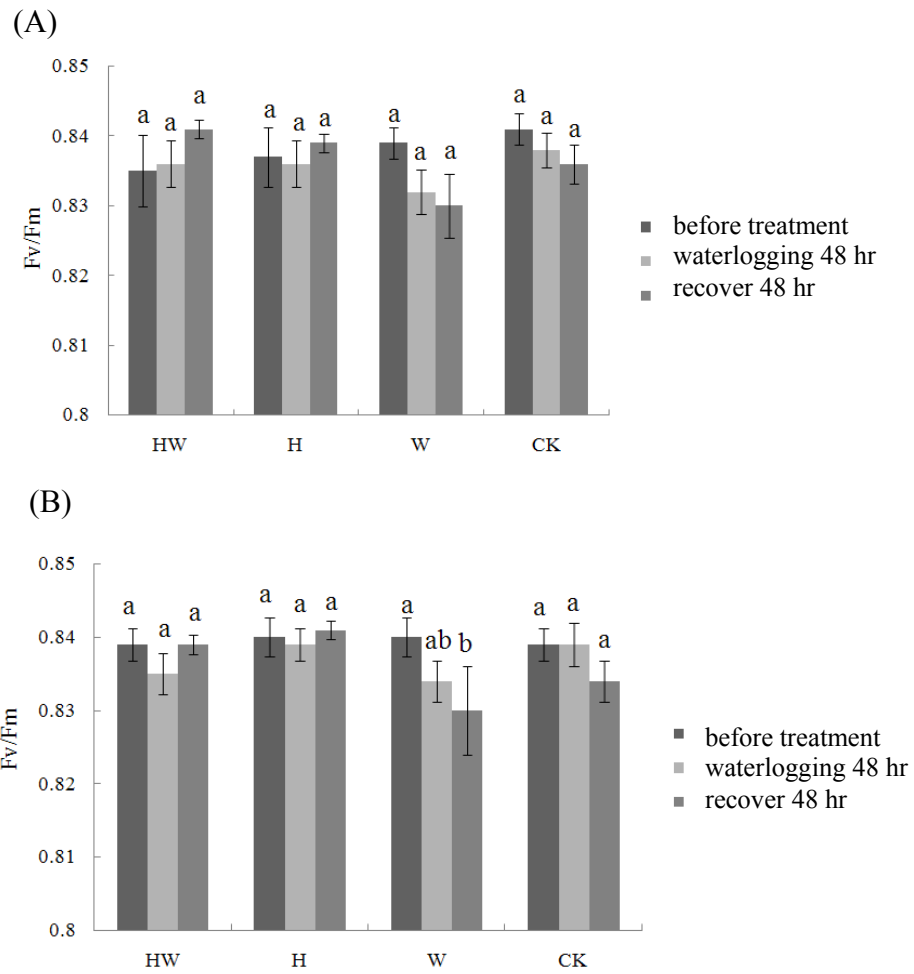


圖 6. 花椰菜'嬌雪'(A)及'農生 45 天'(B)以不同水浴溫度處理之相對熱傷害值
Fig. 6. Relative injury of 'Charming Snow' (A) and 'Nong-sheng 45 days' (B) cauliflower of different water bath temperature.

Error bar is the standard error of mean.



Source of variance	Significance
Temperature (T)	n.s.
Waterlogging for 48 hr (W)	*
Cultivar (C)	n.s.
T×W	n.s.
T×C	n.s.
W×C	n.s.
T×W×C	n.s.

圖 7. 不同處理下花椰菜'嬌雪'(A)及'農生 45 天'(B)苗期之葉綠素螢光 Fv/Fm 值

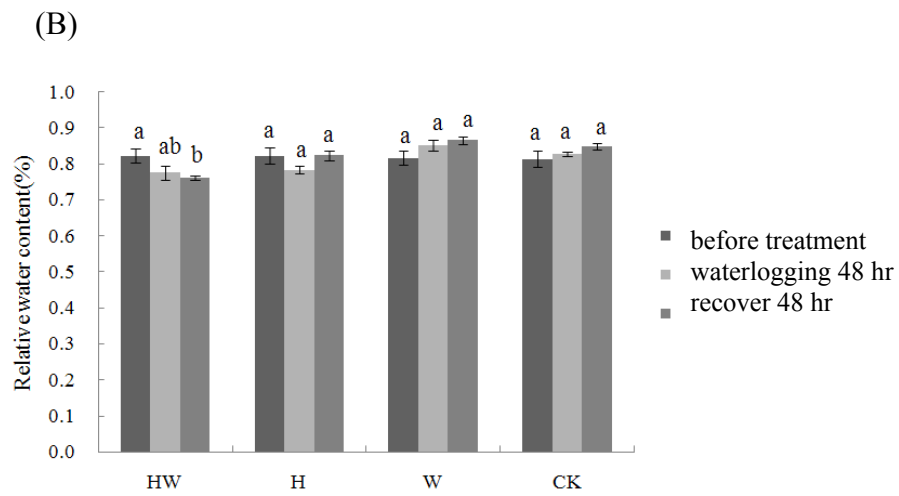
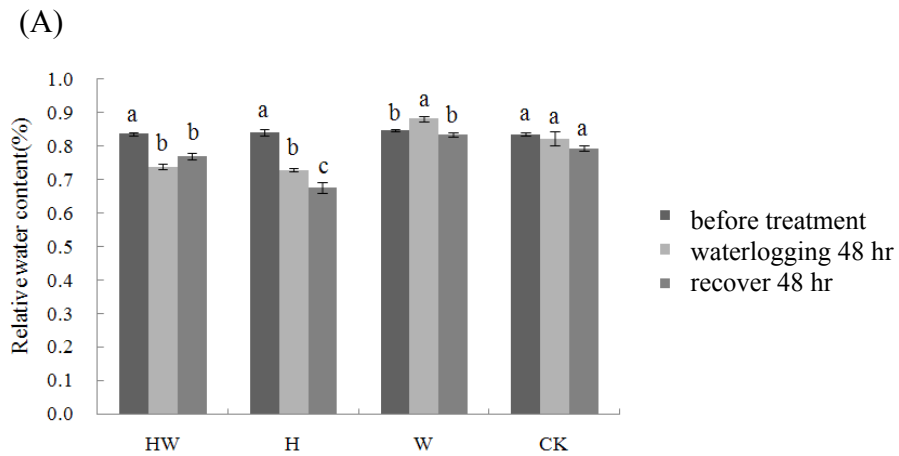
Fig. 7. The chlorophyll fluorescence Fv/Fm of 'Charming Snow' (A) and

'Nong-sheng 45 days' (B) cauliflower seedlings under stress.

CK: control (25/20°C); HW: high temperature 35/30°C with waterlogging; H: high temperature 35/30°C; W: 25/20°C with waterlogging.

Error bar is the standard error of mean.

Means with same letter are not significantly different at $p < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.



Source of variance	Significance
Temperature (T)	**
Waterlogging for 48 hr (W)	*
Cultivar (C)	n.s.
T×W	*
T×C	**
W×C	n.s.
T×W×C	n.s.

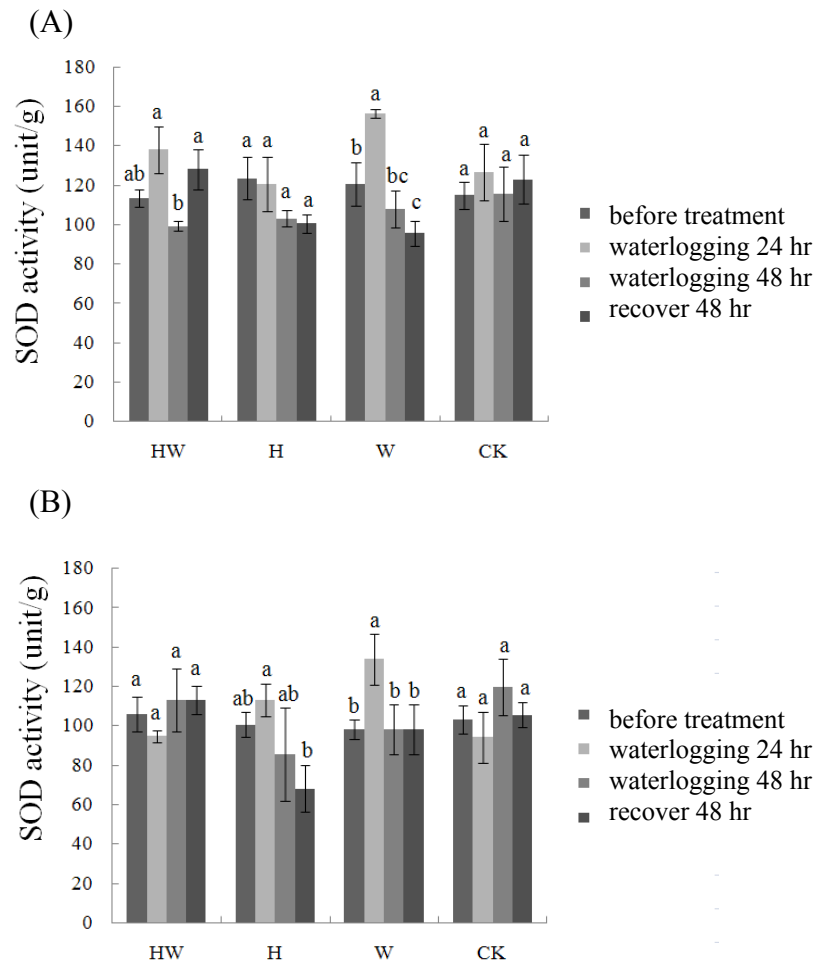
圖 8. 不同處理下花椰菜'嬌雪'(A)及'農生 45 天'(B)之相對水分含量

Fig. 8. The relative water content of 'Charming Snow' (A) and 'Nong-sheng 45 days' (B) cauliflower seedlings under stress.

CK: control (25/20°C); HW: high temperature 35/30°C with waterlogging; H: high temperature 35/30°C; W: 25/20°C with waterlogging.

Error bar is the standard error of mean.

Means with same letter are not significantly different at $p < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.



	Significance	
	Waterlogging 24 hr	Recover 48 hr
Temperature (T)	n.s.	n.s.
Waterlogging (W)	*	n.s.
Cultivar (C)	**	n.s.
T×W	*	n.s.
T×C	n.s.	n.s.
W×C	n.s.	n.s.
T×W×C	n.s.	n.s.

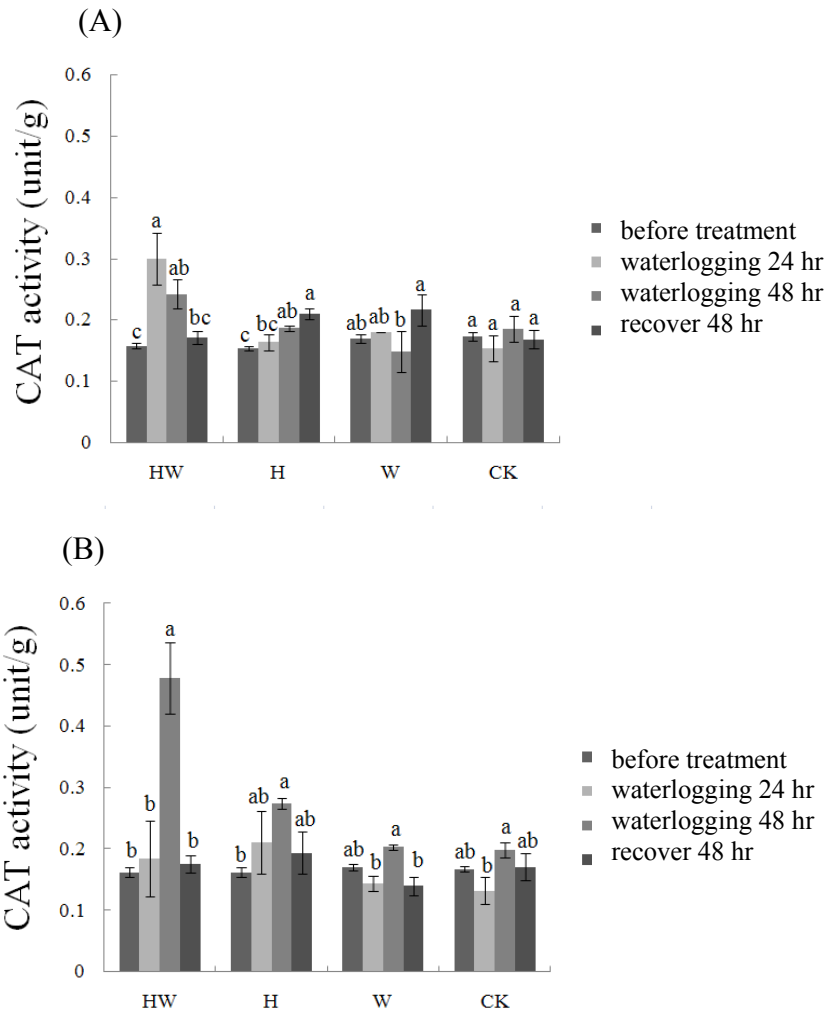
圖 9. 不同處理下花椰菜'嬌雪'(A)及'農生 45 天'(B)之超氧歧化酶活性

Fig. 9. The superoxide dismutase activity of 'Charming Snow' (A) and 'Nong-sheng 45 days' (B) cauliflower seedlings under stress.

CK: control (25/20°C); HW: high temperature 35/30°C with waterlogging; H: high temperature 35/30°C; W: 25/20°C with waterlogging.

Error bar is the standard error of mean.

Means with same letter are not significantly different at $p < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.



	Significance	
	Waterlogging 24 hr	Recover 48 hr
Temperature (T)	*	**
Waterlogging (W)	n.s.	**
Cultivar (C)	n.s.	**
T×W	n.s.	**
T×C	n.s.	**
W×C	n.s.	*
T×W×C	n.s.	n.s.

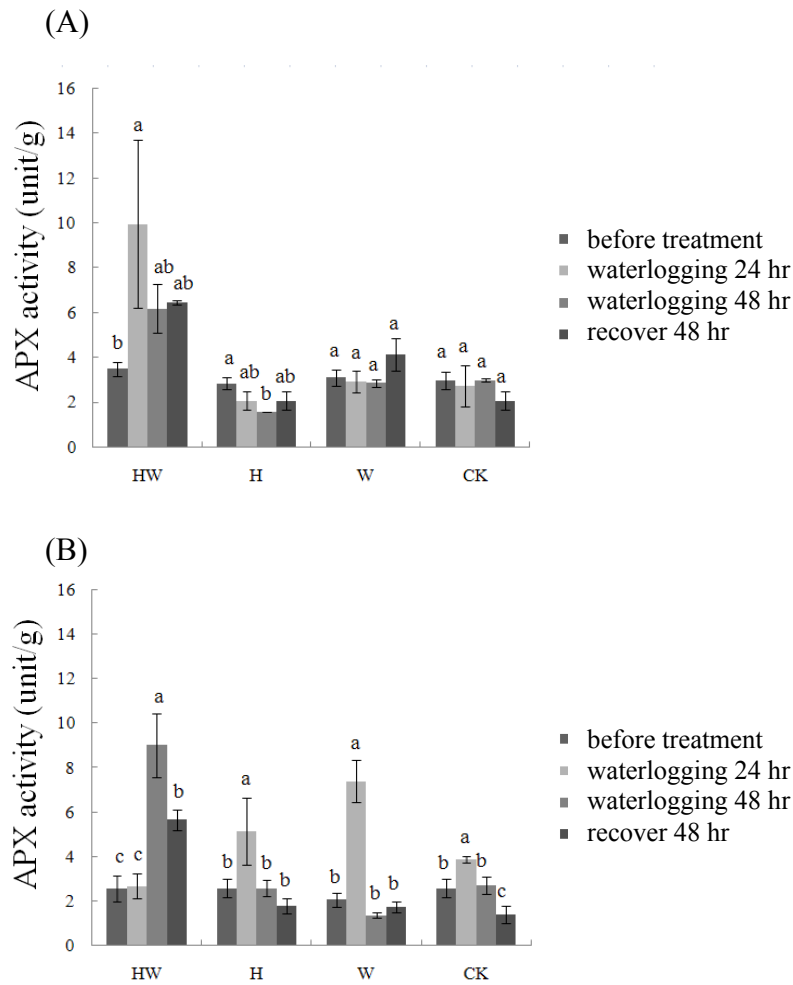
圖 10. 不同處理下花椰菜'嬌雪'(A)及'農生 45 天'(B)之過氧化氫酶活性

Fig. 10. The catalase activity of 'Charming Snow' (A) and 'Nong-sheng 45 days' (B) cauliflower seedlings under stress.

CK: control (25/20°C); HW: high temperature 35/30°C with waterlogging; H: high temperature 35/30°C; W: 25/20°C with waterlogging.

Error bar is the standard error of mean.

Means with same letter are not significantly different at $p < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.



	Significance	
	Waterlogging 24 hr	Recover 48 hr
Temperature (T)	n.s.	**
Waterlogging (W)	*	**
Cultivar (C)	n.s.	n.s.
T×W	n.s.	**
T×C	*	**
W×C	n.s.	n.s.
T×W×C	**	n.s.

圖 11. 不同處理下花椰菜'嬌雪'(A)及'農生 45 天'(B)之抗壞血酸過氧化酶活性
 Fig. 11. The ascorbate peroxidase activity of 'Charming Snow' (A) and 'Nong-sheng 45 days' (B) cauliflower seedlings under stress.

CK: control (25/20°C); HW: high temperature 35/30°C with waterlogging; H: high temperature 35/30°C; W: 25/20°C with waterlogging.

Error bar is the standard error of mean.

Means with same letter are not significantly different at $p < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

附表 1. 2008 年臺灣花椰菜重大災害

Appendix 1. The disasters to cauliflower of Taiwan in 2008.

被害作物 Crop Damaged	災害名稱 Period & Disaster	縣市別 Prefecture & City	被害面積 Damaged Areas	被害程度 Percentage Damaged	換算面積 Actual Damaged Areas	估計損失 Estimated Loss	
						數量 Quantity	價值 Value
花椰菜 Cauliflower	小計 Sub-total		851	32	272	5 959	162 971
	6月上旬豪雨 June Flood (6/1-6/10)	彰化縣 Changhua County	154	21	32	558	12 942
	6月中旬豪雨 June Flood (6/11-6/20)	高雄縣 Kaohsiung County	2	60	1	14	338
	7月卡玫基颱風 July Kalmaegi	彰化縣 Changhua County	132	36	47	1 089	31 788
		高雄縣 Kaohsiung County	5	60	3	68	3 390
	7月鳳凰颱風 July Fung-Wong	彰化縣 Changhua County	25	24	6	114	2 206
	9月辛樂克颱風 Sep. Sinlaku	彰化縣 Changhua County	31	10	3	56	1 390
		雲林縣 Yunlin County	2	16	0	7	155
	9月薔蜜颱風 Sep. Jangmi	嘉義縣 Chiayi County	9	13	1	14	404
		高雄縣 Kaohsiung County	3	20	1	14	678
		苗栗縣 Miaoli County	8	80	6	160	4 000
		彰化縣 Changhua County	387	36	141	3 364	86 855
		雲林縣 Yunlin County	6	30	2	38	794
		嘉義縣 Chiayi County	62	30	19	263	7 189
		高雄縣 Kaohsiung County	26	37	10	202	10 844

(行政院農業委員會，2008)

附表 2. 試驗期間亞洲蔬菜研究發展中心溫室之最高與最低溫度(2009/7-8)

Appendix 2. The maximum and minimum temperatures in greenhouse of Asian Vegetable Research and Development Center during the experiment (2009/7-8).

Temperature	Growing period	Waterlogging period		
		24 hr	48 hr	72 hr
Maximum (°C)	30.53±0.23	30.3	30.0	30.8
Minimum (°C)	26.34±0.20	26.4	26.5	26.8

附表 3. 試驗期間雲林平均溫度與雨量(2009/8/16-11/30)

Appendix 3. The mean temperature and rainfall in Yunlin during the experiment.
(2009/08/16-11/30).

Month	August	September	October	November
Rainfall (mm)	16	148	25	23
Average temperature (°C)	28.7	28.7	24.9	22.7

(中央氣象局)

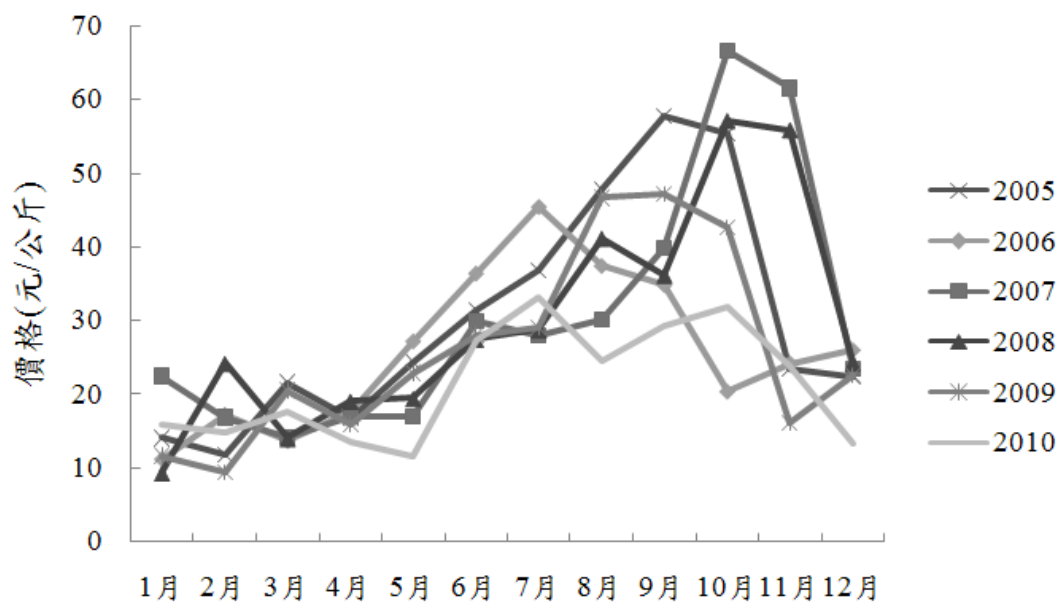
附表 4. 試驗期間臺北平均溫度與雨量(2010)

Appendix 4. The mean temperature and rainfall in Taipei during the experiment
(2010).

Month	July	August	September	October
Rainfall (mm)	89	388	144	345
Average temperature (°C)	30.3	30.0	28.8	24.4

(中央氣象局)

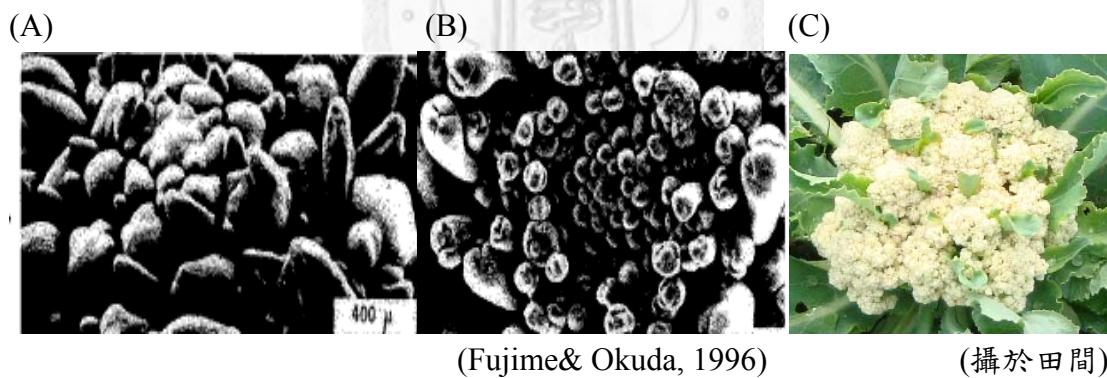




附圖 1. 臺灣花椰菜 2005-2010 年農場價格

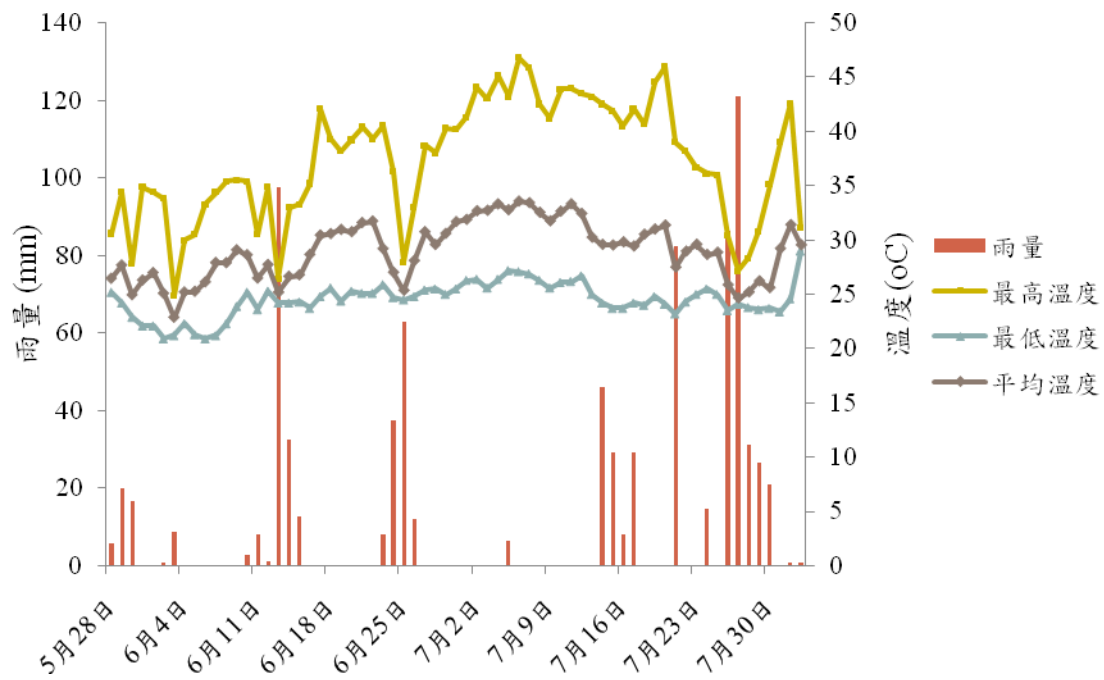
Appendix 1. Farm prices of cauliflower in Taiwan during 2005-2010.

(行政院農業委員會農糧署 農業統計月報 2010)



附圖 2. 花椰菜異常花球 Bracting (A)、Riciness (B)、與 Leafy head (C)

Appendix 2. Disorders cauliflower curd: Bracting (A), Riciness (B) and Leafy head (C).



附圖 3. 試驗期間臺南田間之最高、最低及平均溫度與雨量(2010)

Appendix 3. The maximum, minimum and average temperature, and rainfall in the field of Tainan during the experiment (2010).

