

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝學系研究所

碩士論文

Graduate Institute of Horticulture
College of Bioresources and Agriculture
National Taiwan University
Master Thesis

植物生長調節物質處理對芥藍淹水反應之影響

The Effect of Plant Growth Regulators on Chinese kale

(*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra*)

to Waterlogging Stress



施婉君

Wan-Jyun Shin

指導教授：曹幸之 博士、羅筱鳳 博士

Advisor: Shing-Jy Tsao, Ph.D., Hsiao-Feng Lo, Ph. D.

中華民國 100 年 6 月

June, 2011

誌謝

當碩士論文寫到此，表示我的碩士班生涯要落幕了，在研究所求學這三年的時光看似很漫長，實則如過眼雲煙轉瞬即逝。成為研究生的這段生活帶給我快樂、難過及辛苦的回憶，是我學生生活中最無法忘懷的。

本論文承蒙恩師 曹幸之博士在試驗上的指導，以及共同指導老師 羅筱鳳博士給予許多具體的建議，並於論文撰寫期間多次批閱、給予指正，使論文得以順利完成。而口試期間承蒙 宋好教授對於本論文詳加斧正並惠賜寶貴意見，使之論文更加完善，在此對於老師們致上最深的謝意。

在試驗進行期間，感謝臺中霧峰農業試驗所的毓華學姊以及幫助過我的人，提供試驗材料及給予試驗上的幫助和建議。感謝研究室的芝蓉學姊和瓊儀學姊在試驗及儀器操作上的指導，奕成學長、亦中學姊、瑜筑學姊、佩潔學姊、欣穎學姊、品如學妹、佩真和唯昭在試驗上、研究室事務的協助和精神上給予鼓勵及支持。還有彼此互相加油打氣的大學同學，感謝你們在我最低潮的時候對我的關懷及加油。研究所生活中有了你們，當我面對難關時不感到孤單及困難，順利完成了試驗，在此致謝。

最後，最要感謝的是無怨無悔支持著我的家人，在求學的路途中總是聆聽著我的煩惱、適時伸出援手提供意見，陪伴我一起度過低潮。有了你們的支持，讓我能順利完成學業。謹以此論文獻給我親愛的家人以代表我內心最誠摯的感激。

施婉君 謹誌

國立臺灣大學園藝學系研究所

中華民國一百年六月

中文摘要

臺灣夏季高溫多濕且常遭受颱風豪雨的侵襲，蔬菜因淹水逆境造成傷害，無法恢復生長或死亡。近年有多種生長調節物質應用於增強植物對非生物性逆境的抗性。本研究針對夏季芥藍(*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra*)生產面對淹水傷害之風險，探討施用植物生長調節物質對芥藍在苗期和成株期淹水後之生理影響，以及植物生長調節物質對減輕芥藍淹水傷害的應用效果。芥藍苗期淹水及施用植物生長調節物質的試驗在臺灣大學人工氣候室進行，以‘翠寶’、‘西螺芥藍’、‘白花芥藍’和‘翠津’四個包括一般葉用、苔用的品種供試。各品種先於常溫(25/20°C)下生長四週，在淹水前三天以不同植物生長調節物質處理，再分別於兩種溫度(25/20°C和 35/30°C)下淹水三天、排水三天為恢復期。所用植物生長調節物質有海藻萃提取物(綠寶)、生長素(根毛王)、細胞分裂素(速喜)、硫酸鋅及腐胺。結果在兩個溫度下受到淹水的逆境影響以在 25/20°C比在 35/30°C小，而各品種對高溫或淹水之耐受性以‘西螺芥藍’最差，‘翠寶’較佳。在常溫下淹水處理前施用生長調節物質，以施用海藻萃提取物(綠寶)對於芥藍各品種淹水生理反應之緩和效果最好，增加葉片相對含水量及葉片相對葉綠素含量、減少電解質滲漏率及丙二醛含量、葉綠素螢光反應 Fv/Fm 的差值減少以及脯胺酸含量增加。但在排水恢復期這些生理指標的恢復效果比其它調節物質硫酸鋅、腐胺、生長素(根毛王)小。在高溫下芥藍淹水前，生長調節物質處理對減輕芥藍生理指標變化幅度的效果顯示，施用海藻萃提取物減輕淹水後的葉片生理指標變化、施用硫酸鋅減輕淹水後及恢復期的生理指標變化。芥藍成株夏季淹水試驗增加供試品種數到 8 個，在農業試驗所試驗田(台中霧峰)分兩批(八月及九月)進行。兩批皆先以穴盤育苗，待植株長至 3-4 片本葉，定植於試驗田，移植前所有植株施用生長素(根毛王) 0.5 mg/L。定植後約 5 週、即採收前進行淹水處理。在淹水處理前三天先給予不同的植物生長調節劑，有生長素(根毛王, 0.5 mg/L)、海藻萃提取液(綠寶, 稀釋 800 倍；天下補, 稀釋 800 倍)、細胞分裂素(速喜, 稀釋 600 倍)、硫酸鋅 (稀釋 2000 倍)及腐胺 (2 mM)共六種。試驗處理分為不淹水(對照組)、不淹水但施用植物生長調節劑、淹水前施用不同植物生長調節劑以及淹水而未施植物生長調節劑四種。田間進行淹水三天、再排水五天，芥藍植株大量萎凋或死亡，處理生長調節劑之植株黃化萎凋情形較緩和。各品種對淹水逆境之反應表現差異，各項生理指標變化由大至小的品種在

八月試驗依序為翠津、黃花芥藍、芥藍花、翠寶，而在九月依序為西螺芥藍、白格林、格林花、蕙津、翠寶。綜合八、九月田間施用各植物生長調節物質的效果，以綠寶、天下補(皆為海藻萃取物)和速喜(細胞分裂素)對於減輕芥藍淹水後、排水恢復期生理反應的效果較好。植株因淹水逆境造成的鮮、乾重損失以‘白格林’最嚴重，而受淹水影響仍可採收者為‘翠寶’。各植物生長調節物質前處理對各品種皆有不同程度的減緩失重。整體上，海藻萃取物—天下補、綠寶和細胞分裂素(速喜)可減少芥藍因淹水逆境所造成的失重。藉由非破壞性且快速的葉片葉綠素螢光反應(Fv/Fm)分析，可觀察各芥藍品種在淹水前、後的光合作用能力變化。淹水前各品種的Fv/Fm值介於0.8~0.6，經過淹水三天後，各品種之Fv/Fm值下降，但程度不同。到排水恢復期F₁品種如‘翠寶’Fv/Fm值稍有回復，而較不耐淹水的品種如‘黃花芥藍’和‘白花芥藍’的Fv/Fm值則持續下降，可作為芥藍在淹水逆境下的生理指標。根據研究結果，夏季栽培芥藍，在品種的選擇上可選用葉用F₁品種如‘翠寶’，遇夏季豪雨造成的影響傷害較小。而苔用品種會因溫度不適，生長勢不佳，加上淹水逆境的影響，傷害更大。芥藍在不同生長時期所經歷淹水逆境的表現不同，在苗期較成株對於淹水忍受度較大。在栽培期適時施用植物生長調節物質能減緩其淹水傷害，若如其他研究增加施用植物生長調節物質的次數，可能效果更好。

關鍵字：芥藍、淹水逆境、植物生長調節物質、海藻萃取物、葉綠素螢光反應、
逆境耐受性

Key words : Chinese kale, hypoxia stress, plant growth regulators, seaweed extracts, chlorophyll fluorescence (Fv/Fm), stress tolerance.

Abstracts

The summer in Taiwan is high in temperature and humid, and it is common that vegetable crops succumb to heavy rain and typhoons. Plants are not able to restore their growth and crop loss results. Recently there are several plant growth regulators (PGRs) in market for use to diminish the crop loss from abiotic stresses. The study is undertaken to investigate the physiology responses of Chinese kale (*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra*) upon flooding in summer, both at seedling and ready-to-harvest stages and to evaluate the efficacy of various plant growth regulators to sustain plants from the stress. The seedlings of four Chinese kales varieties (cv. ‘Tsuei-Bao’(F₁), ‘Si-lo’, ‘White-flowered’ and ‘Tsuei-jin’ (F₁)) were grown under 25/20°C(day/night) for four weeks before 3 days of flooding at room temperature (25/20°C) or at high temperature (35/30°C). Three days prior to flooding plants were given different PGRs and flooding was lasted for three days, then followed by 3 days of drainage for plant recovery. The study was carried out at the phytotron of National Taiwan University, Taipei and the PGRs including auxin (Lysine#3), seaweed extract (Algreen), cytokinin (Biogrow), ZnSO₄ and putrescine were tested. The flooding impact under 25/20°C was milder than 35/30°C and there are varietal differences in their response to flooding and/or high temperature with ‘Tsuei-Bao’ (F₁) being most tolerant and ‘Si-lo’ the least. Pretreatment of seaweed extract (Algreen) gives better ameliorative effect to Chinese kale plant flooded under 25/20°C(D/N) in terms of keeping higher relative water content (RWC) and relative chlorophyll content (SPAD value), less electrolyte leakage rate and malondialdehyde (MDA) content, less drop in chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) and higher content of proline. However, the mitigating effect from seaweed extract application to the plants during recovery period was less than from Lysine#3, zinc sulfate and putrescine. The pretreatment of seaweed extract to Chinese kale plants before being flooded under 35/30°C resulted in less change of various plant physiological indices in response to flooding and the pretreatment of ZnSO₄ gave the plants less physiological response during both flooding and recovery time. Field experiments with eight varieties in total including both leaf type and fleshy flower stalk type were conducted in August and September at experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute in Wu-Feng, Taichung. Plug seedlings of three to four leaf stage were treated with 0.5

mg/L Lysine#3 (auxin) before field transplanting. About 5 weeks after transplanting, plants at ready to harvest stage were waterlogged. Three days prior to flooding, the plants were given one of six PGRs including auxins (Lysine#3, 0.5 mg/L), seaweed extracts (Algreen, dilution factor(DF) 800 ; Keltak, DF 800), cytokinin (Biogrow, DF 600), ZnSO₄ (DF 600) and putrescine (2 mM). Field treatments included no waterlogging (control), PGRs pretreatment without waterlogging, PGRs pretreatment with waterlogging, and waterlogging only, three replicates for each treatment. Flooding lasted for three days, followed by draining the field for five days for plant recovery. The plants without PGR pretreatment wilted or died after waterlogging, and treated plants had less yellowing or wilting. The intensity of the varietal response to field flooding is determined from the change of various physiological indices. The response intensity from 4 varieties to August flooding in descending order follows 'Tsuei-Jin' (F₁), 'Yellow-flowered', 'Kai-lan Flower', and 'Tsuei- Bao' (F₁). The response intensity from 5 varieties in September in descending order gives 'Si-lo', 'White-gelin', 'Ge-lin Flower', 'Huei-Jin' (F₁) and 'Tsuei-Bao' (F₁). The comprehensive results from both August and September study showed that both seaweed extracts (Algreen and Keltak) and cytokinins (Biogrow) had better alleviating effects than other PGRs tested to plants in flooding and in recovery. The plant dry weight and fresh weight loss from waterlogging stress was most severe in 'White-gelin' while 'Tsuei-Bao' (F₁) remained most for harvest. Overall seaweed extract (Keltak) pretreatment could most reduce the plant weight loss from waterlogging and followed by seaweed extract (Algreen) and cytokinins (Biogrow). The chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) being a fast and non destructive index indicates the photosynthetic rate of plants upon flooding. The F_v/F_m value decreased from regular 0.8-0.6 upon flooding at high temperature, the value continued to decrease during the recovery period with susceptible plants like 'White-flowered' and 'Yellow-flowered'. While the value would somewhat recover after drainage in resistant plants like 'Tsuei-Bao' (F₁). The results suggest that 'Tsuei-Bao' (F₁) is a good choice for summer planting for its less damage from flooding and the fleshy flower stalk type is not suitable for early fall-winter season when temperature still remains high. Chinese kale at seedling stage has better tolerance to flooding than plants of ready-to-harvest stage. The application of PGR is helpful to reduce the crop loss of Chinese kale from flooding. More times of PGR application as suggested in other study may also enhance the protective effect.

目錄

口試委員會審定書.....	i
誌謝.....	ii
中文摘要.....	iii
英文摘要.....	v
目錄.....	vii
表圖目錄.....	viii
壹、前言.....	1
貳、前人研究.....	3
一、芥藍之起源及生長習性.....	3
二、植物對淹水逆境之生理反應.....	6
三、添加植物生長調節物質影響植物對淹水之反應.....	11
參、材料與方法.....	17
一、苗期淹水及植物生長調節物質處理.....	17
二、成株淹水及植物生長調節物質處理.....	18
三、調查分析.....	19
肆、結果.....	22
一、芥藍苗期淹水前施用植物生長調節物質之影響.....	22
二、植物生長調節物質處理對芥藍成株淹水後之生長影響.....	30
伍、討論.....	87
一、淹水逆境對芥藍之生理影響.....	87
二、施用植物生長調節物質對芥藍在淹水逆境之生理影響.....	91
陸、結論.....	99
柒、參考文獻.....	100

表圖目錄

表 1. 芥藍淹水前施用之生長調節物質種類、來源、成分及施用方式。.....	18
表 2. 芥藍以生長調節物質處理在未淹水及經過淹水後排水恢復五天之植株鮮、乾重(田間八月)°.....	82
表 3. 芥藍以生長調節物質處理在未淹水及經過淹水後排水恢復五天之植株鮮、乾重(田間九月)°.....	84
圖 1. 施用生長素(根毛王)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片相對含水量之影響。.....	40
圖 2. 施用生長素(根毛王)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片電解質滲漏率之影響。.....	41
圖 3. 施用生長素(根毛王)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片葉綠素螢光反應之影響。.....	42
圖 4. 施用生長素(根毛王)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片葉綠素讀值之影響。.....	43
圖 5. 施用生長素(根毛王)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片脯氨酸含量之影響。.....	44
圖 6. 施用生長素(根毛王)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片丙二醛含量之影響。.....	45
圖 7. 施用海藻萃取物(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C)	

下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片相對含水量之影響。	46
圖 8. 施用海藻萃取物(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片電解質滲漏率之影響。	47
圖 9. 施用海藻萃取物(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)以及排水三天後(FR)葉片葉綠素螢光反應之影響。	48
圖 10. 施用海藻萃取物(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片葉綠素讀值之影響。	49
圖 11. 施用海藻萃取物(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片脯氨酸含量之影響。	50
圖 12. 施用海藻萃取物(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片丙二醛含量之影響。	51
圖 13. 施用細胞分裂素(速喜)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)以及排水三天後(FR)葉片相對含水量之影響。	52
圖 14. 施用細胞分裂素(速喜)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片電解質滲漏率之影響。	53
圖 15. 施用細胞分裂素(速喜)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片葉綠素螢光反應之影響。	54
圖 16. 施用細胞分裂素(速喜)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及	

	35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片葉綠素讀值之影響。.....	55
圖 17.	施用細胞分裂素(速喜)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片脯氨酸含量之影響。.....	56
圖 18.	施用細胞分裂素(速喜)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)以及排水三天後(FR)葉片丙二醛含量之影響。.....	57
圖 19.	施用硫酸鋅(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片相對含水量之影響。.....	58
圖 20.	施用硫酸鋅(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片電解質滲漏率之影響。.....	59
圖 21.	施用硫酸鋅(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉綠素螢光反應之影響。.....	60
圖 22.	施用硫酸鋅(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉綠素讀值之影響。.....	61
圖 23.	施用硫酸鋅(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)脯氨酸含量之影響。.....	62
圖 24.	施用硫酸鋅(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)丙二醛含量之影響。....	63
圖 25.	施用腐胺(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C)下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)相對含水量之變化。.....	64
圖 26.	施用腐胺(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)電解質滲漏率之影響。.....	65

- 圖 27. 施用腐胺(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下，
淹水前(CK)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉綠素螢光反應之影響。..66
- 圖 28. 施用腐胺(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下，
淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉綠素讀值之影響。.....67
- 圖 29. 施用腐胺(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下，
淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)脯胺酸含量之影響。.....68
- 圖 30. 施用腐胺(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下，
淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)丙二醛含量之影響。.....69
- 圖 31. 施用植物生長調節物質對芥藍品種 ‘翠寶’ (A)、 ‘黃花芥藍’ (B)、
‘芥藍花’ (C)和 ‘翠津’ (D)在田間淹水前(BS)以及恢復正常條件五天(5R)
葉片相對含水量之影響(98年8月)°.....70
- 圖 32. 施用植物生長調節物質對芥藍品種 ‘翠寶’ (A)、 ‘蕙津’ (B)、 ‘格林花’
(C)、 ‘西螺芥藍’ (D)和 ‘白格林’ (E)在田間淹水前(BS)以及恢復正常條件
五天(5R) 葉片相對含水量之影響(98年9月)°.....71
- 圖 33.施用植物生長調節物質對芥藍品種 ‘翠寶’ (A)、 ‘黃花芥藍’ (B)、 ‘芥藍
花’ (C)和 ‘翠津’ (D)在田間淹水前(BS)、逆境處理三天後(3D)以及
恢復正常條件五天(5R) 葉片電解質滲漏率之影響(98年8月)°.....72
- 圖 34.施用植物生長調節物質對芥藍品種 ‘翠寶’ (A)、 ‘蕙津’ (B)、 ‘格林花’
(C)、 ‘西螺芥藍’ (D)和 ‘白格林’ (E)在田間淹水前(BS) 、逆境處理三天後
(3D)以及恢復正常條件五天(5R) 葉片電解質滲漏率之影響(98年9月)°.....73
- 圖 35. 施用植物生長調節物質對芥藍品種 ‘翠寶’ (A)、 ‘黃花芥藍’ (B)、
‘芥藍花’ (C)和 ‘翠津’ (D)在田間淹水前(BS)以及恢復正常條件五天(5R)
葉片葉綠素讀值之影響(98年8月)°.....74
- 圖 36. 施用植物生長調節物質對芥藍品種 ‘翠寶’ (A)、 ‘蕙津’ (B)、 ‘格林花’
(C)、 ‘西螺芥藍’ (D)和 ‘白格林’ (E)在田間淹水前(BS)以及恢復正常條件
五天(5R) 葉片葉綠素讀值之影響(98年9月)°.....75
- 圖 37. 施用植物生長調節物質對芥藍品種 ‘翠寶’ (A)、 ‘黃花芥藍’ (B)、

- ‘芥藍花’ (C)和‘翠津’ (D)在田間淹水前(BS)以及恢復正常條件五天(5R)葉片葉綠素螢光反應之影響(98年8月)°.....76
- 圖 38. 施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’ (A)、‘蕙津’ (B)、‘格林花’ (C)、‘西螺芥藍’ (D)和‘白格林’ (E)在田間淹水前(BS)以及恢復正常條件五天(5R)葉片葉綠素螢光反應之影響(98年9月)°.....77
- 圖 39. 施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’ (A)、‘黃花芥藍’ (B)、‘芥藍花’ (C)和‘翠津’ (D)在田間淹水前(BS)、逆境處理三天後(3D)以及恢復正常條件五天(5R)葉片脯胺酸含量之影響(98年8月)°.....78
- 圖 40. 施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’ (A)、‘蕙津’ (B)、‘格林花’ (C)、‘西螺芥藍’ (D)和‘白格林’ (E)在田間淹水前(BS)、逆境處理三天後(3D)以及恢復正常條件五天(5R)葉片脯胺酸含量之影響(98年9月)°.....79
- 圖 41. 施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’ (A)、‘黃花芥藍’ (B)、‘芥藍花’ (C)和‘翠津’ (D)在田間淹水前(BS)、逆境處理三天後(3D)以及恢復正常條件五天(5R)葉片丙二醛含量之影響(98年8月)°.....80
- 圖 42. 施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’ (A)、‘蕙津’ (B)、‘格林花’ (C)、‘西螺芥藍’ (D)和‘白格林’ (E)在田間淹水前(BS)、逆境處理三天後(3D)以及恢復正常條件五天(5R)葉片丙二醛含量之影響(98年9月)°.....81

壹、前言

近年來的全球暖化效應及氣候變遷讓海平面溫度升高，產生大幅水文變化，許多地方將面臨豪雨威脅及嚴重缺水(汪，2008;王，2008; 顧，2008;Trenberth, 2007)。臺灣位於熱帶與亞熱帶交界處，天氣本複雜多變，尤其颱風豪雨頻仍；根據統計，天災中以颱風造成的損失最為嚴重，次為豪雨。夏季栽培蔬菜可能會遭遇高溫、颱風、豪雨及淹水為害(林，2007；陳和洪，2009)。以 2009 年莫拉克颱風所造成的災害為例，農產損失估計高達 49 億 3,203 萬元(林，2009)。

臺灣蔬菜作物種類多達 130 種，且消費需求量大；在多元化、精緻化與安全前提下，蔬菜作物如遭受天然災害，便發生供需失衡問題(陳和洪，2009)。蔬菜本質即易腐爛和不易恢復生長，每當颱風侵襲前後蔬菜價格在短期內大幅上揚，不僅農民面臨經濟損失，消費者亦面對買不到菜及菜價太高的困境。

芥藍(Chinese kale)是東方特有的蔬菜，也是臺灣重要十字花科葉菜類。它是甘藍類蔬菜中較為耐熱者，對溫度的適應範圍較甘藍大，栽培期短，可粗放栽培及周年生產。在不易栽植其他蔬菜的時期栽植芥藍，還可調節蔬菜供需。據行政院農委會統計資料，民國 86~93 年芥藍平均種植面積約 1,757 ha，平均年產量約 28,398 mt，以雲林縣生產最多，其次為台北縣。在夏季栽培芥藍需時 35~40 天，較其他夏季葉菜如：小白菜、空心菜、莧菜等時間長，容易受到高溫及/或淹水逆境影響。產地積水過久可導致蔬菜根部缺氧並腐爛，當大雨過後又逢高溫，植株容易萎凋枯死，影響採收產量。天然災害的發生有時雖然可預測，但所帶來的損失則無法掌握與避免。只能盡量藉由災害前的預防措施和災後的緊急處理措施，將可能產生的損失降到最低(陳和洪，2009)。

植物遭受淹水逆境所造成的傷害時，往往會利用構造上或生理代謝之改變，如根部通氣組織(aerenchyma tissue)及不定根(adventitious root)的形成，以維持生存(Liao and Lin, 2001; 柯，2002)。而這些型態上的改變通常是經由植物內生荷爾蒙之合成和代謝運移的改變，打破植物內生荷爾蒙原有之平衡所造成。近年來有施用植物生長物質和植物營養劑以減輕淹水逆境傷害的研究，例如海藻萃取液、活性菌群、微生物製劑等，除可促進作物根系生長、葉片伸展及果實發育、提高品質及產量外，還能加速植株在光線不足、淹水等逆境下的生長勢恢復、改良土壤

性質及提升蔬果營養含量(蔣，2005；陳，2009)。本研究即探討施用植物生長調節劑是否能減輕芥藍在淹水逆境下的傷害，以及植物生長調節劑如何影響芥藍在淹水逆境下的光合作用及生理代謝。



貳、前人研究

一、芥藍之起源及生長習性

芥藍(*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra*) 原產於中國大陸南方，為臺灣重要十字花科芸苔屬一、二年生草本葉菜類。早在公元 5、6 世紀的南北朝時期，散葉類型的甘藍(*Brassica oleracea* L.) 就由歐洲原產地經中亞傳入中國，在亞熱帶氣候區的廣東發生變異(張，2009)。經長期選拔，最後形成以嫩葉和花薹供食的芥藍，是中國南方特色蔬菜，廣泛栽培於華南(廣東、廣西) 福建、湖南、和四川等地，還引種到日本、東南亞、歐洲、美洲及澳洲。其英名(Chinese kale)有中國的羽衣甘藍之稱；羽衣甘藍(collard)與其它 kale 是甘藍類中最古老成員，栽種於地中海地區已二千多年。它們不結球、葉形變化大，有捲葉及皺葉種，植株高，比甘藍具抗病性，除食用外，還有飼料用及觀賞用種類 (Yarnell, 1956)。

臺灣主要栽培品種由中國大陸或東南亞傳入，在各地形成地方品種；依據食用部位可分為葉用芥藍和苔用芥藍。經過不斷馴化改良，目前葉用芥藍一年四季皆可栽培，而苔用芥藍則集中於秋冬季(農家要覽，2005)。例如在臺灣北部地區採收的幼株品種(有平滑葉種、白花葉種、黃金嫩葉芥藍、皺葉芥藍等)和採成株及主側枝花苔品種(有捲葉芥藍、黃花芥藍等)，其播種(種植)期為每年 4 月至 12 月，生育日數需 30-45 天(李，2008)。芥藍的風土環境適應性廣及生長迅速，可粗放栽培及周年生產；在其他蔬菜不易栽植的時期可栽植芥藍，因而有潛力發展成夏季替代性蔬菜和風災後高溫環境下的復耕作物，調節蔬菜供需(曹和羅，2002；林等人，2010)。

芥藍較無嚴格的春化溫度要求，但花芽分化時間影響菜薹發育；臺灣以桃、竹、北較多栽培苔用芥藍，採收主薹與側花薹，白花種較多。花芽分化標誌為莖頂生長點變圓，周緣分化出圓球狀側花薹原基(楊和楊，2002)。在廣東，9 月至次年 1 月為花薹形成季節，播種後 35-45 天花芽分化。在廣西，從種子發芽至花薹形成約 60~80 天(高，2006)。過早或過遲花芽分化，植株及菜薹都小，在芥藍苗期給予適宜的低溫可誘導植株提早花芽分化，降低花芽分化時的葉位，提高菜薹產量。植株生長及葉面積大小與菜薹發育有密切相關，適宜的低溫並有利於菜薹維生素 C 和蛋白質的合成，提高品質。菜薹色澤表現由葉綠素、花青素及類黃酮等色素含

量及比例決定。氣溫 30°C 以上菜薹生長受影響，節間短縮、有苦味、呈紫色（關和李，1989；楊和楊，2002；劉等人，2003）。

芥藍為淺根性作物，根系分布於表土下 15~20 cm 處。有主根和鬚根之區別，主根不發達，鬚根的再生能力強。葉面光滑或皺縮，葉質較厚，葉面上具有白色蠟粉，能耐較高溫度（劉等人，2003；張等人，2009）。葉色暗綠或黃綠色，以葉綠素計 (SPAD) 讀值表示，前者範圍介於 45~67，後者低於 30（梁，2007）。採收時，葉用芥藍可陸續連根拔起，或自地面 10 cm 處割收；苔用芥藍當肉質花薹高度長至與葉片高度相同時要及時採，促使新的腋芽生長。

芥藍好冷涼，各生長階段所需求的溫度不同。種子發芽適溫為 25~30°C；幼苗期可適應較高或較低之溫度。葉片生長以 20°C 為最佳，而花芽分化的最適溫度則介於 15~20°C（關和李，1989；農家要覽，2005）。不同芥藍類型對溫度的適應性，可分開由葉及花部來看。葉部特性包括葉形、葉著生密度及著生角度：由葉形分，通常以尖葉型較圓葉型耐熱；由葉著生密度，以分枝能力強且葉較疏者耐熱性較佳；葉片與莖之間的角度越小且植株屬於直立型者耐熱能力較佳，反之，開展角度越大且屬於平鋪型的耐熱能力較差。花色上，芥藍分為白花與黃花兩種，白花品種的耐熱性較佳。白花品種又可分為早、中、晚熟型，早熟型較耐熱，晚熟型較不耐熱（楊和楊，2002；曹和羅，2002；林等人，2010）。

芥藍對於各種土壤質地的適應力強，但芥藍喜濕潤、不耐積水，故以富含有機質、水分充足、排水良好、pH5.5~6.8 的壤土或黏質壤土栽培最適合。排水不良及極酸土壤不宜栽種。臺灣芥藍品種葉用種類多，近年且有少數一代雜交品種。參考農家要覽(2005) 芥藍栽培品種及植株特性如下：

I. 平滑葉種

1. 白花芥藍：葉面平滑帶有蠟粉、莖粗大、株高 40~50 cm。花色白，耐熱能力強，可周年栽培。播種後 45 天收成，其葉與莖可食用。
2. 大葉晚生芥藍：植株高大，莖高 50 cm，葉色淡綠帶有蠟粉。耐熱性強，抽苔性晚。
3. 蕙津：由農友種苗有限公司命名推廣，株高中等，耐熱性較差，適於 9 月播種，其有效花薹 6~7 支，花薹粗大肉厚，亦可當作葉用芥藍。

4. 黃金芥藍：葉色黃綠、富有光澤，俗稱白芥藍。株高約 30~40 cm。可周年播種，約 45 天後即可陸續採收，整株採收或是採葉片食用。
5. 黃花大心芥藍：又稱高麗菜花，以採收花苔為主，花苔嫩脆、纖維少。株高 30~50 cm，葉面平滑、橢圓形、灰綠色。花黃色。
6. 黑芥藍：植株較矮小，葉色濃綠、葉柄粗大。耐熱性強，播種後 35 天開始採收，為栽培最多的品種之一。

II. 皺葉種

臺灣中北部栽培較多，南部地區栽培較少。植株矮小，株高 10~15 cm，又稱縮緬芥藍。葉面淺綠或深綠色，並且皺縮不平；耐熱性強，冬季播種容易抽苔。

另有捲葉種，臺灣未生產栽培，其植株高大，株高可達 40~60 cm 以上。葉脈上有小卷葉產生，只適合秋冬季栽培，不耐熱。

梁(2007)對所收集 44 種芥藍調查各品種葉形、株形、葉色及抽苔性等主要生長及外形特徵如下：

- I. 黑格藍群：葉色深綠、全緣葉、白花、近地面莖較細、中段莖較粗，節間長度介於白格林群與黃花芥藍群之間。株高除了‘黑格林’較矮外，其餘品種介於白格林群及黃花芥藍間，以主莖及側苔帶葉為主要食用部位，抽苔性早或中。
- II. 白格林群：葉色黃綠、全緣、葉片較軟薄、節間短縮、黃花，全株可食用，抽苔性中。
- III. 黃花芥藍群：黃花、植株高大。葉柄長、葉片大、葉緣鋸齒狀、葉面平整無皺縮、葉較橫披、節間長。食用部位為花苔，抽苔性晚。

利用 RAPD(random amplified polymorphic DNA)與 ISSR(inter simple sequence repeat)兩種分子標誌分析這些品種間的遺傳歧異度，結果芥藍分成三群，分別為白花品種、白格林品種及黃花品種，與型態分類相符。分析結果顯示黃花品種間差異較大，而白格林品種和大部分的白花品種群內差異小，來自不同地方的同名黑格林或白格林親緣都較相近(梁，2007)。

二、植物對淹水逆境之生理反應

水是植物生存的必要自然條件，植物的一切正常生命活動，只在有一定的細胞水分含量的狀況下才能進行(朱，1995；柯，2002)。農業生產上，水更決定收成之高低，就是農業諺語中”有收無收在於水”的道理，但過多或過長時間的淹水對植物形成逆境(高，1988；潘和王，2006)。

(一) 淹水逆境

「逆境」為對植株造成傷害的任何不利生長之環境，包括生物因子和非生物因子。前者為病害、蟲害和雜草；後者有低溫、高溫、乾旱、淹水、鹽分和機械傷害等不利因子，影響作物產量及品質 (潘和王，2006；Levitt,1980)。土壤內的水分含量影響作物能否正常發育；大雨後土壤水分飽和、土壤空隙減少，含氧量減少，影響植物之正常生長代謝，減少作物在土壤中之營養元素吸收。同時土壤中有毒物質累積，造成根部傷害；再立即受到陽光的照射後，因根部吸水能力減少而產生萎凋現象 (朱，1995； Drew and Sisworo,1979； Jackson and Drew,1984； Drew, 1992； Anton et al., 2002)。作物在淹水逆境下的生長因作物種類或品種對逆境的耐受性、逆境強度、時間、植株生長階段及溫度等生物及環境因子的差異，受抑制程度不同 (宋，2001；Fausey et al.,1985；Champolivier and Merrien,1996； Gutierrez Boem, et al.,1996；Yan et al., 1996)。

(二) 植物之反應

當連續下雨使土壤空隙充滿水分，排除土壤空隙中的 O_2 ，並且溶於水中的 O_2 很快被消耗，只要數小時即造成土壤低氧(hypoxia)。雖然地上部 O_2 可以不斷供給，但 O_2 在水中擴散速率慢、溶解度低(朱，1995)，持續淹水造成土壤缺氧(anoxia)。植物對應此逆境的生理反應包括：無氧呼吸增加、生理代謝受阻、毒性物累積、抗氧化酶活性降低、細胞膜透性降低、光合作用和呼吸作用受到嚴重影響、葉綠體崩解、葉片澱粉增加、光合產物的運移受到阻礙、吸收無機養分的能力下降、乾物重減少等 (楊等人，2002； Huang et al., 1994； Liao and Lin, 1996； Hsu et al., 2000； Ramonell et al., 2001； Lin et al., 2004)。植物除了表現葉片黃化、萎凋外，其根部及地上部各有不同的反應，包括形態構造上的、及生理代謝上的改變，以減少逆境之衝擊。

1. 生理代謝

在淹水逆境下根細胞色素電子傳遞系統停止作用，導致 NADPH 累積及抑制 Calvin cycle，根細胞轉而進行無氧呼吸作用並且誘導相關酵素的合成 (Kato-Noguchi and Saito, 2000; Liao and Lin, 2001)。以生長 6 天的萵苣苗進行淹水處理，隨著淹水處理時間增加，酒精去氫酶(alcohol dehydrogenase, ADH)活性和乙醇(ethanol)含量增加，顯示淹水處理後的根部會誘導與無氧呼吸有關的酵素合成。相較於對照組，白菜進行淹水處理四天，其粒線體構型改變，並且粒線體上皺褶呈線型排列，造成粒線體受損，根呼吸能力受阻(Daugherty et al., 1994)。

翁和張(2004)比較角茄(*Solanum mammosum*) (耐淹水)和番茄(不耐淹水)在缺氧處理下的水分生理變化。番茄和角茄在未缺氧處理前，呼吸速率相近；缺氧處理兩天後，兩者呼吸速率受到相似的抑制。其後呼吸速率開始回升，在第四天均恢復至原有水準。角茄維持此水準至第十天試驗結束；番茄根部呼吸速率仍繼續上升。在未施缺氧處理前，角茄 ADH 活性即較番茄高；在缺氧處理後亦有升高趨勢，至第六天達到最高。之後即開始緩慢下降，至第十天仍較未處理前高。番茄之 ADH 活性很低，處理後第二天達到最高，之後開始下降，至第六天後其活性即趨近於零。缺氧對植物最大的作用及傷害為無氧呼吸所產生的代謝毒物的累積，包括乙醛、乙醇和乳酸(lactic acid)，這些化合物累積在植物細胞內，破壞細胞構造，造成細胞死亡(朱，1995)。

在淹水逆境下，植株葉片光合作用能力降低的直接及間接原因相當複雜，如葉片氣孔的關閉，氣孔導度減少(Beckman et al.,1992; Ahmed et al., 2002; Ashraf and Arfan, 2005; Issarakraisila et al., 2007)。野苳、玉米和大麥經過缺氧氣處理後，其光合作用減少；油菜淹水顯著降低光合作用，且以苗期最為嚴重，都因氣孔關閉而減少了光合作用中所需的 CO₂ (朱，1995; Zhou and Lin, 1995)；植株進行無氧呼吸產生的能量比正常有氧呼吸所產生的能量來的少，也影響光合作用。淹水逆境的發生皆會影響到葉片能量的平衡及固碳作用，當光合作用減緩時，太陽輻射仍持續照射葉片，作物對於過多能量需有防禦及代謝機制，若超過負荷則有光抑制現象，形成二次傷害。正常葉綠素分子接受光子後，將電子從基態激發到激發態。電子從激發態回到基態是一個去激化過程，而去激化有產生螢光、光化學轉換、

熱耗散這三種方式(潘和王, 2006; Taiz and Zeiger, 2006)。

很多研究利用葉綠素螢光釋放特性, 探討葉片能量使用效率、過多能量釋放機制及 PS II 的光呼吸(姚等人, 2007; Yordanor, 1997)。對綠豆進行淹水處理 8 天, 其光合作用隨著淹水天數的增加而下降; 排水後光合作用逐漸上升, 直到排水第 8 天回復到原來的光合作用能力。葉綠素螢光之變化也與光合作用變化相同。因此, 利用葉綠素螢光釋放特性, 可快速檢測淹水逆境對植株光合作用之影響 (Ahmed et al., 2002)。紫花苜蓿淹水處理二天時, 氣孔導度及光合作用效率均顯著低於對照組 (Castonguay and Simard, 1993)。Moldau(1973)研究菜豆對淹水的反應指出, 淹水下光合作用的減少除了氣孔關閉外, 根部代謝物供應不足也是造成光合作用降低的原因之一。植物在淹水或缺氧逆境下, 葉綠素含量會明顯下降。經過淹水四天的向日葵葉綠體內有大量澱粉累積(Wample and Reid, 1979); 不結球白菜(*Brassica rapa*)經淹水四天後, 不耐淹水株葉綠體內的澱粉粒增加, 造成類囊膜體的受損、葉綠餅破裂, 因而光合作用速率降低(Daugherty et al., 1994)。甘藷葉片於淹水逆境處理時, 不同葉位葉片的葉綠素含量均有降低現象, 其中以上位、下位葉最為嚴重。排水後, 植株各部位葉綠素含量僅稍稍回復(吳和朱, 2003)。芥藍與菜心經過淹水處理 5、7、11 天, 相較於對照組, 淨光合速率在淹水處理第 7 天後大幅下降 (Issarakraisila et al., 2007)。在淹水逆境下植物光合產物的運送也會受到影響, 將多餘的光合作用產物累積在葉綠體內, 改變葉片內碳水化合物分配情形以適應淹水逆境, 增加耐受性; 並且利用葉片中儲存之碳水化合物供應植株於逆境後生長發育所需, 增加存活率(吳和朱, 1994)。

當植物遭遇淹水缺氧逆境時, 其生理代謝作用受阻, 缺乏適當的電子接收者, 造成飽和的氧化還原連鎖反應、累積大量的 NADPH 及減少 ATP 的產生, 進而產生大量活性氧(reactive oxygen species, ROS), 引起細胞結構和功能的破壞, 影響地上部正常發育而出現種種生理障礙(VanToai and Bolles, 1991)。最大的傷害是脂膜過氧化作用, 自由基攻擊、破壞細胞膜的完整性, 促使膜脂中不飽和脂肪酸過氧化產生二次代謝物—丙二醛(malondialdehyde, MDA), 與酶蛋白發生聚合, 造成膜變性, 丙二醛含量常作為細胞膜脂質過氧化的指標(Kappus, 1985; Bartosz, 2003; Lin et al., 2004)。當細胞膜系通透性增加, 造成細胞電解質滲漏, 當傷害越大, 電解質滲漏程度增加, 因此電解質滲漏值(EC)之變化可以做為植株逆境傷害程度的

指標(Martineau et al.,1979)。玉米在四葉期時淹水，第三天從地面算起的第 2 片葉不僅葉綠素含量快速下降，其 EC 值、MDA 含量顯著增加。另第 4 片葉與第 2 片葉的活化氧族濃度皆有上升，且以第 2 片葉的活化氧族較多。淹水第 5 天，兩片葉的抗氧化酵素超氧歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、抗壞血酸過氧化物酶(Ascorbate peroxidase, AP)、過氧化氫酶(Catalse, CAT)、及穀胱甘肽還原酶(Glutathione reductase, GR)活性都比對照組低。第 2 片葉的各種抗氧化酵素活性比第 4 片葉的低。另外，第二與第四片葉抗氧化物抗壞血酸(Ascorbate, AsA)、穀胱甘肽(Glutathione, GSH)含量在第 7 天時為顯著增加。此研究結果顯示玉米淹水對於下位葉影響較大，並且淹水處理到第 3 天後影響更明顯(Yan et al., 1996)。張 (2000) 給四葉期的玉米幼苗淹水處理八天，結果葉片及根部的丙二醛含量明顯增加，其中葉片內含量較高。大油菜在淹水逆境下，SOD 及 CAT 的活性都大幅度降低，丙二醛量快速增加，顯示其抗氧化防禦機制受到影響(Zhou and Lin, 1995)。比較在苗期、花苞期、和開花期時淹水 30 天的敏感度，結果在苗期淹水 30 天後第六片葉萎凋，其 SOD 和 CAT 活性下降到 0。各時期進行淹水處理，乙烯的產生都在淹水後第 3-4 天達到最高，隨後下降。而丙二醛作為傷害指數顯示，越下位葉 MDA 含量越高，葉片光合速率降低等負面反應會持續，造成結莢數及種子產量降低。在苗期和花苞期進行淹水處理的影響最顯著(Zhou and Lin,1995)。辣椒三個品種淹水四天內葉片 SOD 活性會先增加，四天後則開始下降；隨淹水時間增加，丙二醛含量都增加，到第 4-10 天時丙二醛含量大量增加，顯示長時間淹水下脂質過氧化更嚴重(宋，2001)。芥藍在高溫下淹水處理，不同的品種在淹水前、淹水三天後、排水六天後之葉片丙二醇含量變化雖有不同，多在淹水三天後、排水六天後呈持續增加，造成芥藍受淹水逆境傷害後無法恢復(張，2008)。

受到淹水逆境，植株莖部與根部都有大量脯胺酸(proline)累積，使植株能維持一定滲透勢，其中以莖部累積最多；而當逆境排除後，脯胺酸量則快速下降(朱，1995)。張 (2008)調查不同芥藍品種在高溫下，在淹水前、淹水三天後、排水三天後之脯胺酸含量變化顯示各品種對淹水反應的差異。Aloni and Rosenshtein (1982) 以八個番茄品種給予淹水逆境，都有大量脯胺酸累積的現象，特別是其中 475、S-5 及 Alcobaca 三個品種在淹水第 11 天時有最高量。而比較此時脯胺酸累積量和不定根生成量之關係，這三個品種的不定根生成量較其他脯胺酸累積量少的品種為少。

在淹水的植株內脯胺酸累積只是一種暫時性的生理變化，當植株產生不定根(adventitious root)後，累積的脯胺酸會逐漸消失。脯胺酸累積量與不定根之生成呈負相關，因而脯胺酸含量可作為淹水耐受性指標之一(Aloni and Rosenshtein, 1982)。

在淹水逆境下，植株除光合作用能力改變外，生長量也受到影響。芥藍與菜心經過 11 天淹水處理後，其葉數、葉面積、乾重、鮮重、葉綠素計讀值都顯著下降，尤其是芥藍葉綠素計讀值降低幅度大，葉片水分含量和相對含水量隨著淹水天數增加而減少 (Issarakraisila et al., 2007)。莧菜遇淹水，也與芥藍相同，隨淹水逆境天數增加、其葉片和地上部的相對含水量也隨之減少，並造成植體脫水現象(楊等人, 2002)。耐淹水的角茄和不耐淹水的番茄在缺氧處理下，其水分生理變化在泌溢速率和水分通導度方面，番茄隨著缺氧日數的增加而下降，在第二天後即趨近於零。角茄雖也有下降的趨勢，但仍可維持一定程度(翁和張, 2004)。其綜合結果是，番茄根系缺氧造成吸水能力下降、葉片水分潛勢降低，為了減少水分散失而關閉氣孔。番茄葉片水分潛勢在沒有缺氧處理時約為-0.57 MPa，在缺氧處理第二天開始大幅度下降，至第四天達到-1.19 MPa 後即不再下降。角茄未施以缺氧處理時，其葉片水分潛勢約在-0.75 MPa，在缺氧處理後，其下降幅度較緩，且第四天後即無顯著下降，維持在-1.0 MPa 左右。將番茄嫁接在角茄根砧上時，其葉片水分潛勢之變化趨勢與角茄相近，在缺氧處理後，降至約-1 MPa 後即維持此一水準。

2. 形態變化

植物在遭受淹水逆境的傷害時，會利用型態構造或生理代謝之改變，如根部通氣組織及不定根的形成，代謝路徑的改變等進行適應調節，以維持生存(柯, 2002)。通氣組織是介於莖與根尖之間、大且互相流通的氣室。植物不能形成通氣組織及根部氧氣快速擴散，為不能適應淹水逆境的指標(Voesenek et al., 1999)。淹水造成芥藍葉片黃化和萎凋，但菜心在淹水處理 10 天後，由下胚軸長出不定根、莖基有通氣組織(aerenchyma)，菜心比起芥藍較耐淹水，相對較能維持葉片發育速率和高水勢(Issarakraisila et al., 2007)。番茄苗進行根部低氧處理 2 週，由莖部的外表形態和橫剖面有不定根誘導生成，有助於植株對於礦物元素和水分的吸收 (Horchani et

al., 2008)。生長 2 天的玉米苗給予低氧處理後，在 72 h 內可觀察到皮層有通氣組織形成(Shiono et al., 2008)。依形成的方式，通氣組織分成兩種，第一種為細胞分離、分開所形成的 Schizogenous aerenchymas；第二種為許多作物所有，為選擇性細胞死亡(Programmed cell death, PCD)，當淹水逆境下所造成的乙烯累積，誘導產生的 Lysigenous aerenchymas。當絲瓜遭受淹水逆境，其不定根能維持原本根呼吸能力的 60%。而不耐淹水的苦瓜只維持 28%呼吸能力，明顯比絲瓜根呼吸能力低(Liao and Lin, 2001)。

三、 添加植物生長調節物質影響植物對淹水之反應

植物荷爾蒙在植物某特定部位合成，運移到其他部位而產生生理、生化或型態之反應。因此植物荷爾蒙可說是一種化學訊息，由某一細胞、組織或器官運移至其他部位，使植物不同部位間互通訊息；植物荷爾蒙在細胞內，相對的也影響其內的代謝速率及方式(柯，2002)。植物生長調節物質為人工合成的有機物質，在極低濃度下可促使或抑制植物生長或分化，具有類似荷爾蒙之作用(高，1998)。

(一)植物生長素 auxin

植物在遭受淹水逆境所造成的傷害時，形成根部通氣組織及不定根，這些型態上的改變通常是經由植物內生荷爾蒙之合成和代謝運移的改變，改變植物內生荷爾蒙原有之平衡，使得 auxin、乙烯和 ABA 等荷爾蒙累積在地上部。玉米根部經由低氧逆境處理後，產生大量的不定根 (Drew et al.,1983)；菜心、大豆經過淹水後，造成接近水面的莖基部組織的肥大或側根生成(Issarakraisila et al.,2007；Singh, 1988)。不定根的生成在於 auxin 和 ethylene，auxin 與根的創始有關(Basra，2000)；ethylene 並不直接參與側根的生成，而是增加植物對於 auxin 的敏感度、促進不定根生成。Vuylsteker 等人(1998)以相同濃度、不同 auxin 的培養基進行菊苣組培四天，有外加 auxin 可促進不定根及通氣組織之生長，尤其是添加 IAA 比起其他 auxin，菊苣根部能快速誘導不定根生成，另外添加 NAA 的菊苣根部發現不定根及通氣組織生成。商品名為根毛王(Lysine #3) 的根毛促進劑，為含有多種 Auxin 類、維生素 C、維生素 PP、磷酸二氫鉀、複合氨基酸、硫酸鋅之複合藥劑。其中以 auxins 為植物發根的主要促進因子，硫酸鋅為輔助因子(co-factor)。此藥劑作用為促進種苗根部生長、激發植物根部根毛的大量發生、縮短生根時間、促使根團發育緊密。

用在‘三鳳’和‘鳳山’兩種小白菜以及青梗白菜，可提高它們在淹水逆境中的存活率(張和楊，2003)。羅(2006)進一步分析‘三鳳’及‘鳳珍’兩種小白菜在淹水逆境3天中之丙二醛變化，結果顯示在淹水前植物生長物質前處理可減緩丙二醛升高。其中以施用兩次 0.5 mg/L Lysine #3 最好，其次為 50 µg/L 硫酸鋅處理和施用一次 0.5 mg/L Lysine #3。

(二)海藻萃取物

海藻為海洋生態系統不可或缺的一環，為未充分利用的生物資源。早期常作為食品、工業原料、和醫療之應用。後來由於海藻及其衍生產品含有許多的植物生長刺激化合物，被廣泛用於作物生產系統。全世界海藻依照顏色分為三大門，分別為褐藻(Phaeophyta)、紅藻(Rhodophyta)及綠藻(Chlorophyta)。其中褐藻生長於溫帶地區的沿海，據台灣海藻資訊網共有 1200 種；Khan 等人(2009)報導褐藻種類已增加至 2000 種，為世界海藻種類中第二大，為常見之海藻萃取物原料。相對於化學肥料，海藻富含有機質且可幫助上層土壤保留水分和礦物質含量，有效供予植株的根吸收。全球每年約有 1500 萬噸海藻產品，大部分都用於營養補充劑和生物刺激素(Biostimulants)或生物肥料生產，可增進植株生長及抵抗逆境(Beckett and Staden, 1989；Khan et al., 2009)。海藻組成分包含了豐富的巨量、微量元素、amino acids、vitamins、cytokinins、auxins 和 abscisic acid (ABA)類似植物生長物質。Sivasankari 等人(2006)分析馬尾藻(*Sargassum wightii*)和蕨藻(*Caulerpa chemnitzia*)兩種海藻，顏色上馬尾藻屬於褐藻類，蕨藻屬於綠藻類；兩者 pH 值偏為中性。在化學元素上，前者比後者更含有鎂、鈉、鉀、磷、鐵、氯、硫、矽、鋅、銅、硝酸等元素。由於海藻組成分具有豐富的巨量、微量元素，海藻萃取物開始運用在農業及園藝上的商業產品開發，大多應用於植物生長促進劑或者是生物性肥料(Khan et al., 2009)。大部分的海藻原料來自於褐藻門的岩衣藻(*Ascophyllum nodosum*)。在臺灣也有肥料相關公司研發包含海藻萃取物的生物性肥料，並且針對作物不同生長階段的需要而製作出不同配方。

海藻萃取液是以天然海洋生物為原料所萃取之功能型複合液肥，含有氮、磷、鉀，微量元素鈣、鎂、鐵、錳、鋅及氨基酸外，還含有細胞分裂素、赤黴素、海藻酸及海洋生物特有的海藻多糖，具有改變植株形態、抑制頂芽優勢等生長調節

劑之生理功能。以低濃度施用即會引起植物生長及發育過程之明顯改變，具有植物生長調節劑之特性(蔣，2003)。番茄種子以海藻萃取液浸種，可以提早發芽且發芽整齊；番茄苗期噴施海藻萃取液可以增加株高，提高葉綠素含量，增強光合速率(王與石，2003)。同樣，將普通豇豆以馬尾藻萃取物浸種，比對照組能有高發芽率且幼苗生長好，以 20% 海藻萃取液有最好效果(Sivasankari et al., 2006)。對黃秋葵施用不同濃度海藻萃取液或是海藻萃取液再加化學肥料，都能促使根長、側根數、葉綠素 a 及 b 含量增加 (Thirumaran et al.,2009)。Radovich 等人(1999)以海藻萃取液 SM6 處理豆薯(Yam bean)可增加產量、減少裂根；因為早期供水不足，使得裂根增加，但經過海藻萃取物處理，裂根情形減少。應用於果樹方面，在奇異果落花後 5 天和 10 天，施用不同濃度海藻萃取液能有效增加果長、果重及可溶性固形物含量，且比對照組提早成熟期及提高品質 (Chouliaras et al.,1997)。

海藻萃取液含多酚化合物及抗生素類物質等，具有高量的生物活性物質，可幫助植物體抵抗生物性及非生物性逆境(Beckett and Staden, 1989)。在生物性逆境下，以氫、藻酸、有機質及生長激素組成的海藻精對玫瑰二點葉蟎及菜豆神澤氏葉蟎之成、若蟎，都有明顯的防治效果，只是作用較為緩慢(劉等人，1993)。施用 0.2% 海藻萃取物於胡蘿蔔葉部可有效的降低葉褐斑病(*Alternaria blights*)和灰黴病(*Botrytis blights*)病原菌之感染程度。分析植株內的防禦性機制相關的酵素活性和蛋白質含量，都有增加，特別是 6-ME 植物防禦素含量增加。經由海藻萃取物處理後胡蘿蔔葉部 H_2O_2 之累積增加，能誘導植株啟動、建立有效的防禦機制，分解病原菌的細胞壁(Jayaraj et al.,2008)。

在非生物性逆境下，施用海藻萃取液可提高番茄苗期於低溫下之根系活力及葉片脯氨酸含量，並且處理組 TTC 活性皆較對照組為高。根系活力強健有助於作物從土壤中吸收養分，提高作物的抗逆性(王和石，2003)。在兩倍養液濃度的養分逆境下，海藻萃取液 Kelpak 能有效提高萵苣的產量，提高萵苣在 2 倍養分濃度下 K、Ca、Mg 的吸收。而在 1/2 倍的養液濃度下，Kelpak 也能有效提高萵苣對 K 和 Mg 的吸收(Crouch et al.,1990)。在淹水逆境下施用 Kelpak 可減緩小白菜的傷害，四品種‘阿鳳’、‘鳳山’、‘鳳京’、‘鳳珍’ 在淹水及排水後之地上部鮮重均顯著高於未經海藻素處理者。施用 Kelpak 可減緩‘鳳京’淹水二天下，光合作用速率、氣孔導度、蒸散作用速率、呼吸作用速率、相對水分含量及總葉綠素含

量之下降(陳, 2009)。

(三)細胞分裂素

細胞分裂素對植物抗逆性和抗病蟲害有獨特效果。在逆境條件下細胞分裂素減少,相對也減少了從根到地上部的供應細胞分裂素,可能會引起地上部基因表達的改變以及 ABA、乙烯、水楊酸、茉莉酸等植物生長物質訊號的傳導,進而導致其他生理代謝的改變,包括對逆境適應性之改變(王, 2000; Hare et al., 1997)。向日葵根部淹水後地上部 cytokinin 含量減低,木質部滲漏液中的 cytokinin 含量降低。以未淹水及淹水四天之久木質部滲漏液處理向日葵第三位葉之葉圓片,前者可延緩葉圓片老化,後者不能,以此推測 cytokinin 活性降低則無法減緩葉片老化(高, 1998)。細胞分裂素可直接或間接清除自由基,減少脂質過氧化,因而提高植株逆境下的耐受性(Leshem et al., 1981)。施用細胞分裂素(速喜)於小白菜能有效減少淹水下小白菜鮮乾重的損失,在排水恢復期後施用更能促進植株恢復正常生長。施用速喜之植株光合作用能力、相對水分含量、葉綠素含量均高於未施用者(陳, 2009)。施用細胞分裂素於菜豆品種 'Cheren', 可減緩因逆境造成膜脂的過氧化,進而提高其水分及高溫逆境下的耐受性(Ivanova et al., 1998; Yordanor et al., 1997)。

(四)鋅化合物

鋅 (Zinc) 為植物體內的微量元素之一,雖然含量很低,但是植物生長過程中不可缺少的元素,像參與了光合作用中 CO₂ 的水合作用、活性氧族代謝、調節蛋白質代謝以及維持根系細胞膜、細胞結構的穩定性等功能。鋅能促進植物生長、增加產量及果實品質 (謝, 1988; 潘和王, 2006; Grewal et al., 1997; Rengel, 1995; Yilmaz et al., 1997; Mosaleeyanon et al., 2005)。鋅是乙醇脫氫酶、麩氨酸脫氫酶和碳酸酐酶等輔酶的組成成分之一。缺鋅的植物會失去合成色胺酸的能力,使得吲哚乙酸合成能力降低(Skoog, 1940)。鋅也是植物葉綠素生合成的必需元素,栽培上缺乏鋅導致植株生長中葉色偏黃,成熟葉片周圍開始出現紫色斑點,進而擴散至全葉(潘和王, 2006)。鋅離子易與氮、氧及硫等配體形成複合體,並於多種酵素系統中扮演機能性及催化角色,如在超氧歧化酶 SOD 中做為中心離子(Fox and Guerinot, 1998)。Prasad 等人(1999)以不同濃度的含鋅培養液處理芥菜種子,結果以濃度 0.05 mM 的含鋅養液會促進植物生長,而 5 mM 及 10 mM 的濃度使 SOD、

CAT、guaiacol peroxidase、APX、DHAR、GR 等抗氧化酵素的活性提高。

農業土壤中的鋅濃度過高或過低，會減少產量、果莢及種子重、葉綠素 a、b 濃度、醣類、澱粉及蛋白質的累積，而施用合理濃度的鋅可以得到最佳生物量、經濟產量、種子含油量(Chatterjee and Khurana, 2007；Nan, 1996；White and Zasoki, 1999)。有逆境時應用鋅肥料可減少傷害；對 '三鳳'、'鳳珍'兩種小白菜於淹水前施用硫酸鋅，顯著減少淹水下電解質滲漏率及丙二醛含量之增加(羅，2006)。施用鋅肥可明顯減緩淹水玉米葉綠素的降解、丙二醛的累積、可溶性蛋白質含量下降和過氧化物酶活性減少等情形。同時玉米所產生的不定根數量及株高的生長速度均高於未處理者，鋅的施用可以促進根系生長，減緩後期根系衰老速度，改善根圈微生態環境(李等，2004；張和張，1999)。

(五)多胺類

多胺(polyamine)為一類分子量小的脂肪族含氮鹼，以游離態與非游離態存在於生物細胞；植物所含的多胺主要是腐胺(putrescine)、亞精胺(spermidine)及精胺(spermine)三種。多胺的生理功能有促進植物生長、延緩衰老以及適應逆境條件；屬於植物生長調節物質之一，也是一種第二信使(secondary messenger)(潘和王，2006；Bouchereau et al., 1999；Galston and Sawhney, 1990；Liu et al., 2007)。已有許多研究探討植物在逆境下多胺含量的變化，近年也針對多胺生合成基因進行分子層次與基因工程研究(Capell et al., 2004；Duan et al., 2008；Kusano et al., 2008)。小麥於水分逆境中施用亞精胺，能維持葉片水分含量及減緩因淹水所造成的電解質滲漏提高(Duan et al., 2006)。施用多胺可以調節胡瓜、番茄於鹽分逆境下之葉片水勢，維持葉片水分含量和鉀/鈉離子的比例，增加內生多胺類之含量，促進脯氨酸之累積。胡瓜還可增加光合作用速率，減少氣孔關閉程度，並降低過氧化物、過氧化氫、丙二醛的含量，增加超氧歧化酶、過氧化酶(peroxidase, POD)及過氧化氫酶的活性(Aziz et al., 1998；Duan et al., 2008；Shi et al., 2008)。青蔥受到淹水逆境後，其地上部與根部相對含水量隨著淹水天數的增加而降低，直到排水才逐漸增加。以 2 mM、3 mM 的腐胺進行前處理，能減緩地上部與根部相對含水量下降，兩種濃度的效果差異不大。腐胺 2 mM 的前處理還減緩青蔥在淹水逆境後之葉綠素螢光(Fv/Fm)下降以及活化氧族的增加(Yiu et al., 2008)。Wang 等人(2008)以亞精

胺 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 前處理黃瓜幼苗，減緩了淹水逆境所造成氣孔導度、蒸散速率下降和細胞內 CO_2 之濃度增加，進而可維持苗在低氧逆境中之正常光合作用。許多研究顯示施用多胺可提高植物在逆境下的耐受性。綜合其功能包括調節細胞膜的物理化學性質，藉由與膜帶負電的磷脂分子或其他帶負電的基團結合，穩定類囊體、參與膜的建構而阻止膜脂過氧化及膜蛋白的水解作用，因而可減緩淹水、溫度、乾旱、鹽分等逆境所帶來的傷害(Aziz et al., 1998; Capell et al., 2004; Liu, et al., 2007; Roberts et al., 1986; Todorova et al., 2007; Wang et al., 2008)。另外，多胺類可藉與核酸或去氧核糖核酸外的蛋白質(histone)結合而調節基因表現(Galston and Sawhney, 1990; Kusano et al., 2008)，誘導光合組織，如類囊體、光反應中心及 PS II complex 之調節，增加植株光合作用的能力(劉等人, 2006; Beauchemin et al., 2007; Demetriou et al., 2007)。



參、材料與方法

一、苗期淹水及植物生長調節物質處理

(一) 試驗材料

選用之芥藍品種有苔用及葉用，其中又分成OP與F₁。兩個F₁品種‘翠寶’（葉用）與‘翠津’（苔用）（購自農友種苗公司）；兩個OP品種‘西螺芥藍’（葉用）、‘白花芥藍’（苔用）分別購自西螺新裕森、西湖農產公司。

(二) 芥藍栽培及試驗地點

供試芥藍種子播於鋪有濕潤濾紙、直徑9公分之塑膠培養皿之中，種子於室溫下發芽後，種於50格PE圓孔穴盤，每穴格播種2-3粒種子。介質為滿地王（荷蘭Nevema公司，農友種苗公司進口）。置於臺灣大學生物資源暨農學院附設人工氣候室、日/夜溫25/20°C的自然光玻璃室培育。生長一週後，每週以Peters固態肥料（N:P:K=20:20:20）加水稀釋500倍灌根施肥一次。生長至3~4週時每週兩次灌根施肥。

(三) 生長調節物質處理及淹水處理

芥藍於人工氣候室（日夜溫25/20°C）生長四週，植株生長達4~5片本葉時，分別移到兩種不同日夜溫（25/20°C和35/30°C）條件。生長一週後，進行第一次採樣，調查植株生育性狀。同時進行生長調節物質處理，即生長素（商品名根毛王）、海藻萃液（商品名綠寶）、細胞分裂素（商品名速喜）、硫酸鋅（ZnSO₄）及腐胺（Putrescine）等五種處理。所用生長調節物質種類及其來源、成分及施用方式列於表1。三天後給予芥藍3天之淹水處理，即將穴盤置於長形塑膠容器（50 cm × 30 cm × 9 cm）內，加水至土壤表面以上1 cm深。依淹水前施用不同生長調節物質，處理分為不淹水（對照組）、不淹水但施用植物生長調節劑、淹水前施用不同植物生長調節劑以及淹水而未施植物生長調節劑四種。

表 1. 芥藍淹水前施用之生長調節物質種類、來源、成分及施用方式。

Table 1. The types, compositions, sources and application methods of various plant growth regulators used in the study.

種類及商品名	成分	施用方式	來源
生長素(根毛王)	全氮0.38%、全磷0.33%、全氧化鉀0.21%及多種Auxin	濃度0.5 mg/L 根灌	立石生化科技
海藻萃取液(綠寶)	褐藻、全氮5.0%、水性氧化鎂6.5%	稀釋800倍 葉面噴施	雷立農用化學
海藻萃取液(天下補)(試驗二用)	全氮2.3%、全氧化鉀2.8%、海藻萃取液	稀釋800倍 葉面噴施	普生生物科技
細胞分裂素(速喜)	全氮0.5%、全磷3.0%、全氧化鉀4.0%及細胞分裂素	稀釋600倍 葉面噴施	普生生物科技
硫酸鋅(ZnSO ₄)		稀釋2000倍 葉面噴施	第一化工
腐胺(Putrescine)		濃度2 mM 根灌	Sigma

(四) 採樣及調查分析項目

施用植株生長調節物質前第一次採樣，淹水處理三天後第二次採樣，排水三天後第三次採樣，每品種每處理逢機選3株為一重複，共三重複。調查植株生長及生理反應，調查項目包括植株生長性狀、相對含水量、電解質滲漏率、葉綠素計讀值、葉綠素螢光反應(Fv/Fm)、脯胺酸(Proline)含量和丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量。

二、成株淹水及植物生長調節物質處理

(一) 試驗材料

選用8個芥藍品種，有OP與F₁。F₁品種有‘翠寶’（葉用）、‘翠津’（苔用）和‘蕙津’（葉用）；五個OP品種有‘芥藍花’、‘格林花’（苔用）及葉用的‘白格林’、‘黃花芥藍’、‘西螺芥藍’。分別購自西螺及台南種子業者。

(二) 芥藍栽培及試驗地點

春季試驗於2009年2月、夏季試驗於2009年7月進行，地點為行政院農業試驗所(台中霧峰)。2009年7月平均溫度 28.8°C、最大平均溫度33.2°C、最低平均溫度為25.7°C,而8月平均溫度28.6°C、最大平均溫度32.9°C、最低平均溫度為25.5°C。田

區設計採裂區設計。芥藍種子播於72格穴盤育苗，每穴2-3粒，依一般管理培育。植株長至3-4片本葉，所有植株施用一次生長素(根毛王) 0.5 mg/L後移植於試驗田。

(三) 生長調節物質處理及淹水處理

定植後約5週，即採收前進行淹水處理，淹水三天後排水五天為恢復期。在淹水前三天施用的植物生長調節劑處理有生長素(根毛王) 0.5mg/L、海藻萃取液(綠寶) 800倍、海藻萃取液(天下補) 800倍、細胞分裂素(速喜) 600倍、硫酸鋅 2000倍及腐胺 2 mM (表1)。依淹水前施用不同生長調節物質，處理分為不淹水(對照組)、不淹水但施用植物生長調節劑、淹水前施用不同植物生長調節劑以及淹水而未施植物生長調節劑四種。

(四) 採樣及調查分析項目

淹水前為第一次採樣，排水三天後再進行第二次採樣，調查植株生長及生理反應。包括植株生長性狀、相對含水量、電解質滲漏率、葉綠素計讀值、葉綠素螢光反應、脯氨酸和丙二醛含量。各處理逢機取三重複，每重複三株。

三、調查分析

(一) 葉片相對含水量(Relative water content, RWC)：

根據Mukherjee and Choudhuri (1983)的方法，取芥藍成熟、完全展開第三位葉(由上向下數)為材料，以直徑1 cm的圓孔器取葉圓片，每片葉取3個葉圓片。每品種每處理三重複，每重複三株。葉圓片秤鮮重後，置於有去離子水的試管(25×150 mm)中，於黑暗條件下靜置24 h。取出後擦乾葉圓片多餘的水分，秤葉片膨潤重(TW)。之後置於70°C烘箱內48小時，秤其乾重(DW)。

葉片相對含水量計算公式如下：

$$RWC (\%) = (FW - DW) \div (TW - DW) \times 100\%$$

(二) 電解質滲漏率(Electrolyte leakage, %)：

取芥藍成熟、由上向下數第三位葉葉片，以直徑1 cm的圓孔器取葉圓片，每片葉取2個葉圓片，每品種每處理三重複，每重複三株。將葉圓片以去離子水清洗2次後，置於有1 mL去離子水的試管(25×150 mm)，再加入10 mL去離子水，在試

管上覆蓋鋁箔紙。置於黑暗中震盪16~17 h，再以電導度測定儀(Electrolyte conductivity meter, JENCO 3107, Taiwan)測定最初電導度值為 C_1 。之後將試管放入水浴槽中煮沸20分鐘，冷卻至25°C時測定最後電導度值為 C_2 ，依下列公式求得葉片電解質滲漏率。

$$\text{電解質滲漏率(\%)} = C_1 / C_2 \times 100\%$$

(三)葉綠素計讀值：

測量芥藍成熟、完全開展第二位葉(由上向下數)葉片，每品種每處理三重複，每重複三株。以葉綠素計(Chlorophyll meter, SPAD-502, Japan)測量主脈兩側(要避開斑葉及葉脈)，將儀器夾於葉片組織，在2秒內接收葉綠素含量指數(0-99.9)的讀值，每葉測定四點後求平均值。

(四)葉綠素螢光反應：

取成熟、完全開展芥藍(由上向下數)第二位葉片，套上紙袋使其經暗馴化至少30分鐘後，以MiniPam (Walz, Effeltrich, Germany)測量葉片尖端之最小螢光值(minimal fluorescence, F_0)、最大螢光值(maximal fluorescence, F_m)、黑暗下激發能量轉換效率(F_v/F_m 。 $F_v = F_m - F_0$)，隨後當植株於光適應狀態下再測量光照下激發能量轉換效率(F_v'/F_m')。

(五)脯胺酸(Proline)含量：

採用Bates et al.(1973)之方法，取芥藍成熟第三位葉(由上向下數)葉片0.5 g，置於預冷研鉢中，以液態氮急速冷凍研磨成均質粉末後，加入5 ml 3% (w/v) Sulfosalicylic acid繼續研磨萃取，可使葉片中游離的脯胺酸溶於其中，於室溫下以3000 rpm 離心20 min。取1 mL上清液加入新鮮配置1 mL Ninhydrin solution，再加入1 mL acetic acid 振盪均勻。以鋁箔紙覆蓋試管於100°C水浴中60 min進行呈色反應，反應結束將試管插入冰水浴中以終止反應。再加入4 mL 甲苯(Toluene)震盪15秒至甲苯與水層混合均勻，含有脯胺酸的待測樣品會溶於甲苯層。靜置10 min後取上層甲苯層以分光光度計(Hitachi U-2800, Japan)測定波長520 nm下之吸光值，空白試驗為1 mL 甲苯。

樣品脯胺酸含量計算公式如下：

$$\text{Proline } (\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}) = A_{520} \div 3.24 (\mu\text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}) \div 1(\text{cm}) \times 5(\text{稀釋倍數}) \div \text{樣品鮮重}(\text{g})$$

(六)丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量：

依據Heath and Packer (1968)的方法，取芥藍成熟第三位葉(由上而下數) 0.5 g 置於預冷研鉢中，以液態氮急速冷凍研磨成均質粉末。加入10 mL Trichloroacetic acid (TCA, 5%, w/v)繼續研磨萃取，在20°C下以10,000 g 離心5 min。取1 mL上清液加入4 mL 2-thiobarbituric acid (0.5 %, w/v, 溶於20% TCA) 振盪均勻。置於95 °C水浴中30 min，待反應結束將試管插入冰水浴中以終止反應。於室溫下以5,000 rmp 離心10 min後，取1 mL上清液以分光光度計(Hitachi U- 2800, Japan)測定波長532 nm和600 nm下之吸光值，空白試驗為1 mL TCA(5%, w/v)。樣品丙二醛含量計算公式如下：

$$\text{MDA (nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW)} = (\text{A}_{520} - \text{A}_{600}) \div 155 (\text{消光係數, } \text{mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}) \times 5 (\text{反應體積, mL}) \times 2 (\text{稀釋倍數}) \times 1000 \div \text{樣品鮮重(g)}$$

(七)植株鮮重與乾物重(FW, DW)：

各處理調查三重複，每重複逢機取三株。分別秤全株鮮重(FW)、地上部鮮重(UFW)、地下部鮮重(DFW)；然後置於70°C烘箱48 h，秤其地上部(UDW)、地下部乾物重(DDW)。

(八)統計分析

各處理均有三個重複，每重複逢機取三株，所得結果以平均值加上標準機差(Standard erroer, SE)表示。統計軟體是採用CoStat 6.311版本進行統計分析，分析採用Least significant difference (LSD)方法($P < 0.05$)，比較各處理之間的平均差異。繪圖軟體採用SigmaPlot 10.0 (SPSS Inc.,USA)。

肆、結果

一、芥藍苗期淹水前施用植物生長調節物質之影響

四個芥藍品種於人工氣候室(D/N 25/20°C)生長四週，移到日夜溫 25/20°C 或 35/30°C 兩種不同條件生長一週後，進行生長調節物質前處理，再給予淹水逆境三天、排水三天，調查植株各項生理指標。

(一) 施用生長素之生理影響

在日夜溫 25/20°C 下淹水三天和排水恢復期三天後，‘翠寶’、‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’的相對含水量無顯著變化(圖 1)。但在 35/30°C (D/N) 下淹水後，四品種的相對含水量皆顯著下降(圖 1)，其中‘翠寶’下降幅度最大，降低 21.67%。但施用生長素前處理的植株在淹水後及排水後，相對含水量維持在 85.73%，與淹水前相近(圖 1A)。「白花芥藍」以生長素預處理，使植株在 35/30°C 下淹水、RWC 值維持在 75.69% (圖 1C)。「西螺芥藍」施用生長素沒有影響，RWC 值與對照組相同(圖 1B)。「翠津」在 25/20°C 下淹水及排水後，葉片相對含水量值都降低；在 35/30°C 下淹水，RWC 值降低更多，但有生長素前處理，在排水恢復期 RWC 值為 82.38%(圖 1D)。

‘翠寶’、‘西螺芥藍’、‘翠津’ 苗株在 25/20°C 下、淹水前的葉片電解質滲漏率分別為 5.04%、5.7%、6.6% (圖 2)。淹水處理後，‘翠寶’、‘翠津’ 葉片電解質滲漏率都增加；‘西螺芥藍’ 到排水恢復期電解質滲漏率持續增加至 8.15%，為四品種中增加幅度最大。芥藍在 35/30°C 條件下未淹水，葉片電解質滲漏率即顯著高於 25/20°C 之植株；淹水處理使‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’ 的電解質滲漏值顯著上升。生長素前處理能降低它們在高溫下淹水的電解質滲漏值(圖 2B、C)，並降低‘西螺芥藍’ 在恢復期的滲漏值(圖 2B)。

芥藍苗期淹水處理後，葉綠素螢光反應之變化如圖 3。在日/夜溫 25/20°C 下、四品種淹水前之葉綠素螢光反應值介於 0.6~0.8；只有‘翠寶’ 在淹水三天後和排水三天後 Fv/Fm 值顯著下降(由 0.697→0.478)(圖 3A)，‘翠津’、‘白花芥藍’ 沒有因淹水或排水有顯著改變。但在日/夜溫 35/30°C 下，各品種葉綠素螢光反應因淹水有顯著下降(圖 3)，‘白花芥藍’ 下降至 0.329、幅度最大(圖 3C)。除‘翠寶’

外，各品種在排水後 Fv/Fm 值有回升情形。施用生長素前處理對芥藍有減輕淹水傷害的作用，表現在‘白花芥藍’及‘翠津’淹水後有較高 Fv/Fm 值(圖 3C、D)，‘翠寶’與‘西螺芥藍’在排水恢復期有較高 Fv/Fm 值，‘西螺芥藍’回升至 0.65(圖 3A、B)。但‘翠津’在排水恢復期、Fv/Fm 值更低至 0.277(圖 3D)。

芥藍苗葉綠素讀值可顯示葉色差異，‘白花芥藍’葉色最淺，次為‘翠津’；高溫下葉色較深(圖 4)。在日/夜溫 25/20°C 下淹水處理後，‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’葉綠素讀值下降(圖 4B、C)，而‘翠寶’和‘翠津’維持不變(圖 4A、D)。到排水後恢復期‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’葉綠素讀值略回升(圖 4B、C)，而‘翠寶’葉綠素讀值降至 43.5，‘翠津’維持在 44.3(圖 4A、D)。在日/夜溫 35/30°C 下淹水三天後，除‘西螺芥藍’外，各品種葉綠素讀值都明顯下降，降至 35~37；‘西螺芥藍’與‘白花芥藍’在排水後葉綠素讀值仍下降，‘白花芥藍’降至 30.9，為四品種最低者(圖 4B、C)。經過生長素處理，‘西螺芥藍’淹水後葉綠素讀值仍降低，在 35/30°C 下降至 42.2；‘翠寶’和‘白花芥藍’在兩個溫度條件下的葉綠素讀值都有回升，對‘翠津’只在高溫條件下有葉綠素讀值增加的情形(圖 4A、B、C、D)。對‘翠寶’和‘白花芥藍’在兩個溫度條件下，排水後的葉綠素讀值也有提升的效果(圖 4A、C)。

四種芥藍在日/夜溫 25/20°C 下、淹水前的脯胺酸含量介於 0.32~0.33 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW(圖 5)。在 35/30°C 下，‘翠寶’、‘白花芥藍’和‘西螺芥藍’脯胺酸含量增加，‘西螺芥藍’增加幅度最大、含量最高(0.525 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW)(圖 5B)。四個品種在 25/20°C 下淹水三天後，脯胺酸含量增加至 0.65~0.77 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW(圖 5)；而在 35/30°C 下淹水除‘西螺芥藍’脯胺酸含量沒有增加外，以‘翠津’含量增加幅度最大(0.282→0.911 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW)(圖 5D)。排水後的恢復期間除‘翠津’在 35/30°C 條件外，各品種 proline 含量有不同程度的增加，以 35/30°C 條件下增加幅度最大(圖 5)。施用生長素後對‘西螺芥藍’在排水後有減緩 proline 含量增加的作用，為四品種中含量最低(0.910 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW)(圖 5B)。但‘翠津’和‘白花芥藍’只在 25/20°C 下淹水後 proline 含量會減少，在 35/30°C 下淹水 proline 含量不變(圖 5C、D)。

淹水逆境對於作物最大的傷害是脂膜過氧化作用，並促使膜脂中不飽和脂肪

酸過氧化產生二次代謝物-丙二醛(MDA)，因此丙二醛含量常為細胞膜脂質過氧化的指標。在 25/20°C 下‘白花芥藍’的丙二醛含量 15.74 nmol · g⁻¹ FW，其他三個品種的丙二醛含量介於 17~19 nmol · g⁻¹ FW。淹水後，‘翠寶’丙二醛含量略有增加，待排水後含量下降至 16.27 nmol · g⁻¹ FW 為各品種最低(圖 6A)；‘西螺芥藍’在淹水、排水後，丙二醛含量增加至 20.77 nmol · g⁻¹ FW，為四品種中最高(圖 6B)。而‘白花芥藍’和‘翠津’丙二醛含量無顯著變化(圖 6 C、D)。在 35/30°C 高溫下‘白花芥藍’和‘西螺芥藍’的丙二醛含量顯著高於在 25/20°C 下之含量，以‘白花芥藍’的含量最高(25.77 nmol · g⁻¹ FW) (圖 6 B、C)。淹水後，除了‘西螺芥藍’丙二醛含量呈減少(淹水前 25.57 nmol · g⁻¹ FW vs 後 22.86 nmol · g⁻¹ FW)外(圖 6B)，其他品種呈不顯著增加(圖 6 A、C-D)。到排水後各品種的丙二醛含量顯著增加，以‘西螺芥藍’增加至 28.59 nmol · g⁻¹ FW、變化最大(圖 6B)。施用生長素後，在 25/20°C 下‘白花芥藍’排水後的 MDA 含量仍升高至 20.97 nmol · g⁻¹ FW(圖 6C)；‘翠津’在淹水或排水後 MDA 含量變化小(圖 6D)。但‘西螺芥藍’、‘白花芥藍’在 35/30°C 下淹水，MDA 含量較低，分別為 18.28 nmol · g⁻¹ FW 及 17.43 nmol · g⁻¹ FW，並且排水後其 MDA 含量比未施生長素的處理低(圖 6B、C)。

(二) 施用海藻萃取物之生理影響

在 25/20°C 下‘翠津’苗淹水後，相對含水量降低，排水三天的恢復期維持相近的相對含水量；施用海藻萃取物(商品名：綠寶)處理，相對含水量沒有改變，約 76.65% (圖 7D)。「翠寶」、「西螺芥藍」、「白花芥藍」在 25/20°C 下淹水三天後和排水三天後，無論有無海藻萃取物前處理，相對含水量沒有顯著變化，以‘翠寶’的相對含水量，89.85% 最高(圖 7A-C)。而在 35/30°C 下，各品種淹水後相對含水量都顯著降低；‘西螺芥藍’和‘翠津’降至 74.5%，有海藻萃取物處理的 RWC 值相同，並維持到排水恢復期 (圖 7A、B)。「翠寶’和‘白花芥藍’添加海藻萃取物可顯著減少 RWC 值之下降 (圖 7A、C)。

在日夜溫 25/20°C 下，‘西螺芥藍’淹水後的葉片電解質滲漏率增為 6.31%，到排水恢復期增至 8.06% (圖 8B)，而‘翠寶’、‘白花芥藍’和‘翠津’之電解質滲漏率隨淹水後、恢復期無顯著差異 (圖 8A、C-D)。施用海藻萃取物只對‘白花芥藍’恢復期之電解質滲漏率有降低作用，但差異不顯著。而在日夜溫 35/30

℃下‘西螺芥藍’、‘翠津’ 電解質滲漏率由淹水前、淹水後到排水後呈增加(圖 8B、D); ‘翠寶’ 維持相近的電解質滲漏率(圖 8A)。施用海藻萃取物處理對‘白花芥藍’可減緩淹水後電解質滲漏率之增加,對‘西螺芥藍’和‘翠津’可降低在排水後的電解質滲漏率,對‘翠寶’沒有顯著影響(圖 8A-D)。

‘翠寶’芥藍苗在日夜溫 25/20℃下淹水處理,顯著降低其葉綠素螢光反應(Fv/Fm)值,‘西螺芥藍’在排水後的Fv/Fm值比淹水後高;海藻萃取物處理使‘翠寶’淹水後和排水後的Fv/Fm值維持在0.6以上(圖 9A、B)。在35/30℃下淹水處理使各品種Fv/Fm值皆顯著下降,‘白花芥藍’下降幅度最大(由0.725→0.33);海藻萃取物處理使‘西螺芥藍’淹水後的Fv/Fm值回升,增加‘翠寶’、‘翠津’排水後的Fv/Fm值(圖 9A-B、D)。

在日夜溫 25/20℃下淹水處理降低‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’葉綠素讀值,對‘翠寶’、‘翠津’不影響(圖 10)。海藻萃取物處理可提高‘翠寶’以外的其他三種芥藍淹水後之葉綠素讀值(葉色),其中以‘白花芥藍’增加最多(由低於40→55.9)(圖 10C)。到排水恢復期‘白花芥藍’、‘西螺芥藍’、‘翠津’葉綠素讀值比淹水後低,施用海藻萃取物能回升葉綠素讀值到或高於淹水前的讀值,即在淹水逆境後增加各品種葉綠素含量(圖 10)。在35/30℃下淹水使‘白花芥藍’、‘翠寶’和‘翠津’葉綠素讀值顯著降低,施用海藻萃取物能提高它們的葉綠素讀值(圖 10A、C-D)。排水後,‘白花芥藍’和‘西螺芥藍’葉綠素讀值還繼續降低,施用海藻萃取物顯著增加‘白花芥藍’、‘翠津’葉綠素讀值(圖 10B-D),甚至高於淹水前讀值;而對‘翠寶’沒有作用(圖 10A)。

在25/20℃下受到淹水逆境三天後,各品種脯胺酸含量都顯著增加(圖 11),待排水恢復期‘翠寶’、‘翠津’脯胺酸含量仍有顯著增加,‘白花芥藍’沒有顯著變化。不同階段‘翠津’的脯胺酸含量為四品種中較低者。施用海藻萃取物後,‘翠寶’、‘翠津’淹水後的脯胺酸含量顯著較低(圖 11A、D),‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’則與對照組無顯著差異(圖 11B、C)。排水後‘西螺芥藍’和‘翠津’的脯胺酸含量有顯著降低;‘翠寶’和‘白花芥藍’的脯胺酸含量不受影響。在35/30℃高溫、施用海藻萃取物顯著增加‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’淹水後脯胺酸含量,並減少‘白花芥藍’在排水後的脯胺酸含量。降低‘翠寶’

在排水恢復期的脯胺酸含量，而對‘翠津’的脯胺酸含量沒有影響。

不同溫度(25/20°C及 35/30°C)下芥藍苗期淹水處理後丙二醛之含量變化，示如圖 12。四品種在 25/20°C 下淹水後的丙二醛含量與對照組無顯著差異(圖 12)。但海藻萃取物前處理使‘西螺芥藍’和‘翠津’淹水後的丙二醛含量分別下降至 13.29 nmol·g⁻¹ FW 及 15.16 nmol·g⁻¹ FW；‘翠寶’丙二醛含量增加，從淹水前的 16.16 nmol·g⁻¹ FW 增加至 20.91 nmol·g⁻¹ FW，但統計上差異不顯著(圖 12A)。在 35/30°C 下‘西螺芥藍’、‘白花芥藍’淹水前之丙二醛含量顯著高於在 25/20°C 下之含量；各品種丙二醛含量隨淹水後、排水後持續增加。海藻萃取物前處理使‘西螺芥藍’、‘白花芥藍’、‘翠津’在淹水後，丙二醛含量顯著減少；也減緩它們在排水後之丙二醛含量上升(圖 12B-D)，但對‘翠寶’無論淹水後或排水後的丙二醛含量沒有改變。

(三) 施用細胞分裂素之生理影響

施用細胞分裂素(商品名：速喜)對芥藍苗在日夜溫 25/20°C 下淹水處理後相對含水量之影響如圖 13，只‘翠津’淹水後相對含水量有顯著降低，其他品種與淹水前沒有顯著差異。細胞分裂素處理使‘白花芥藍’淹水後相對含水量較未處理細胞分裂素植株顯著為低，‘翠寶’也有相同情形(圖 13C、A)。在 35/30°C 下淹水後四品種相對含水量在淹水後皆顯著下降，‘翠津’降幅最大，從 89% 降至 70% (圖 13D)。細胞分裂素處理未減緩‘翠津’相對含水量之降低，對‘翠寶’、‘白花芥藍’有減緩淹水後、恢復期的相對含水量下降情況(圖 13)。

在電解質滲漏率方面，‘翠寶’、‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’在 25/20°C 下淹水前、淹水三天和排水三天後電解質滲漏率呈逐步上升，但差異不顯著，而‘翠津’從逆境前(6.05%)至恢復期(8.0%)呈顯著增加(圖 14D)。在日夜溫 35/30°C 下各品種電解質滲漏率都比 25/20°C 下高，‘翠津’在淹水逆境恢復期電解質滲漏率升高；‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’淹水後顯著增加電解質滲漏率(圖 14B、C、D)，‘翠寶’增加幅度不顯著。施用細胞分裂素對 25/20°C 下‘白花芥藍’在淹水恢復期減少電解質滲漏率；對‘西螺芥藍’高溫(35/30°C)下淹水、在恢復期降低電解質滲漏率。

在日夜溫 25/20°C 下淹水處理使‘翠寶’、‘翠津’葉綠素螢光反應(Fv/Fm)

值顯著下降，尤其‘翠寶’；‘西螺芥藍’在排水後，Fv/Fm 值回升(圖 15)。施用細胞分裂素可增加‘翠寶’淹水後及排水後的 Fv/Fm 值(圖 15A)。在日夜溫 35/30°C 下葉綠素螢光反應值較 25/20°C 下低，淹水處理使 Fv/Fm 值大幅下降；‘西螺芥藍’、‘白花芥藍’和‘翠津’在排水後 Fv/Fm 值有回升。細胞分裂素處理在‘翠津’淹水後 Fv/Fm 值有回升效果，對排水後及對其他品種淹水之葉綠素螢光反應值無回升效果(圖 15 D)。

在日夜溫 25/20°C 下淹水處理使‘西螺芥藍’、‘白花芥藍’苗之葉綠素讀值(葉色)降低，施用細胞分裂素只在‘白花芥藍’有葉綠素讀值恢復(圖 16)。在日夜溫 35/30°C 下除‘西螺芥藍’外，淹水使各品種葉綠素讀值下降，葉色變淺；施用細胞分裂素都能增加其淹水後及恢復期的葉綠素讀值(圖 16A、C、D)。

在日夜溫 25/20°C 下各品種淹水後，脯胺酸含量都有增加；‘翠寶’、‘翠津’至排水後仍有脯胺酸含量增加情形(圖 17A、D)。施用細胞分裂素，對‘翠寶’、減少其淹水後、排水後脯胺酸含量(圖 17A)；對‘西螺芥藍’只降低淹水後之脯胺酸含量(圖 17B)；對‘翠津’是增加其脯胺酸含量(圖 17D)。在日夜溫 35/30°C 下‘翠寶’脯胺酸含量均較適溫下高；淹水未增加‘西螺芥藍’脯胺酸含量，但排水後脯胺酸含量上升。施用細胞分裂素對‘翠津’淹水後是減少其脯胺酸含量，對‘翠寶’、‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’增加其脯胺酸含量(圖 17)。在排水恢復期，‘翠寶’脯胺酸含量因施用細胞分裂素而降低；‘翠津’、‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’其脯胺酸含量增加。

在日夜溫 25/20°C 下淹水，各芥藍的丙二醛含量與對照組無顯著差異(圖 18)；到排水後，‘西螺芥藍’丙二醛含量較淹水前高。施用細胞分裂素只在‘翠津’有淹水後、丙二醛含量顯著減少(圖 18B、D)。待排水後‘翠寶’、‘白花芥藍’的丙二醛含量有增加，在‘白花芥藍’達顯著差異(圖 18A、C)。在 35/30°C 下各品種淹水未顯著影響丙二醛含量；‘白花芥藍’施用細胞分裂素顯著降低其在排水後丙二醛含量至 20.29 nmol · g⁻¹ FW (圖 18C)。細胞分裂素處理使各品種在排水後的丙二醛含量減少。

(四) 施用硫酸鋅之生理影響

在日夜溫 25/20°C 下施用硫酸鋅對芥藍苗淹水後葉片相對含水量之變化，如圖 19；除了‘白花芥藍’表現相對含水量之變化小(圖 19C)，其它遭受淹水後相對

含水量減少了 3~10%。排水後，相對含水量無顯著變化。在 35/30°C 下淹水處理對各品種芥藍苗相對含水量都有顯著降低，‘西螺芥藍’和‘翠津’分別降至 68.4%和 72.7% (圖 19B、D)。硫酸鋅處理減緩了‘翠寶’、‘白花芥藍’相對含水量的下降 (圖 19A、C)，也增加它們在排水後的相對含水量，‘翠寶’維持在 86%左右 (圖 19A)。但硫酸鋅處理未提高‘西螺芥藍’和‘翠津’淹水後的相對含水量 (圖 19B、D)。

日夜溫 25/20°C 下對芥藍苗淹水處理後，葉片電解質滲漏率都增加至 7.7~8.4%，與對照組無顯著差異 (圖 20)。在 35/30°C 下對芥藍苗淹水處理，電解質滲漏率在‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’有顯著增加，在‘翠寶’和‘翠津’也增加電解質滲漏率、但差異不顯著 (圖 20A、D)，而硫酸鋅處理可減緩‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’因淹水逆境的電解質滲漏 (圖 20B、C)，對‘翠津’電解質滲漏情形沒有改善 (圖 20D)。

在日夜溫 25/20°C 下經逆境三天後芥藍的葉綠素螢光反應，以‘翠寶’下降幅度最大 (圖 21A)；‘西螺芥藍’和‘翠津’也有顯著減少，但都維持在 0.6 以上 (圖 21)。而在 35/30°C 下‘白花芥藍’和‘翠津’葉綠素螢光反應比 25/20°C 下為低，淹水更大幅降低其苗株葉綠素螢光反應，硫酸鋅處理有助於提高‘翠寶’、‘白花芥藍’和‘翠津’淹水後的 Fv/Fm 值；但對排水後的葉綠素螢光反應沒有影響 (圖 21A、C-D)。

對芥藍苗淹水處理後葉綠素讀值(葉色)之變化，在日夜溫 25/20°C 下以‘西螺芥藍’、‘白花芥藍’有顯著減少，在其它品種及排水後葉綠素讀值變化不大。施用硫酸鋅增加‘西螺芥藍’、‘白花芥藍’淹水後的葉綠素讀值 (圖 22B、C)。在日夜溫 35/30°C 下淹水，‘翠寶’、‘翠津’葉綠素讀值顯著減少，硫酸鋅處理可增加其葉色，對‘翠津’繼續在排水期的葉綠素讀值有增加的作用 (圖 22A、D)。「白花芥藍」到排水恢復期，葉綠素讀值持續降低，硫酸鋅處理增加其葉綠素讀值作用不顯著 (圖 22C)。

在日夜溫 25/20°C 下淹水，四品種的脯胺酸含量增加，‘其中‘西螺芥藍’脯胺酸含量隨淹水、排水持續增加，施用硫酸鋅未減少‘西螺芥藍’的脯胺酸含量增加 (圖 23B)。施用硫酸鋅處理減少‘翠寶’、‘白花芥藍’在排水後的脯胺酸含量增加 (圖 23A、C)。在日夜溫 35/30°C 下、未淹水，芥藍的脯胺酸含量比 25/20

℃下高(圖 23)。淹水後‘西螺芥藍’脯胺酸含量未增加,其它品種脯胺酸含量都大幅增加;施用硫酸鋅對‘翠寶’在淹水後及排水後都能減緩脯胺酸含量的增加,而對‘白花芥藍’、‘西螺芥藍’增加脯胺酸含量(圖 23A-C)。

在日夜溫 25/20℃下淹水後‘翠寶’和‘翠津’的丙二醛含量無顯著改變,‘西螺芥藍’丙二醛含量減少,施用硫酸鋅未減少‘白花芥藍’丙二醛含量(圖 24)。排水三天後‘翠寶’丙二醛含量減少,反正‘西螺芥藍’丙二醛含量增加(圖 24B)。而施用硫酸鋅對‘翠寶’、‘翠津’在淹水後丙二醛含量顯著減少,但在排水後‘白花芥藍’丙二醛含量增加(圖 24A、C-D)。在日夜溫 35/30℃下淹水後,‘翠寶’、‘翠津’丙二醛含量略增,排水後四品種的丙二醛含量都持續增加,其中以‘西螺芥藍’、‘翠津’丙二醛含量大幅增加(圖 24B、D)。施用硫酸鋅對‘西螺芥藍’、‘白花芥藍’減少其在淹水後丙二醛含量。

(六)施用腐胺對芥藍苗期淹水之生理影響

在日夜溫 25/20℃下芥藍苗期淹水處理只‘翠寶’和‘翠津’相對含水量減少,腐胺前處理減少其下降幅度(圖 25A、D)。雖然‘白花芥藍’相對含水量有低到 74.67%的處理,它和‘西螺芥藍’相對含水量沒有明顯變化趨勢(圖 25B、C)。而在日夜溫 35/30℃下苗期淹水處理,四品種相對含水量皆下降,其中以西螺芥藍下降幅度最大,減少 20%(圖 25B),其餘品種減少 9~14%。施用腐胺可顯著減少‘翠寶’和‘白花芥藍’高溫下淹水逆境後相對含水量的下降程度。

在日夜溫 25/20℃‘翠寶’和‘翠津’苗期淹水處理後,電解質滲漏率皆隨時間持續增加,‘白花芥藍’在恢復期電解質滲漏率上升(圖 26A、C、D)。而在日夜溫 35/30℃下‘白花芥藍’和‘翠津’‘遭到淹水後電解質滲漏率分別增高至 9.14%和 10.45%(圖 26C、D),‘翠寶’和‘西螺芥藍’在恢復期電解質滲漏率上升(圖 26A、B)。施用腐胺對於‘翠寶’、‘白花芥藍’和‘西螺芥藍’都可減少電解質滲漏率的增加。

‘翠寶’在日夜溫 25/20℃淹水後,葉綠素螢光反應(Fv/Fm)從淹水前的 0.73 降到 0.67(圖 27A);‘西螺芥藍’在恢復期 Fv/Fm 值回升(圖 27B)。「白花芥藍」Fv/Fm 值雖有波動,變化不顯著(圖 27C)。在日夜溫 35/30℃下淹水處理後,四品種葉綠素螢光反應皆顯著下降,但‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’在恢復期 Fv/Fm 值回升,腐胺前處理使‘白花芥藍’在淹水後 Fv/Fm 值不降低(圖 27B、C)。

‘西螺芥藍’在日夜溫 25/20°C 下經淹水後，葉綠素讀值(葉色)下降，‘翠寶’和‘白花芥藍’在恢復期 SPAD 值降低(圖 28A、B、C)。施用腐胺可增加‘翠寶’和‘白花芥藍’在恢復期的 SPAD 值。在日夜溫 35/30°C 下淹水後，‘翠寶’和‘翠津’葉綠素讀值降低，‘西螺芥藍’到恢復期 SPAD 值降低(圖 28A、B、D)。施用腐胺可減少‘西螺芥藍’、‘翠寶’和‘翠津’淹水後葉綠素讀值之下降。

四品種在日夜溫 25/20°C 下淹水後，脯胺酸含量增加；‘翠寶’和‘翠津’持續增加到恢復期，‘白花芥藍’脯胺酸含量在恢復期降回(圖 29)。除‘西螺芥藍’外，施用腐胺影響其他三個品種的脯胺酸累積情形，減少‘翠寶’在恢復期的累積，增加‘翠津’和‘白花芥藍’在恢復期的脯胺酸含量(圖 29A、C、D)。在日夜溫 35/30°C 淹水四品種都有脯胺酸含量大幅增加情形；‘翠寶’、‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’是持續增加到恢復期(圖 29A-C)。腐胺前處理影響四品種的脯胺酸累積，在‘西螺芥藍’、‘白花芥藍’增加其淹水後及恢復期的脯胺酸累積，增加‘翠津’、而減少‘翠寶’恢復期的脯胺酸累積。

在日夜溫 25/20°C 下淹水，各品種丙二醛含量沒有顯著變化，在 35/30°C 下的含量多較常溫下為高(圖 30)。在 35/30°C 下各品種丙二醛含量都在淹水後恢復期增加，以‘翠津’增加幅度最大(21.46 n mol·g⁻¹ FW→23.72 n mol·g⁻¹ FW)(圖 30D)。施用腐胺‘白花芥藍’和‘翠津’在恢復期的丙二醛含量減少(圖 30C、D)。

二、植物生長調節物質處理對芥藍成株淹水後之生長影響

在夏季 7~9 月(平均氣溫為 29.4°C)期間，於農業試驗所(台中縣霧峰)試驗田進行淹水試驗。所有芥藍品種在淹水逆境三天後出現不同程度的失水萎凋，到排水恢復期五天後，除了‘翠寶’和‘蕙津’的失水情況輕微外，其他品種葉片則持續失水、黃化，其中以‘西螺芥藍’和‘白格林’兩品種最為嚴重。

(一) 相對含水量

葉片相對含水量可代表植株在淹水逆境後所呈現之萎凋情況，在八月的田間試驗用‘翠寶’、‘翠津’、‘黃花芥藍’和‘芥藍花’為供試材料。沒有淹水前各品種的平均相對含水量範圍分別為：‘翠寶’ 75.4~83.1%、‘翠津’ 72.7~83.7%、‘黃花芥藍’ 69.3~73.8%、‘芥藍花’ 71.5~86.3%，其中以‘翠寶’

和‘翠津’的平均相對含水量較高(圖 31A、B)。各品種芥藍在淹水逆境三天及排水恢復期五天後相對含水量分別降為 30~50%。經過植物生長調節物質之前處理，四品種淹水後之相對含水量降低幅度有改善(圖 31)。「翠寶」品種以海藻萃取物(商品：綠寶、天下補)、細胞分裂素(商品：速喜)和硫酸鋅處理有顯著效果，其中以硫酸鋅處理的相對含水量 64.6% 為最高(圖 31A)。「翠津」品種經過海藻萃取物(綠寶)和腐胺處理，其相對含水量顯著高於對照組，以綠寶處理的相對含水量 61.9% 為最高(圖 31B)。「黃花芥藍」是以綠寶、天下補、硫酸鋅和腐胺處理組有較高相對含水量，以綠寶處理組的 55.9% 為最高(圖 31C)。「芥藍花」以海藻萃取物(綠寶、天下補)處理者，相對含水量分別為 43.3、47.5%，高於對照組(圖 31D)。

在九月之田間試驗，以‘翠寶’、‘蕙津’、‘格林花’、‘西螺芥藍’和‘白格林’為供試材料。經過植物生長調節物質處理，未淹水前各品種的平均相對含水量範圍分別為：‘翠寶’ 86.7~91%、‘蕙津’ 81.7~91.6%、‘格林花’ 82.6~88.1%、‘西螺芥藍’ 84.9~91.6% 和‘白格林’ 86.3~90.6%，仍以‘翠寶’的平均相對含水量 89.3% 最高(圖 32A)。五品種在排水恢復期五天後相對含水量較淹水前顯著減少(圖 32)，其中‘西螺芥藍’和‘白格林’受到淹水逆境的影響最大(圖 32D、E)，平均相對含水量減少至 12.8~24.4%。植物生長調節物質處理對提高‘西螺芥藍’和‘白格林’淹水後的葉片相對含水量沒有效果(圖 32D、E)。

‘蕙津’以海藻萃取物(綠寶、天下補)和腐胺處理有顯著效果，經過淹水及排水後相對含水量分別為 69.5% 和 69.2% (圖 32B)，顯著高於對照組。「翠寶」經過海藻萃取物(綠寶、天下補)、速喜、硫酸鋅和腐胺處理，相對含水量顯著高於對照組，以硫酸鋅處理之相對含水量 69.4% 為所有處理最高(圖 32A)。「格林花」除根毛王處理外各處理的相對含水量都顯著高於對照組，對照組相對含水量為 19.5% (圖 32C)。

(二) 電解質滲漏率

當植株受到淹水逆境之傷害程度越大，葉片電解質滲漏程度也越大。在八月田間試驗中，四品種淹水前的平均電解質滲漏率範圍在 8~14% (圖 33)。各品種經過淹水逆境三天後電解質滲漏增加程度不同，以‘翠津’增加最大，次為‘芥藍花’，而‘翠寶’沒有增加。「翠津」經過生長調節物質之處理，淹水後其電解質增加的程度比對照組小，以海藻萃取物(綠寶、天下補)、細胞分裂素(速喜)和硫

酸鋅處理增加最少。淹水前的電解質滲漏率為 8~12%，淹水後為 22~26%，而對照組為 67%(圖 33D)。「黃花芥藍」只有生長素(根毛王)的處理使其淹水處理的電解質滲漏率低於對照組(33%)，其它處理的電解質滲漏率都在 50% 以上(圖 33B)。「芥藍花」以根毛王、速喜及硫酸鋅處理能減少淹水造成的電解質滲漏(圖 33C)。

在排水恢復期五天後各品種電解質滲漏率增加，而施用各種生長調節物質有不同的減緩效果，其中以海藻萃取物(綠寶)效果最好。「翠寶」對照組電解質滲漏率從淹水前至排水五天後，增加 70~76%，而綠寶處理組增加 56~50% (圖 33A)。綠寶處理使「翠津」在排水恢復期後之電解質滲漏率比對照組減少 45%(圖 33D)。

「黃花芥藍」以綠寶處理，電解質滲漏率低於 80%(圖 33B)；「芥藍花」是以綠寶和生長素(根毛王)電解質滲漏率顯著低於對照組，在排水恢復五天期後分別為 56.5%、59.9% (圖 33C)。

在九月田間試驗中，淹水前五個芥藍品種的電解質滲漏率範圍在 10~19% 之間(圖 34)。淹水後「翠寶」、「格林花」的電解質滲漏率增加最少，都低於 40% (圖 34A、C)。五個品種施用生長調節物質並未降低其淹水後的電解質滲漏率。經排水五天恢復期後，各品種電解質滲漏率增至 80%-90% (圖 34)。只有「翠寶」以海藻素(綠寶、天下補)前處理，電解質滲漏率分別降低為 66.1%、67.1%(圖 34A)；「蕙津」以綠寶、天下補和細胞分裂素(速喜)三個處理之電解質滲漏率較低，介於 76~78% (圖 34B)。「格林花」以生長素(根毛王)處理之電解質滲漏率為 74.12% (圖 34C)，顯著低於對照組。「西螺芥藍」以綠寶、天下補和細胞分裂素(速喜)處理、「白格林」以綠寶處理之電解質滲漏率都低於對照組 (圖 34D、E)。

(三)葉綠素讀值

葉綠素讀值(SPAD 值)可代表植株的相對葉色，可以比較植株遭受到淹水逆境後的葉色變化。在八月田間試驗中各品種的平均葉綠素讀值範圍分別為：「翠寶」70.2~77.1、「翠津」73.7~75.9、「黃花芥藍」53.3~55.8 和「芥藍花」42.1~54.3，與「翠寶」和「翠津」葉色較深，而「黃花芥藍」和「芥藍花」葉色較淺相符合(圖 35)。經過淹水三天和排水恢復期後，「翠寶」平均葉綠素讀值下降至 42.9。以天下補前處理有最高葉綠素讀值，60.7 (圖 35A)；綠寶、速喜和腐胺處理能維持較高 SPAD 值，並顯著高於對照組。「翠津」經淹水恢復期後平均葉綠素讀值下降至 35，而施用海藻萃取物綠寶的葉綠素讀值維持 60.5，其它速喜和腐胺處理組的

SPAD 值也比對照組高 (圖 35D)。「黃花芥藍」淹水後對照組葉綠素讀值下降至 23.1, 而施用海藻萃提取物(綠寶)和細胞分裂素(速喜)維持較高之葉綠素讀值(34.3)(圖 35B)。「芥藍花」淹水後對照組葉綠素讀值降至 6.2, 各生長調節物質之前處理皆顯著提高 SPAD 值, 以腐胺和綠寶處理有最高葉綠素讀值(圖 35C)。

在九月田間試驗中各品種的原本葉綠素讀值範圍分別為:「翠寶」62.1~68.7、「蕙津」47.6~52.3、「格林花」39.1~49.6、「西螺芥藍」47~55.1 和「白格林」24.5~32.3。葉色最深者為「翠寶」, 最淺者為「白格林」(圖 36)。經淹水逆境三天和排水恢復期後,「翠寶」、「蕙津」之葉綠素讀值分別降為 42.1、22.1、其它三個品種都低至 2.2(圖 36C、D、E)。植物生長調節物質前處理能有些提升 SPAD 值(圖 36);「翠寶」以細胞分裂素(速喜)、硫酸鋅(圖 36A)、「蕙津」以硫酸鋅(圖 36B)、「西螺芥藍」以海藻萃提取物(綠寶、天下補)處理(圖 36D)能顯著提高葉綠素讀值。「翠寶」可提高至 52.76(速喜),「蕙津」提高至 33.1(硫酸鋅),「西螺芥藍」可至 22.4 和 19.1(綠寶、天下補)。

(四)葉綠素螢光反應

在八月田間試驗中各品種的平均葉綠素螢光反應(Fv/Fm)範圍分別為:「翠寶」0.729~0.795、「翠津」0.738~0.835、「黃花芥藍」0.765~0.804 和「芥藍花」0.759~0.823(圖 37)。經淹水三天後和排水後,各品種之葉綠素螢光反應變化顯示,「翠寶」Fv/Fm 值下降至 0.131、「翠津」降低至 0.069、「黃花芥藍」0.177、「芥藍花」0.257。除了硫酸鋅處理外,其他生長調節物質處理都能較好地維持葉綠素螢光反應。「翠寶」以海藻素綠寶處理的 Fv/Fm 值為 0.702, 與淹水前最相近(圖 37A)。「翠津」以綠寶、天下補處理組的 Fv/Fm 值分別達 0.598、0.567(圖 37D)。「芥藍花」以綠寶處理, Fv/Fm 值為 0.640(圖 37C),「黃花芥藍」不耐淹水, 以海藻素(綠寶、天下補)和細胞分裂素(速喜)處理, 有較高葉綠素螢光反應(圖 7B)。

在九月田間試驗中各品種的平均葉綠素螢光反應範圍分別為:「翠寶」0.787~0.839、「蕙津」0.733~0.847、「格林花」0.795~0.859、「西螺芥藍」0.750~0.854 和「白格林」0.701~0.858(圖 38)。淹水後和排水恢復期後,「翠寶」葉綠素螢光反應降至 0.551(圖 38A),「蕙津」下降至 0.442(圖 38B),「格林花」與「白格林」分別降至 0.331 與 0.359(圖 38C、E),「西螺芥藍」降至 0.233(圖

38D)。「翠寶」以綠寶及根毛王處理能維持在 0.75 以上，而「蕙津」以細胞分裂素速喜處理維持 Fv/Fm 值 0.558(圖 38B)。「西螺芥藍」以天下補處理組提高葉綠素螢光反應；「格林花」與「白格林」各生長調節物質處理都無顯著效果(圖 38C、E)。

(五)脯胺酸含量

在八月田間試驗中，各品種的脯胺酸含量在淹水逆境三天後大幅上升，排水恢復期後下降，但仍高於淹水前。各品種原本平均脯胺酸含量低，範圍分別為：「翠寶」 $0.123\sim 0.174 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、「翠津」 $0.146\sim 0.189 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、「黃花芥藍」 $0.126\sim 0.1931 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 和「芥藍花」 $0.140\sim 0.18 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ (圖 39)。經過淹水三天後，「翠寶」以海藻素和腐胺兩處理脯胺酸含量分別增加至 $0.718 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、 $0.761 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ，為其它各處理及對照組中最低。當排水後以根毛王及綠寶兩處理的脯胺酸含量降至 $0.569 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、 $0.544 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ，為所有處理最低的(圖 39A)。「翠津」經過淹水後脯胺酸含量增加至 $1.251 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ，綠寶和天下補處理的脯胺酸含量最低，分別為 $0.790 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、 $0.892 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 。當排水恢復正常條件五天後對照組脯胺酸含量降至 $0.857 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ，綠寶、硫酸鋅和腐胺三種處理脯胺酸含量顯著低於對照組，以綠寶處理的 $0.682 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 最低(圖 39D)。「黃花芥藍」經過淹水後對照組脯胺酸含量增至 $1.332 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ，綠寶處理組為 $0.886 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ，顯著較對照組低。當排水五天後對照組脯胺酸含量降至 $0.848 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ，綠寶處理組脯胺酸含量最低，為 $0.435 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ (圖 39B)。「芥藍花」淹水後脯胺酸含量增加至 $1.112 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ，而綠寶和硫酸鋅處理的脯胺酸含量分別為 $0.5 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、 $0.806 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ，顯著低於對照組。當排水恢復期後對照組及各處理組的脯胺酸含量則降至 $0.76\sim 0.899 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ，以根毛王處理最低(圖 39C)。

在九月田間試驗中各品種起初的平均脯胺酸含量範圍分別為：「翠寶」 $0.104\sim 0.187 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、「蕙津」 $0.103\sim 0.173 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、「格林花」 $0.123\sim 0.177 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、「西螺芥藍」 $0.137\sim 0.217 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 和「白格林」 $0.104\sim 0.184 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ (圖 40)。各品種經過淹水逆境三天後脯胺酸含量呈倍數累積，排水恢復期後脯胺酸含量有些下降，相對仍較淹水前高。「翠寶」經過淹

水後脯胺酸含量相對增加，對照組含量為 $1.197 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，生長調節物質處理組以根毛王、綠寶和天下補處理的含量較低，分別為 $0.866 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 、 $0.826 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 及 $0.78 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 。當排水恢復期後對照組脯胺酸含量降至 $0.926 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，根毛王處理顯著較低， $0.719 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ (圖 40A)。「蕙津」淹水後對照組脯胺酸含量增至 $1.187 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，高於各生長調節物質處理組，硫酸鋅處理組含量最低， $0.745 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ (圖 40B)。排水後，對照組的脯胺酸含量降至 $0.889 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，只天下補處理組脯胺酸含量顯著較低， $0.682 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ (圖 40B)。「格林花」經過淹水後對照組脯胺酸含量增加至 $1.151 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，綠寶、速喜和硫酸鋅處理脯胺酸含量最低，介於 $0.80 \sim 0.85 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 。當排水恢復正常條件下，對照組脯胺酸含量降至 $0.871 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，而以速喜處理的脯胺酸含量 ($0.675 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$) 最低 (圖 40C)。「西螺芥藍」淹水後對照組脯胺酸含量增加至 $1.104 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，生長調節物質處理組較低，介於 $0.82 \sim 0.88 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 。當排水恢復下對照組含量略增，速喜處理脯胺酸含量則下降至 $0.714 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，為所有處理中最低 (圖 40D)。「白格林」淹水後對照組脯胺酸含量增加至 $1.075 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，只綠寶和天下補處理脯胺酸含量， $0.818 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 、 $0.834 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 低於對照組。排水恢復正常後，對照組的含量略增加至 $1.174 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，而根毛王、速喜和硫酸鋅處理組脯胺酸含量分別顯著降低至 $0.864 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 、 $0.82 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 、 $0.806 \mu \text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ (圖 40E)。

(六)丙二醛含量

各品種於淹水後丙二醛含量增加並持續上升至恢復期。在八月田間試驗中各品種起初丙二醛平均含量分別為：「翠寶」 $15.057 \sim 20.266 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 、「翠津」 $16.597 \sim 19.878 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 、「黃花芥藍」 $13.684 \sim 21.771 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 和「芥藍花」 $16.35 \sim 21.97 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ (圖 41)。淹水後「翠寶」丙二醛含量增加至 $20.7 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 與淹水前的含量無顯著差異，而生長調節物質處理組丙二醛含量同樣增加或更高。當排除淹水逆境恢復正常條件後，對照組丙二醛含量再顯著增加至 $37.263 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，綠寶處理的丙二醛含量 $21.89 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，無顯著增加，為各處理最低 (圖 41A)。「翠津」經過淹水後對照組和處理組 (除天下補外) 丙二醛含量都隨之增加，分別增至 $30.56 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 及 $27 \sim 30 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 。

到恢復期對照組丙二醛含量再增加，而綠寶處理維持在 $28.857 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，未再增加，另外天下補處理比對照組顯著為低(圖 41D)。「黃花芥藍」經淹水後對照組丙二醛含量增加至 $28.928 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，而硫酸鋅處理的丙二醛含量 $22.477 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 顯著較低。丙二醛含量在排水恢復期後持續增加，除了綠寶處理的含量維持 $29.084 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，其餘天下補、根毛王與硫酸鋅處理的丙二醛含量，介於 $32\sim 37 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，都低於對照組($40.093 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$) (圖 41B)。「芥藍花」經過淹水後丙二醛含量小幅增加至 $22.813 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，而各生長調節物質處理組(除速喜處理)與對照組無顯著差異。排水後對照組和硫酸鋅處理的丙二醛含量皆增加到 $39.5 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，以綠寶處理的丙二醛含量($29.685 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$) 增加最少(圖 41C)。

在九月田間試驗中各品種的平均丙二醛含量範圍分別為：「翠寶」 $8.467\sim 13.6 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 、「蕙津」 $10.688\sim 20.252 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 、「格林花」 $9.434\sim 17.443 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 、「西螺芥藍」 $8.771\sim 14.837 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 和「白格林」 $11.445\sim 15.647 \mu \text{ mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ (圖 42)。「翠寶」對照組經過淹水後丙二醛含量為 $33.817 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，而根毛王和綠寶處理的丙二醛含量分別為 $13.065 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 、 $19.086 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，顯著為較低者。當排水恢復期後對照組丙二醛含量增加至 $38.023 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，處理組的丙二醛含量都較對照組低，其中以綠寶處理的含量最低，為 $21.390 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ (圖 42A)。「蕙津」淹水後對照組丙二醛含量增至 $22.097 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，以腐胺處理丙二醛含量 $16 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 顯著最低。當排水後，對照組的丙二醛含量繼續增加至 $37.52 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，綠寶($24.309 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$)、天下補處理顯著較對照組低(圖 42B)。「格林花」經過淹水後對照組丙二醛含量小幅增至 $19.256 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，而綠寶處理組丙二醛含量為 $12.935 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 顯著低於對照組。排水後對照組含量增加至 $40.593 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，而根毛王、綠寶和硫酸鋅處理組丙二醛含量顯著低於對照組，硫酸鋅處理組($22.477 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$) 且為最低(圖 42C)。「西螺芥藍」對照組經淹水後丙二醛含量大幅增至 $33.692 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，在根毛王和綠寶兩處理的丙二醛含量($24.883 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 、 $24.946 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$) 顯著低於對照組。排水後，對照組丙二醛含量增加至 $39.952 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，各生長調節物質處理組除硫酸鋅處理外，含量都低於對照組(圖 42D)。「白格林」淹水後對照組丙二醛含量小幅增為 $18.104 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，在排水後增加

至 $35.078 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 。綠寶與根毛王處理後其丙二醛含量顯著低於對照組，且綠寶處理($25.521 \text{ n mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$)最低 (圖 42E)。

(七)鮮乾重

八月田間淹水三天後恢復生長五天後四品種的植株鮮重、地上部、地下部鮮重和乾重示如表 2。在未經過淹水情況下，‘翠寶’對照組平均全株鮮重為 144.45 g、地上部鮮重 135.53 g、地下部鮮重為 8.93 g、平均全株乾重則為 21.43 g，經過六種生長調節物質前處理後，平均全株鮮重介於 119.41 g - 140.07 g、以腐胺處理組顯著較對照組低，其它處理與對照組沒有顯著差異。地上部平均鮮重介於 113.04 g - 131.48 g、以腐胺處理最低；地下部平均鮮重介於 6.37- 9.53 g、與對照組沒有顯著差異。對照組平均全株乾重為 21.43 g，不同調節物質處理組全株乾重 18.25 g - 22.08 g，只速喜(18.58 g)和腐胺兩處理 (18.25 g) 全株乾重顯著低於對照組。‘黃花芥藍’對照組平均全株鮮重 61.42 g、平均地上部鮮重為 60.12 g、地下部鮮重為 1.3 g、平均全株乾重則為 8.03 g。以不同生長調節物質前處理，全株平均鮮重介於 47.35 g - 64.81 g，地上部鮮重 46.70 g - 63.03 g，與對照組無顯著差異。平均地下部鮮重為 0.65 g - 1.77 g，以速喜處理組顯著低於對照組。平均全株乾重 5.35 g - 10.90 g，以綠寶、腐胺 (10.60 g) 顯著高於、速喜顯著低於對照組。芥藍花地上部平均鮮重為 41.97 g、地下部鮮重為 1.01 g、全株鮮、乾重為 42.99 及 8.28 g，經過不同生長調節物質處理後，全株鮮重平均 38.78 g - 48.02 g、平均地上部鮮重 38.13 g - 47.22 g，與對照組無顯著差異。平均地下部鮮重 0.65 g - 1.67 g，以硫酸鋅處理組顯著高於對照組外，全株平均乾重介於 5.32 g - 9.73 g，以速喜處理顯著高於、腐胺及天下補處理組顯著低於對照組外，其它處理組與對照組無差異。‘翠津’對照組平均全株鮮重為 54.82 g、地上部鮮重為 54.08 g、地下部鮮重為 0.73 g、平均乾重為 9.38 g。經過不同生長調節物質處理後，平均全株鮮重 44.45 g - 59.64 g，有天下補、速喜、腐胺處理組低於對照組。平均地下部鮮重與對照組無差異。地上部鮮重除了綠寶(58.98 g)和根毛王處理組(59.64 g)與對照組無差異外，其他處理顯著低於對照組。

施用各種不同生長調節物質前處理、經過淹水三天及排水恢復生長五天後各品種平均鮮重、地上部鮮重、地下部鮮重和乾重之變化如表 2。‘翠寶’對照組

平均全株鮮重為 68.43 g、地上部鮮重為 66.14 g、地下部鮮重為 2.29 g、全株乾重 10.56 g。生長調節物質處理組平均地下部鮮重與對照組無顯著差異，而全株鮮重 64.85 g - 108.49 g 及地上部鮮重 62.26 g - 109.67 g，都是硫酸鋅處理組與對照組相同外，其它各處理顯著高於對照組。各處理全株乾重較對照組高或相同。‘黃花芥藍’對照組平均全株鮮重為 33.37 g、地上部鮮重 32.79 g、地下部鮮重為 0.58 g、平均乾重為 3.34 g。經過不同生長調節物質處理組在排水後，全株鮮重介於 47.35 g - 64.81 g、地上部鮮重介於 46.70 g - 63.03 g，和對照組無顯著差異。全株乾重與地下部鮮重只速喜處理組顯著較低外，其它各處理組高於對照組或與對照組無顯著差異。‘芥藍花’對照組平均全株鮮重 17.53 g、地上部鮮重為 16.98 g、地下部鮮重 0.55 g、全株乾重為 3.47 g。淹水逆境後，全株鮮重及地上部鮮重除腐胺處理組顯著較低外，其它各調節物質處理組與對照組沒有顯著差異。平均全株乾重以硫酸鋅、天下補和腐胺處理組較對照組低，但差異不顯著。‘翠津’對照組平均鮮重為 27.02 g、地上部鮮重為 26.50 g、地下部鮮重 0.52 g、平均乾重為 3.01 g。處理組的全株鮮重、地上部、地下部鮮重以及全株乾重與對照組無顯著差異。

九月田間淹水試驗，五品種植株鮮重、地上部鮮重、地下部鮮重和乾重變化如表 3。未淹水處理的‘翠寶’對照組平均鮮重為 146.21 g、地上部鮮重為 138.63 g、地下部鮮重為 7.58 g、平均乾重為 17.43 g；給予不同生長調節物質處理後，植株平均鮮重介於 123.13 g-187.62 g，平均地上部鮮重 113.5g -173.86 g，均以綠寶處理組顯著較對照組高。植株乾重以根毛王、腐胺和硫酸鋅處理顯著較對照組低外，其它處理與對照組無顯著差異。‘蕙津’對照組平均全株鮮重為 120.88 g、地上部鮮重 114.95 g、地下部鮮重為 5.93 g、全株乾重為 5.93 g。給予不同生長調節物質處理後，平均地下部鮮重和對照組無顯著差異，只綠寶 (126.29 g)和天下補處理組 (116.29 g) 之平均鮮重與對照組(120.88 g)無顯著差異，其它處理組之平均鮮重顯著低於對照組。在平均乾重，處理組與對照組無顯著差異。‘格林花’對照組平均鮮重為 105.75 g、地上部鮮重為 102.85 g、地下部鮮重為 2.9 g、平均乾重為 9.63 g。以不同生長調節物質處理後，平均鮮重及地上部鮮重都比對照組高，並且腐胺處理組與對照組達顯著差異。平均地下部鮮重及平均乾重上，各處理組與對照組無顯著差異(表 3)。「西螺芥藍」對照組平均鮮重為 124.88 g、平均地上部鮮重為 116.16 g、地下部鮮重為 8.72 g、平均乾重為 15.39 g，以生長調節物質處理後，植

株平均鮮重 123.15 g - 173.14 g，地上部鮮重 112.19 g -159.67 g，多高於對照組但差異不顯著。平均地下部鮮重與平均乾重，以綠寶處理組顯著高於對照組。‘白格林’對照組平均鮮重為 142.09 g、地上部鮮重為 130.05 g、地下部鮮重為 12.04 g、平均乾重為 16.93 g，經過不同生長調節物質前處理後，平均鮮重 127.03g- 171.41 g，平均地上部鮮重 113.15 g -160.20 g。平均地下部鮮重和對照組無顯著差異。在平均乾重上，硫酸鋅處理(24.97 g)和天下補處理(20.67 g)都顯著高於對照組(16.93 g)。

施用各種不同植物生長調節物質前處理、再淹水三天及排水五天恢復後，各品種全株、地上部和地下部鮮重及全株乾重之變化如表 3。‘翠寶’對照組淹水後平均鮮重 72.56 g、平均地上部鮮重為 67.27 g、地下部鮮重為 5.28 g、平均乾重 10.10 g。生長調節物質前處理除硫酸鋅外，平均鮮重及平均地上部鮮重都比對照組高，其中天下補處理組(118.33 g、115.6 g)、綠寶處理組(113.04 g、106.43 g)最高。綠寶處理也有最高平均地下部鮮重，6.51 g。各處理組全株平均乾重與對照組無顯著差異。‘蕙津’對照組淹水後平均鮮重為 23.31 g、平均地上部鮮重 23.05 g、地下部鮮重為 0.26 g、平均乾重為 3.51 g，各生長調節物質處理組淹水後，除了腐胺處理組外，都有比對照組高的平均全株鮮重、全株乾重及地上部鮮重。處理組的地下部鮮重與對照組無顯著差異(表 3)。「格林花」對照組淹水後平均鮮重為 30.76 g、地上部鮮重 30.26 g、地下部鮮重為 0.50 g、平均乾重為 3.32 g，經過不同生長調節物質前處理及淹水逆境後，綠寶、根毛王及天下補處理組維持和對照組相似的平均鮮重、地上部平均鮮重。而地下部平均鮮重及全株乾重在各處理組與對照組無顯著差異。「西螺芥藍」對照組淹水後平均鮮重為 28.32 g，地上部、地下部鮮重分別為 27.48 g、0.85 g，平均乾重為 3.24 g。不同生長調節物質前處理後，綠寶、速喜和硫酸鋅處理的全株鮮重及平均地上部鮮重，分別介於 37.78 g~38.89 g 及 36.40 g-38.05 g、顯著高於對照組。處理組在平均地下部鮮重與對照組無顯著差異，在綠寶、天下補、速喜和硫酸鋅處理的平均乾重顯著高於對照組(表 3)。「白格林」淹水對照組平均鮮重為 23.21 g、地上部鮮重為 22.49 g、地下部鮮重為 0.73 g、平均乾重為 3.60 g，經過不同生長調節物質的處理組，平均鮮重介於 19.61 g-28.11 g、地上部平均鮮重 19.13 g- 26.96 g 都與對照組沒有差異。平均地下部鮮重、全株乾重與對照組相同。

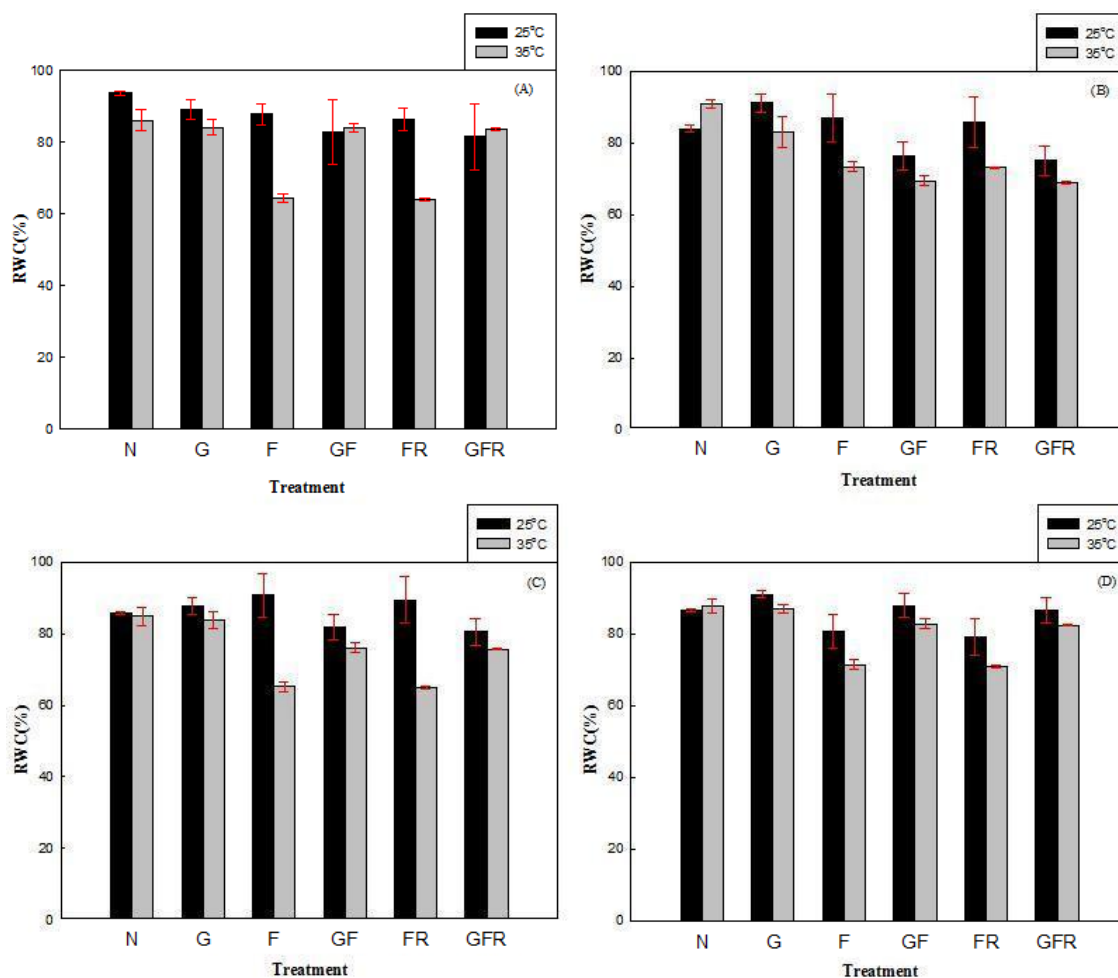


圖 1. 施用生長素(根毛王)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片相對含水量之影響。G：生長素(根毛王)前處理；GF：生長素前處理後淹水 3 天；GFR：生長素前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種：‘翠寶’(A)、『西螺芥藍’(B)、『白花芥藍’(C)和『翠津’(D))。

Fig 1. The effect of auxin pretreatment (G) on relative water content (RWC) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : auxin (Lysine#3) pretreatment; GF : auxin pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : auxin pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. ‘Tsuei-Bao’ (F₁) (A); ‘Si-lo’ (B); ‘White-flowered’ (C); ‘Tsuei-Jin’ (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

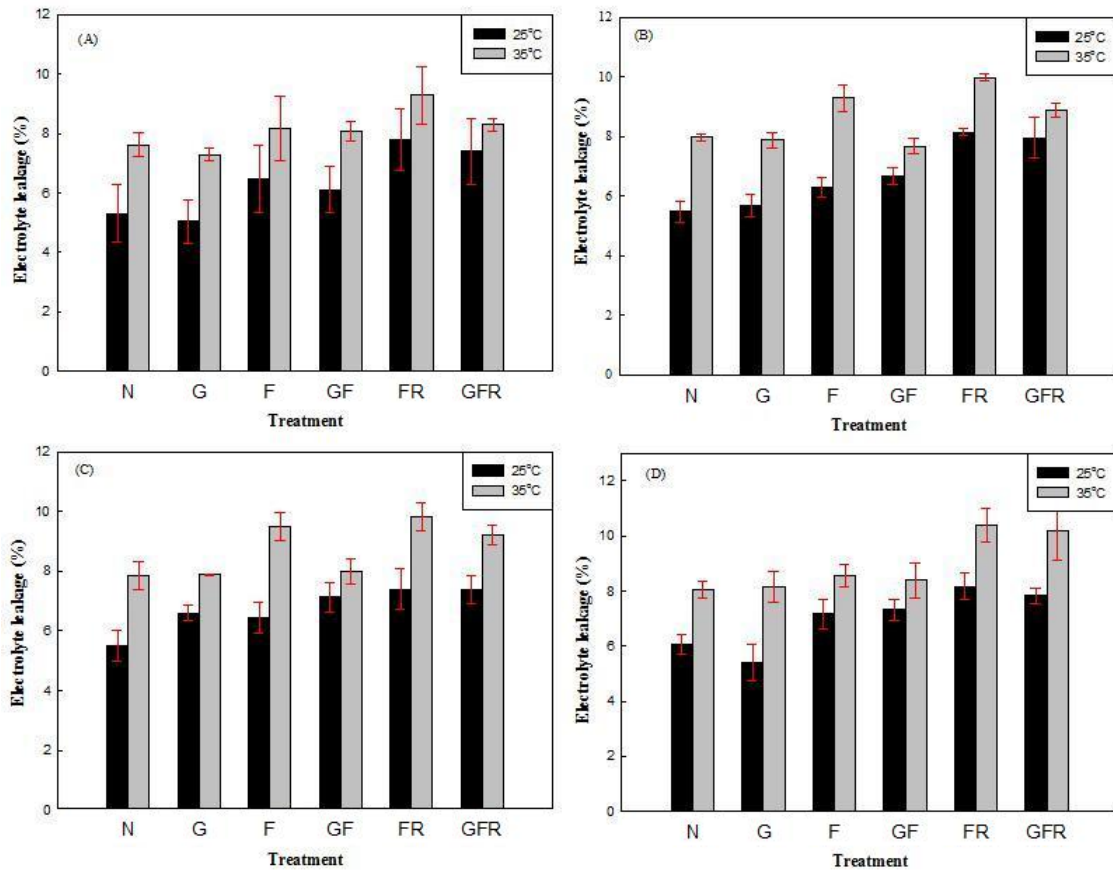


圖 2. 施用生長素(根毛王)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片電解質滲漏率之影響。G：生長素(根毛王)前處理；GF：生長素前處理後給 3 天淹水；GFR：生長素前處理後淹水及排水三天。(品種：‘翠寶’(A)、‘西螺芥藍’(B)、‘白花芥藍’(C)和‘翠津’(D))。

Fig 2. The effect of auxin pretreatment (G) on electrolyte leakage (%) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : auxin (Lysine#3) pretreatment; GF : auxin pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : auxin pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. ‘Tsuei-Bao’ (F₁) (A); ‘Si-lo’ (B); ‘White-flowered’ (C); ‘Tsuei-Jin’ (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

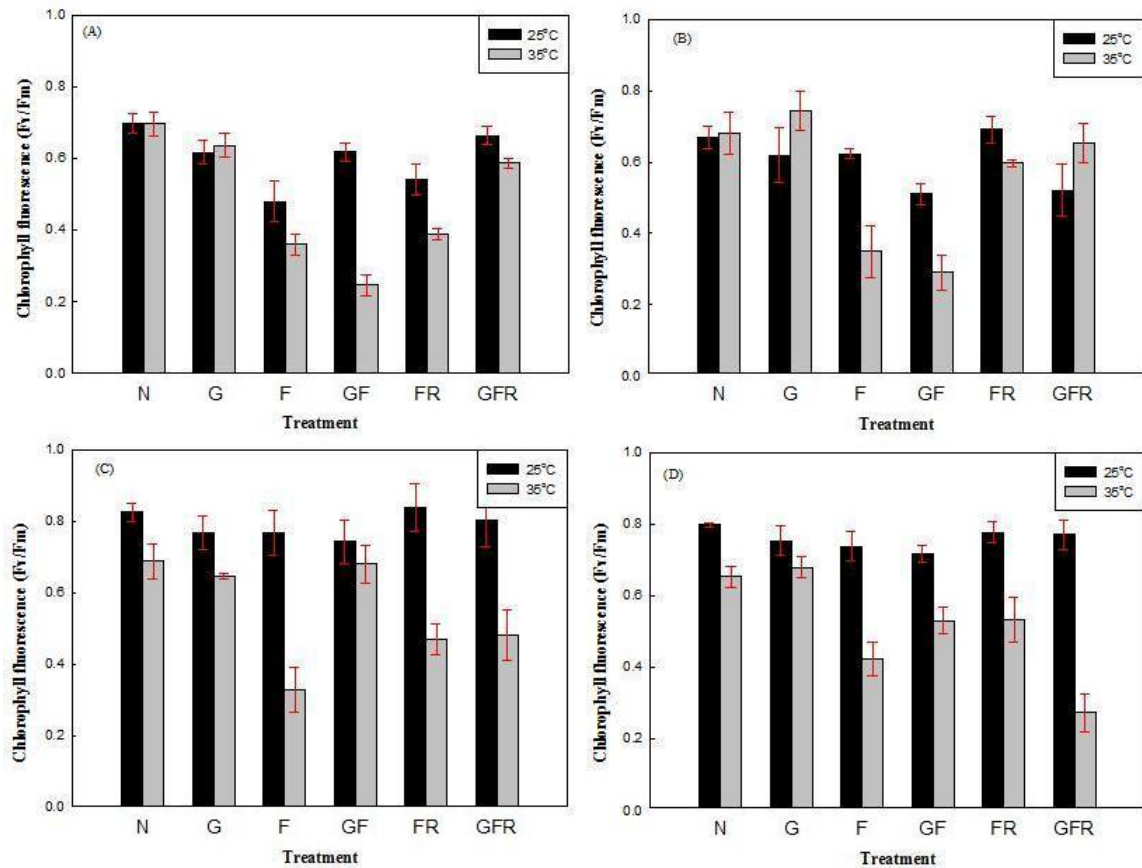


圖 3. 施用生長素(根毛王)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片葉綠素螢光反應之影響。G：生長素(根毛王)前處理；GF：生長素前處理後淹水3天；GFR：生長素前處理後淹水3天及排水3天。(品種：‘翠寶’(A)、『西螺芥藍’(B)、『白花芥藍’(C)和『翠津’(D))。

Fig 3. The effect of auxin (Lysine#3) pretreatment (G) on chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : auxin (Lysine#3) pretreatment; GF : auxin pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : auxin pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. ‘Tsuei-Bao’ (F₁) (A); ‘Si-lo’ (B); ‘White-flowered’ (C); ‘Tsuei-Jin’ (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

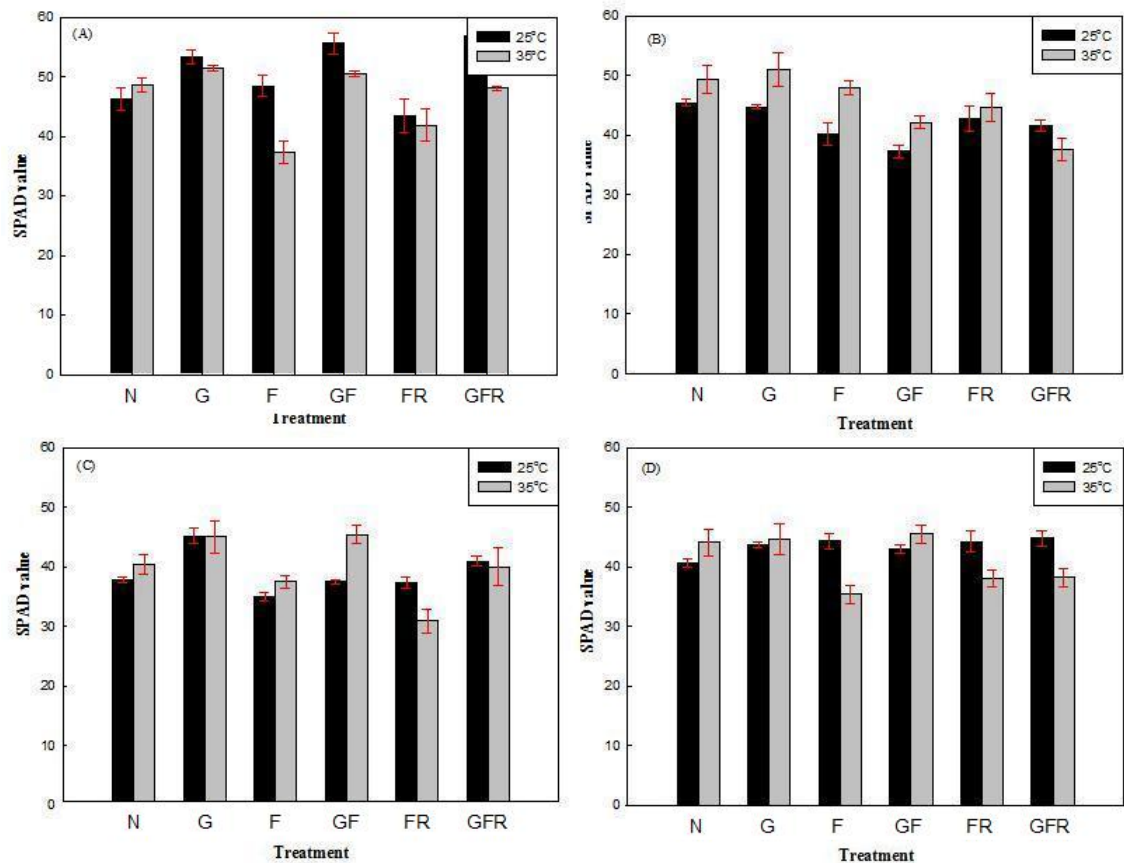


圖 4. 施用生長素(根毛王)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片葉綠素讀值之影響。G：生長素(根毛王)前處理；GF：生長素前處理後淹水 3 天；GFR：生長素前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種：‘翠寶’(A)、‘西螺芥藍’(B)、‘白花芥藍’(C)和‘翠津’(D))。

Fig 4. The effect of auxin (Lysine#3) pretreatment (G) on SPAD value of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : auxin (Lysine#3) pretreatment; GF : auxin pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : auxin pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. ‘Tsuei-Bao’ (F₁) (A); ‘Si-lo’ (B); ‘White-flowered’ (C); ‘Tsuei-Jin’ (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

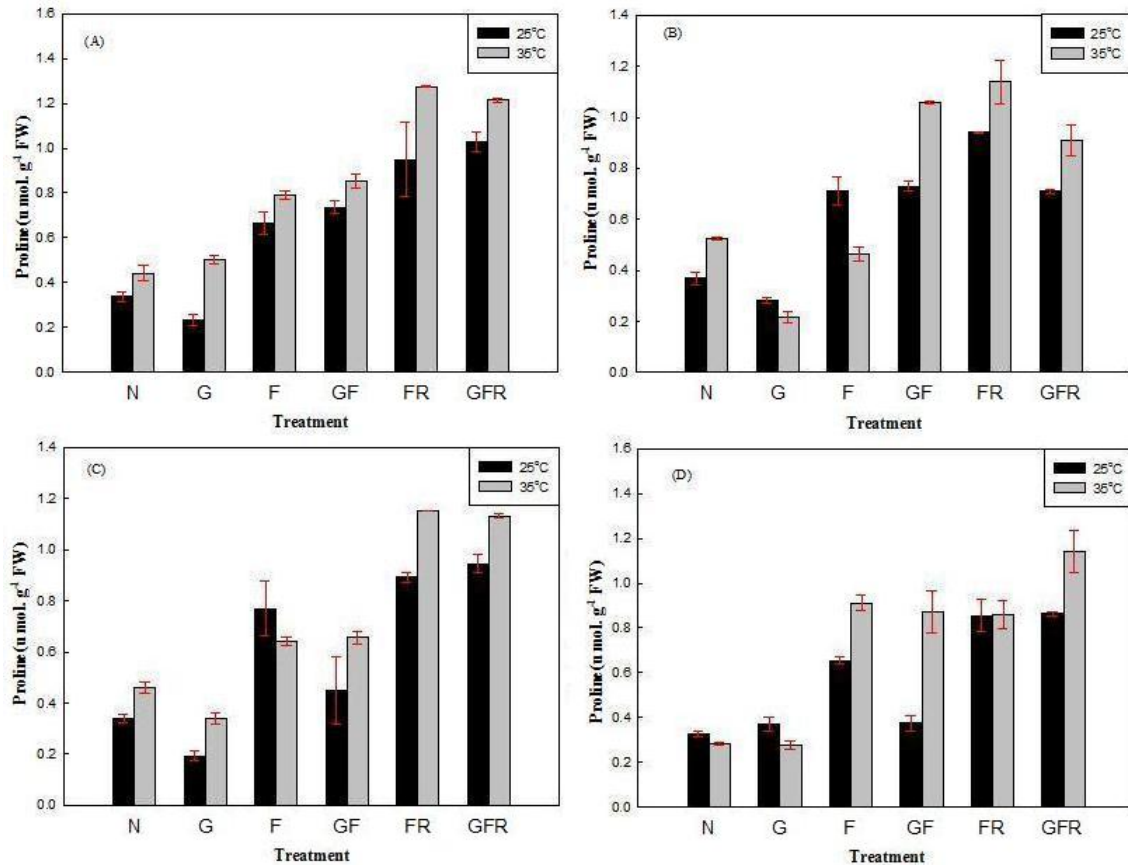


圖 5. 施用生長素(根毛王)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片脯氨酸含量之影響。G: 生長素(根毛王)前處理; GF: 生長素前處理後淹水 3 天; GFR: 生長素前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: ‘翠寶’(A)、‘西螺芥藍’(B)、‘白花芥藍’(C) 和‘翠津’(D))。

Fig 5. The effect of auxin (Lysine#3) pretreatment (G) on proline content of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : auxin (Lysine#3) treatment ; GF : auxin pretreatment followed by 3 days of flooding; GFR : auxin pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. ‘Tsuei-Bao’ (F₁) (A); ‘Si-lo’ (B); ‘White-flowered’ (C); ‘Tsuei-Jin’ (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

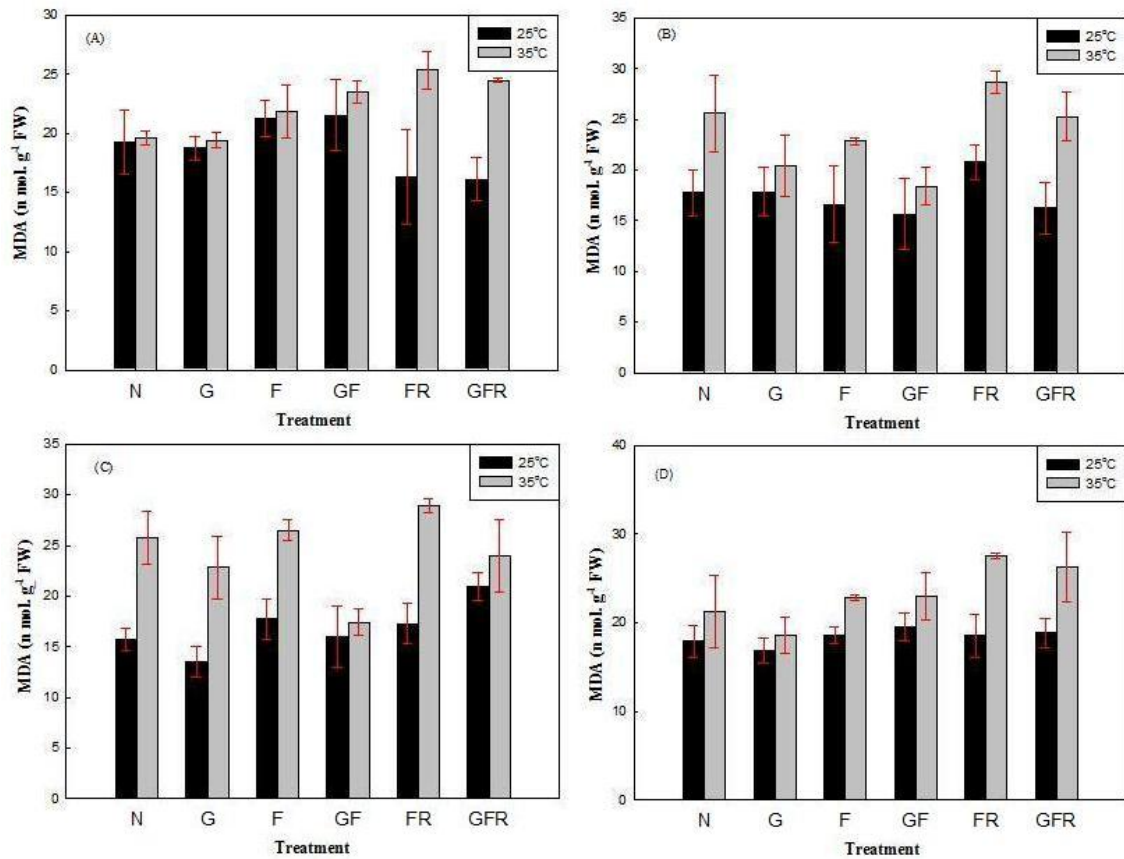


圖 6. 施用生長素(根毛王)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片丙二醛含量之影響。G: 生長素(根毛王)前處理; GF: 生長素前處理後淹水 3 天; GFR: 生長素前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: '翠寶'(A)、'西螺芥藍'(B)、'白花芥藍'(C) 和 '翠津'(D))。

Fig 6. The effect of auxin (Lysine#3) pretreatment (G) on malondialdehyde (MDA) content of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : auxin (Lysine#3) treatment ; GF : auxin pretreatment followed by 3 days of flooding; GFR : auxin pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

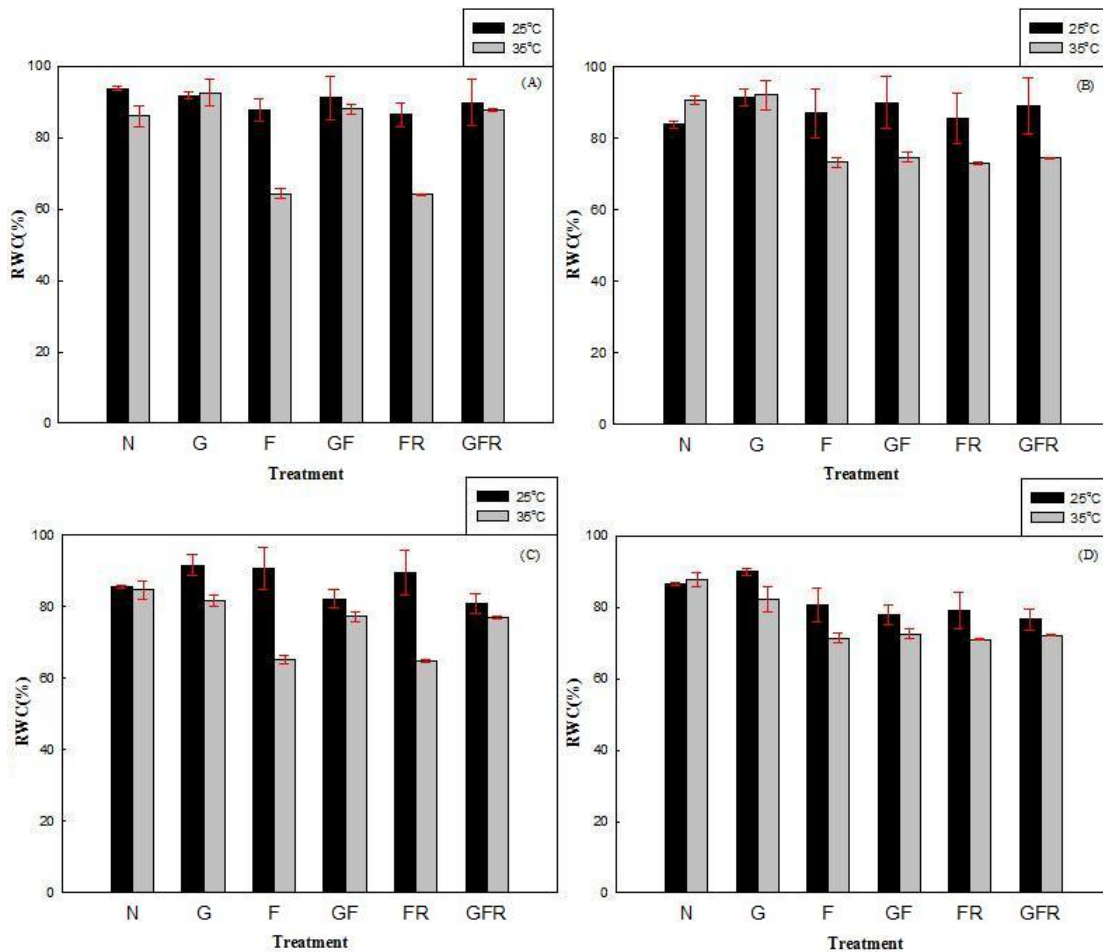


圖 7. 施用海藻萃取物(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C 及 35/30°C) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片相對含水量之影響。G: 海藻萃取物(綠寶)前處理; GF: 海藻萃取物前處理後淹水 3 天; GFR: 海藻萃取物前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: '翠寶'(A)、'西螺芥藍'(B)、'白花芥藍'(C)和'翠津'(D))。

Fig 7. The effect of seaweed extract pretreatment (G) on relative water content (RWC) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C) or high temperature (D/N 35/30°C) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : seaweed extract (Algreen) pretreatment ; GF : seaweed extract pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : seaweed extract pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

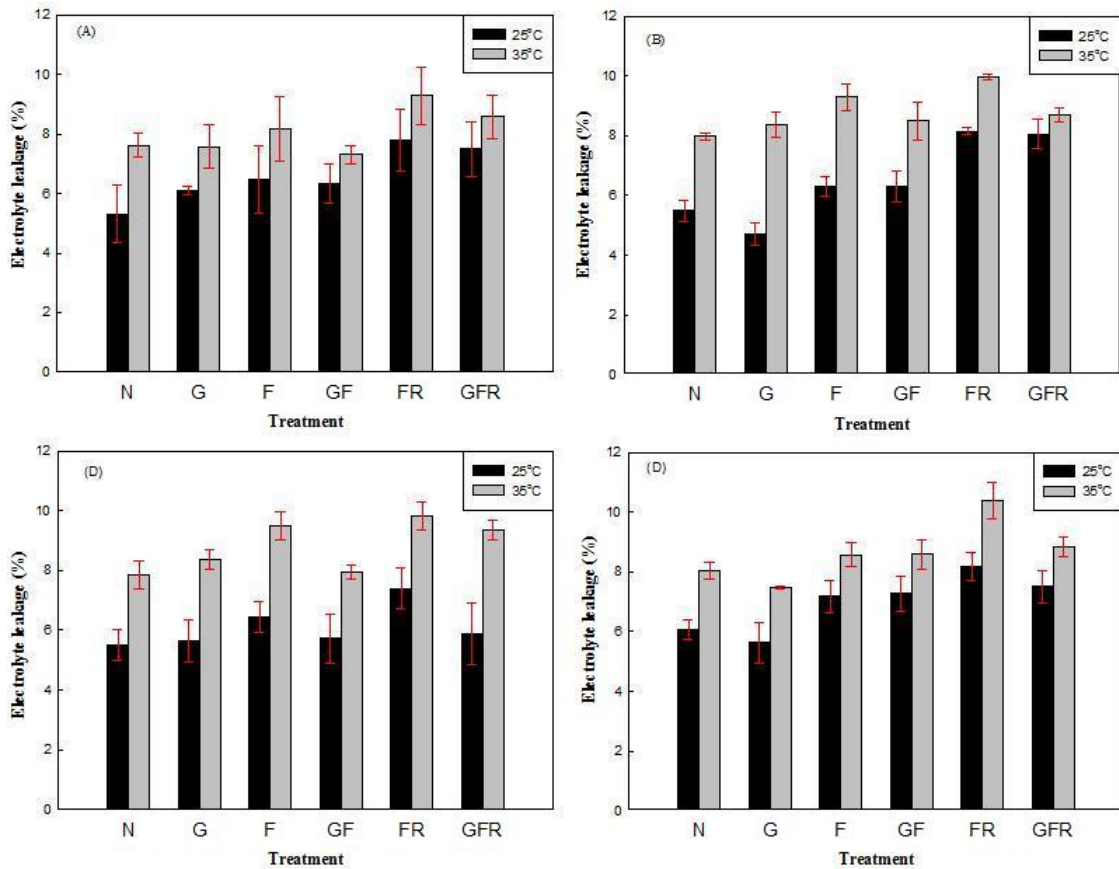


圖 8. 施用海藻萃取物(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片電解質滲漏率之影響。G: 海藻萃取物(綠寶)前處理; GF: 海藻萃取物前處理後淹水 3 天; GFR: 海藻萃取物前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: '翠寶'(A)、'西螺芥藍'(B)、'白花芥藍'(C)和'翠津'(D))。

Fig 8. The effect of seaweed extract pretreatment (G) on electrolyte leakage of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : seaweed extract (Algreen) pretreatment ; GF : seaweed extract pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : seaweed extract pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

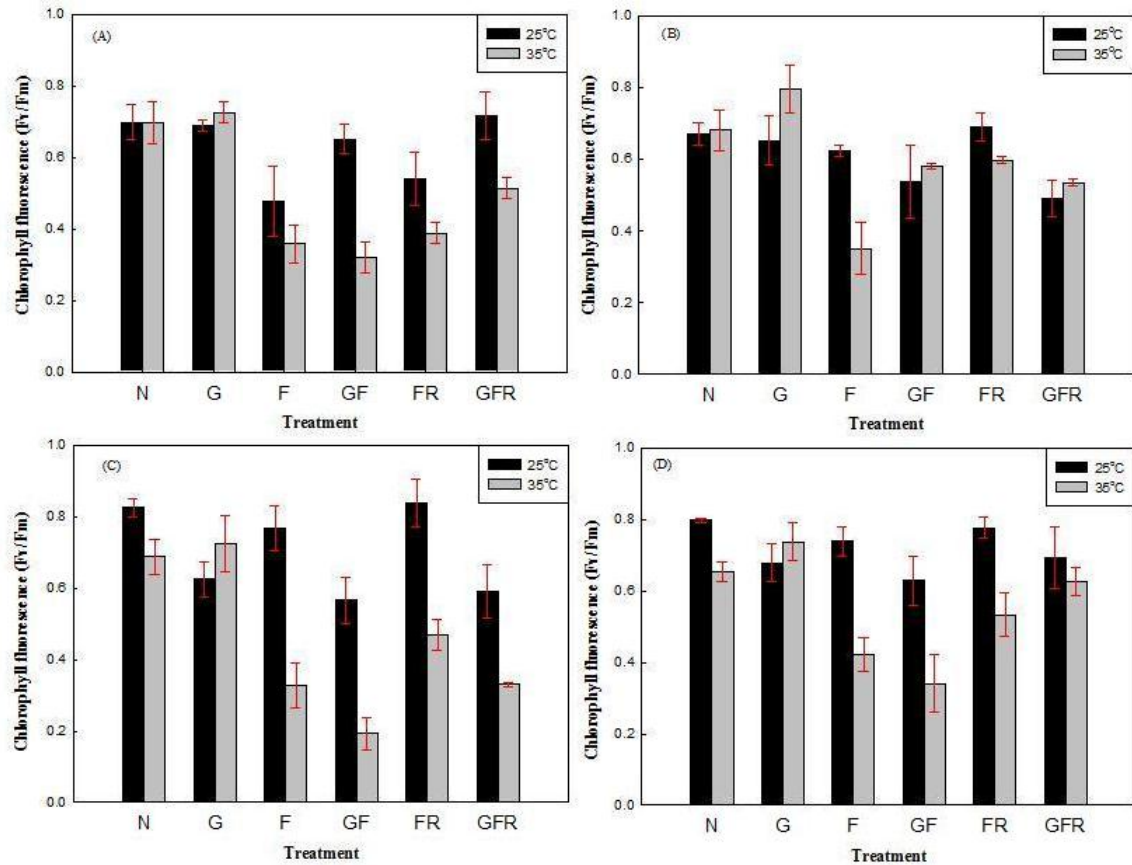


圖 9. 施用海藻萃取物(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)以及排水三天後(FR)葉片葉綠素螢光反應之影響。G: 海藻萃取物(綠寶)前處理; GF : 海藻萃取物前處理後淹水 3 天; GFR : 海藻萃取物前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種:‘翠寶’(A)、『西螺芥藍’(B)、『白花芥藍’(C)和『翠津’(D))。

Fig 9. The effect of seaweed extract (Algreen) pretreatment (G) on chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : seaweed extract (Algreen) pretreatment ; GF : seaweed extract pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : seaweed extract pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. ‘Tsuei-Bao’ (F₁) (A); ‘Si-lo’ (B); ‘White-flowered’ (C); ‘Tsuei-Jin’ (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

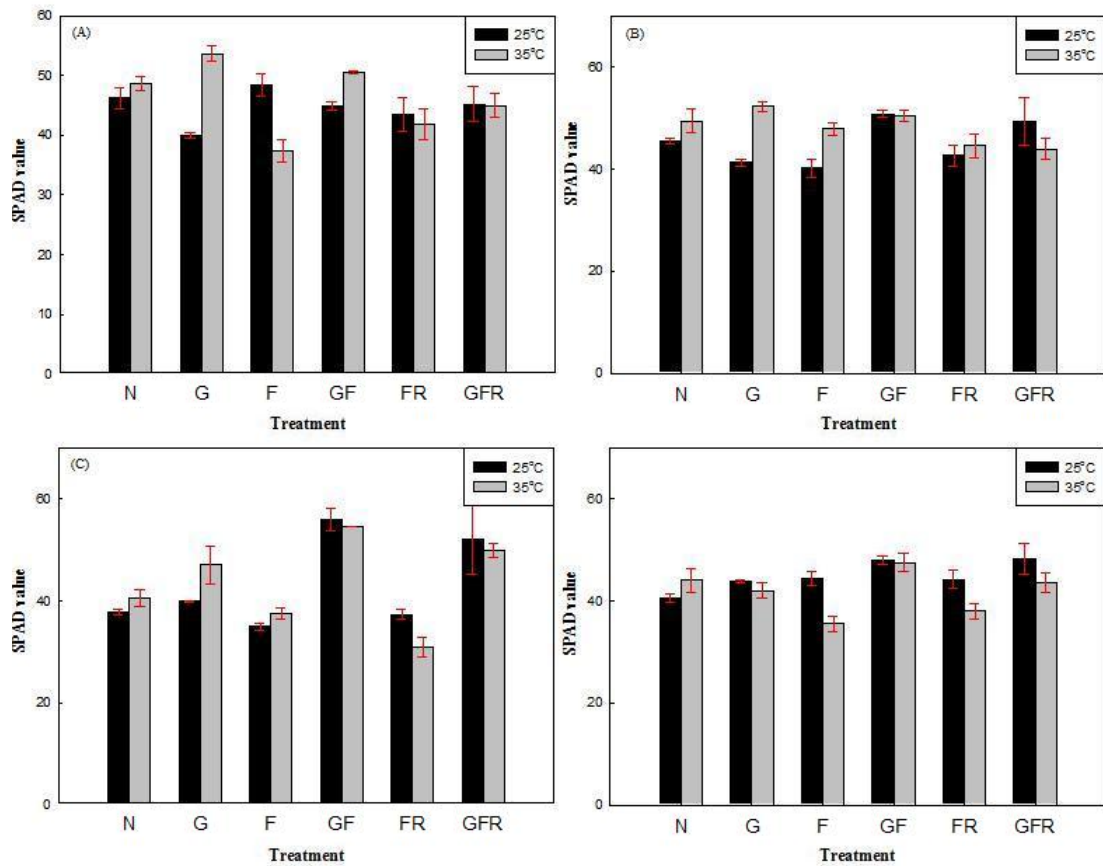


圖 10. 施用海藻萃取物(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片葉綠素讀值之影響。G: 海藻萃取物(綠寶)前處理; GF: 海藻萃取物前處理後淹水 3 天; GFR: 海藻萃取物前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種：‘翠寶’(A)、‘西螺芥藍’(B)、‘白花芥藍’(C)和‘翠津’(D))。

Fig 10. The effect of seaweed extract (Algreen) pretreatment (G) on SPAD value of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : seaweed extract (Algreen) pretreatment ; GF : seaweed extract pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : seaweed extract pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. ‘Tsuei-Bao’ (F₁) (A); ‘Si-lo’ (B); ‘White-flowered’ (C); ‘Tsuei-Jin’ (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

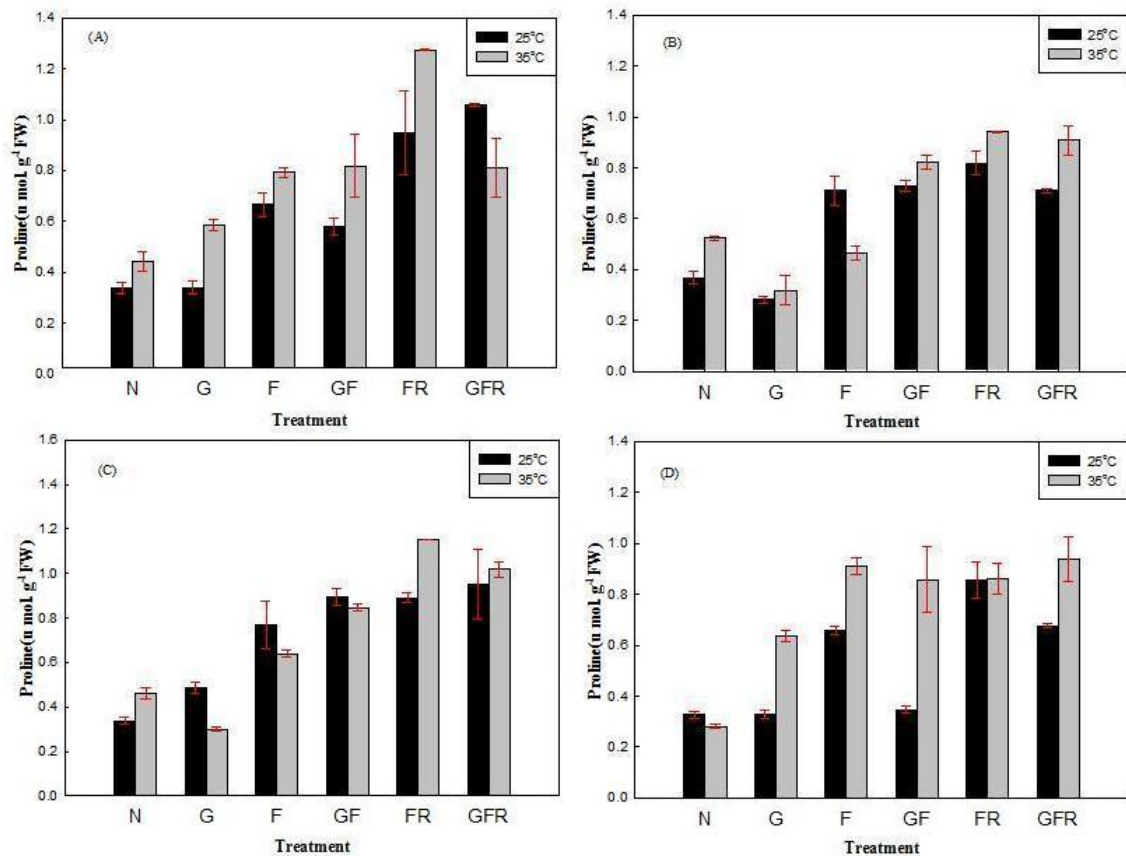


圖 11. 施用海藻萃取物(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片脯氨酸含量之影響。G: 海藻萃取物(綠寶)前處理; GF: 海藻萃取物前處理後淹水 3 天; GFR: 海藻萃取物前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: ‘翠寶’(A)、‘西螺芥藍’(B)、‘白花芥藍’(C)和‘翠津’(D))。

Fig 11. The effect of seaweed extract (Algreen) pretreatment (G) on proline content of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : seaweed extract (Algreen) pretreatment ; GF : seaweed extract pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : seaweed extract pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. ‘Tsuei-Bao’ (F₁) (A); ‘Si-lo’ (B); ‘White-flowered’ (C); ‘Tsuei-Jin’ (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

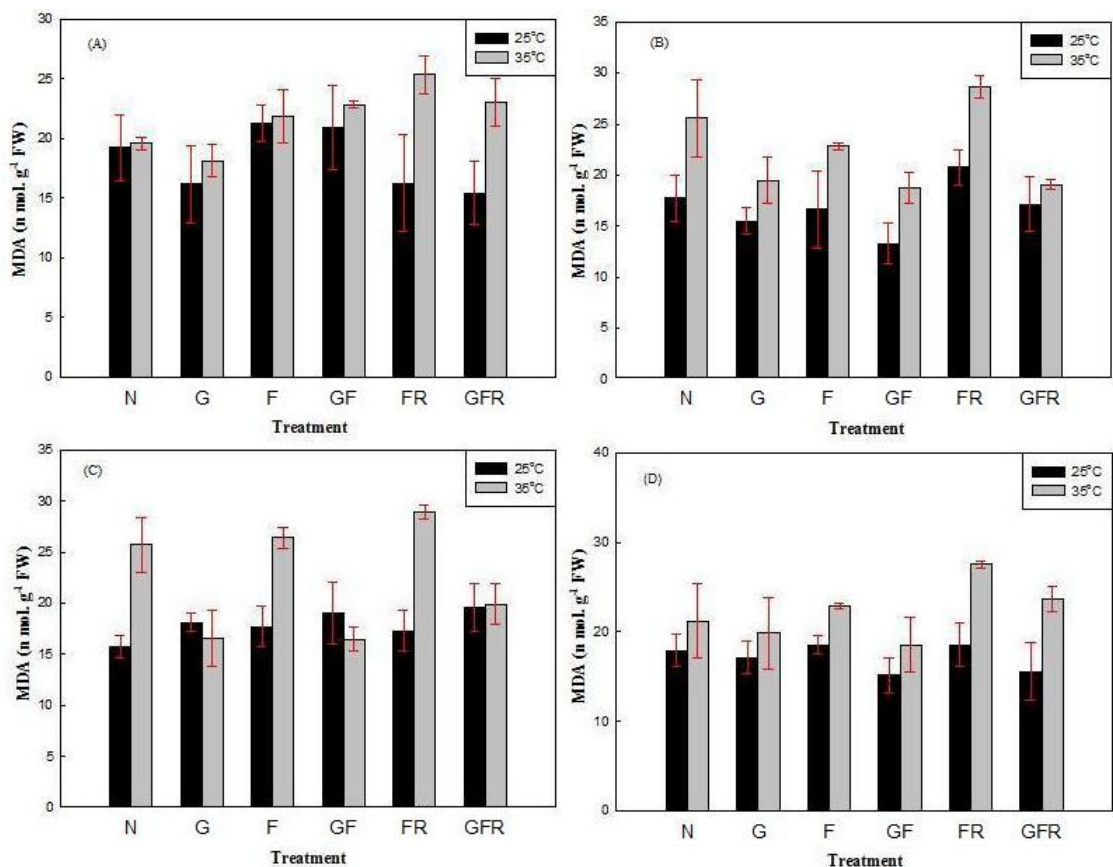


圖 12. 施用海藻萃取物(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片丙二醛含量之影響。G: 海藻萃取物(綠寶)前處理; GF: 海藻萃取物前處理後淹水 3 天; GFR: 海藻萃取物前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: ‘翠寶’(A)、‘西螺芥藍’(B)、‘白花芥藍’(C)和‘翠津’(D))。

Fig 12. The effect of seaweed extract (Algreen) pretreatment (G) on malondialdehyde (MDA) content of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : seaweed extract (Algreen) pretreatment ; GF : seaweed extract pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : seaweed extract pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. ‘Tsuei-Bao’ (F₁) (A); ‘Si-lo’ (B); ‘White-flowered’ (C); ‘Tsuei-Jin’ (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

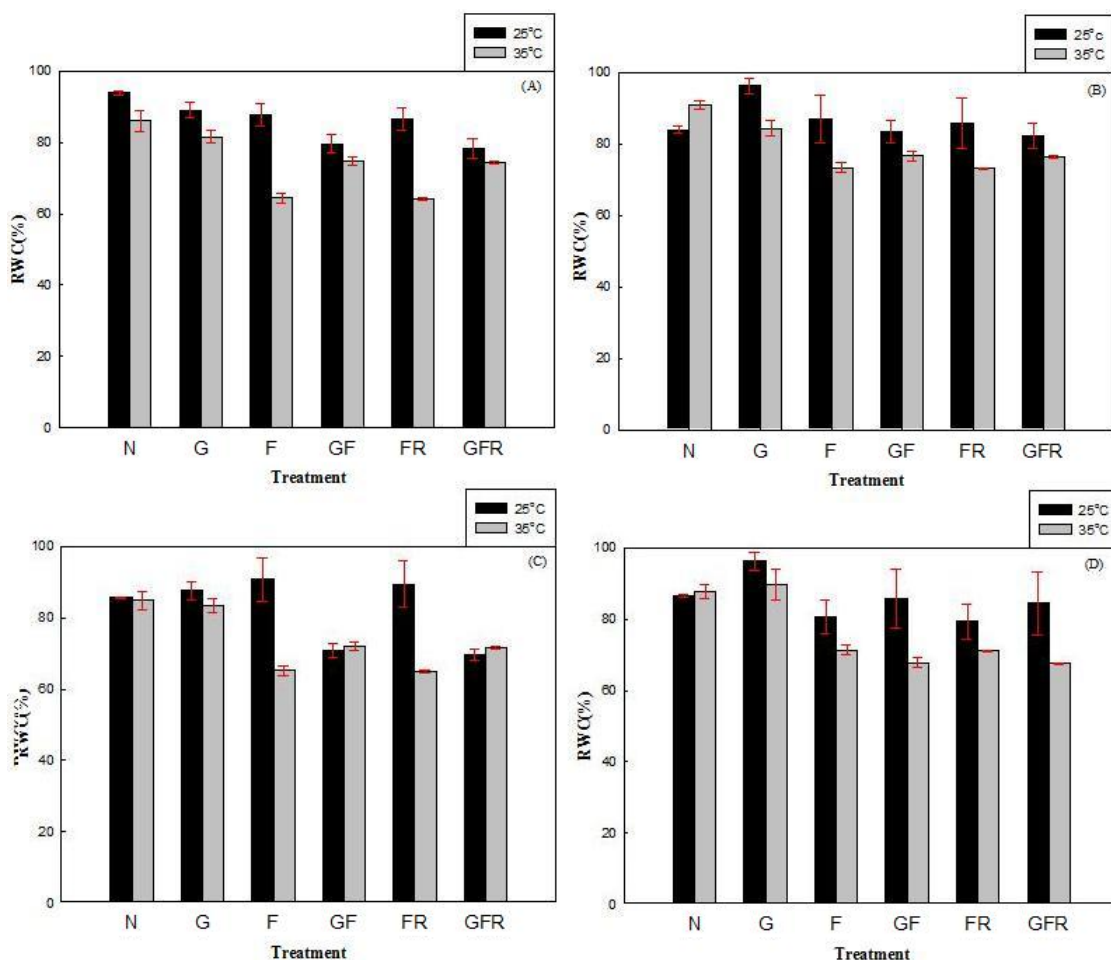


圖 13. 施用細胞分裂素(速喜)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)以及排水三天後(FR)葉片相對含水量之影響。G: 細胞分裂素(速喜)前處理; GF: 細胞分裂素前處理後淹水 3 天; GFR: 細胞分裂素前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: '翠寶'(A)、'西螺芥藍'(B)、'白花芥藍'(C)和'翠津'(D))。

Fig 13. The effect of cytokinin (Biogrow) pretreatment (G) on relative water content (RWC) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : cytokinin (Biogrow) pretreatment ; GF : cytokinin pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : cytokinin pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

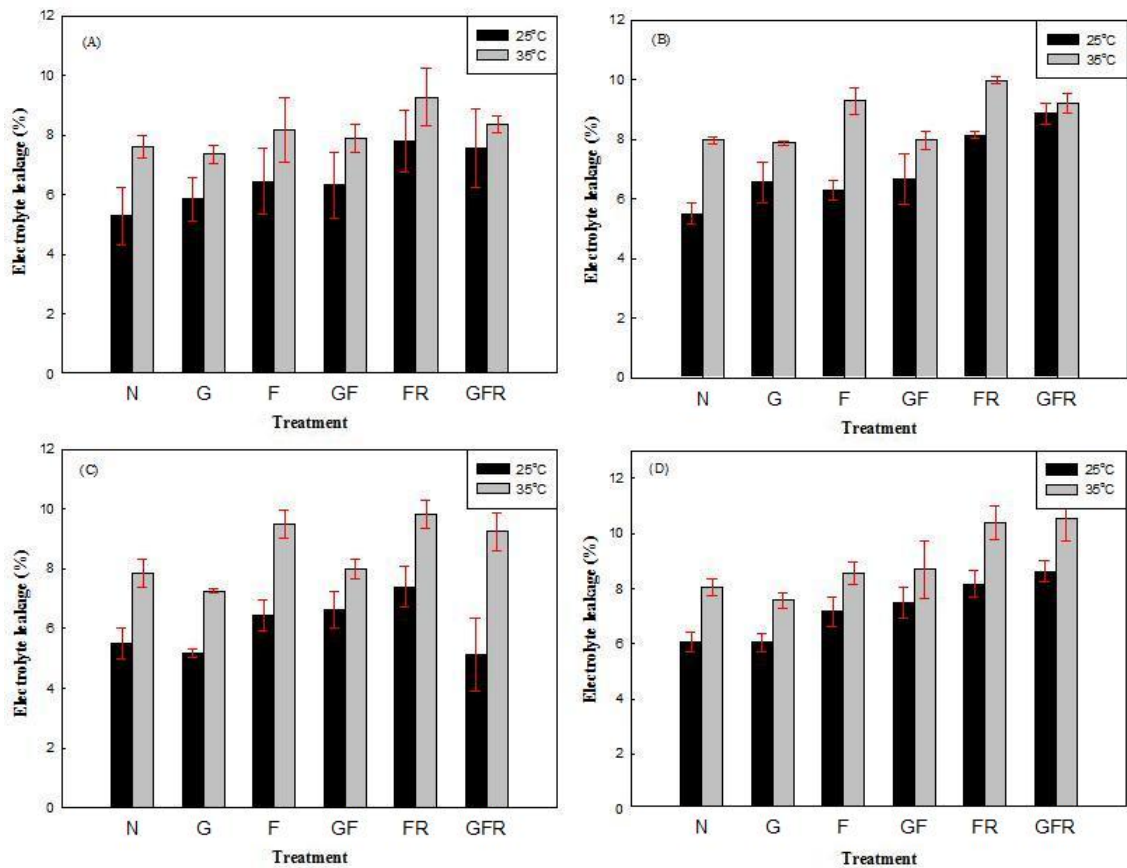


圖 14. 施用細胞分裂素(速喜)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片電解質滲漏率之影響。G: 細胞分裂素(速喜)前處理; GF: 細胞分裂素前處理後淹水 3 天; GFR: 細胞分裂素前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: '翠寶'(A)、'西螺芥藍'(B)、'白花芥藍'(C)和'翠津'(D))。

Fig 14. The effect of cytokinin (Biogrow) pretreatment (G) on electrolyte leakage (%) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : cytokinin (Biogrow) pretreatment ; GF : cytokinin pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : cytokinin pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

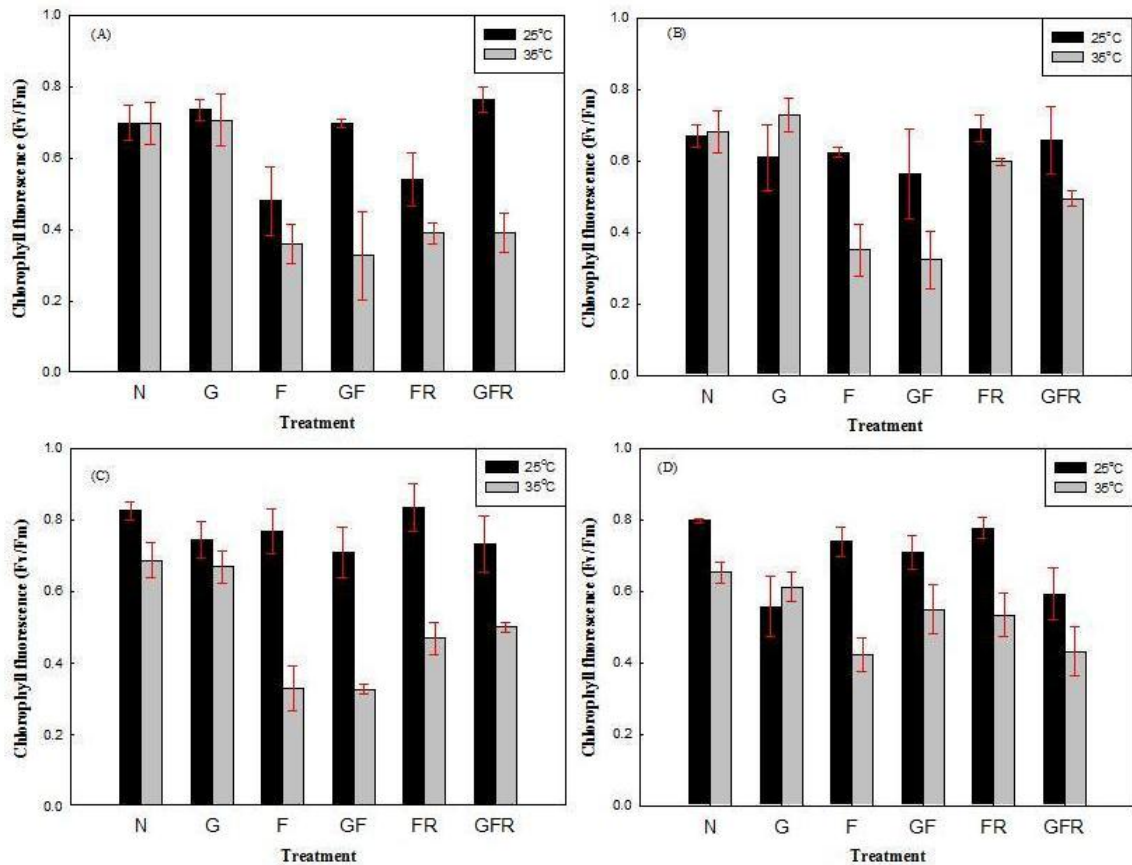


圖 15. 施用細胞分裂素(速喜)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片葉綠素螢光反應之影響。G: 細胞分裂素(速喜)前處理; GF : 細胞分裂素前處理後淹水 3 天; GFR : 細胞分裂素前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種:‘翠寶’(A)、『西螺芥藍’(B)、『白花芥藍’(C)和『翠津’(D))。

Fig 15. The effect of cytokinin (Biogrow) pretreatment (G) on chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : cytokinin (Biogrow) pretreatment ; GF : cytokinin pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : cytokinin pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. ‘Tsuei-Bao’ (F₁) (A); ‘Si-lo’ (B); ‘White-flowered’ (C); ‘Tsuei-Jin’ (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

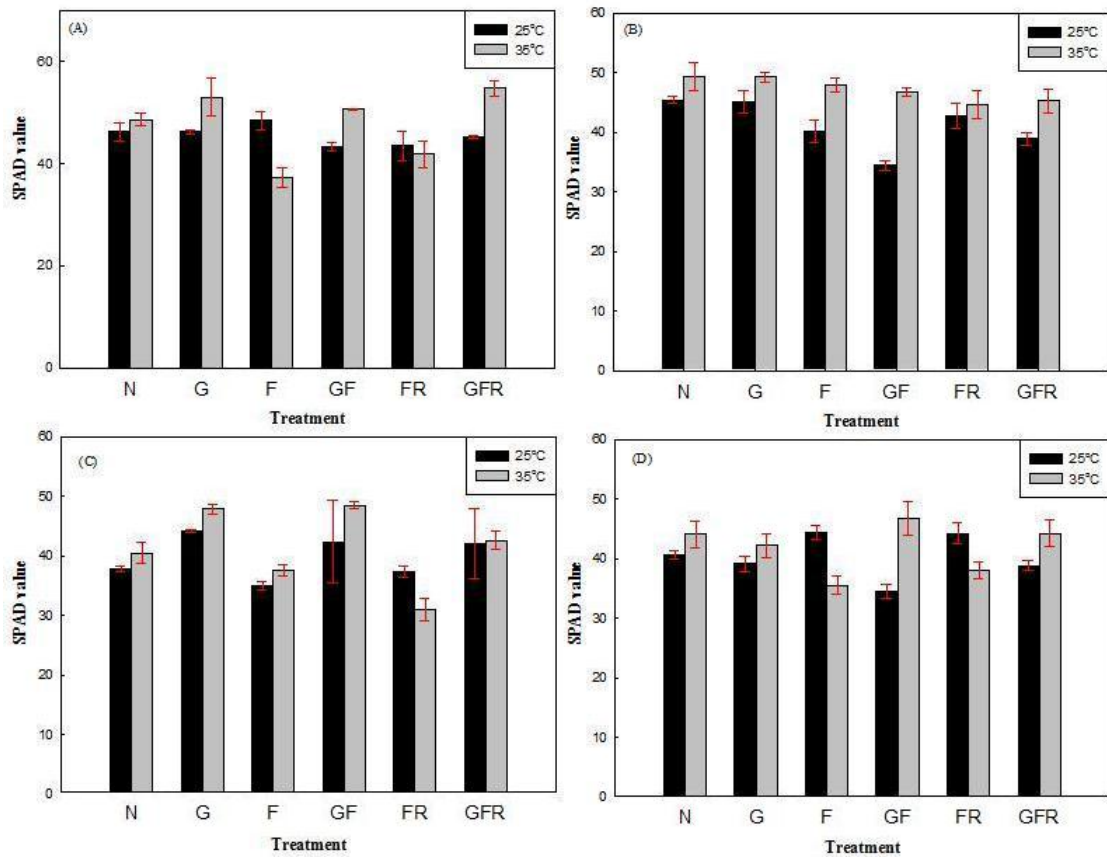


圖 16. 施用細胞分裂素(速喜)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片葉綠素讀值之影響。G: 細胞分裂素(速喜)前處理; GF: 細胞分裂素前處理後淹水 3 天; GFR: 細胞分裂素前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種：‘翠寶’(A)、‘西螺芥藍’(B)、‘白花芥藍’(C)和‘翠津’(D))。

Fig 16. The effect of cytokinin (Biogrow) pretreatment (G) on SPAD value of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30 °C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : cytokinin (Biogrow) pretreatment ; GF : cytokinin pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : cytokinin pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. ‘Tsuei-Bao’ (F₁) (A); ‘Si-lo’ (B); ‘White-flowered’ (C); ‘Tsuei-Jin’ (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

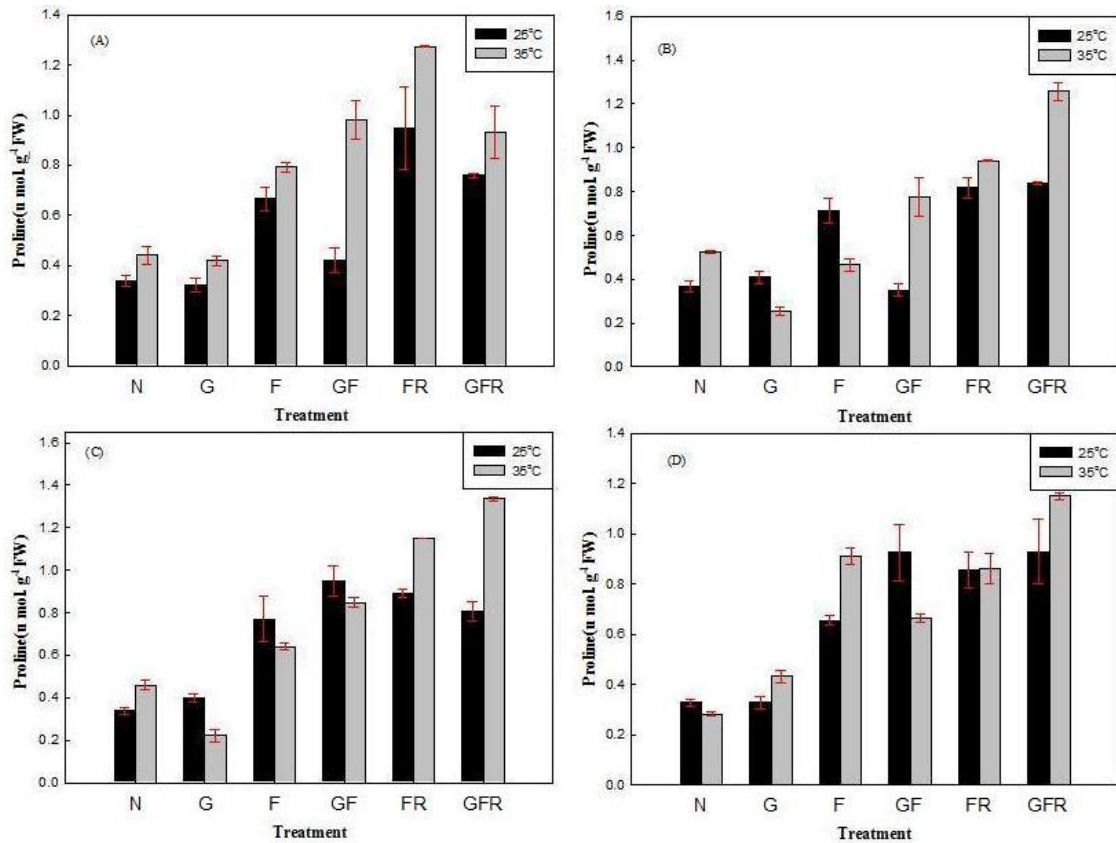


圖 17. 施用細胞分裂素(速喜)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片脯氨酸含量之影響。G: 細胞分裂素(速喜)前處理; GF: 細胞分裂素前處理後淹水 3 天; GFR: 細胞分裂素前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: '翠寶'(A)、'西螺芥藍'(B)、'白花芥藍'(C)和'翠津'(D))。

Fig 17. The effect of cytokinin (Biogrow) pretreatment (G) on proline content of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : cytokinin (Biogrow) pretreatment ; GF : cytokinin pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : cytokinin pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

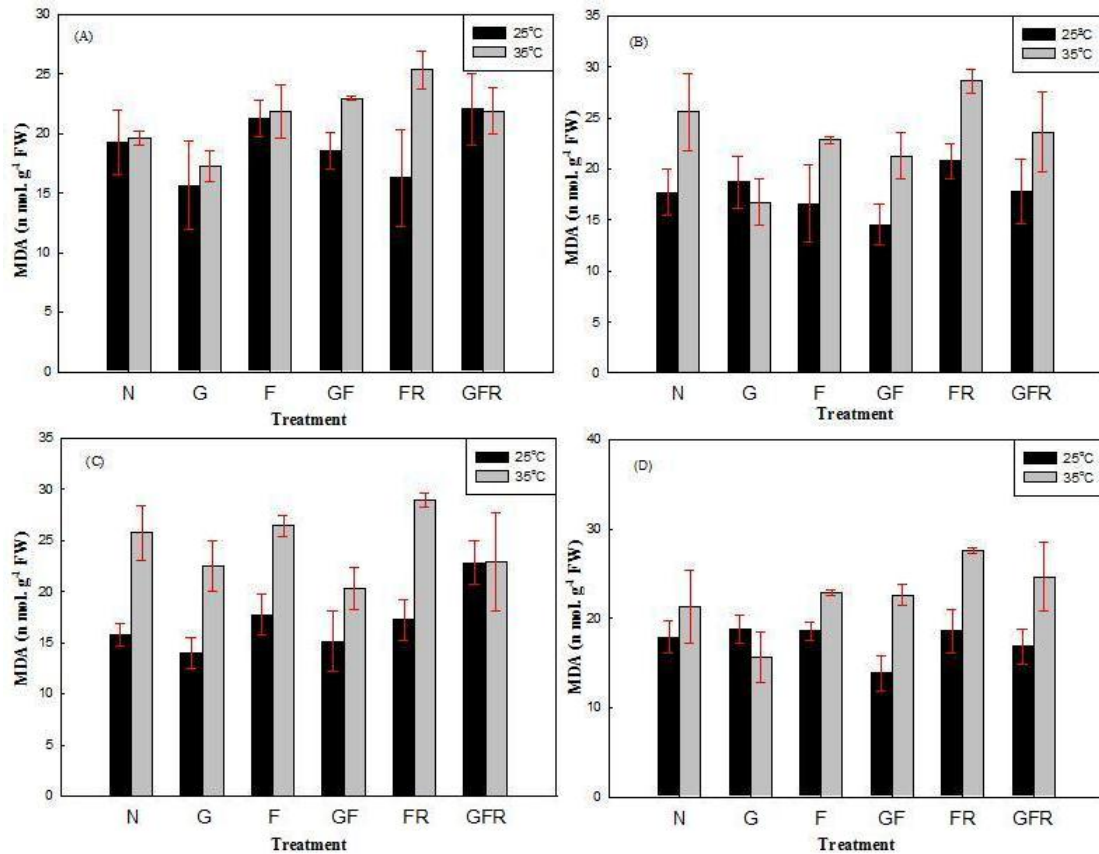


圖 18. 施用細胞分裂素(速喜)(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)以及排水三天後(FR)葉片丙二醛含量之影響。G: 細胞分裂素(速喜)前處理; GF: 細胞分裂素前處理後淹水 3 天; GFR: 細胞分裂素前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: '翠寶'(A)、'西螺芥藍'(B)、'白花芥藍'(C)和'翠津'(D))。

Fig 18. The effect of cytokinin (Biogrow) pretreatment (G) on malondialdehyde (MDA) content of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : cytokinin (Biogrow) pretreatment ; GF : cytokinin pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : cytokinin pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

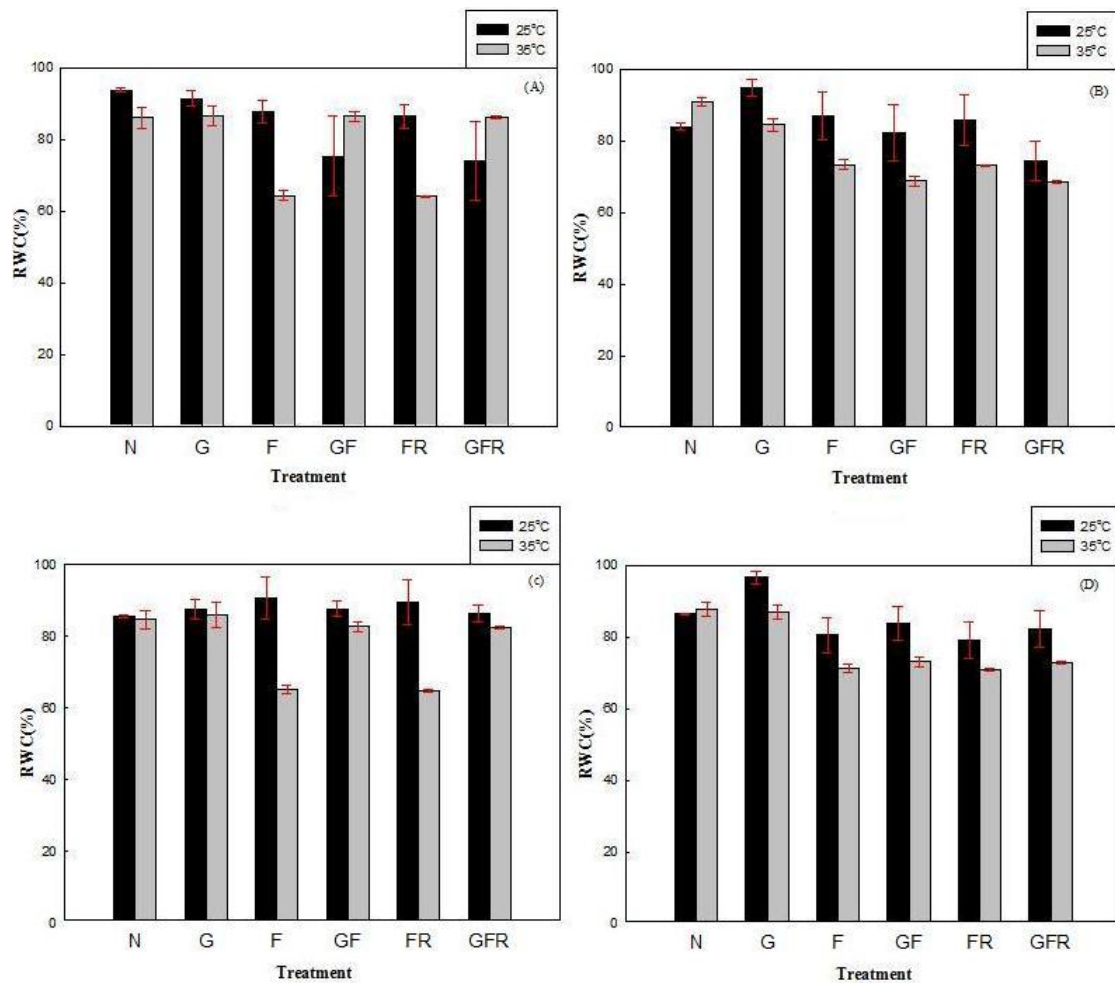


圖 19. 施用硫酸鋅(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片相對含水量之影響。G: 硫酸鋅前處理; GF: 硫酸鋅前處理後淹水 3 天; GFR: 硫酸鋅前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: '翠寶'(A)、'西螺芥藍'(B)、'白花芥藍'(C)和'翠津'(D))。

Fig 19. The effect of $ZnSO_4$ pretreatment (G) on relative water content (RWC) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G: $ZnSO_4$ pretreatment; GF: $ZnSO_4$ pretreatment followed by 3 days of flooding; GFR: $ZnSO_4$ pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

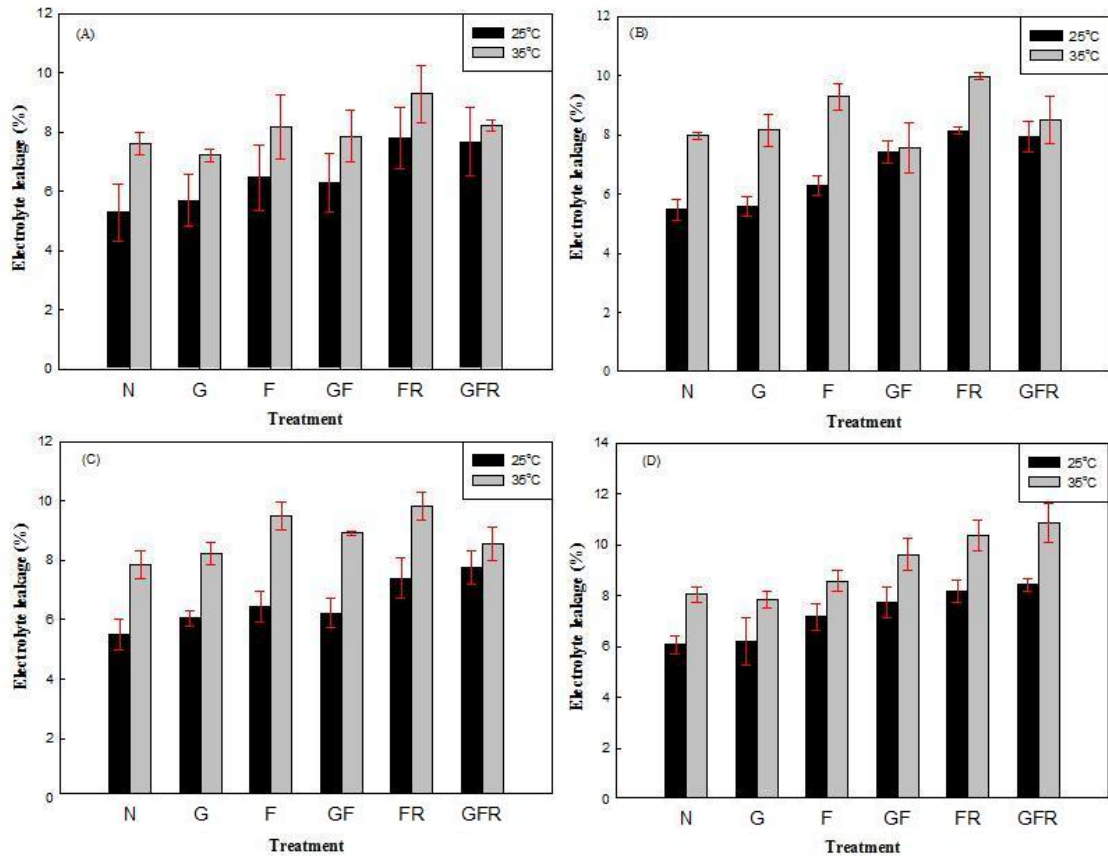


圖 20. 施用硫酸鋅(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉片電解質滲漏率之影響。G: 硫酸鋅前處理; GF: 硫酸鋅前處理後淹水3天; GFR: 硫酸鋅前處理後淹水3天及排水3天。(品種: '翠寶'(A)、'西螺芥藍'(B)、'白花芥藍'(C)和'翠津'(D))。

Fig 20. The effect of $ZnSO_4$ pretreatment (G) on electrolyte leakage (%) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : $ZnSO_4$ pretreatment ; GF : $ZnSO_4$ pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : $ZnSO_4$ pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

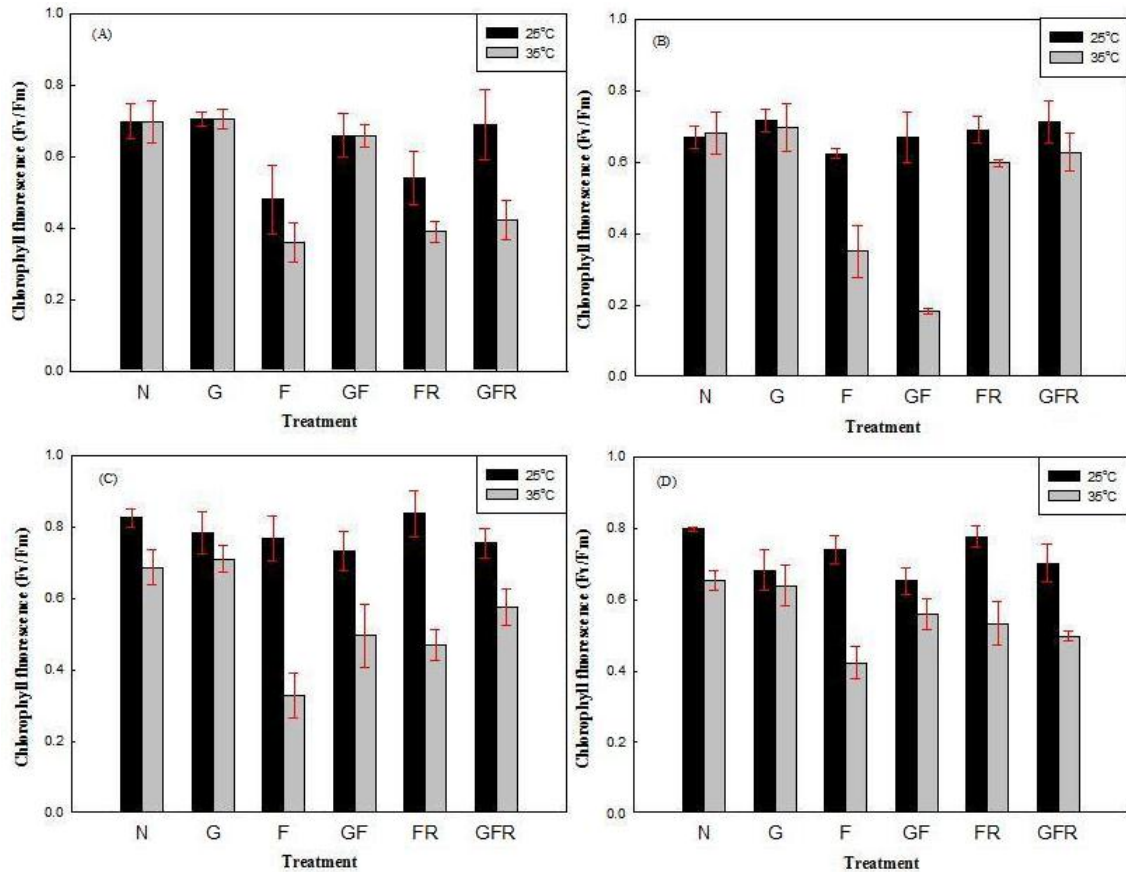


圖 21. 施用硫酸鋅(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉綠素螢光反應之影響。G: 硫酸鋅前處理; GF: 硫酸鋅前處理後淹水 3 天; GFR: 硫酸鋅前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: '翠寶'(A)、'西螺芥藍'(B)、'白花芥藍'(C)和'翠津'(D))。

Fig 21. The effect of $ZnSO_4$ pretreatment (G) on chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G: $ZnSO_4$ pretreatment; GF: $ZnSO_4$ pretreatment followed by 3 days of flooding; GFR: $ZnSO_4$ pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

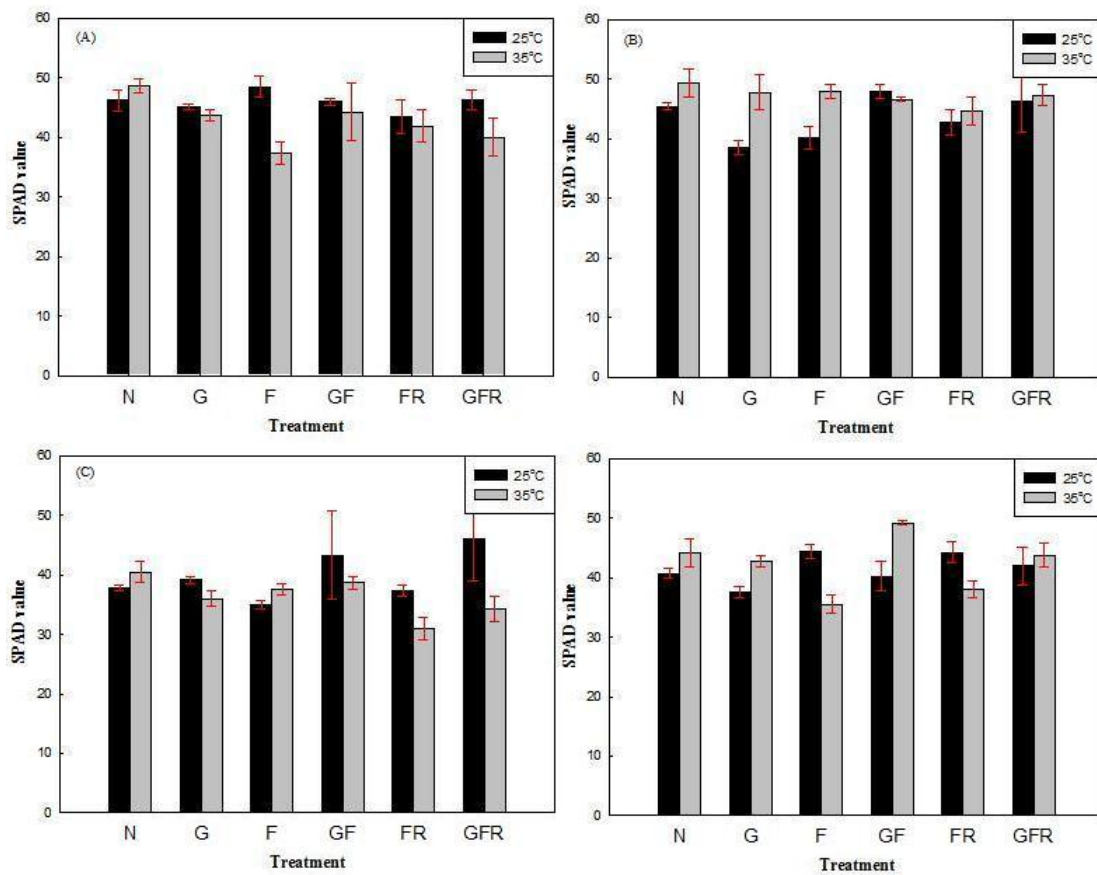


圖 22. 施用硫酸鋅(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉綠素讀值之影響。G: 硫酸鋅前處理; GF: 硫酸鋅前處理後淹水 3 天; GFR: 硫酸鋅前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: '翠寶' (A)、'西螺芥藍' (B)、'白花芥藍' (C)和 '翠津' (D))。

Fig 22. The effect of $ZnSO_4$ pretreatment (G) on SPAD value of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : $ZnSO_4$ pretreatment ; GF : $ZnSO_4$ pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : $ZnSO_4$ pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

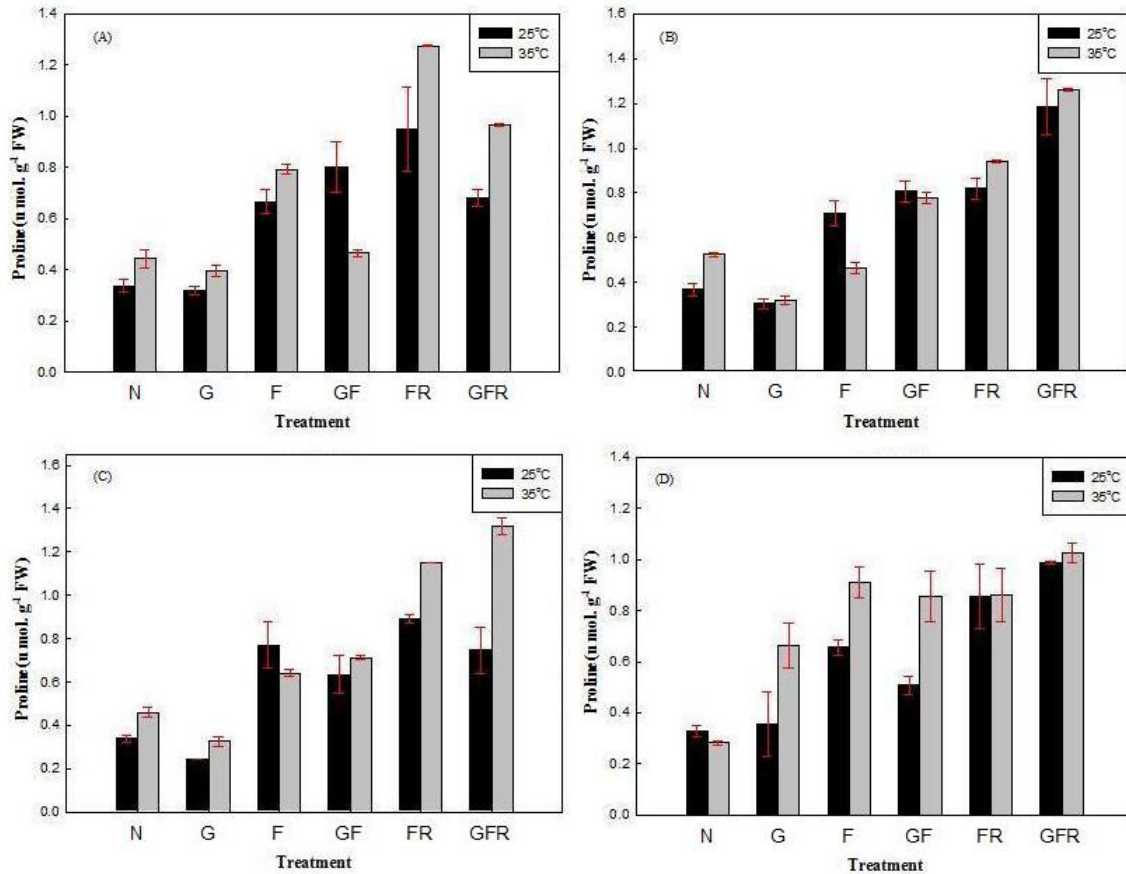


圖 23. 施用硫酸鋅(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)脯氨酸含量之影響。G: 硫酸鋅前處理; GF: 硫酸鋅前處理後淹水 3 天; GFR: 硫酸鋅前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: '翠寶' (A)、'西螺芥藍' (B)、'白花芥藍' (C)和 '翠津' (D))。Fig 23. The effect of ZnSO₄ pretreatment (G) on proline content of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : ZnSO₄ pretreatment ; GF : ZnSO₄ pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : ZnSO₄ pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

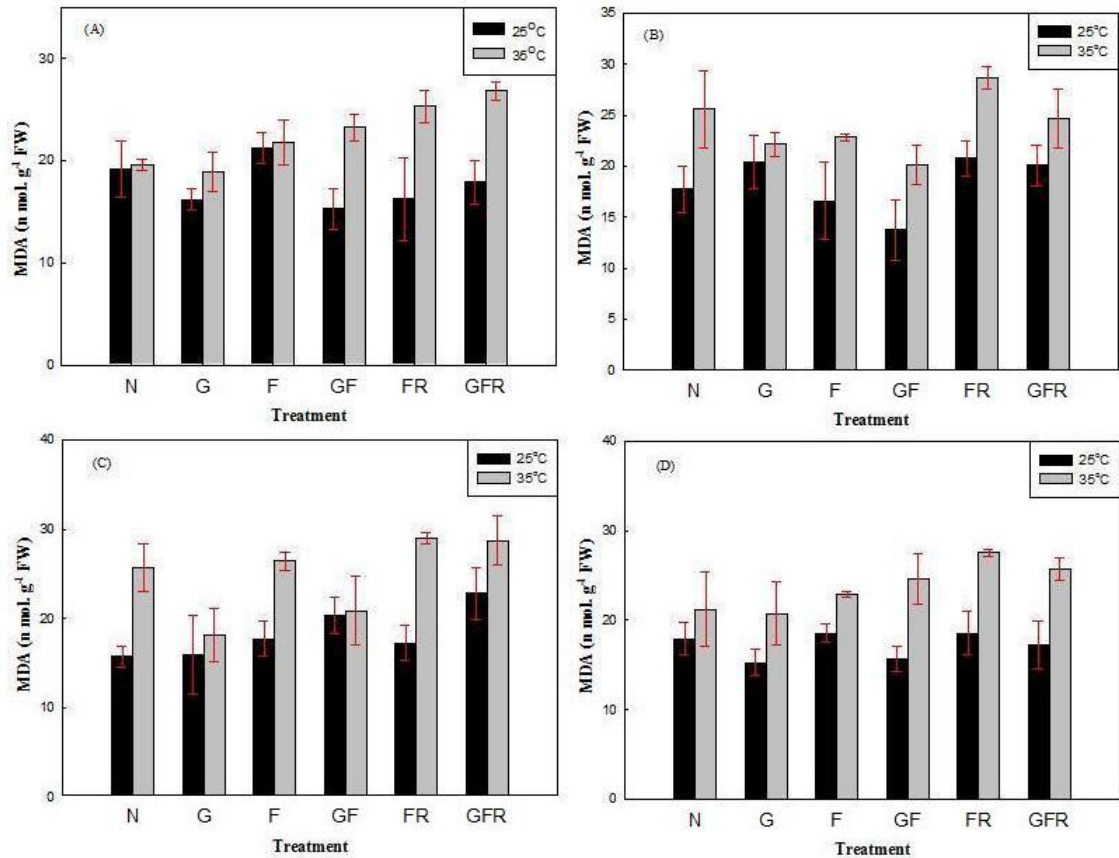


圖 24. 施用硫酸鋅(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)丙二醛含量之影響。G: 硫酸鋅前處理; GF: 硫酸鋅前處理後淹水 3 天; GFR: 硫酸鋅前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: '翠寶' (A)、'西螺芥藍' (B)、'白花芥藍' (C)和 '翠津' (D))。 Fig 24. The effect of ZnSO₄ pretreatment (G) on malondialdehyde (MDA) content of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : ZnSO₄ pretreatment ; GF : ZnSO₄ pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : ZnSO₄ pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

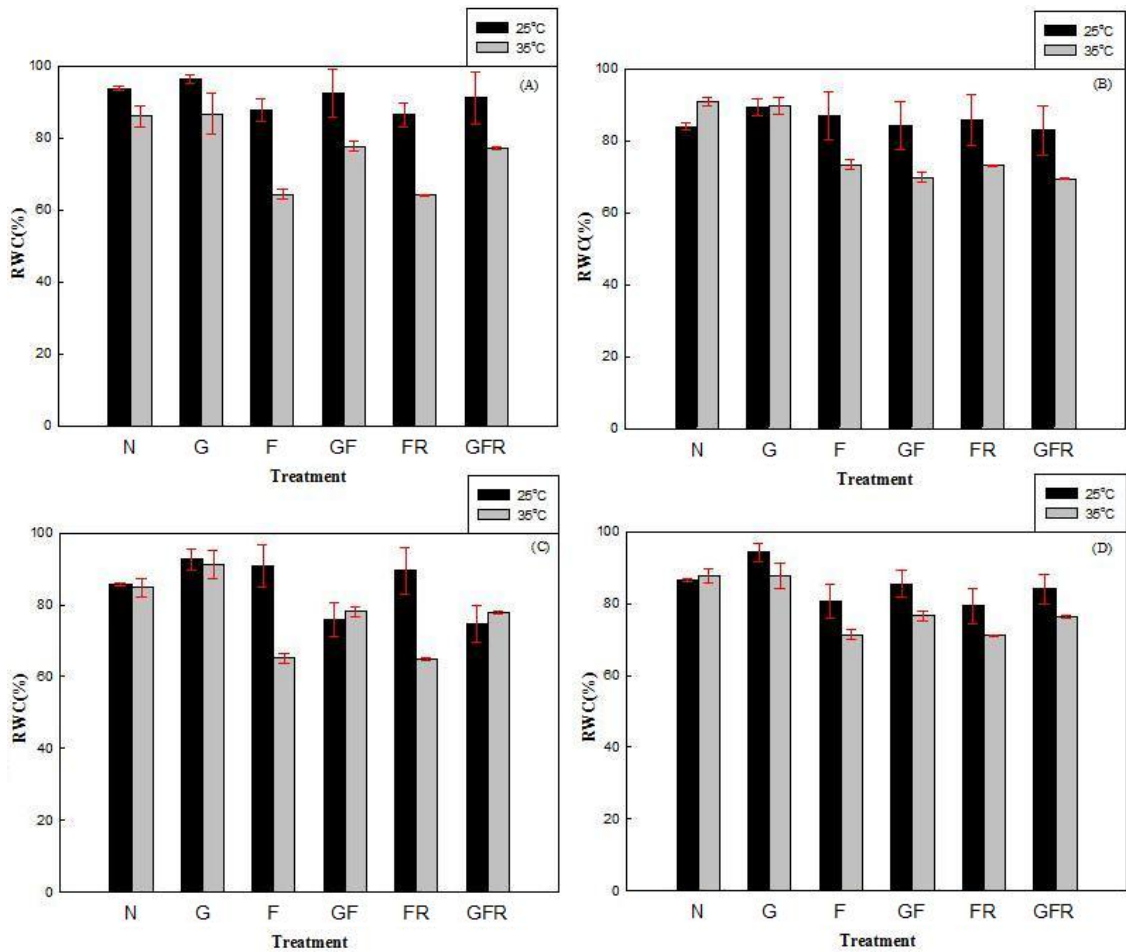


圖 25. 施用腐胺(G)對芥藍在兩個生長溫度條件(日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □)下,淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)相對含水量之變化。G: 腐胺前處理; GF: 腐胺前處理後淹水3天; GFR: 腐胺前處理後淹水3天及排水3天。(品種: '翠寶' (A)、'西螺芥藍' (B)、'白花芥藍' (C)和'翠津' (D))。

Fig 25. The effect of putrescine pretreatment (G) on relative water content (RWC) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : putrescine pretreatment ; GF : putrescine pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : putrescine pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

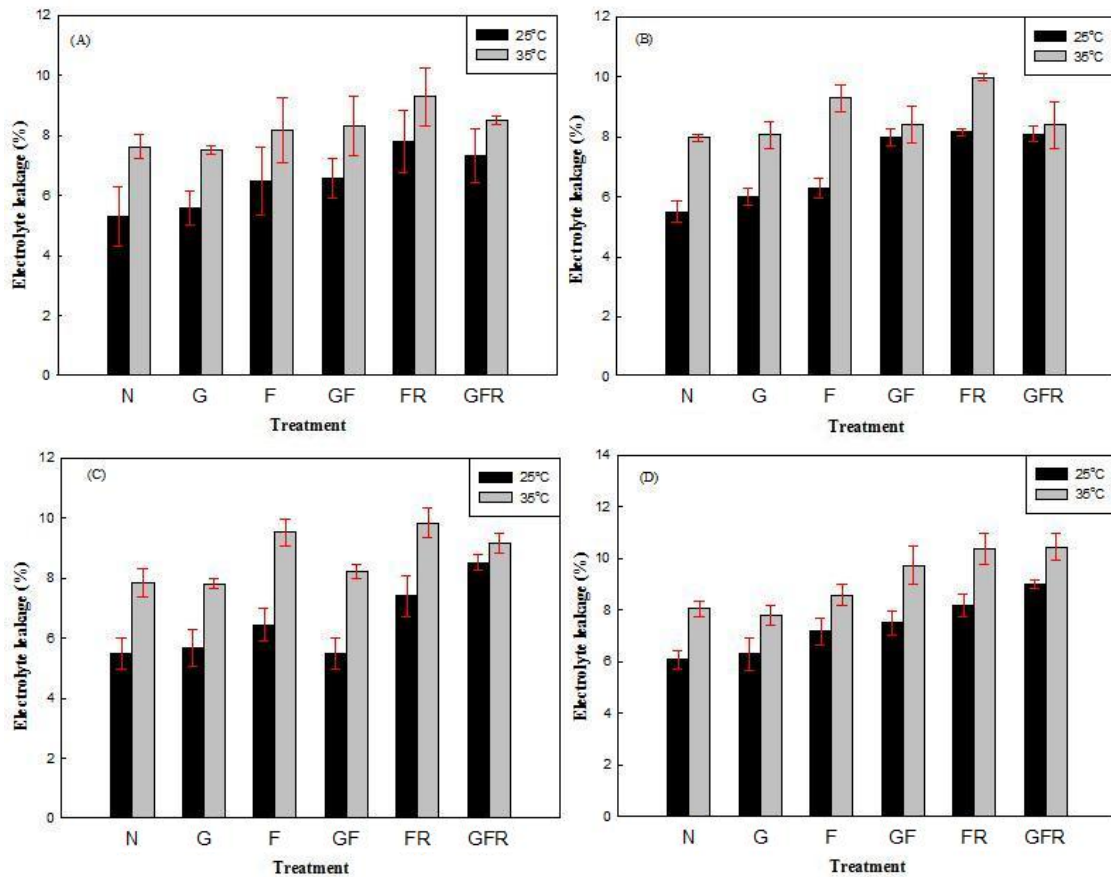


圖 26. 施用腐胺(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下，淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)電解質滲漏率之影響。G: 腐胺前處理; GF: 腐胺前處理後淹水3天; GFR: 腐胺前處理後淹水3天及排水3天。(品種: '翠寶' (A)、'西螺芥藍' (B)、'白花芥藍' (C)和'翠津' (D))。Fig 26. The effect of putrescine pretreatment (G) on electrolyte leakage (%) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : putrescine pretreatment ; GF : putrescine pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : putrescine pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

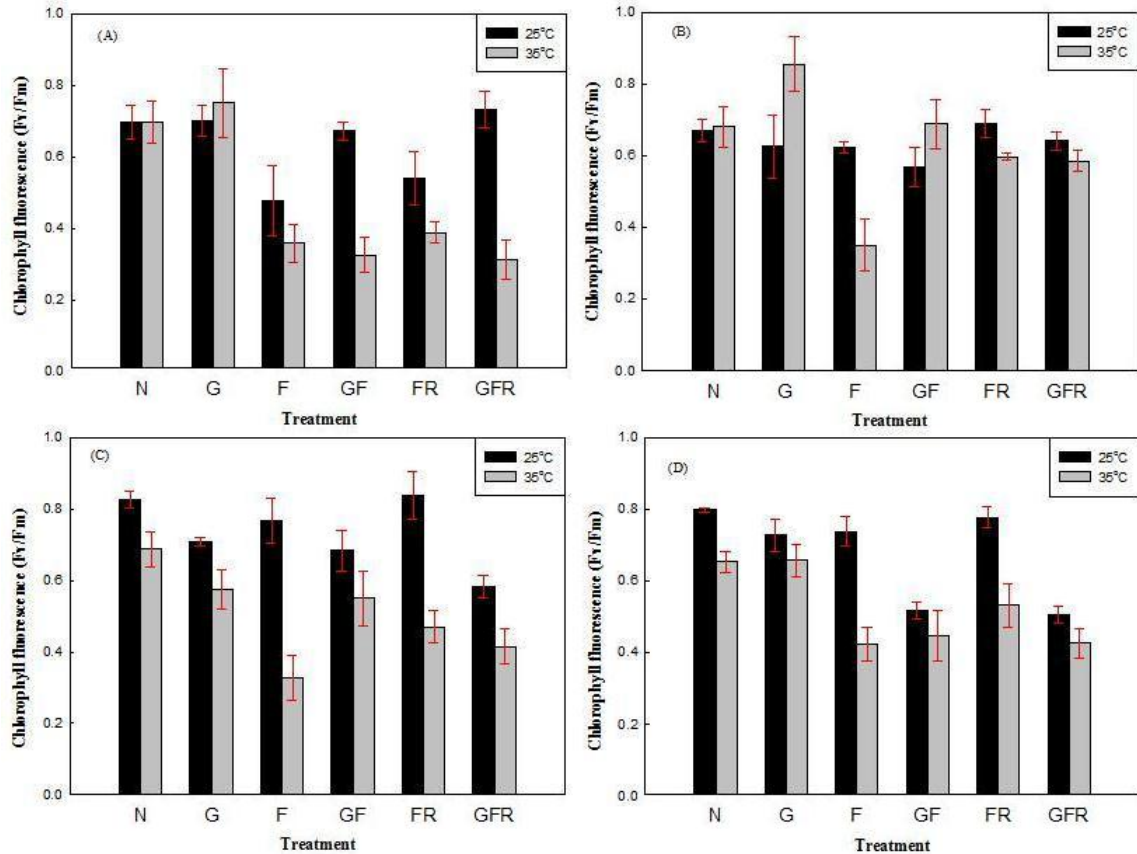


圖 27. 施用腐胺(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉綠素螢光反應之影響。G: 腐胺前處理; GF: 腐胺前處理後淹水3天; GFR: 腐胺前處理後淹水3天及排水3天。(品種: '翠寶' (A)、'西螺芥藍' (B)、'白花芥藍' (C)和'翠津' (D))。Fig 27. The effect of putrescine pretreatment (G) on chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : putrescine pretreatment ; GF : putrescine pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : putrescine pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

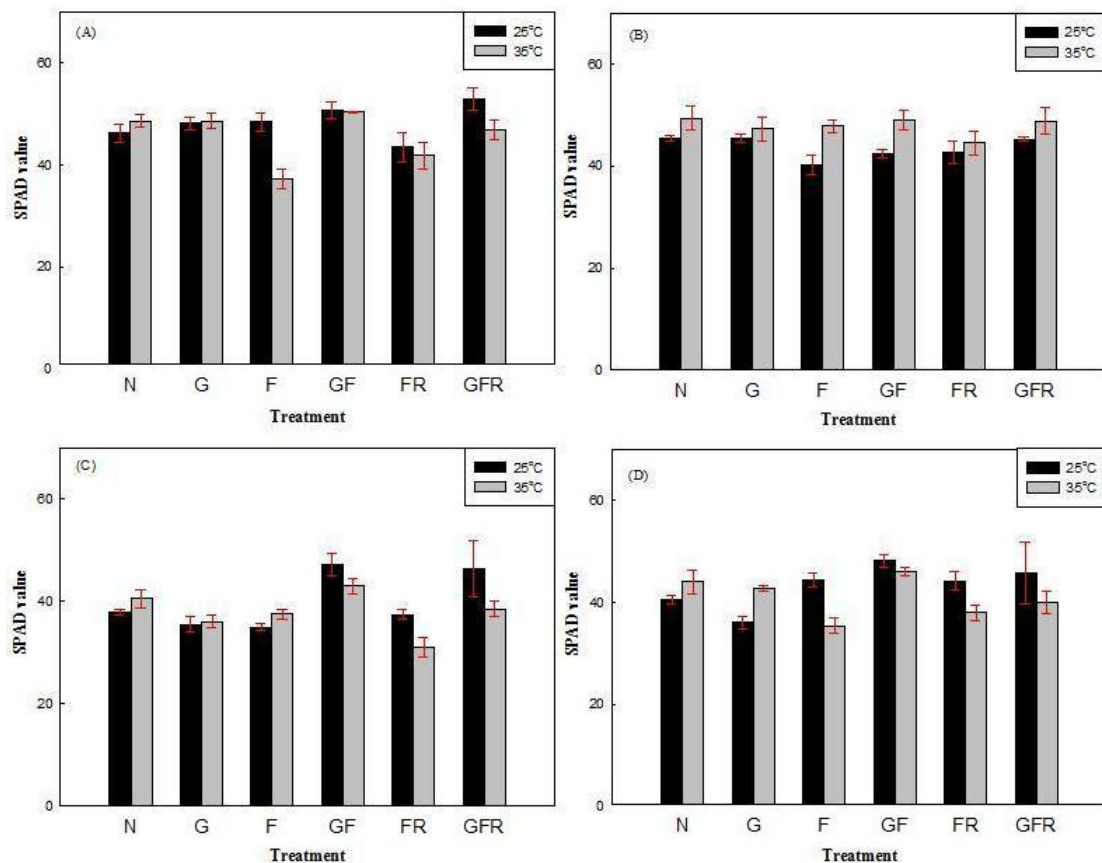


圖 28. 施用腐胺(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)葉綠素讀值之影響。G: 腐胺前處理; GF: 腐胺前處理後淹水3天; GFR: 腐胺前處理後淹水3天及排水3天。(品種: '翠寶' (A)、'西螺芥藍' (B)、'白花芥藍' (C)和'翠津' (D))。

Fig 28. The effect of putrescine pretreatment (G) on SPAD value of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : putrescine pretreatment ; GF : putrescine pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : putrescine pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

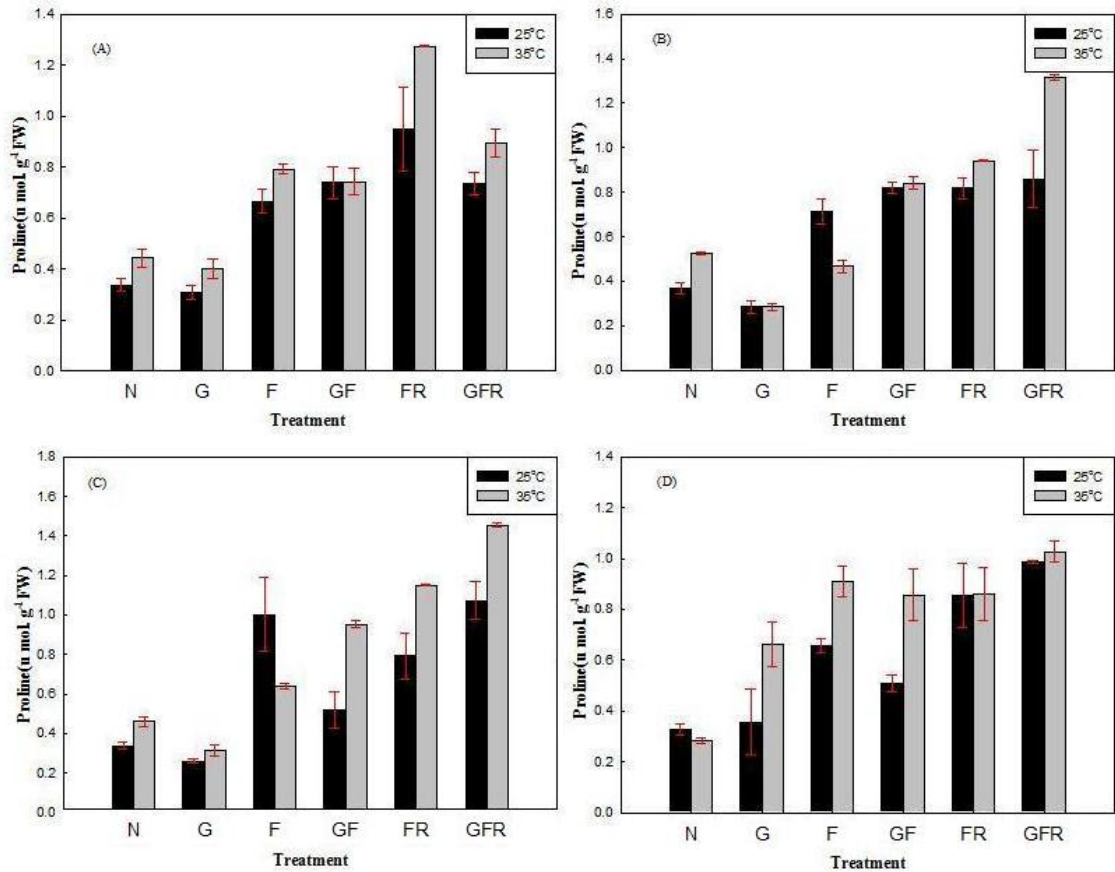


圖 29. 施用腐胺(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)脯胺酸含量之影響。G: 腐胺前處理; GF: 腐胺前處理後淹水3天; GFR: 腐胺前處理後淹水3天及排水3天。(品種: '翠寶' (A)、'西螺芥藍' (B)、'白花芥藍' (C)和'翠津' (D))。

Fig 29. The effect of putrescine pretreatment (G) on proline content of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : putrescine pretreatment ; GF : putrescine pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : putrescine pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. 'Tsuei-Bao' (F₁) (A); 'Si-lo' (B); 'White-flowered' (C); 'Tsuei-Jin' (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

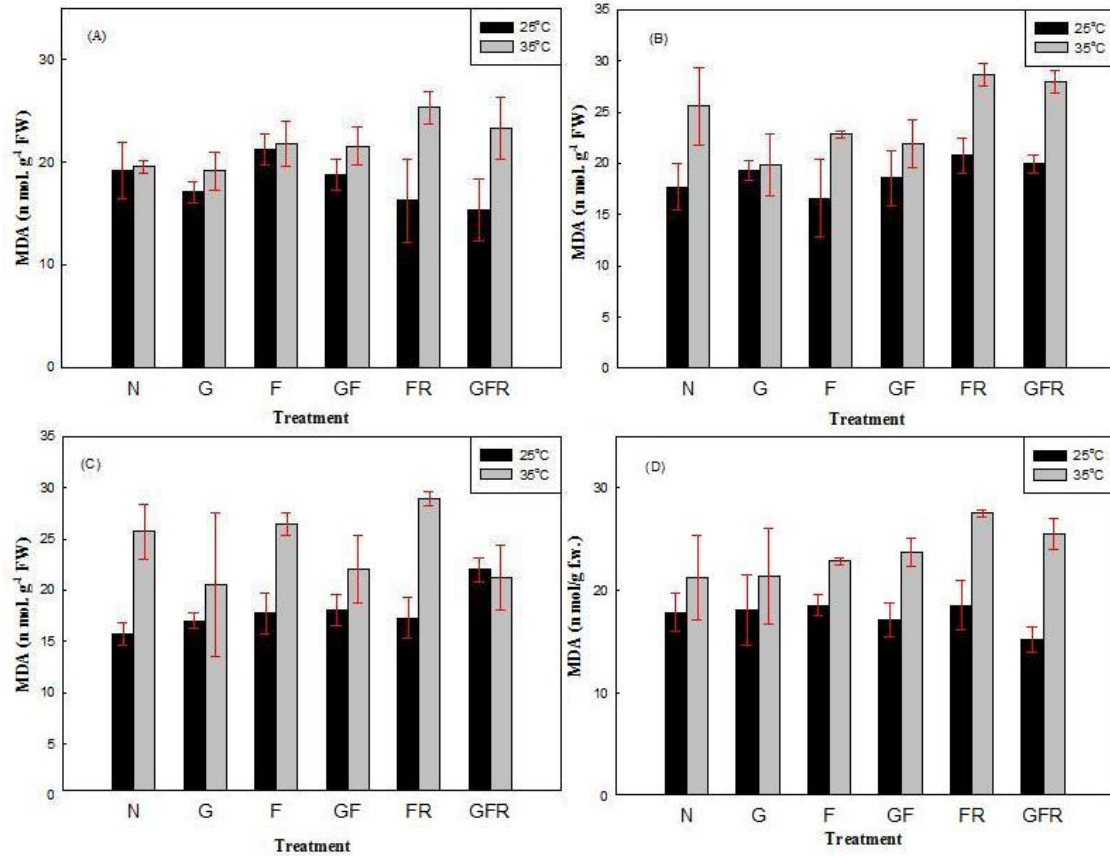


圖 30. 施用腐胺(G)對芥藍在兩個生長溫度條件 (日/夜溫 25/20°C ■ 及 35/30°C □) 下, 淹水前(N)、淹水三天後(F)及排水三天後(FR)丙二醛含量之影響。G: 腐胺前處理; GF: 腐胺前處理後淹水 3 天; GFR: 腐胺前處理後淹水 3 天及排水 3 天。(品種: ‘翠寶’ (A)、‘西螺芥藍’ (B)、‘白花芥藍’ (C)和 ‘翠津’ (D))。

Fig 30. The effect of putrescine pretreatment (G) on malondialdehyde (MDA) content of Chinese kale grown at room temperature (D/N 25/20°C ■) or high temperature (D/N 35/30°C □) before flooding (N), after 3 days of flooding (F) and after 3 days of flooding and 3 days of drainage (FR). G : putrescine pretreatment ; GF : putrescine pretreatment followed by 3 days of flooding ; GFR : putrescine pretreatment followed by 3 days of flooding and 3 days of drainage. (cvs. ‘Tsuei-Bao’ (F₁) (A); ‘Si-lo’ (B); ‘White-flowered’ (C); ‘Tsuei-Jin’ (F₁) (D)). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.

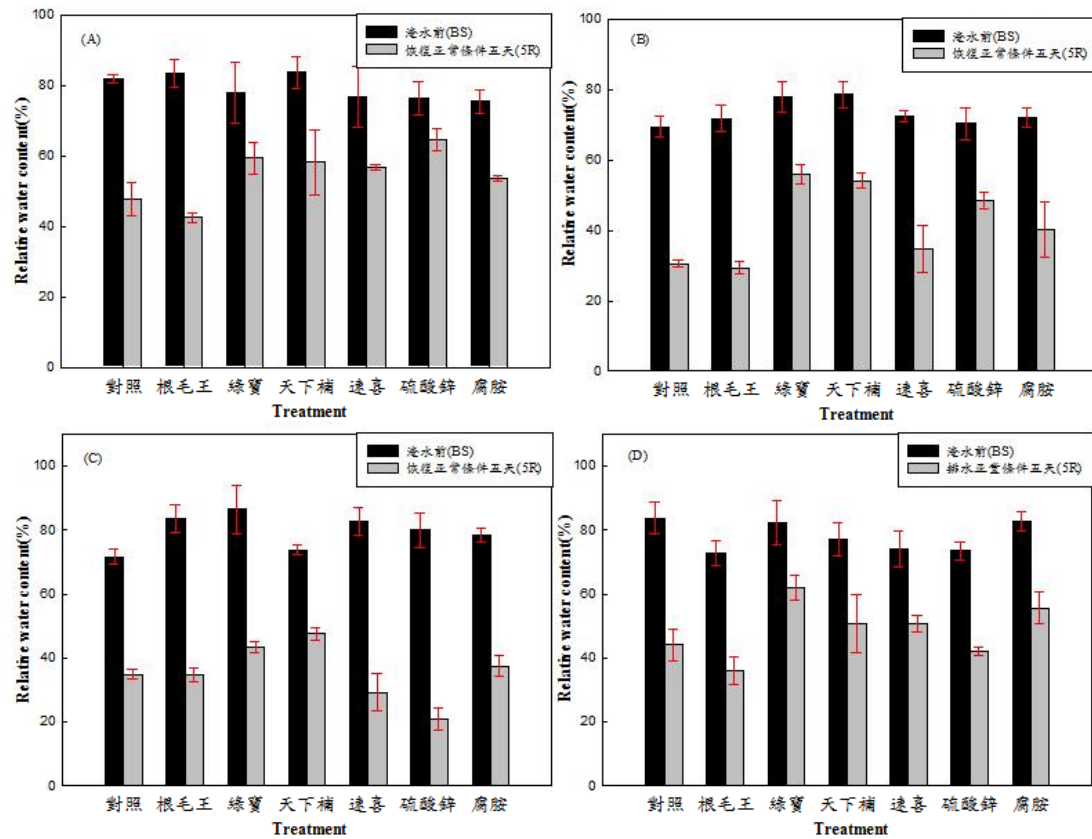


圖 31.施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’(A)、『黃花芥藍’(B)、『芥藍花’(C)和‘翠津’(D)在田間淹水前(BS)以及恢復正常條件五天(5R)葉片相對含水量之影響(98年8月)。

Fig 31. The relative water content of Chinese kale plants treated with different plant growth regulators before flooding (BS), after 3 days of flooding and 5 days of drainage (5R) in the field (August, 2009). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol. (A) cv. ‘Tsuei-Bao’ (F₁); (B) cv. ‘Yellow-flowered’; (C) cv. ‘Kai-lan Flower’; (D) cv. ‘Tsuei-Jin’ (F₁).

Treatment from left 對照: control; 根毛王: Auxins (Lysine#3); 綠寶: Seaweed extract (Algreen); 天下補: Seaweed extract (Keltak); 速喜: Cytokinin (Biogrow); 硫酸鋅: ZnSO₄; 腐胺: Putrescine

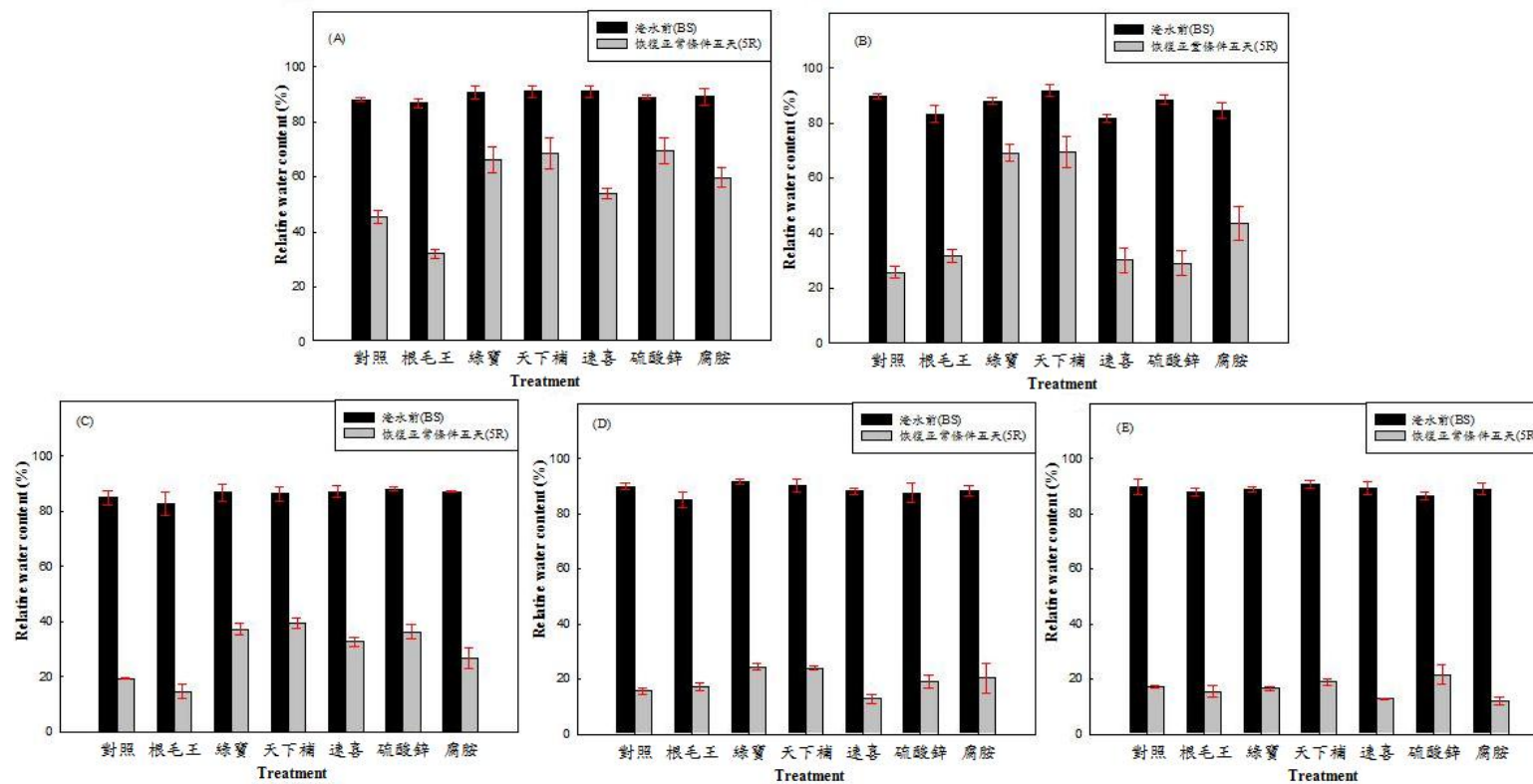


圖 32.施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’(A)、『蕙津’(B)、『格林花’(C)、『西螺芥藍’(D)和『白格林’(E)在田間淹水前(BS)以及恢復正常條件五天(5R)葉片相對含水量之影響(98年9月)。

Fig 32. The relative water content of Chinese kale plants treated with different plant growth regulators before flooding (BS), after 3 days of flooding and 5 days of drainage (5R) in the field (September, 2009). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol.(A) cv. ‘Tsuei-Bao’ (F₁); (B) cv. ‘Huei-Jin’ (F₁); (C) cv. ‘Ge-lin Flower’; (D) cv. ‘Si-lo’; (E) cv. ‘White-gelin’

Treatment from left 對照: control; 根毛王: Auxins (Lysine#3); 綠寶: Seaweed extract (Algreen); 天下補: Seaweed extract (Keltak); 速喜: Cytokinin (Biogrow); 硫酸鋅: ZnSO₄; 腐胺: Putrescine

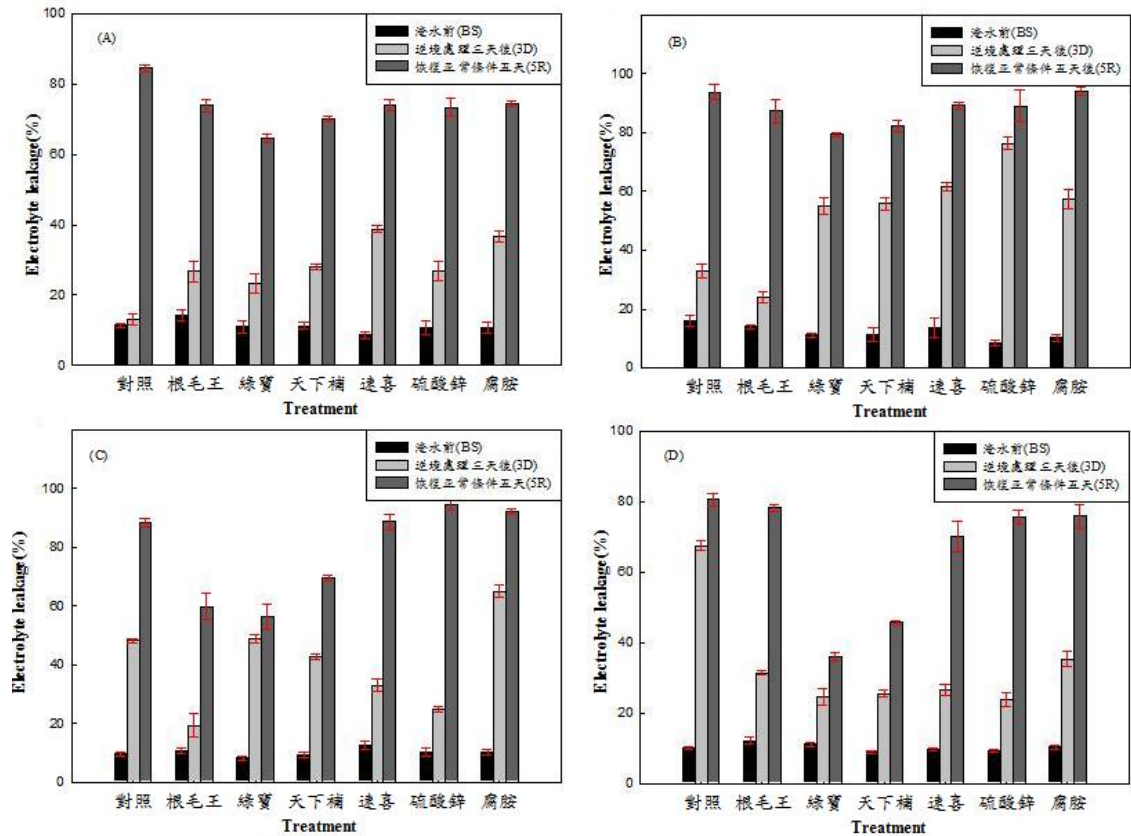


圖 33.施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’(A)、『黃花芥藍’(B)、『芥藍花’(C)和‘翠津’(D)在田間淹水前(BS)、逆境處理三天後(3D)以及恢復正常條件五天(5R)葉片電解質滲漏率之影響(98年8月)。

Fig 33. The electrolyte leakage of Chinese kale plants treated with different plant growth regulators before flooding (BS), 3 days after flooding (3D) and 5 days of recovery (5R) in the field (August, 2009). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol. (A) cv. ‘Tsuei-Bao’ (F₁); (B) cv. ‘Yellow-flowered’; (C) cv. ‘Kai-lan Flower’; (D) cv. ‘Tsuei-Jin’ (F₁).

Treatment from left 對照: control; 根毛王: Auxins (Lysine#3); 綠寶: Seaweed extract (Algreen); 天下補: Seaweed extract (Keltak); 速喜: Cytokinin (Biogrow); 硫酸鋅: ZnSO₄; 腐胺: Putrescine

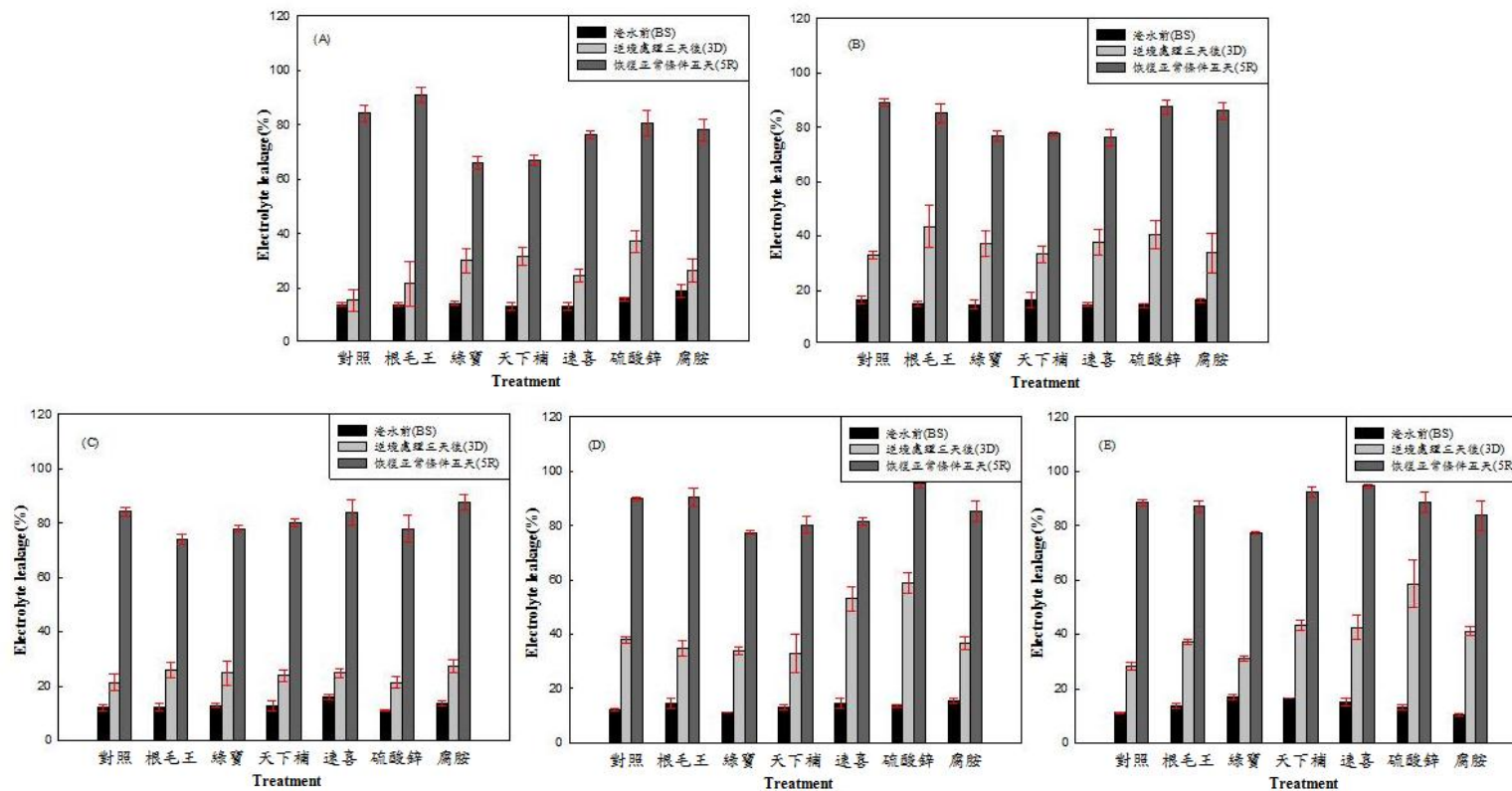


圖 34.施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’(A)、『蕙津’(B)、『格林花’(C)、『西螺芥藍’(D)和『白格林’(E)在田間淹水前(BS) 、 逆境處理三天後(3D)以及恢復正常條件五天(5R) 葉片電解質滲漏率之影響(98年9月)。

Fig 34. The electrolyte leakage of Chinese kale plants treated with different plant growth regulators before flooding (BS), 3 days after flooding (3D) and 5 days of recovery (5R) in the field (September, 2009). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol. (A) cv. ‘Tsuei-Bao’ (F₁); (B) cv. ‘Huei-Jin’ (F₁); (C) cv. ‘Ge-lin Flower’; (D) cv. ‘Si-lo’; (E) cv. ‘White-gelin’

Treatment from left 對照：control；根毛王：Auxins (Lysine#3)；綠寶：Seaweed extract (Algreen)；天下補：Seaweed extract (Keltak)；速喜：Cytokinin (Biogrow)；硫酸鋅：ZnSO₄；腐胺：Putrescine

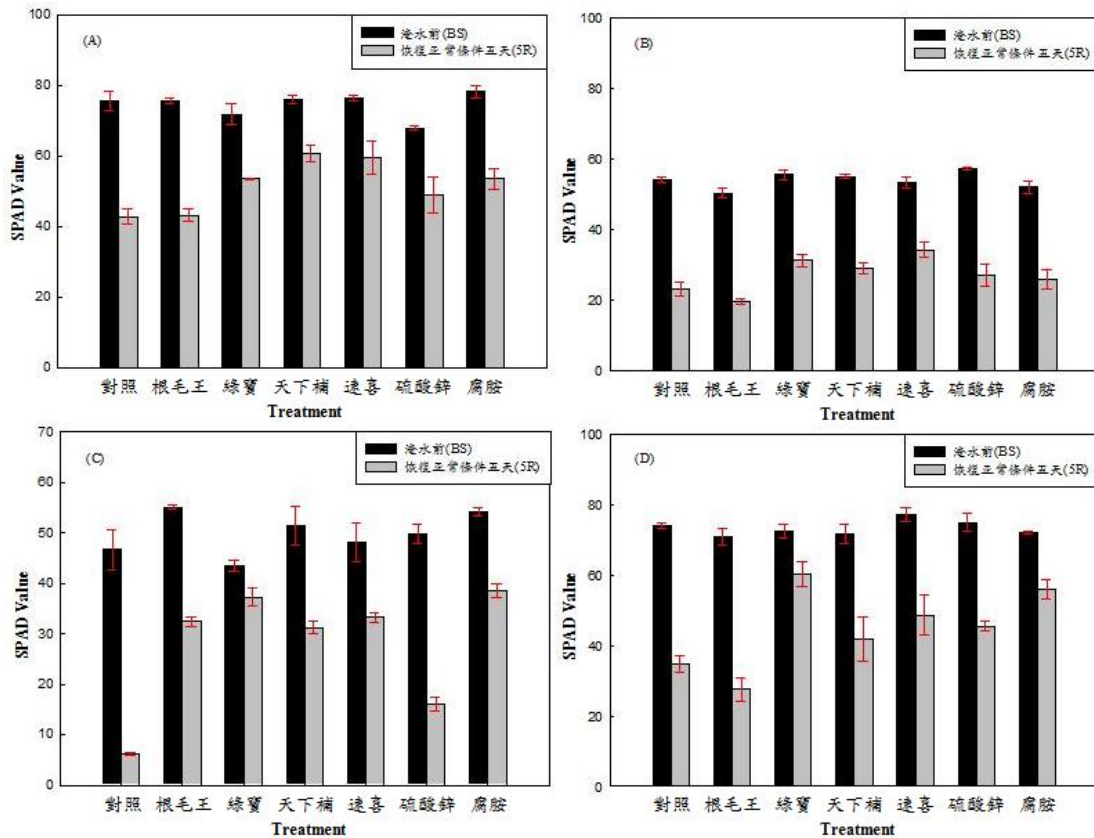


圖 35.施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’(A)、『黃花芥藍』(B)、『芥藍花』(C)和『翠津』(D)在田間淹水前(BS)以及恢復正常條件五天(5R)葉片葉綠素讀值之影響(98年8月)。

Fig 35. The SPAD value of Chinese kale plants treated with different plant growth regulators before flooding (BS), after 3 days of flooding and 5 days of drainage (5R) in the field (August, 2009). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol. (A) cv. 'Tsuei-Bao' (F₁); (B) cv. 'Yellow-flowered'; (C) cv. 'Kai-lan Flower'; (D) cv. 'Tsuei-Jin' (F₁).

Treatment from left 對照: control; 根毛王: Auxins (Lysine#3); 綠寶: Seaweed extract (Algreen); 天下補: Seaweed extract (Keltak); 速喜: Cytokinin (Biogrow); 硫酸鋅: ZnSO₄; 腐胺: Putrescine

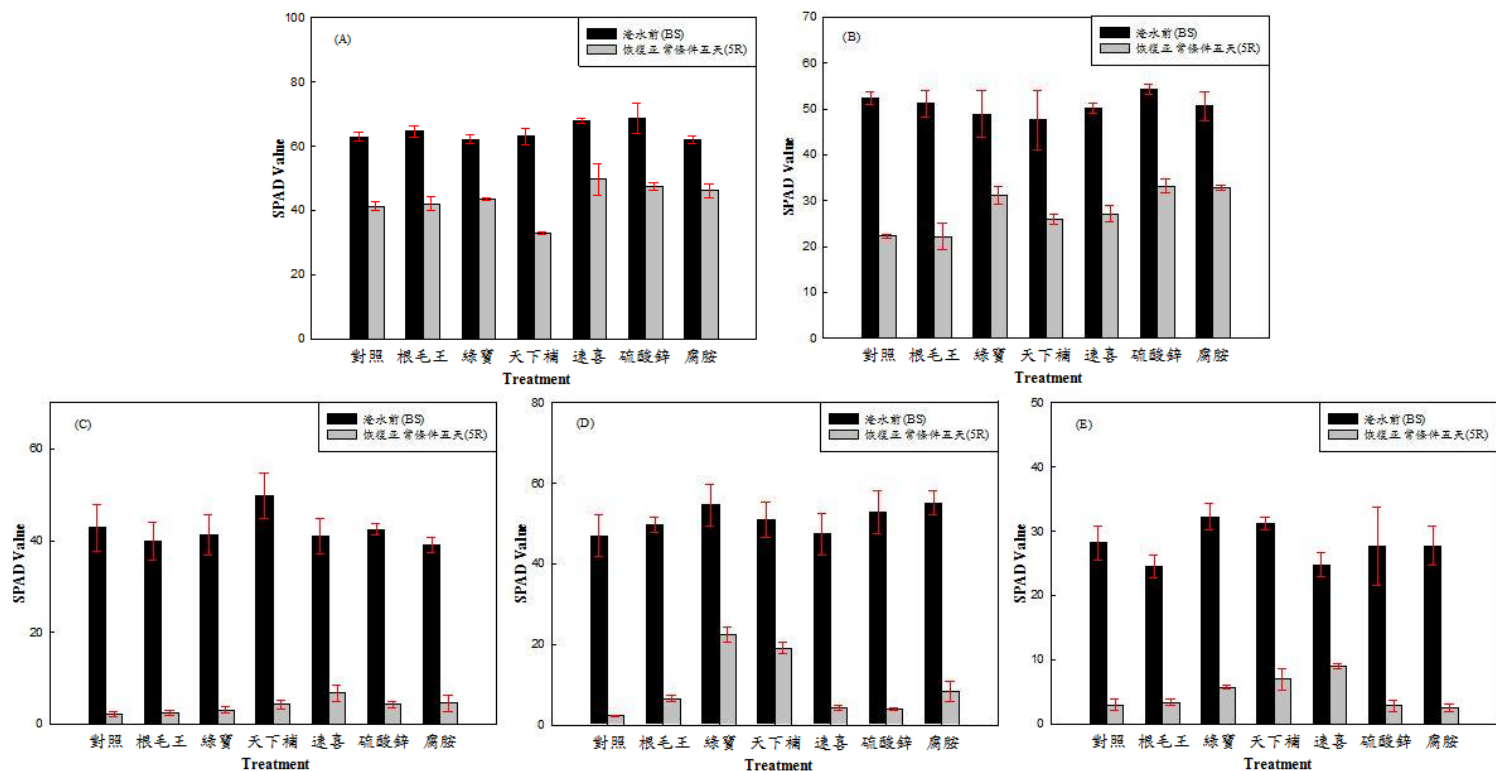


圖 36.施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’(A)、『蕙津’(B)、『格林花’(C)、『西螺芥藍’(D)和『白格林’(E)在田間淹水前(BS ■)以及恢復正常條件五天(5R □)葉片葉綠素讀值之影響(98年9月)。

Fig 36. The SPAD value of Chinese kale plants treated with different plant growth regulators before flooding (BS ■), after 3 days of flooding and 5 days of drainage (5R □) in the field (September, 2009). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol. (A) cv. 'Tsuei-Bao' (F₁); (B) cv. 'Huei-Jin' (F₁); (C) cv. 'Ge-lin Flower'; (D) cv. 'Si-lo'; (E) cv. 'White-gelin'

Treatment from left 對照: control; 根毛王: Auxins (Lysine#3); 綠寶: Seaweed extract (Algreen); 天下補: Seaweed extract (Keltak); 速喜: Cytokinin (Biogrow); 硫酸鋅: ZnSO₄; 腐胺: Putrescine

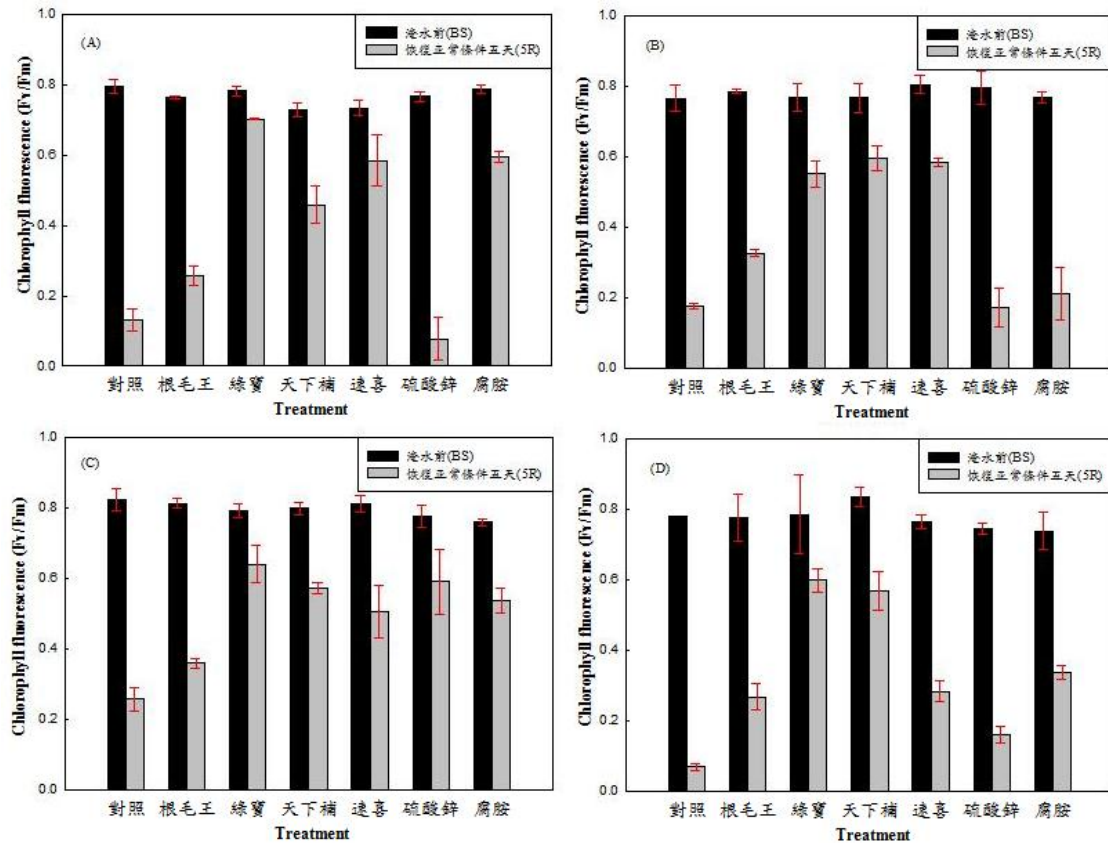


圖 37.施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’(A)、『黃花芥藍’(B)、『芥藍花’(C)和‘翠津’(D)在田間淹水前(BS)以及恢復正常條件五天(5R)葉片葉綠素螢光反應之影響(98年8月)。

Fig 37. The chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) of Chinese kale plants treated with different plant growth regulators before flooding (BS), after 3 days of flooding and 5 days of drainage (5R) in the field (August, 2009). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol. (A) cv. ‘Tsuei-Bao’ (F₁); (B) cv. ‘Yellow-flowered’; (C) cv. ‘Kai-lan Flower’; (D) cv. ‘Tsuei-Jin’ (F₁).

Treatment from left 對照: control; 根毛王: Auxins (Lysine#3); 綠寶: Seaweed extract (Algreen); 天下補: Seaweed extract (Keltak); 速喜: Cytokinin (Biogrow); 硫酸鋅: ZnSO₄; 腐胺: Putrescine

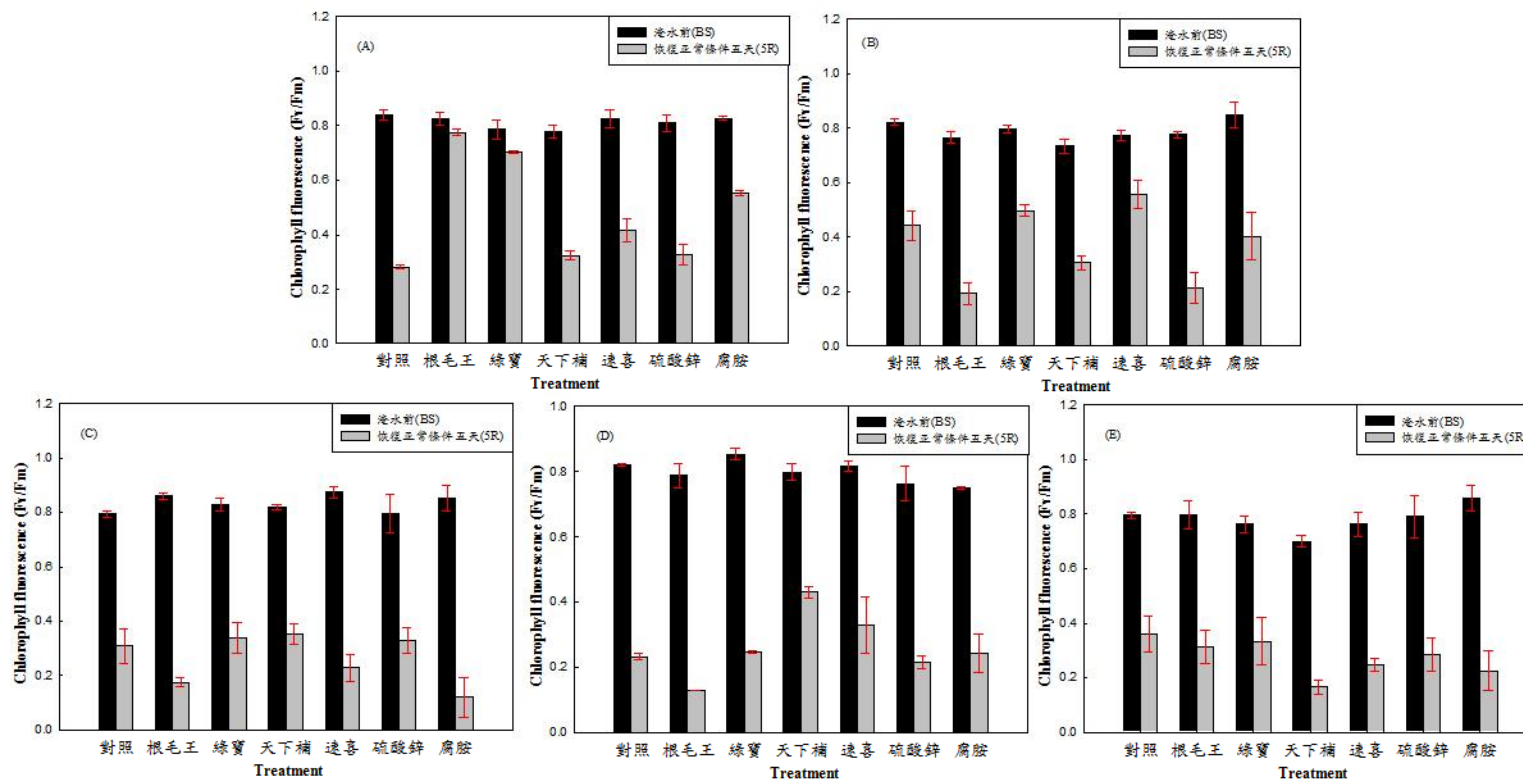


圖 38.施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’(A)、『蕙津’(B)、『格林花’(C)、『西螺芥藍’(D)和『白格林’(E)在田間淹水前(BS)以及恢復正常條件五天(5R)葉片葉綠素螢光反應之影響(98年9月)。

Fig 38. The SPAD value of Chinese kale plants treated with different plant growth regulators before flooding (BS), after 3 days of flooding and 5 days of drainage (5R) in the field (September, 2009). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol. (A) cv. ‘Tsuei-Bao’ (F₁); (B) cv. ‘Huei-Jin’ (F₁); (C) cv. ‘Ge-lin Flower’; (D) cv. ‘Si-lo’; (E) cv. ‘White-gelin’

Treatment from left 對照: control; 根毛王: Auxins (Lysine#3); 綠寶: Seaweed extract (Algreen); 天下補: Seaweed extract (Keltak); 速喜: Cytokinin (Biogrow); 硫酸鋅: ZnSO₄; 腐胺: Putrescine

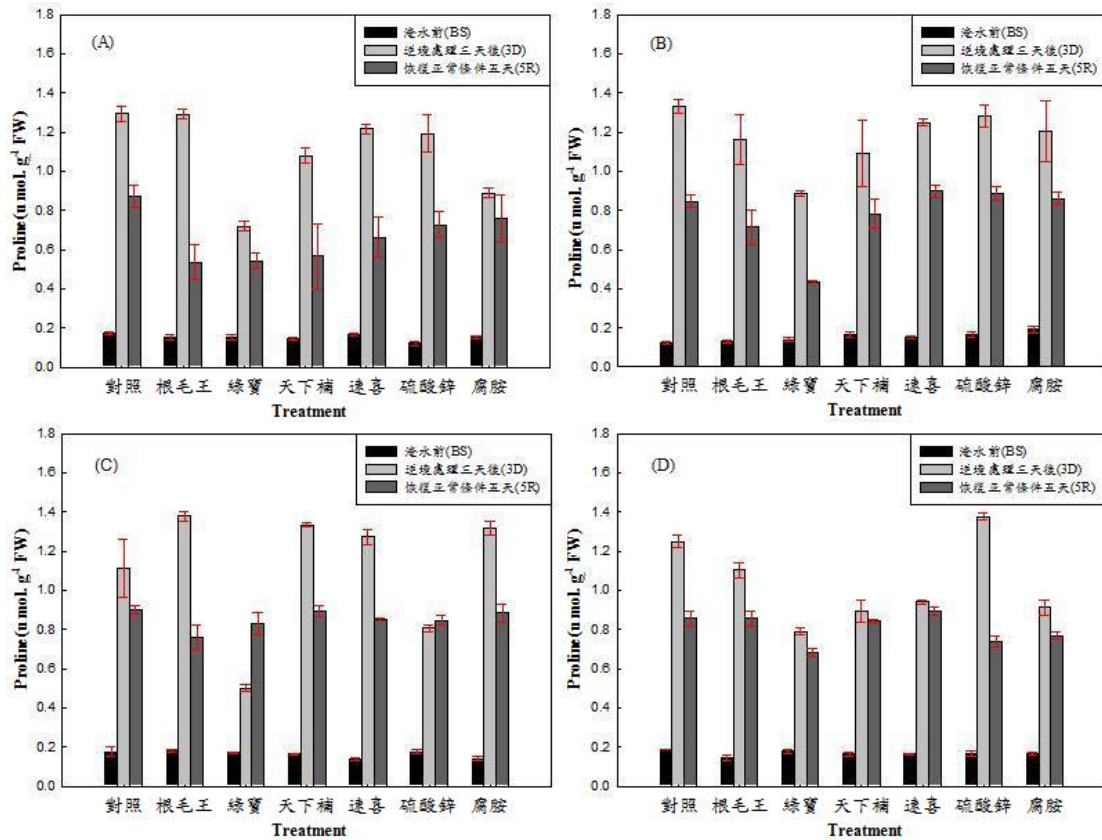


圖 39.施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’(A)、『黃花芥藍’(B)、『芥藍花’(C)和‘翠津’(D) 在田間淹水前(BS ■)、逆境處理三天後(3D □)以及恢復正常條件五天(5R ■)葉片脯氨酸含量之影響(98年8月)。

Fig 39. The proline content of Chinese kale plants treated with different plant growth regulators before flooding (BS ■), 3 days after flooding (3D □) and 5 days of recovery (5R ■) in the field (August, 2009). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol. (A) cv. 'Tsuei-Bao' (F₁); (B) cv. 'Yellow-flowered'; (C) cv. 'Kai-lan Flower'; (D) cv. 'Tsuei-Jin' (F₁)

Treatment from left 對照: control; 根毛王: Auxins (Lysine#3); 綠寶: Seaweed extract (Algreen); 天下補: Seaweed extract (Keltak); 速喜: Cytokinin (Biogrow); 硫酸鋅: ZnSO₄; 腐胺: Putrescine

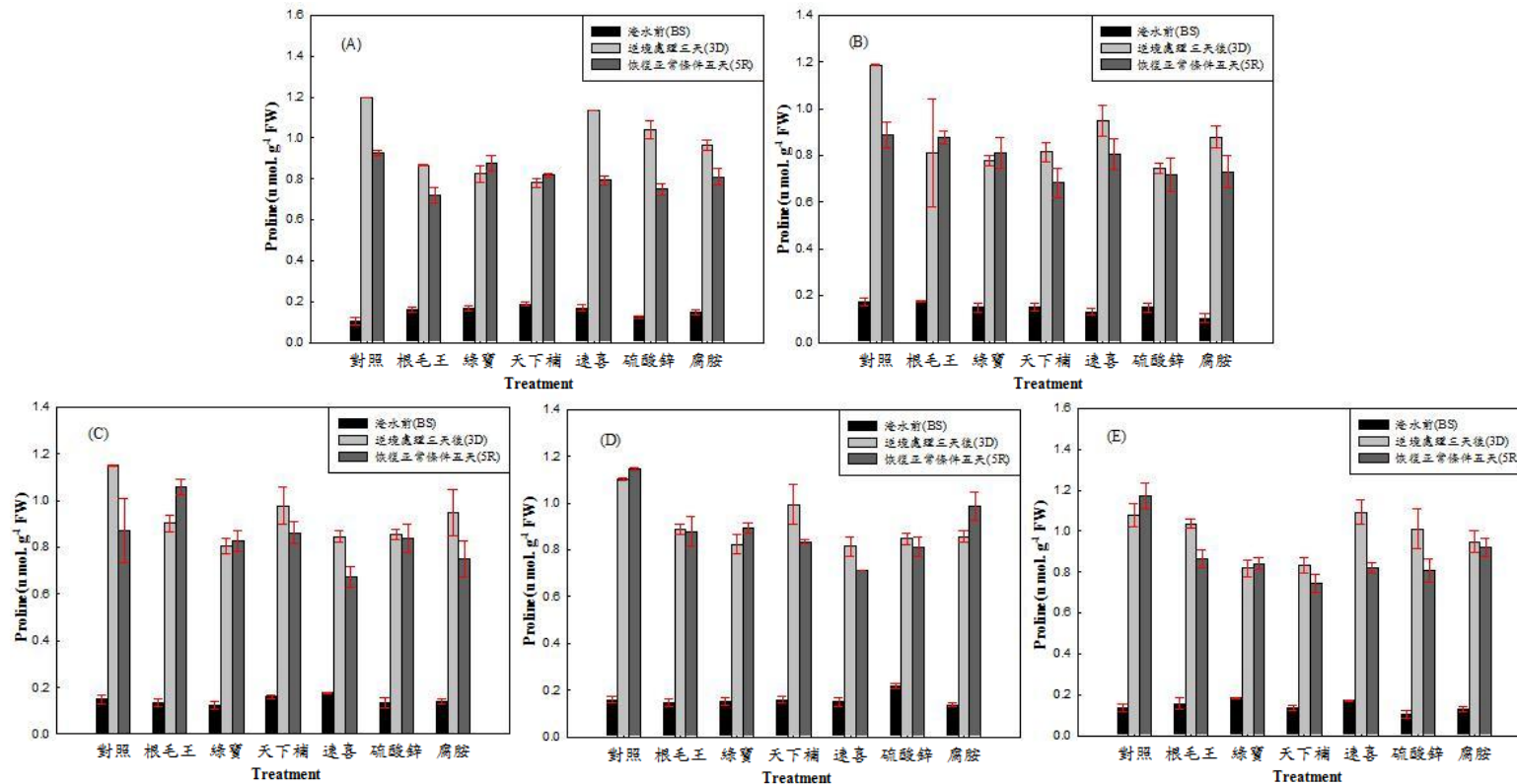


圖 40.施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’(A)‘蕙津’(B)‘格林花’(C)‘西螺芥藍’(D)和‘白格林’(E) 在田間淹水前(BS) 、 逆境處理三天後(3D)以及恢復正常條件五天(5R)葉片脯氨酸含量之影響(98年9月)。

Fig 40. The proline content of Chinese kale plants treated with different plant growth regulators before flooding (BS), 3 days after flooding (3D) and 5 days of recovery (5R) in the field (September, 2009). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol. (A) cv. 'Tsuei-Bao' (F₁); (B) cv. 'Huei-Jin' (F₁); (C) cv. 'Ge-lin Flower'; (D) cv. 'Si-lo'; (E) cv. 'White-gelin'

Treatment from left 對照: control; 根毛王: Auxins (Lysine#3); 綠寶: Seaweed extract (Algreen); 天下補: Seaweed extract (Keltak); 速喜: Cytokinin (Biogrow); 硫酸鋅: ZnSO₄; 腐胺: Putrescine

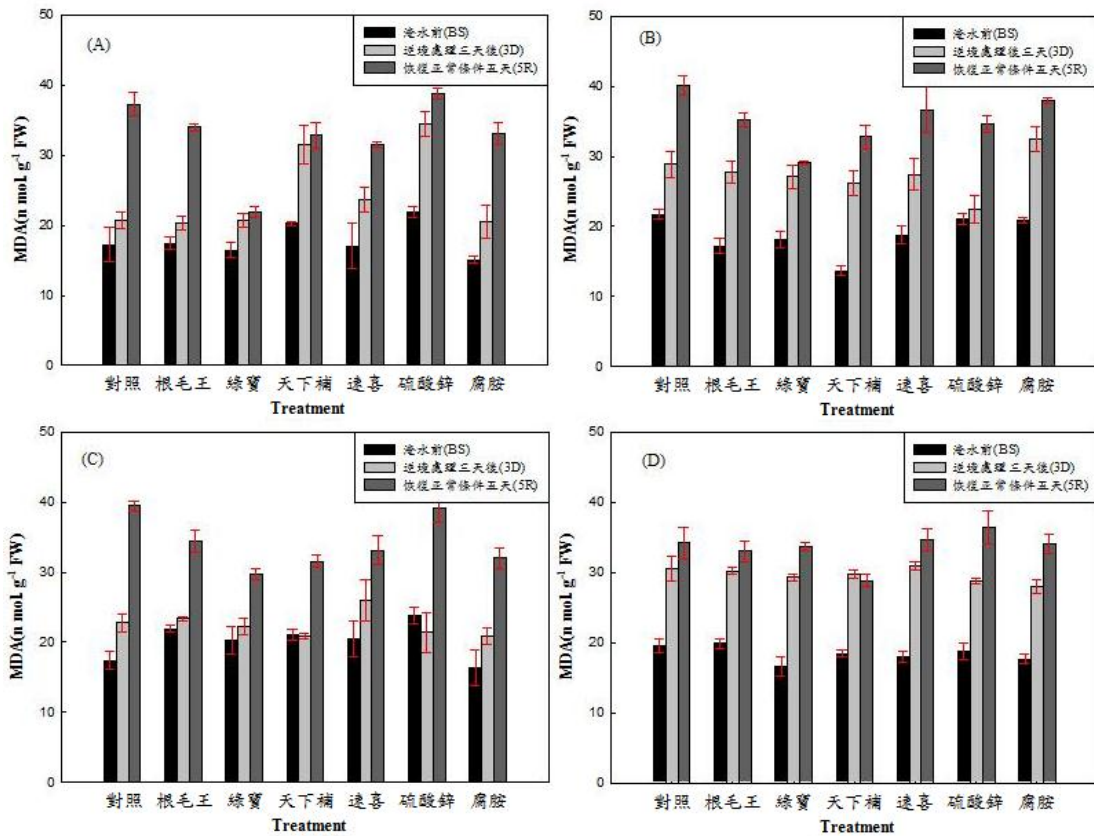


圖 41.施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’(A)、‘黃花芥藍’(B)、‘芥藍花’(C)和‘翠津’(D) 在田間淹水前(BS) 、逆境處理三天後(3D)以及恢復正常條件五天(5R)葉片丙二醛含量之影響(98年8月)。

Fig 41. The malondialdehyde (MDA) content of Chinese kale plants treated with different plant growth regulators before flooding (BS), 3 days after flooding (3D) and 5 days of recovery (5R) in the field (August, 2009). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol. (A) cv. 'Tsuei-Bao' (F₁); (B) cv. 'Yellow-flowered'; (C) cv. 'Kai-lan Flower'; (D) cv. 'Tsuei-Jin' (F₁).

Treatment from left 對照: control; 根毛王: Auxins (Lysine#3); 綠寶: Seaweed extract (Algreen); 天下補: Seaweed extract (Keltak); 速喜: Cytokinin (Biogrow); 硫酸鋅: ZnSO₄; 腐胺: Putrescine

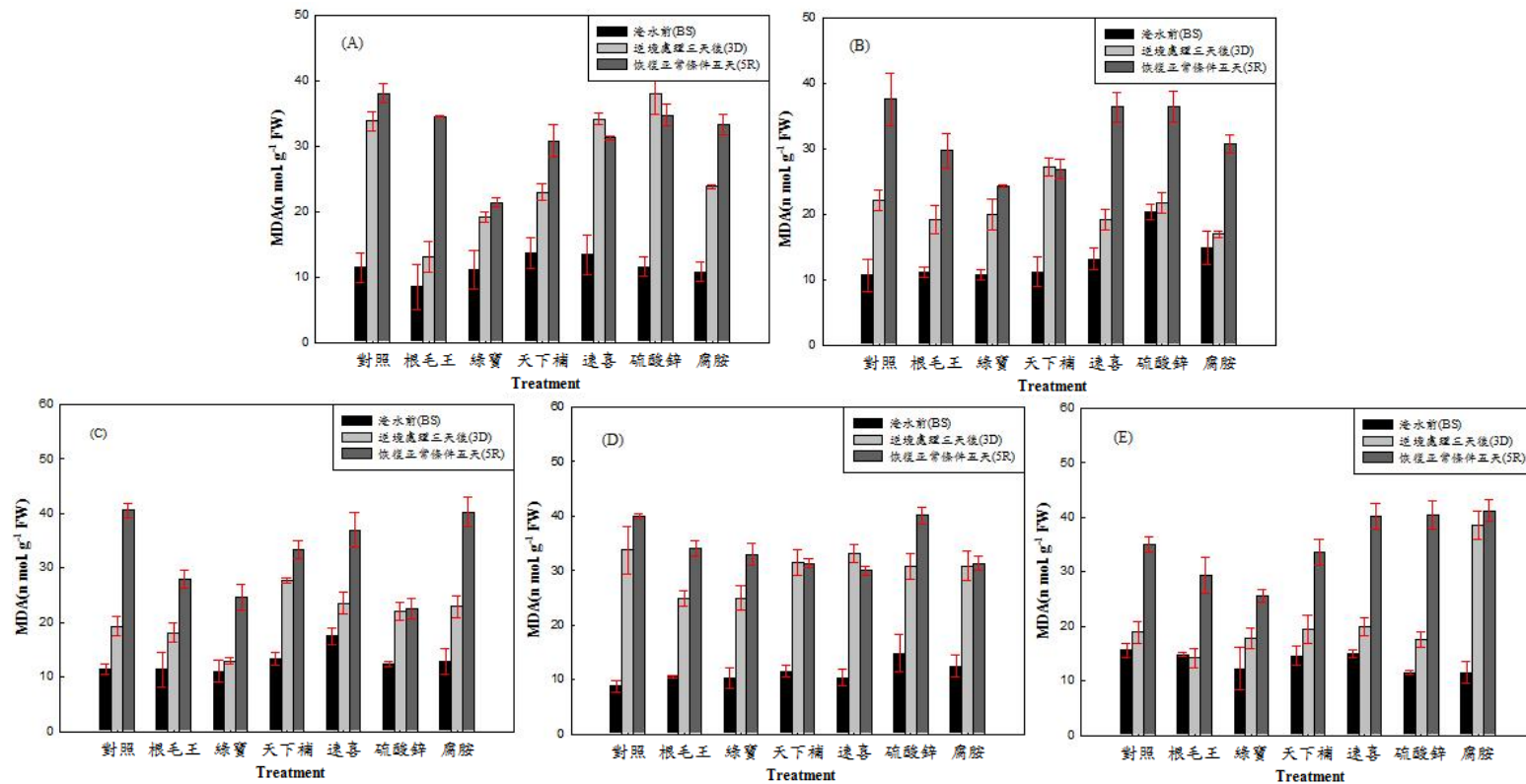


圖 42.施用植物生長調節物質對芥藍品種‘翠寶’(A)‘蕙津’(B)‘格林花’(C)‘西螺芥藍’(D)和‘白格林’(E) 在田間淹水前(BS) 、 逆境處理三天後(3D)以及恢復正常條件五天(5R)葉片丙二醛含量之影響(98年9月)。

Fig 42. The malondialdehyde (MDA) content of Chinese kale plants treated with different plant growth regulators before flooding (BS), 3 days after flooding (3D) and 5 days of recovery (5R) in the field (September, 2009). Bar represents standard error of the mean of 3 replicates and are not visible if smaller than symbol. (A) cv. ‘Tsuei-Bao’ (F₁); (B) cv. ‘Huei-Jin’ (F₁); (C) cv. ‘Ge-lin Flower’; (D) cv. ‘Si-lo’; (E) cv. ‘White-gelin’

Treatment from left 對照: control; 根毛王: Auxins (Lysine#3); 綠寶: Seaweed extract (Algreen); 天下補: Seaweed extract (Keltak); 速喜: Cytokinin (Biogrow); 硫酸鋅: ZnSO₄; 腐胺: Putrescine

表 2. 芥藍以生長調節物質處理在未淹水及經過淹水後排水恢復五天之植株鮮、乾重(田間八月)。

Table 2. The fresh weight and dry weight of Chinese kale plants unflooded or restored from flooding after 5 days of drainage. The plants were treated with different plant growth regulators before flooding (August, in field).

	‘翠寶’ (‘Tsuei-Bao’) F ₁				‘黃花芥藍’ (‘Yellow-flowered’)				
	鮮重(g)	地下部鮮重(g)	地上部鮮重(g)	乾重(g)	鮮重(g)	地下部鮮重(g)	地上部鮮重(g)	乾重(g)	
	Plant fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Shoot fresh weight (g)	Plant dry weight (g)	Plant fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Shoot fresh weight (g)	Plant dry weight (g)	
未淹水處理					未淹水處理				
CK ^Z	144.45 ^{aX}	8.93 ^a	135.53 ^a	21.43 ^a	CK	61.42 ^a	1.3 ^{ab}	60.12 ^a	8.03 ^{bc}
根毛王	139.85 ^{ab}	8.59 ^a	131.26 ^{ab}	20.91 ^a	根毛王	57.08 ^a	1.18 ^{bc}	55.90 ^a	7.26 ^c
綠寶	135.16 ^{ab}	9.53 ^a	125.63 ^{ab}	22.08 ^a	綠寶	64.81 ^a	1.77 ^a	63.03 ^a	10.90 ^a
天下補	127.23 ^{ab}	8.84 ^a	118.39 ^{ab}	20.67 ^{ab}	天下補	57.11 ^a	1.26 ^{ab}	55.85 ^a	9.38 ^{ab}
速喜	121.84 ^{ab}	7.35 ^a	114.49 ^{ab}	18.58 ^{bc}	速喜	47.35 ^a	0.65 ^c	46.70 ^a	5.35 ^d
硫酸鋅	140.07 ^{ab}	8.58 ^a	131.48 ^{ab}	21.61 ^a	硫酸鋅	55.25 ^a	1.12 ^{bc}	54.13 ^a	6.98 ^{cd}
腐胺	119.41 ^b	6.37 ^a	113.04 ^b	18.25 ^c	腐胺	60.90 ^a	1.26 ^{ab}	59.64 ^a	10.60 ^a
淹水處理					淹水處理				
CK	68.43 ^d	2.29 ^a	66.14 ^d	10.56 ^{bc}	CK	33.37 ^a	0.58 ^b	32.79 ^a	3.34 ^a
根毛王	98.03 ^{bc}	3.97 ^a	94.06 ^{bc}	13.54 ^{ab}	根毛王	32.18 ^{ab}	0.96 ^{ab}	31.23 ^{ab}	3.22 ^{ab}
綠寶	108.49 ^{ab}	3.35 ^a	105.14 ^{ab}	15.33 ^a	綠寶	34.21 ^a	1.12 ^a	33.09 ^a	3.42 ^a
天下補	112.1 ^a	2.42 ^a	109.67 ^a	15.35 ^a	天下補	29.48 ^{ab}	0.66 ^b	28.81 ^{ab}	2.95 ^{ab}
速喜	107.66 ^{ab}	2.89 ^a	104.77 ^{ab}	14.71 ^a	速喜	24.76 ^b	0.59 ^b	24.17 ^b	2.48 ^b
硫酸鋅	64.85 ^d	2.59 ^a	62.26 ^d	8.53 ^c	硫酸鋅	30.38 ^{ab}	0.59 ^b	29.80 ^{ab}	3.04 ^{ab}
腐胺	90.52 ^c	1.71 ^a	88.81 ^c	11.83 ^{abc}	腐胺	34.17 ^a	0.59 ^b	33.58 ^a	3.42 ^a

^Z 生長調節物質(PGR)：根毛王(Lysine#3)—auxins；綠寶(Algreen)—seaweed extract；天下補(Keltak)—Seaweed extract；速喜(Biogrow)—cytokinin；硫酸鋅—ZnSO₄；腐胺—putrescine

^X Means of the same segment in each column followed by the different letters are significantly different(p=0.05) by Least Significant Difference(LSD)

表 2. 續.

Table 2. continued.

	‘芥藍花’ (‘Kai-lan Flower’)					‘翠津’ (‘Tsuei-Jin’) F ₁			
	鮮重(g) Plant fresh weight (g)	地下部鮮重(g) Root fresh weight (g)	地上部鮮重(g) Shoot fresh weight (g)	乾重(g) Plant dry weight (g)		鮮重(g) Plant fresh weight (g)	地下部鮮重(g) Root fresh weight (g)	地上部鮮重(g) Shoot fresh weight (g)	乾重(g) Plant dry weight (g)
<u>未淹水處理</u>					<u>未淹水處理</u>				
CK ^Z	42.99 ^{aX}	1.01 ^{bc}	41.97 ^a	8.28 ^{bc}	CK	54.82 ^{ab}	0.73 ^{ab}	54.08 ^{ab}	9.38 ^{ab}
根毛王	48.02 ^a	0.98 ^{bc}	47.04 ^a	9.29 ^{ab}	根毛王	59.64 ^a	1.12 ^a	58.52 ^a	10.93 ^a
綠寶	43.01 ^a	1.05 ^b	41.96 ^a	8.65 ^{abc}	綠寶	58.98 ^a	1.01 ^{ab}	57.97 ^a	9.28 ^{ab}
天下補	40.91 ^a	1.29 ^b	39.61 ^a	6.88 ^d	天下補	44.45 ^c	0.72 ^{ab}	43.73 ^c	6.47 ^c
速喜	48.36 ^a	1.15 ^b	47.22 ^a	9.72 ^a	速喜	47.75 ^c	0.85 ^{ab}	46.90 ^c	6.93 ^{bc}
硫酸鋅	45.97 ^a	1.67 ^a	44.30 ^a	8.02 ^{cd}	硫酸鋅	49.25 ^{bc}	0.91 ^{ab}	48.33 ^{bc}	8.65 ^{abc}
腐胺	38.78 ^a	0.65 ^c	38.13 ^a	5.31 ^e	腐胺	46.07 ^c	0.67 ^b	45.39 ^c	6.69 ^{bc}
<u>淹水處理</u>					<u>淹水處理</u>				
CK	17.53 ^{ab}	0.55 ^a	16.98 ^{ab}	3.47 ^{abc}	CK	27.02 ^a	0.52 ^a	26.50 ^a	3.01 ^{ab}
根毛王	16.20 ^{bc}	0.57 ^a	15.63 ^{bc}	2.6 ^{bc}	根毛王	23.54 ^{ab}	0.33 ^a	23.21 ^{ab}	4.51 ^a
綠寶	19.54 ^a	0.57 ^a	18.97 ^a	4.64 ^a	綠寶	28.57 ^a	0.40 ^a	28.18 ^a	3.58 ^{ab}
天下補	18.36 ^{ab}	0.43 ^a	17.93 ^{ab}	4.07 ^{ab}	天下補	19.29 ^b	0.40 ^a	18.89 ^b	2.20 ^b
速喜	18.68 ^{ab}	0.56 ^a	18.12 ^{ab}	3.40 ^{abc}	速喜	25.82 ^a	0.63 ^a	25.19 ^a	4.66 ^a
硫酸鋅	18.05 ^b	0.21 ^a	18.03 ^{ab}	2.35 ^c	硫酸鋅	25.50 ^a	0.47 ^a	25.03 ^a	2.46 ^b
腐胺	14.51 ^c	0.58 ^a	13.93 ^c	2.50 ^c	腐胺	26.06 ^a	0.43 ^a	25.63 ^a	3.35 ^{ab}

^Z 生長調節物質(PGR)：根毛王(Lysine#3)—auxins；綠寶(Algreen)—seaweed extract；天下補(Keltak)—Seaweed extract；速喜(Biogrow)—cytokinin；硫酸鋅—ZnSO₄；腐胺—putrescine

^X Means of the same segment in each column followed by the different letters are significantly different(p=0.05) by Least Significant Difference(LSD).

表 3. 芥藍以生長調節物質處理在未淹水及經過淹水後排水恢復五天之植株鮮、乾重(田間九月)。

Table 3. The fresh weight and dry weight of Chinese kale plants unflooded or restored from flooding after 5 days of drainage. The plants were treated with different plant growth regulators before flooding (September, in field).

	‘翠寶’ (‘Tsuei-Bao’) F ₁				‘蕙津’ (‘Huei-Jin’) F ₁				
	鮮重(g) Plant fresh weight (g)	地下部鮮重(g) Root fresh weight (g)	地上部鮮重(g) Shoot fresh weight (g)	乾重(g) Plant dry weight (g)	鮮重(g) Plant fresh weight (g)	地下部鮮重(g) Root fresh weight (g)	地上部鮮重(g) Shoot fresh weight (g)	乾重(g) Plant dry weight (g)	
未淹水處理					未淹水處理				
CK ^Z	146.21 ^{bcX}	7.58 ^c	138.63 ^{bc}	17.43 ^{ab}	CK	120.88 ^a	5.93 ^a	114.95 ^a	8.01 ^{ab}
根毛王	123.13 ^c	9.63 ^{bc}	113.50 ^c	9.39 ^c	根毛王	101.26 ^b	4.88 ^a	96.38 ^c	8.78 ^a
綠寶	187.62 ^a	13.76 ^a	173.86 ^a	21.49 ^a	綠寶	126.29 ^a	3.78 ^a	122.32 ^a	6.48 ^b
天下補	171.48 ^{ab}	13.64 ^{ab}	157.84 ^{ab}	19.05 ^a	天下補	116.13 ^a	5.70 ^a	110.43 ^{ab}	7.30 ^{ab}
速喜	131.45 ^c	10.54 ^{abc}	120.91 ^c	13.41 ^{bc}	速喜	101.57 ^b	5.42 ^a	97.79 ^c	8.41 ^{ab}
硫酸鋅	128.74 ^c	8.3 ^c	120.71 ^c	10.77 ^c	硫酸鋅	103.35 ^b	3.97 ^a	97.92 ^{bc}	6.31 ^b
腐胺	143.85 ^{bc}	6.94 ^c	136.91 ^{bc}	12.74 ^c	腐胺	103.75 ^b	3.56 ^a	100.19 ^{bc}	7.07 ^{ab}
淹水處理					淹水處理				
CK	72.56 ^d	3.28 ^{bcd}	69.27 ^d	10.10 ^a	CK	23.31 ^a	0.26 ^a	23.05 ^a	3.51 ^a
根毛王	104.82 ^b	4.55 ^b	100.27 ^b	15.25 ^a	根毛王	23.66 ^a	0.22 ^a	23.44 ^a	3.23 ^a
綠寶	113.04 ^{ab}	6.51 ^a	106.43 ^{ab}	11.53 ^a	綠寶	24.32 ^a	0.24 ^a	24.17 ^a	3.07 ^a
天下補	118.33 ^a	2.73 ^{cd}	115.6 ^a	13.20 ^a	天下補	26.68 ^a	0.33 ^a	26.36 ^a	3.28 ^a
速喜	111.96 ^{ab}	3.93 ^{bc}	108.03 ^{ab}	12.41 ^a	速喜	22.76 ^{ab}	0.25 ^a	22.28 ^{ab}	2.90 ^a
硫酸鋅	75.65 ^d	3.81 ^{bc}	71.84 ^d	11.58 ^a	硫酸鋅	20.99 ^{ab}	0.49 ^a	20.74 ^{ab}	2.07 ^{ab}
腐胺	88.58 ^c	1.69 ^d	86.88 ^c	11.28 ^a	腐胺	17.39 ^b	0.56 ^a	16.83 ^b	1.34 ^b

^Z 生長調節物質(PGR)：根毛王(Lysine#3)—auxins；綠寶(Algreen)—seaweed extract；天下補(Keltak)—Seaweed extract；速喜(Biogrow)—cytokinin；硫酸鋅—ZnSO₄；腐胺—putrescine

^X Means of the same segment in each column followed by the different letters are significantly different(p=0.05) by Least Significant Difference(LSD).

表 3. 續.

Table 3. continued.

	‘格林花’ (‘Ge-lin Flower’)					‘西螺芥藍’ (‘Si-lo’)			
	鮮重(g)	地下部鮮重(g)	地上部鮮重(g)	乾重(g)		鮮重(g)	地下部鮮重(g)	地上部鮮重(g)	乾重(g)
	Plant fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Shoot fresh weight (g)	Plant dry weight (g)		Plant fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Shoot fresh weight (g)	Plant dry weight (g)
未淹水處理					未淹水處理				
CK ^Z	105.75 ^{bX}	2.90 ^{ab}	102.85 ^b	9.63 ^a	CK	124.88 ^{ab}	8.72 ^b	116.16 ^a	15.39 ^{bc}
根毛王	122.60 ^{ab}	3.44 ^a	119.2 ^{ab}	11.76 ^a	根毛王	150.02 ^{ab}	8.59 ^b	141.43 ^a	17.24 ^{abc}
綠寶	122.62 ^{ab}	1.11 ^{ab}	121.51 ^{ab}	9.48 ^a	綠寶	173.14 ^a	13.47 ^a	159.67 ^a	19.07 ^a
天下補	119.43 ^{ab}	2.73 ^{ab}	116.70 ^{ab}	9.79 ^a	天下補	166.42 ^{ab}	9.56 ^b	156.87 ^a	18.19 ^{ab}
速喜	117.67 ^{ab}	4.63 ^a	113.04 ^{ab}	9.39 ^a	速喜	126.64 ^{ab}	9.51 ^b	117.13 ^a	17.02 ^{abc}
硫酸鋅	121.04 ^{ab}	1.00 ^b	120.04 ^{ab}	10.26 ^a	硫酸鋅	123.15 ^b	10.95 ^{ab}	112.19 ^a	18.51 ^{ab}
腐胺	143.59 ^a	1.09 ^{ab}	142.50 ^a	10.31 ^a	腐胺	128.61 ^{ab}	8.12 ^b	120.49 ^a	14.72 ^c
淹水處理					淹水處理				
CK	30.76 ^a	0.50 ^a	30.26 ^a	3.32 ^a	CK	28.32 ^{cd}	0.85 ^a	27.48 ^{cd}	3.24 ^b
根毛王	30.04 ^{ab}	0.95 ^a	29.09 ^{ab}	3.46 ^a	根毛王	24.06 ^d	0.82 ^a	23.24 ^d	2.17 ^b
綠寶	30.56 ^a	0.90 ^a	29.66 ^a	4.14 ^a	綠寶	38.34 ^{ab}	1.05 ^a	37.29 ^{ab}	5.53 ^a
天下補	29.42 ^{ab}	0.59 ^a	28.83 ^{ab}	2.66 ^a	天下補	32.54 ^{bc}	0.86 ^a	31.68 ^{bc}	5.30 ^a
速喜	25.97 ^{bc}	0.83 ^a	25.22 ^{bc}	4.54 ^a	速喜	38.89 ^a	0.84 ^a	38.05 ^a	5.29 ^a
硫酸鋅	22.76 ^c	0.76 ^a	21.93 ^c	3.15 ^a	硫酸鋅	37.78 ^{ab}	1.38 ^a	36.40 ^{ab}	5.44 ^a
腐胺	23.00 ^c	0.64 ^a	22.36 ^c	2.81 ^a	腐胺	23.71 ^d	0.90 ^a	22.81 ^d	2.74 ^b

^Z 生長調節物質(PGR)：根毛王(Lysine#3)—auxins；綠寶(Algreen)—seaweed extract；天下補(Keltak)—Seaweed extract；速喜(Biogrow)—cytokinin；硫酸鋅—ZnSO₄；腐胺—putrescine

^X Means of the same segment in each column followed by the different letters are significantly different(p=0.05) by Least Significant Difference (LSD).

表 3. 續.

Table 3. continued.

	‘白格林’ (‘White-gelin’)			
	鮮重(g) Plant fresh weight (g)	地下部鮮重(g) Root fresh weight (g)	地上部鮮重(g) Shoot fresh weight (g)	乾重(g) Plant dry weight (g)
<u>未淹水處理</u>				
CK ^Z	142.09 ^{abX}	12.04 ^a	130.05 ^{ab}	16.93 ^c
根毛王	149.81 ^{ab}	10.98 ^a	138.84 ^{ab}	18.03 ^{bc}
綠寶	171.41 ^a	11.20 ^a	160.20 ^a	12.89 ^d
天下補	149.35 ^{ab}	15.14 ^a	134.20 ^{ab}	20.67 ^b
速喜	127.03 ^b	13.88 ^a	113.15 ^b	18.08 ^{bc}
硫酸鋅	148.93 ^{ab}	14.99 ^a	133.94 ^{ab}	24.97 ^a
腐胺	129.10 ^b	11.53 ^a	117.58 ^b	12.40 ^d
<u>淹水處理</u>				
CK	23.21 ^{ab}	0.73 ^{ab}	22.49 ^{ab}	3.60 ^{bc}
根毛王	25.71 ^a	1.52 ^a	24.19 ^{ab}	4.71 ^{ab}
綠寶	25.43 ^a	1.48 ^a	23.95 ^{ab}	5.62 ^a
天下補	24.93 ^{ab}	1.10 ^{ab}	23.83 ^{ab}	3.45 ^{bc}
速喜	28.11 ^a	1.00 ^{ab}	26.96 ^a	5.43 ^a
硫酸鋅	23.94 ^{ab}	1.15 ^{ab}	22.94 ^{ab}	3.05 ^{bc}
腐胺	19.61 ^b	0.48 ^b	19.13 ^b	2.27 ^c

^Z 生長調節物質(PGR)：根毛王(Lysine#3)—auxins；綠寶(Algreen)—seaweed extract；天下補(Keltak)—Seaweed extract；速喜(Biogrow)—cytokinin；硫酸鋅—ZnSO₄；腐胺—putrescine

^X Means of the same segment in each column followed by the different letters are significantly different(p=0.05) by Least Significant Difference (LSD).

伍、討論

當植物根系遭受淹水—缺氧逆境時，其正常生理代謝被阻，形態上也可能有些改變。由於缺乏適當的電子接受者，造成飽和的氧化還原連鎖反應累積大量 NADPH 及減少 ATP 的產生，並產生大量的活性氧族(reactive oxygen species)。根部細胞進行無氧呼吸作用，產生維持生理代謝所需能量；但無氧解醱過程最終產物乙醛、乙醇、乳酸等具有毒性物質累積在細胞內，導致細胞結構被破壞。葉片內葉綠體降解、氣孔關閉，植物的淨光合速率、蒸發速率及氣孔導度都大幅降低，光系統 II 最大光化學效率下降，使得葉片萎凋死亡。有些耐淹水的物種會隨著淹水時間的延長而恢復原來的生理作用(朱，1995；Yan et al.,1996；Casanova and Margaret, 2000；Kato-Noguchi and Saito, 2000；Liao and Lin, 2001；Carvalho and Amancio, 2002；Close and Davidson, 2003；Lin et al., 2004；Ashraf and Arfan, 2005)。影響植物的逆境耐受性或受害程度取決於品種、植株遭受逆境的生長階段或者其他環境因素(朱，1995；高，1988；張，2008；Zhou and Lin, 1995)。

一、淹水逆境對芥藍之生理影響

本研究以芥藍相對含水量、電解質滲漏率、葉色變化、葉綠素螢光反應、脯胺酸及丙二醛含量等生理指標和植株重量之變化，探討芥藍受到淹水逆境時不同品種的生理反應，以及施用不同生長調節物質對減輕淹水傷害的作用及效果。植株在高溫(日/夜溫 35/30°C)下淹水所受之生理影響比常溫下淹水(日/夜溫 25/20°C)顯著。芥藍苗期在常溫下經過淹水逆境三天後，其電解質滲漏率、丙二醛含量並不是每個供試品種都有顯著升高；但在高溫下，植株未淹水前之電解質滲漏率即高於常溫淹水植株(圖 2)。排水後，植株電解質滲漏率、丙二醛含量再提高，‘翠津’及‘西螺芥藍’皆達顯著水準(圖 2、6)。因此高溫環境下會加深淹水逆境對芥藍之傷害，一方面因芥藍為好冷涼的蕓苔屬作物(楊和楊，2002；劉等人，2003)，高溫環境下可能其抗氧化防禦機制受到影響(Zhou and Lin, 1995)；另外，高溫導致植物持續蒸散作用，而根部因淹水逆境之傷害無法吸水，體內水分供應不平衡而易萎凋(高，1988)。

植株進行無氧呼吸產生的能量比正常有氧呼吸所產生的能量少，造成光合作用受到影響。淹水逆境會影響葉片能量平衡及固碳作用，當光合作用降低，葉片

仍持續受到太陽輻射超過負荷則有光抑制現象，形成二次傷害。利用葉綠素螢光釋放特性，可探討葉片能量使用效率、過多能量釋放機制及 PS II 的光呼吸(姚等人, 2007)。芥藍在苗期遭受高溫淹水逆境後，其葉綠素螢光反應(Fv/Fm)顯著下降。八月田間淹水三天後芥藍成株平均葉綠素螢光反應降至 0.1~0.2；九月田間各品種經過三天淹水後，平均 Fv/Fm 值分別下降至 0.233-0.551。比較‘翠寶’在三個不同環境的淹水結果，芥藍成株的傷害大於苗期，八月的傷害更大於九月。由於八、九月淹水處理都在同一田區，應是八月的溫度較高，植株處於更大逆境。

在高溫下、芥藍經過淹水處理後，其葉綠素螢光反應結果顯示光合作用降低。綠豆光合作用隨著淹水天數增加而下降；淹水 8 天後排水，綠豆光合作用逐漸上升，到排水第 8 天回復到原來的光合能力，葉綠素螢光之變化與光合作用變化相同(Ahmed et al.,2002)。王與曾(2010) 檢測 12 個甜椒品系在高溫逆境(33/22°C)下之受粉能力，葉綠素螢光分析結果與有效受粉結果一致。兩個耐熱品系的 Fv/Fm 參數最高，高溫對其花粉管伸長的抑制較小。本研究利用葉綠素螢光釋放特性，能快速檢測芥藍不同品種的逆境反應；‘翠寶’在苗期淹水處理，其 Fv/Fm 值在排水三天後並未回升，但其它三個品種都有，且‘西螺芥藍’ Fv/Fm 值回升至 0.6。

除了光合作用外，淹水逆境下植株葉片生長及生理也受影響，造成植株葉色改變、失水或萎凋現象。光合產物的運送受到影響，多餘的光合作用產物累積在葉綠體內，而葉片碳水化合物分配情形改變以適應淹水逆境，增加耐受性。並利用儲存於葉片中之碳水化合物供應逆境後植株之生長發育所需，以增加存活率(吳和朱,1994)。向日葵經過淹水四天，葉綠體內累積大量澱粉(Wample and Reid, 1979)；白菜(*Brassica rapa*)淹水四天後，不耐淹水株葉綠體內的澱粉粒增加，造成類囊膜體的受損及葉綠餅破裂，因而光合作用速率降低(Daugherty, 1994)。芥藍與菜心經過淹水處理 5、7、11 天後，兩者相對含水量均隨著淹水天數增加而減少。芥藍淹水後葉片黃化和萎凋(Issarakraisila et al., 2007)。

芥藍苗於高溫 35/30°C 下淹水後，相對含水量在淹水後皆顯著下降，其中‘翠寶’、‘白花芥藍’下降幅度最大。在八月田間試驗中‘翠寶’的平均相對含水量由淹水前的 75~83% 降低至 50%、幅度更大，在田間葉片失水情形比苗期在人工氣候室情形嚴重。‘翠寶’在九月田間試驗中，淹水前平均相對含水量 86~91%、

較八月試驗株略高，經過淹水三天及排水後相對含水量降至低於 50%，兩次田間試驗淹水後相對含水量降至相近範圍(圖 31、32)。但其它品種經過淹水，平均相對含水量更低，八月試驗品種‘黃花芥藍’及‘芥藍花’都低於 40%；九月試驗品種‘格林花’、‘西螺芥藍’、‘白格林’更低至 20%。相較於‘翠寶’，這些品種在田間高溫下淹水後，葉片失水更嚴重。比較‘翠寶’與‘西螺芥藍’的苗期淹水結果與田間成株淹水結果，芥藍在苗期可能較耐淹水；但夏季淹水對芥藍是嚴重的逆境。

由葉綠素計讀值(SPAD 值)可比較葉色深淺。田間試驗以‘翠津’、‘翠寶’葉色最深綠，其次為‘西螺芥藍’、‘黃花芥藍’，再為‘蕙津’、‘芥藍花’，葉色最淺依序為‘白格林’、‘格林花’。在八月經過淹水後，葉綠素計讀值都顯著降低，以‘芥藍花’降幅最多、葉色變最淺。在九月經過淹水後，‘白格林’、‘格林花’及‘西螺芥藍’葉綠素讀值都降至最低，其中‘白格林’原本葉色即黃綠、葉色最淺。葉色較淺的芥藍品種不耐淹水；而淹水或缺氧逆境下植物的葉綠素含量會明顯下降(高，1988；朱，1955)。由‘翠寶’與‘西螺芥藍’的苗期及成株的 SPAD 值，芥藍苗期葉色比田間成株淺，但淹水後 SPAD 值降低幅度較小，再顯示芥藍可能在苗期較耐淹水。

淹水使植株根部水分、養分吸收能力降低，葉片氣孔導度下降；細胞內活化氧族的增加，破壞膜、增加膜系通透性，造成電解質滲漏(Martineau et al.,1979)。當傷害越大，電解質滲漏程度增加，因此電解質滲漏率之變化可以做為逆境中植株傷害程度的指標。雖然芥藍苗在高溫下的電解質滲漏率顯著高於常溫下，淹水處理後‘西螺芥藍’和‘白花芥藍’電解質滲漏率有顯著增加，表示其細胞膜受損。在八月田間試驗中芥藍成株的平均電解質滲漏率在 8~14%，經過淹水後電解質滲漏率大幅增加，‘翠津’增加最多。排水後期各品種電解質滲漏率持續上升至 80%以上，表示產生不可逆的膜系破壞。‘翠津’膜系傷害較早發生，且電解質滲漏程度越大，表示植株受到淹水逆境傷害程度也越大。在九月田間試驗中供試品種的平均電解質滲漏率 10~19%，經過淹水、排水後電解質滲透率皆持續顯著增加，但沒有像‘翠津’在八月淹水後的大幅增加。‘翠寶’在兩次試驗、淹水後電解質滲漏率增加不顯著，在排水後才急遽上升。

芥藍丙二醛含量在高溫淹水、特別是在排水後顯著高於淹水前。苗期各品種變化量相近，在排水後增至 25- 28.59 $\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW。植物細胞受到過氧化傷害，促使膜脂中不飽和脂肪酸產生二次代謝物-丙二醛，丙二醛與酶蛋白發生聚合，造成膜變性(Bartosz, 2003; Kappus, 1985)，丙二醛含量常作為細胞膜脂質過氧化的指標。芥藍成株於夏季田間淹水後，各品種丙二醛含量增加至 20-35 $\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW，排水後再升高至 35-40 $\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW。‘西螺芥藍’和‘翠寶’成株淹水後丙二醛含量都較苗期高。‘翠寶’於八月淹水，丙二醛含量主要於排水後大幅增加，九月淹水後丙二醛含量即大幅上升，排水後增加較少。兩次試驗，細胞膜脂質過氧化發生時間可能不同，但最後丙二醛含量都在排水後相近(圖 41、42)。

淹水逆境會造成植株莖與根部脯胺酸累積，並以莖部累積最多，當逆境排除後，脯胺酸累積則快速下降(朱, 1995)。芥藍不同品種在高溫淹水處理下，脯胺酸累積量在淹水三天後、排水三天後之變化因品種而異(張, 2008)。本研究中芥藍苗期淹水處理，常溫下各品種脯胺酸含量都有增加，待排水恢復期仍繼續增加，但含量仍低於 1 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW。在高溫下淹水逆境後脯胺酸含量增加，排水後除‘翠津’外，脯胺酸含量續有增加。‘翠津’脯胺酸含量在排水後沒有再增，電解質滲漏率在排水後升高。田間成株淹水後，脯胺酸含量也呈倍數累積，待排水恢復期有些下降，但仍高於淹水前。‘翠寶’在兩次淹水試驗表現皆如此，但‘西螺芥藍’和‘白格林’排水後脯胺酸含量沒有下降(圖 39、40)。芥藍在淹水逆境下，沒有不定根產生，脯胺酸持續累積以維持滲透勢，但各品種對淹水的耐受性不同。

綜合八、九月田間試驗之植株鮮、乾重結果，‘翠寶’(120-140 g; 123-170 g)、‘西螺芥藍’(123-173 g)、‘白格林’(127-171 g)等品种植株最大，‘格林花’(105-122 g)與‘蕙津’(101-126 g)次之，以上品種單株鮮重都高於 100 g。‘翠津’(44-60 g)與‘黃花芥藍’(47-64 g)全株平均約 50-60 g，以‘芥藍花’最小，平均全株鮮重 40-48 g。淹水後植株大量萎凋或死亡，全株及地上部鮮重失重率以‘翠津’、‘黃花芥藍’和‘翠寶’最低，‘翠寶’仍可部分採收。‘西螺芥藍’、‘格林花’、‘白格林’及‘蕙津’都有 75-84%鮮重失重率，‘白格林’失重率最高。‘格林花’、‘白格林’、‘西螺芥藍’的葉片相對含水量及葉綠素讀值也是最低，SPAD 值的降低程度可做為耐淹水性的速測指標。

二、施用植物生長調節物質對芥藍淹水之生理影響

植物在遭受淹水逆境時，往往會產生構造或生理代謝之改變，如根部通氣組織(aerenchyma tissue)及不定根的形成，代謝路徑的改變等進行適應調節，使植物能在逆境中維持生存。近年有些利用植物生長調節物質以減輕淹水逆境傷害的研究，施用於芥藍的效果，除了苗期或成株的影響外，各品種反應有不同。

(一)生長素(根毛王)

所用的根毛王(Lysine #3)含有多種 auxin 類、維生素 C、維生素 PP、磷酸二氫鉀、複合氨基酸、硫酸鋅。Auxin 與根的創始有關，它促進種苗根部生長、激發植物根部根毛的大量發生、縮短生根時間、促使根團發育緊密。不同的 auxin 物質能誘導不定根及通氣組織的生成(Vuylsteker et al.,1998;Basra, 2000)。

‘翠寶’苗期在高溫下淹水後相對含水量顯著降低，電解質滲漏率微增、至排水恢復期才顯著高於淹水前之滲漏率，但丙二醛含量增加。葉綠素螢光反應值顯著下降，葉綠素讀值降低，葉色稍淺，脯胺酸含量隨時間增加累積。施用根毛王處理，能使‘翠寶’在淹水後及恢復期的相對含水量回復到淹水前(圖 1)，但電解質滲漏率在排水恢復期才低於沒有生長素的對照組(圖 2)。葉色 SPAD 值維持接近淹水前讀值(圖 4)；葉綠素螢光反應 Fv/Fm 值在排水恢復期回升到 0.652。脯胺酸含量高於淹水前(圖 5)，丙二醛含量同樣比淹水前增加(圖 6)。田間成株雖施用生長素，淹水後，只九月處理組葉綠素螢光反應維持在 0.75 以上(圖 38)。處理組脯胺酸含量低於無生長素處理株(在八月排水恢復期、脯胺酸含量大幅降低至 $0.569 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ；在九月淹水後處理組與對照組(0.866 vs. $1.197 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)，及排水恢復期(0.719 vs. $0.926 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)。全株、地上部鮮重顯著高於對照組(表 2、3)，失重率(約 24-29%)低於對照組(約 46-50%)。全株乾重也以處理組較高；可能根毛王處理有助於植株根部吸水、維持較正常光合作用，加上植株原本生長勢較好(株型較大)，經過淹水，還有較高比率存留量。

‘翠津’苗期在高溫下淹水後脯胺酸含量上升、相對含水量顯著降低；根毛王處理株相對含水量可達 82% (圖 1)，而脯胺酸含量繼續增加(圖 5)。田間夏季成株雖施用生長素，淹水後仍表現相對含水量及葉綠素讀值大幅下降(圖 31、35)，電解質滲漏率大幅上升(圖 33)、葉綠素螢光反應降低(圖 37)，丙二醛含量大幅增加(圖

41)。全株、地上部鮮重失重率(約 78%)及全株乾重失重率(約 53%)，與對照組沒有差異。

‘白花芥藍’只有苗期試驗，在高溫下淹水後，施用生長素使相對含水量由 60%回升到 70%以上(圖 1)；但電解質滲漏率到排水恢復期較淹水前升高(圖 2)。不論常溫或高溫下，淹水處理增加芥藍脯胺酸含量；常溫下施用生長素，可以降低剛淹水後的脯胺酸含量；但高溫下，處理組與對照組脯胺酸累積模式相同(圖 5)。在高溫下，‘白花芥藍’葉片丙二醛含量顯著升高，顯示較不耐高溫(圖 6)，生長素處理組之丙二醛含量顯著減少，到恢復期回升。

‘西螺芥藍’苗期在高溫下淹水後電解質滲漏率顯著增加，但丙二醛含量在恢復期才略增。葉綠素螢光反應值顯著下降，但在恢復期能再回升；脯胺酸含量在恢復期才成倍增加。根毛王處理組在排水恢復期葉綠素螢光反應 Fv/Fm 值回升到 0.6 以上(圖 3)，脯胺酸含量在排水恢復期有減少，但仍高於淹水前(圖 5)。田間九月試驗，葉綠素螢光反應 Fv/Fm 值低至 0.2，丙二醛含量以倍數升高。根毛王處理並未緩減這些逆境傷害，植株鮮、乾重與對照組沒有差異，失重率高達 80% 以上(表 3)。

(二)海藻萃取液(綠寶、天下補)

海藻萃取液係以天然海洋生物為原料萃取之功能型複合液肥，含有氮、磷、鉀、鈣、鎂、鐵、錳、鋅等元素及氨基酸外，還含有細胞分裂素、赤黴素及海洋生物特有的海藻多糖(蔣，2005)。本研究使用商品有二，苗期試驗使用綠寶一種，田間成株試驗使用綠寶及天下補兩種。

‘翠寶’苗期在高溫下淹水後相對含水量顯著降低，電解質滲漏率在排水恢復期升高，葉綠素螢光反應值顯著下降，並且葉綠素讀值降低，葉色稍淺，脯胺酸含量隨時間增加累積。海藻萃取物(綠寶)處理組的相對含水量回復到淹水前(圖 7)，恢復期的電解質滲漏率較低(圖 8)。淹水後葉色維持，但在恢復期 SPAD 值較淹水前略低(圖 10)；Fv/Fm 值在排水恢復期回升到 0.52(圖 9)，脯胺酸含量在排水恢復期維持與淹水後相同(圖 11)。

田間成株施用綠寶及天下補都能使淹水後維持相對含水量近 60% (八月，圖 31) 或以上(九月，圖 32)；植株電解質滲漏率(60-67%)顯著低於對照組(80%以上)(圖 33、

34)，有減緩傷害之效果。綠寶效果略高於天下補(圖 33)。在八月的‘翠寶’葉綠素讀值高於九月，葉色較深，淹水後植株葉色減退，處理組 SPAD 值顯著高於對照組，以天下補效果較好(SPAD 值 60.7) (圖 35、36)。施用綠寶維持 Fv/Fm 值 0.7-0.75 (圖 37、38)，並且丙二醛含量顯著低於對照組 (圖 41、42)。施用天下補效果較低，且九月試驗中 Fv/Fm 值沒有回升，與對照組同樣低。處理組脯胺酸累積顯著低於對照組(八月綠寶處理組在淹水後脯胺酸含量 $0.718 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，在排水恢復期降至 $0.544 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，遠低於對照組(圖 39)；天下補處理組脯胺酸含量也低於對照組)。在八月兩種海藻萃取物處理組之全株乾、鮮重及地上部鮮重都顯著高於對照組(表 2)，乾重失重率約 25%，鮮重失重率 15-18%。九月之全株及地上部鮮重也以處理組較高(表 3)；淹水後鮮重失重率約 22-23%(綠寶)、16-20%(天下補)。天下補處理組的全株及地上部鮮重也顯著高於根毛王處理株(表 2、3)。可能海藻萃取物提供豐富微量元素，可減緩葉綠素的降解；又含其他天然植物荷爾蒙、多酚化合物提高根系活力，幫助植體抵抗逆境、維持光合作用能力，降低傷害、減少葉片失水(王與石，2003；陳，2009；Blunden et al., 1996；Beckett et al., 1989)。

‘翠津’苗期施用綠寶海藻萃取物，在高溫下淹水後能比對照組維持較高葉綠素讀值 (圖 10)，葉綠素螢光反應 Fv/Fm 值到排水恢復期回升到 0.6 (圖 9)。電解質滲漏率在排水恢復期沒有繼續上升 (圖 8)，丙二醛含量略高於淹水後含量，不像對照組在排水恢復期升高較多(圖 12)。夏季田間成株施用綠寶、天下補，淹水後相對含水量下降及電解質滲漏率上升、幅度都小於對照組 (圖 31、33)；Fv/Fm 值(分別為 0.598、0.567) 顯著高於對照組(圖 37)。綠寶處理組葉綠素讀值維持 60.5 (圖 35)。脯胺酸含量較淹水前增加，但低於對照組累積量(圖 39)。天下補處理組在恢復期丙二醛含量沒有繼續增加 (圖 41)；其全株鮮、乾重及地上部鮮重比對照組低。綠寶處理組的全株鮮、乾重及地上部鮮重與對照組同。

‘白花芥藍’只有苗期試驗。施用綠寶減少其相對含水量因高溫下淹水後的降低幅度(圖 7)；葉綠素讀值仍能維持 (圖 10)。不論常溫或高溫下，淹水處理增加芥藍脯胺酸含量；施用綠寶，其脯胺酸含量顯著高於對照組 (圖 11)。在高溫下、不淹水，葉片丙二醛含量顯著升高，顯示‘白花芥藍’不耐高溫；綠寶處理組之丙二醛含量顯著比對照組為低，而與常溫時之含量相近 (圖 12)。

‘西螺芥藍’ 於苗期施用綠寶海藻萃取物後淹水，其電解質滲漏率在排水恢復期沒有繼續增加，並且較對照組顯著為低(圖 8)。葉綠素螢光反應值降低幅度也顯著較小(圖 9)；脯胺酸含量隨淹水時間而增加，丙二醛含量在恢復期末再增加(圖 11,12)。整體而言，施用綠寶對‘西螺芥藍’ 苗期的淹水傷害有減緩的效果。田間九月兩種海藻萃取物(綠寶和天下補) 的成株處理組在排水期的電解質滲漏率都比對照組低(圖 34)；脯胺酸含量與丙二醛含量的增加幅度都比對照組為低(圖 40、42)，也維持相對較高的葉綠素讀值(22.4 和 19.1，圖 36)。天下補處理組比對照組有顯著較高的 Fv/Fm 值(0.429 vs. 0.233) (圖 38)。綠寶處理組比對照組有顯著較高的全株鮮、乾重及地上部鮮重；天下補處理組有較高的全株乾重(表 3)，但失重率仍約 68- 72%。

‘黃花芥藍’ 以綠寶、天下補處理的植株相對含水量、葉綠素讀值都顯著高於對照組(圖 31、35)；葉綠素螢光反應值也顯著高於對照組(圖 37)。綠寶處理組的脯胺酸含量在排水後降為 $0.435 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ，顯著較對照組低(圖 39)；其丙二醛含量在排水後上升幅度最小(圖 41)。淹水後全株及地上部鮮重、全株乾重損失率約 42-60% (表 2)，比‘西螺芥藍’ 損失小。綠寶處理組有顯著較高的根部乾重，可能係海藻萃取物增加根部活性 (陳，2008；王與石，2003)，減少植株淹水傷害。

‘芥藍花’ 以綠寶、天下補處理之相對含水量(分別為 43.3%、47.5%)都高於對照組。綠寶處理組之電解質滲漏率增加最少(圖 31、33)，Fv/Fm 值最高(0.640)；天下補處理組 Fv/Fm 值也顯著高於對照組(0.257) (圖 37)。兩種海藻萃取物處理組都維持顯著較好之葉色；丙二醛含量在排水恢復期較對照組為低(圖 35、41)。淹水後植株失重率約 60%，兩種處理組之全株鮮、乾重及地上部鮮重都略高於對照組(表 2)，雖然差異不顯著，有減少淹水傷害的效果。

施用綠寶和天下補，‘格林花’、‘白格林’ 兩品種脯胺酸含量與對照組相同或較低(圖 40)，施用綠寶有顯著較低的丙二醛含量(圖 42)。兩品種淹水後失重率仍然很高(表 3)，屬於不耐淹水的品種。

(三)細胞分裂素(速喜)

細胞分裂素具有促進細胞分裂、誘導芽分化、解除植物頂端優勢、打破種子休眠、促進種子和芽的萌發、調控營養物質的運輸、促進葉綠素合成等多項功能(柯，

2002；潘和王，2006)。速喜為功能型複合液肥，主要成分乃由海草萃取，有活性細胞分裂素及多種天然植物荷爾蒙、蛋白質、礦物質、微量元素等。

施用速喜能減少‘翠寶’在高溫下苗期淹水後相對含水量的降低(圖 13)，維持葉色及 SPAD 值(圖 16)；脯胺酸含量在排水恢復期沒有再升高，維持與淹水後相同之含量(圖 17)。夏季田間施用速喜能使成株淹水後維持相對含水量近 60% (圖 31, 32)；九月的植株電解質滲漏率顯著低於對照組(圖 34)，葉綠素讀值(52.7)顯著高於對照組(圖 35、36)，有降低傷害的效果。細胞分裂素可能直接或間接清除作物自由基，減少脂質過氧化，提高作物在水分逆境下的耐受性 (Leshem et al., 1981；Ivanova et al., 1998)。八月處理組葉綠素螢光反應 Fv/Fm 值約 0.6 (圖 37)，脯胺酸累積及丙二醛含量都較對照組低(圖 39-42)；全株乾、鮮重及地上部鮮重都顯著高於對照組(表 2)，乾重、鮮重失重率都比對照組低。九月之全株及地上部鮮重也以處理組較高(表 3)。此與陳(2009)施用速喜能有效減少小白菜淹水後鮮、乾重損失結果相同，且處理株的相對水分含量、葉綠素含量均高於未施用者。

‘翠津’苗期施用細胞分裂素(速喜)，在高溫下淹水後，葉綠素讀值普遍較對照組高，也較常溫下為高(圖 16)。脯胺酸含量升高，並在排水恢復期再升高(圖 17)，丙二醛含量與對照組相似，高溫下都略高於淹水前含量(圖 18)。田間成株施用速喜，淹水後各生理指標變化與對照組相同(圖 31、33、35、37、39、41)；全株鮮、乾重及地上部鮮重與對照組沒有差異(表 2)。

‘白花芥藍’在苗期施用速喜、淹水後相對含水量在 60% 以上(圖 13)；高溫下，脯胺酸含量隨淹水處理而增加(圖 17)；丙二醛含量因溫度高而升高，施用速喜能減少淹水後的增加幅度(圖 18)。

‘西螺芥藍’於苗期施用細胞分裂素後淹水，電解質滲漏率增加，但高溫與常溫的差異較對照組為低(圖 14)。脯胺酸含量因淹水而隨時間增加(圖 17)，但處理組丙二醛含量的上升幅度小於對照組(圖 18)。整體而言，苗期淹水對‘西螺芥藍’各項生理指標的影響，主要來自高溫；施用細胞分裂素的作用較不顯著。田間九月的成株淹水，處理組各項生理指標與對照組相同；在排水恢復期的脯胺酸累積量($0.714 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)和丙二醛含量都比對照組為低(圖 40、42)。對照組淹水後全株及地上部鮮重、全株乾重損失高達 80%，處理組有顯著較高的全株鮮、乾重

及地上部鮮重(表 3)；鮮重失重率約 71-72%，乾重失重率約 69%。

施用速喜使‘芥藍花’、‘黃花芥藍’於田間八月淹水時，比對照組有較高 SPAD 值與 Fv/Fm 值(‘黃花芥藍’對照組 Fv/Fm 值低至 0.177)(圖 35、37)；‘蕙津’在九月田間淹水後有較低電解質滲漏率(圖 34)，SPAD 值的下降幅度較小(圖 36)，維持 Fv/Fm 值 0.558(圖 38)。「格林花」速喜處理組在排水後有顯著較低的脯胺酸含量($0.675 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)(圖 40)，「白格林」脯胺酸含量(降至 $0.82 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)與海藻萃取物(綠寶)處理組相同。「黃花芥藍」因淹水的鮮、乾重失重結果顯示它對淹水有中等耐逆性；「蕙津」與「格林花」為不耐淹水品種。

(四)硫酸鋅

鋅是植物不可缺少的元素，植物有 80 多種酶含有鋅或需要鋅作為輔酶、激活劑，它們透過 DNA、RNA 聚合酶進而影響核酸和蛋白質的合成。其中，光合作用中碳酸酐酶催化可逆的二氧化碳水合反應；對於植物碳水化合物、蛋白質、生長素等物質代謝及繁殖發育過程具有重要作用，甚至影響植物抗性(汪和金，2009；張等，2010；Broadley et al., 2007)。

‘翠寶’在苗期施用硫酸鋅，高溫下淹水後其相對含水量只些微降低(圖 19)，電解質滲漏率在排水恢復期微量升高(圖 20)，脯胺酸含量隨時間增加幅度比對照組低(圖 23)。葉綠素螢光反應值只維持到淹水後，恢復期又顯著降低(圖 21)。在田間夏季，硫酸鋅處理組成株淹水後維持較高相對含水量(八月達 60%，九月達 69.4%)(圖 31、32)；葉綠素讀值降低，但略高於對照組(圖 35、36)；脯胺酸累積低於對照組(圖 39、40)。全株乾、鮮重及地上部鮮重大致與對照組相同(表 2、3)。「翠寶」屬於受淹水傷害最少的品種，高溫下淹水後葉綠素讀值高於其它品種，其相對含水量與另一 F₁ 品種‘翠津’都在 40% 以上，比其它品種高。但硫酸鋅處理並未增加其植株鮮、乾重。

‘翠津’苗期施用硫酸鋅，在高溫下淹水後，葉綠素螢光反應 Fv/Fm 值比對照組高(圖 21)，且保持淹水前的葉綠素讀值(圖 22)。脯胺酸含量比淹水前高，也高於對照組(圖 23)，丙二醛含量升高但低於對照組(圖 24)。田間夏季處理組成株淹水後，葉綠素讀值高於對照組(圖 35)。因鋅是葉綠體中碳酸酐酶必需的成分，施用硫酸鋅增加總葉綠素含量(殷等人，2004；Wood and Sibly, 1951；Ohki, 1976)，

而提高 SPAD 讀值。但葉綠素螢光反應 Fv/Fm 值降低(圖 37)，丙二醛含量略高於對照組(圖 41)。全株鮮、乾重及地上部鮮重與對照組沒有差異(表 2)。

‘白花芥藍’在苗期施用硫酸鋅能比對照組維持較高的相對含水量(圖 19)，較低的電解質滲漏率(圖 20)。高溫下淹水處理，脯胺酸含量隨時間增加而升高(圖 23)，葉片丙二醛含量在恢復期有些升高(圖 24)。

‘西螺芥藍’苗期施用硫酸鋅，淹水後電解質滲漏率沒有增加，低於對照組(圖 20)。葉綠素螢光反應在恢復期維持 0.6，比淹水期小幅降低(圖 21)；葉綠素讀值在淹水後仍能維持(圖 22)；丙二醛含量增加幅度低於對照組(圖 23、24)。九月田間的成株淹水，處理組的脯胺酸累積量低於對照組(圖 40)；全株鮮、乾重及地上部鮮重顯著較對照組高(表 3)；鮮重失重率約 72-73%，乾重失重率約 68%。

‘黃花芥藍’成株於田間八月淹水時，處理組比對照組有較高相對含水量(圖 31)、微高的 SPAD 值(圖 35)及略低的丙二醛含量($22.477 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ vs. $28.928 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$, 圖 41)。
‘芥藍花’施用硫酸鋅的表現是脯胺酸含量比對照組低(圖 39)。
‘蕙津’在九月田間淹水後，處理組的 SPAD 值(33.1)比對照組(SPAD 值 22.1)的下降幅度小(圖 36)，累積較低的脯胺酸含量($0.745 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$, 圖 40)。雖然
‘格林花’有顯著較低丙二醛含量($22.47 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)及較高相對含水量(圖 32)，但其 SPAD 值降至極低(圖 36)，葉呈萎凋。植株鮮、乾重的淹水失重結果顯示‘蕙津’與‘格林花’不耐淹水，硫酸鋅處理沒有改善效果。

(五)腐胺

多胺(polyamines)屬於植物生長調節物質之一，其生理功能包括：促進植物生長、延緩衰老以及適應逆境條件(高，1998；潘和王，2006)。多胺同時也是一種第二信使(secondary messenger)(Liu et al., 2007)，與植物的生長、形態建成和對逆境的反應密切相關。在植物逆境反應中，多胺含量的改變可以穩定膜結構、提高抗氧化酶活性、調節生物體內大分子合成、清除活性氧、抑制乙烯合成等，提高植物對逆境的抗性，防止老化(Borrell et al., 1997；Lee et al., 1997；Tadolini, 1988；Tiburcio et al., 1993)。

‘翠寶’苗期施用腐胺處理能減少高溫下淹水後相對含水量的降低(圖 25)，維持葉色及 SPAD 值比對照組高(圖 28)；緩和脯胺酸含量的累積升高(圖 29)，減

少丙二醛含量(圖 30)。夏季成株在田間淹水後,處理組比對照組有較高相對含水量,九月的相對含水量近 60% (圖 31, 32); 電解質滲漏率較低(圖 33、34), 葉綠素讀值較高(八月為 52.7 vs. 42.9, 圖 35), 維持 Fv/Fm 值在 0.6 (圖 37)或略低於 0.6 (圖 38), 顯示傷害降低。處理組之脯胺酸累積及丙二醛含量都較對照組低(圖 39-42)。玉米、小麥施用亞精胺可於水分逆境下維持光合作用速率及相對含水量, 減緩葉綠素降解及電解質滲漏(Duan et al., 2006; Hao et al., 1999)。小白菜有腐胺前處理, 淹水二天後, 其鮮、乾重都較對照組高, 排水後恢復生長的情形也較好 (陳, 2009)。胡瓜施用多胺, 於鹽份逆境下, 其地上、地下部鮮乾重、葉片大小、根的生長情形均較未施用者佳(Duan et al., 2008)。比較芥藍淹水後失重比率, 處理組比對照組低 (八月全株鮮重約 32% vs. 48%; 地上部鮮重約 28% vs. 46%)(九月的相對比率為 40% vs. 50% 及 36% vs. 50%), 全株乾、鮮重及地上部鮮重都顯著高於對照組(表 2、3), 傷害稍有減輕。

‘翠津’ 苗期遭受高溫及淹水逆境後, 腐胺處理組之相對含水量降低, 但比對照組略高(圖 25)。在八月田間成株經過腐胺處理, 淹水後其相對含水量、SPAD 值都顯著高於對照組(圖 31、35), 但全株鮮、乾重及地上部鮮重與對照組同。

‘白花芥藍’ 在苗期施用腐胺能比對照組維持較高的相對含水量 (圖 25)及較低電解質滲漏率(圖 26); 葉片丙二醛含量比對照組低(圖 30)。

‘西螺芥藍’ 在苗期施用腐胺, 淹水後可維持電解質滲漏率不增加(圖 26); Fv/Fm 值在淹水期沒有降低, 在恢復期與對照組同(圖 27)。葉綠素讀值沒有隨時間下降(圖 28), 脯胺酸含量增加大(圖 29)。在九月田間成株淹水後, 生理性狀沒有因腐胺處理與對照組有差異, 相對含水量低至 20%(圖 32), 電解質滲漏率高達 80% 以上(圖 34), Fv/Fm 值低於 0.3(圖 38)。植株鮮、乾重的損失同對照組(表 3)。

其它八月供試品種 ‘黃花芥藍’ 因腐胺處理, 其相對含水量得在 40%(圖 31); 但植株鮮、乾重與對照組沒有顯著差異(表 2)。「芥藍花」最後丙二醛含量低於對照組(圖 41), Fv/Fm 值及 SPAD 值比對照組高 (圖 37、35); 植株淹水後鮮重與對照組同樣大幅降低。九月供試品種 ‘格林花’、‘白格林’ 及 ‘蕙津’ 淹水後處理組植株鮮、乾重的損失都很高 (表 3)。

陸、結論

生長四周的芥藍苗在淹水前三天以不同植物生長調節物質處理，淹水後以六項生理指標(葉片相對含水量、電解質滲漏率、葉色 SPAD 值、丙二醛含量、葉綠素螢光反應 Fv/Fm 值和脯胺酸含量)評估芥藍反應。在高溫(35/30°C)下芥藍苗葉片電解質滲漏率、丙二醛含量(細胞膜脂質過氧化的指標)普遍較常溫(25/20°C)下為高，顯示芥藍適應常溫。芥藍苗期耐淹水，兩種溫度下淹水處理，經過排水恢復期，植株沒有明顯死亡萎凋。但在高溫下淹水，植株葉片各生理指標變化幅度較大。各品種葉綠素螢光反應有顯著下降；有些品種在排水後 Fv/Fm 值有回升情形。葉片電解質滲漏率大幅增加，丙二醛含量在淹水後先呈不顯著增加，到排水後恢復期顯著增加。葉綠素讀值(葉色)都明顯下降；反應滲透勢調節的脯胺酸含量在高溫下較高，淹水處理後再增加累積。另外，葉片相對含水量皆在高溫下淹水後顯著下降。芥藍在苗期可能較耐淹水；但夏季淹水對芥藍是嚴重的逆境。

苗期淹水前施用生長調節物質，有助於恢復芥藍各項生理指標性狀。最普遍的作用是葉綠素讀值之維持及脯胺酸的累積，電解質滲漏率及丙二醛含量的降低作用較不顯著。生長調節物質中以硫酸鋅、腐胺、海藻萃取物(綠寶)的效益較大。

芥藍成株係植株定植後約 5 週，在夏季採收前施用植物生長調節物質後淹水三天、其後排水五天為恢復期。‘翠寶’、‘西螺芥藍’、‘白格林’、‘格林花’與‘蕙津’係植株較大品種，單株鮮重>100 g。淹水後對照組植株大量萎凋或死亡，各項生理指標變化大；處理組植株黃化萎凋較緩，失重率較對照組低。淹水後就全株及地上部鮮重失重率，以‘翠津’、‘黃花芥藍’和‘翠寶’較低，其鮮重仍保留 50% 以上，‘翠寶’還可部分採收。多種生長調節物質都能減輕‘翠寶’的淹水傷害。施用植物生長調節物質的生理作用包括維持葉片相對含水量、葉色(SPAD 值)及減少脯胺酸含量變化幅度、丙二醛量和電解質滲漏。以海藻萃取物(綠寶、天下補)對供試品種有最多效果。SPAD 值的降低程度可做為耐淹水性的速測指標；田間試驗顯示葉色較淺的品種不耐淹水。比較‘翠寶’與‘西螺芥藍’在苗期及成株的 SPAD 值，苗期的葉色比田間成株為淺，但淹水後 SPAD 值降低幅度較小。由‘翠寶’在三個不同環境及條件淹水的結果，再顯示芥藍在苗期較耐淹水。

柒、參考文獻

- 王仕賢. 2008. 全球暖化趨勢對臺灣蔬菜生產之影響. 作物、環境與生物資訊 5:76-82.
- 王強、石偉勇. 2003. 海藻肥對番茄生長的影響及其機理研究. 浙江農業科學 2: 67-69.
- 王昭月、曾夢蛟. 2010. 利用葉綠素螢光與有效受粉評估測甜椒耐熱性. 台灣農業研究 59:237-248.
- 朱德民. 1995. 植物與環境逆境. 國立編譯館. 台北
- 行政院農業委員會. 2005. 臺灣農家要覽-農作篇(二). 豐年社. 臺北市.
- 吳昌祐、朱德民. 1994. 植物在缺氧逆境下之適應調節. 科學農業 42(506): 40-146.
- 吳昌祐、朱德民. 2003. 淹水逆境對甘藷植株生理反應之探討(3)-供源葉片光合作用及光合產物代謝之變化. 中華農藝 13:39-58.
- 宋志榮. 2001. 水分脅迫對辣椒脂質過氧化作用和保護酶活性及相關生理指標的影響研究. 湖南農業大學碩士論文.
- 宋豐斌、戴俊英、李海燕. 1995. 外源多胺與玉米耐旱性. 玉米科學 3:44-46.
- 李志洪、王淑華、高強、李翠蘭、張福鎖. 2004. Zn 及 ABT 對玉米根系生長及根際磷酸酶活性和 pH 的影響。植物營養與肥料學報 10:156-160.
- 李阿嬌. 2008. 北部地區常見蔬菜栽培曆及病蟲害防治曆. 桃園區農業專訊 65: 13-25.
- 汪中和. 2008. 氣候變化對台灣地下水文環境的衝擊：回顧與前瞻. 經濟部中央地質調查所特刊 18:239-255.
- 汪洪、金繼運. 2009. 植物對鋅吸收運輸及積累的生理與分子機制. 植物營養與肥料學報 15: 225-235.
- 李才生、馬惠麗、黃鵬飛. 2008. 鹽脅迫下不同濃度鋅對水稻幼苗生長及細胞膜的影響. 安徽農業科學 36:9380- 9381, 9427.
- 李萌、陸欣春、田霄鴻、買文選、楊習文、南雄雄. 2009. 乾旱條件下鋅對玉米根系生長及葉片保護酶活性的影響. 西北農林科技大學學報 37:109-114.
- 林秀雲. 2009. 莫拉克颱風農業災情損失概況. 農政與農情 207:15-18.

- 林楨祐、邱春樹、陳甘澍. 2010. 芥藍耐熱選育之評鑑方向. 農業試驗所技術服務 81:10-12.
- 林學詩. 2007. 蔬菜農業氣象災害與因應策略. 作物、環境與生物資訊 4:23-34
- 姚銘輝、陳守泓、漆匡時. 2007. 利用葉綠素螢光估算作物葉片之光合作用. 台灣農業研究 56:224-236.
- 柯勇. 2002. 植物生理學. 藝軒圖書出版社. 臺北.
- 徐仰倉、王靜、劉華、王根軒. 2001. 外源精胺對小麥幼苗抗氧化酶活性的促進作用. 植物生理學報 27:349-352.
- 徐曉燕、楊肖娥、楊玉愛. 1999. 鋅在植物中的形態及生理作用機理研究進展. 廣東微量元素科學 11:1-6.
- 翁仁憲、張蓉茜. 2004. 根部缺氧對嫁接番茄水分生理之影響. 作物、環境與生物資訊 1:31-38.
- 高立波. 2006. 芥藍栽培技術措施. 廣西園藝 4:49-50.
- 高景輝. 1988. 淹水與植物發育. 科學農業叢書第十三號. 科學農業社. 台北
- 高景輝. 1998. 植物荷爾蒙生理. 華香園出版社. 臺北.
- 張文東. 2000. 浸水逆境下玉米幼苗植株過氧化作用與抗氧化系統的反應. 國立中興大學農藝學系研究所博士論文.
- 張平真. 2009. 關於芥藍起源的研究. 中國蔬菜 14:62-65.
- 張木清、陳如凱、余松烈. 1996. 多胺對滲透脅迫下甘蔗癒傷組織的誘導和分化作用. 植物生理學通訊 32:175-178.
- 張玉瓊、張鶴英. 1999. 鋅營養對淹水玉米抗性的影響. 安徽農學通報 5:19-21.
- 張芝蓉. 2008. 芥藍對高溫淹水之耐受性. 國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文.
- 張喜寧、楊秀惠. 2003. 新種類肥料可保全淹水逆境下的葉菜生長. 農業世界 236:56-57.
- 張靜、張魯剛、張玉. 2009. 芥藍種質資源營養成分及商品性評價. 中國蔬菜 16:41-44.
- 張樂奇、張學偉、李愛芳、戴文進、田光輝. 2010. 鋅素營養及其在煙草中的應用研究. 湖南農業科學 19:58-60.
- 曹幸之、羅筱鳳. 2002. 蔬菜(II). 復文書局. 臺南.

- 梁婷雅. 2007. 利用 RAPD 與 ISSR 標誌分析芥藍的遺傳歧異度. 國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文.
- 陳甘澍、洪爭坊. 2009. 天然災害後蔬菜病害的發生與管理. 天然災害作物復育之病害管理研討會專刊. 行政院農業委員會農業試驗所及中華民國植物病理學會 編印 p.95-116.
- 陳士寬. 2008. 穴盤型式、單格株數、海藻萃取液與叢枝菌根菌對北蔥種苗生長之影響. 國立中興大學園藝學系研究所碩士論文.
- 陳詩文. 2009. 葉片型態、植物營養劑及土壤改良劑對小白菜淹水之影響. 國立中興大學園藝學系研究所碩士論文.
- 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.
- 楊暹、楊運英. 2002. 溫度對芥藍生長發育與菜薹形成的影響. 中國蔬菜 4:33-34.
- 殷憲強、王國棟、孫慧敏、韓新寧. 2004. 乾旱條件下鋅、錳肥對玉米葉綠素含量的影響. 土壤肥料科學 20:196-198, 226.
- 劉俊、周一峰、章文華、劉友良. 2006. 外源多胺對鹽脅迫下玉米葉綠體結合態多胺水平和光合作用的影響. 西北植物學報 26:254 -258.
- 劉達修、王文哲、陳啟吉. 1993. 數種非農藥物質在葉蟬防治上之應用. 臺中區農業改良場研究彙報 39:61-71.
- 劉厚誠、黃琴、陳日遠、劉晴. 2003. 高溫條件下芥藍菜色澤的形成. 中國蔬菜 6: 12-14.
- 潘瑞熾、王淑美. 2006. 植物生理學. 藝軒圖書出版社. 台北.
- 蔣永正. 2003. 認識植物營養劑. 植物保護通訊 6:1-3.
- 蔣永正. 2005. 市售植物營養劑活性之檢測. 中華民國雜草學會會刊 26 :3-65.
- 謝慶芳. 1998. 柑桔類有機栽培法. 農作物有機栽培技術專刊 p. 91-96.
- 韓錦峰、朱大恒、林學. 1992. 多胺對煙草抗漬性的生理效應. 植物生理學通訊 28:271-272.
- 羅志平. 2006. 小白菜經植物生長物質前處理對淹水逆境之反應. 國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文
- 關佩聰、李孟仿. 1989. 芥藍菜薹發育與品種、花芽分化和生長的關係. 園藝學報

16:39-44.

顧洋. 2008. 全球暖化的因應. 科學發展 421:6-11.

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.

Aloni, B. and G. Rosenshtein. 1982. Effect of flooding on tomato cultivars: the relationship between proline accumulation and other morphological and physiological changes. *Physiol. Plant.* 56:513-517.

Anton, J. M., C. H. Marjolein, J. B. Joris, A. M. Robert, B. Jordi, and A.C. Laurentius. 2002. Submergence research using *Rumex palustris* as a model: Looking back and going forward. *J. Exp. Bot.* 53: 391-398.

Ashraf, M. and M. Arfan. 2005. Gas exchange characteristics and water relations in two cultivars of *Hibiscus esculentus* under waterlogging. *Biol. plant.* 49: 459-462.

Aziz, A., J. M. Tanguy, and F. Larher. 1998. Stress-induced changes in polyamine and tyramine levels can regulate proline accumulation in tomato leaf discs treated with sodium chloride. *Physiol. Plant.* 104: 95-202.

Bartosz, G. 2003. Generation of reactive oxygen species in biological systems. *Comments Toxicol.* 9: 5-21.

Basra, A. S. 2000. Plant growth regulators in agriculture and horticulture-their role and commercial use. p. 1-25. In: M. V. Jorge and E. F. Hector (eds.) *Control of root formation by plant growth regulators*. The Haworth Press, NY.

Bates, L. S., R. D. Waldereen and I. D. Taere. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant soil* 39:205-207.

Beauchemin, R., J. Harnois, R. Rouillon, H.A. Tajmir-Riahi, and R. Carpentier. 2007. Interaction of polyamines with proteins of photosystem II: Cation binding and photosynthetic oxygen evolution. *J. Mol. Struct.* 833:169-174.

Beckett, R. P. and J. Staden. 1989. The effect of seaweed concentrate on the growth and yield of potassium stressed wheat. *Plant Soil* 116:29-36.

Beckman, T. G., R. L. Perry and J. A. Flore. 1992. Short-term flooding affects gas exchange characteristics of containerized sour cherry trees. *Hort. Sci.* 27: 1297-1301.

Blunden, G., T. Jenkins, and Y. W. Liu. 1996. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. *J. Appl. Phycol.* 8: 535-543.

- Borrell, A., L. Carbonell, R. Farrs, P. Puig-Parellad and A. F. Tiburcio. 1997. Polyamines inhibit lipid peroxidation in senescing oat leaves. *Physiol. Plant.* 99:385- 390.
- Broadley, M. R., P. J. White, J. P. Hammond, I. Zelko, and A. Lux. 2007. Zinc in plants. *New Phytol.* 173:677-702.
- Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytol.* 146:185-205.
- Cakmak, I. and H. Marshner. 1988. Enhanced superoxide radical production in roots of zinc deficient plants. *J. Exp. Bot.* 39:1449- 1460.
- Cakmak, I., A. Yilmaz, M. Kalayci, H. Ekiz, B. Torun, B. Erenoglu and H. J. Braun. 1996. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in central Anatolia. *Plant Soil.* 180:165-172.
- Capell, T., L. Bassie, and P. Christou. 2004. Modulation of the polyamine biosynthetic pathway in transgenic rice confers tolerance to drought stress. *Proc. Natl. Aca. Sci.* 101:9909–9914.
- Carvalho, L. C. and S. Amancio. 2002. Antioxidant defence system in plantlets transferred from in vitro to ex vitro: effects of increasing light intensity and CO₂ concentration. *Plant Sci.* 162: 33-40.
- Casanova, M. T. and A. Margaret. 2000. How do depth, duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities? *Plant Ecol.* 147: 237-250.
- Castonguay, P. P. and R. R. Simard. 1993. Effects of flooding carbohydrate and ABA levels in roots and shoots of alfalfa. *Plant Cell Env.* 16: 695-702.
- Champolivier, L. and A. Merrien. 1996. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L.var. *oleifera* on yield, yield components and seed quality. *Euro. J. Agron.* 5: 153-160.
- Chatterjee, C. and N. Khurana. 2007. Zinc stress induced changes in biochemical parameters and oil content of mustard. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 38: 751-761.
- Close, D. C. and N. J. Davidson. 2003. Long-term waterlogging: nutrient, gas exchange, photochemical and pigment characteristics of *Eucalyptus nitens* Saplings. *Russian J. Plant Physiol.* 50: 843-847.
- Chouliaras, V., D. Gerascapoulos and S. Lionakis. 1997. Effect of seaweed extract on

- fruit growth, weight and maturation of 'Hayward' kiwifruit. *Acta Hort.* 2:485-489.
- Crouch, I.J., R.P. Beckett and J.V. Staden. 1990. Effect of seaweed concentrate on the growth and mineral nutrition of nutrient-stressed lettuce. *J. Appl. Phycol.* 2: 269-272.
- Daugherty, C.J., S. W. Matthews and M. E. Musgrave. 1994. Structural change in rapid-cycling *Brassica rapa* selected for differential waterlogging tolerance. *Can. J. Bot.* 72:1322-1328.
- Demetriou, G., C. Neonaki, E. Navakoudis, and K. Kotzabasis. 2007. Salt stress impact on the molecular structure and function of the photosynthetic apparatus—The protective role of polyamines. *Biochim. Biophys. Acta, Bioenerg.* 1767: 272-280.
- Drew, M. C. 1983. Plant injury and adaptation to oxygen deficiency in the root environment: a review. *Plant Soil* 75:179-199.
- Drew, M. C. 1992. Soil aeration and plant root metabolism. *Soil Sci.* 154 : 259-268.
- Drew, M. C. and E. J. Sisworo. 1979. The development of waterlogging damage in young barley plants in relation to plant nutrient status and changes in soil properties. *New Phytol.* 82: 301-314.
- Duan, H. G., S. Yuan, W. J. Liu, D.H. Xi, D.H. Qing, H. G. Liang, and H. H. Lin. 2006. Effects of exogenous spermidine on photosystem II of wheat seedlings under water stress. *J. Integr. Plant Biol.* 48: 920-927.
- Duan, J., J. Li, S. Guo, and Y. Kang. 2008. Exogenous spermidine affects polyamine metabolism in salinity-stressed *Cucumis sativus* roots and enhances short-term salinity tolerance. *J. Plant Physiol.* 165: 1620-1635.
- Fausey, N. R., T. T. Van Toai and M. B. McDonald, Jr. 1985. Response of ten corn cultivars to flooding. *Trans. ASAE.* 28:1794-1797.
- Fox, T. C., and M. L. Guerinot. 1998. Molecular biology of cation transport in plant. *Ann. Rev. Plant physiol. Plant Mol. Biol.* 49:699-696.
- Galston, A. W. and R. K. Sawhney. 1990. Polyamines in plant physiology. *Plant Physiol.* 94: 406-410.
- Grewal, H. S., L. Zhonggu, and R. D. Graham. 1997. Influence of subsoil zinc on dry matter production, seed yield and distribution of zinc in oil seed rape genotypes differing in zinc efficiency. *Plant Soil* 192: 181-189.
- Gutierrez Boem, F. H., 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.
- Hao, L. M., H. L. Wang, and H. G. Liang. 1999. Effects of rewatering on light harvesting chlorophyll a/b protein complex of photosystem II in *Zea mays*. *Acta Bot. Sin.* 41: 613-616.
- Hare, P.D., W.A. Cress, and J. V. Staden. 1997. The involvement of cytokinins in plant responses to environmental stress. *Plant Growth Regul.* 23: 79-103.
- Heath, R. L. and L. Packer. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts I. Kinetics and stoichiometry of fatty acids peroxidation. *Arch. Biophys.* 125: 189-198.
- Horchani, F., P. Gallusci, P. Baldet, C. Cabasson, M. Maucourt, D. Rolin, S. A. Smiti, and P. Raymond. 2008. Prolonged root hypoxia induces ammonium accumulation and decreases the nutritional quality of tomato fruits. *J. Plant Physiol.* 165:1352-1359.
- 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. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 41: 267-273.
- Huang, B., J. W. Johnson, S. Nesmith, and D. C. Bridges. 1994. Growth, physiological and anatomical responses of two wheat genotype to waterlogging and nutrient supply. *J. Exp. Bot.* 45: 192-202.
- Issarakraisila, M., Q. Ma and David W. Turner. 2007. Photosynthetic and growth responses of juvenile Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*) and Caisin (*Brassica rapa* subsp. *parachinensis*) to waterlogging and water deficit. *Sci. Hort.* 111:107-113.
- Ivanova, A. P., K. L. Stefanov, and I. T. Yordanov. 1998. Effect of cytokinin 4PU-30 on the lipid composition of water stressed bean plant. *Bio. Planta.* 41:155-159.
- Jackson, M. B. and M. C. Drew. 1984. Effect of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. P. 47-128. In: Kozolowski, T. T. (ed.), *Flooding and plant growth*. Academic Press, London.
- Jayaraj, J., A. Wan, M. Rahman and Z.K. Punja. 2008. Seaweed extract reduces foliar fungal diseases on carrot. *Crop Prot.* 27:1360– 1366.
- Kappus, H. 1985. Lipid peroxidation: Mechanisms, analysis, enzymology and biological relevance. p 273-310. In Sies, H. (ed.), *Oxidative Stress*. Academic

- Press, New York.
- Kato-Noguchi, H. and H. Saito. 2000. Induction of alcohol dehydrogenase in lettuce seedling by flooding stress. *Biol. Plant.* 43:217-220.
- Khan, W., U.P. Rayirath, S. Subramanian, M.N. Jithesh, P. Rayorath, D.M. Hodges, A.T. Critchley, J.S. Craigie, J. Norrie and B. Prithiviraj. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *J. Plant Growth Reg.* 28:386-399.
- Kusano, T., B. C. Tateda, and Y. Takahashi. 2008. Polyamines: essential factors for growth and survival. *Planta* 228: 367-381.
- Lee, M.M., S. H. Lee, and K.Y. Park. 1997. Effects of spermine on ethylene biosynthesis in cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flowers during senescence. *J. Plant Physiol.* 151:68-73.
- Leshem, Y. Y., J. Wurzbarger, and S. Grossman. 1981. Cytokinin interaction with free radical metabolism and senescence. *Physiol. Plant.* 53: 9-12.
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses, Vol. 1: Academic Press. New York.
- Liao, C. T. and C. H. Lin. 1996. Photosynthesis response of grafted bitter melon seedling to flooding stress. *Env. Exp. Bot.* 36: 167-172.
- Liao, Chung-Ta and Chin-Ho Lin. 2001. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. *Proc. Natl. Sci. Counc.* 25: 148-157.
- Lin, K. H., C. C. Weng, H. F. Loa and J. T. Chen. 2004. Study of the root antioxidative system of tomato and eggplants under waterlogging condition. *Plant Sci.* 167:355-365.
- Liu, j. H., H. Kitashiba, J. Wang, Y. Ban, and T. Moriguchi. 2007. Polyamines and their ability to provide environmental stress tolerance to plants. *Plant Biotechnol.* 24:117-126.
- 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.
- Moldau, H. 1973. Effects of various water regimes on stomatal and mesophyll conductances of bean leaves. *Photosynthetica* 7:1-7.
- Mosaleeyanon, K., Zobayed, S. M. A., Afreen, F. and Kozai, T. 2005. Relationships between net photosynthetic rate and secondary metabolite contents in St. John's Wort. *Plant Sci.* 169:523-531.

- Mukherjee, S. P. and M. A. Choudhuri 1983. Implication of water stress-induced changes in the levels of endogenous ascorbic acid and hydrogen peroxide in *Vigna* seedlings. *Physiol. Plant.* 58:166-170.
- Nan, Q. X. 1996. Foliar spray of boron, zinc and magnesium and their effect on fruit production and quality of jianchen orange (*Citrus sinensis*). *J. South-West Agricul. Univ.* 18:40-45.
- Ohki, K. 1976 . Effect of zinc nutrition on photosynthesis and carbonic anhydrase activity in cotton. *Physiol. Plant.* 38: 300-304.
- Radovich, T., T. Goo and H. Valenzuela. 1999. Effect of seaweed extract on root yield of organically produced Yam Bean (*Pachyrhizus erosus*). *Veg. Crops Update.* 9:9-10.
- Ramonell, K. M., A. Kuang, D. M. Porterfield, M. L. Crispi, Y. Xiao, G. McClure, and M. E. Musgrave. 2001. Influence of atmospheric oxygen on leaf structure and starch deposition in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Env.* 24: 419-428.
- Rengel, Z. 1995. Carbonic anhydrase activity in leaves of wheat genotypes differing in Zn efficiency. *J. Plant Physiol.* 147: 251-256.
- Roberts, D. R., E. B. Dumbroff and J. E. Thompson. 1986. Exogenous polyamines alter membrane fluidity in bean leaves – a basis for potential misinterpretation of their true physiological role. *Planta* 167: 395-401.
- Shi, K., Y. Y. Huang, X. J. Xia, Y. L. Zhang, Y. H. Zhou, and J. Q. Yu. 2008. Protective role of putrescine against salt stress is partially related to the improvement of water relation and nutritional imbalance in cucumber. *J. Plant Nut.* 31:1820-1831.
- Shiono, K., H. Takahashi, T. D. Colmer and M. Nakazono. 2008. Role of ethylene in acclimations to promote oxygen transport in roots of plants in waterlogged soils. *Plant Sci.* 175:52-58.
- Singh, B. B. 1988. Tolerance of soybean varieties to waterlogging. *Indian J. Plant Physiol.* 31 : 410-412.
- Sivasankari, S., V. Venkatesalu, M. Anantharaj, and M. Chandrasekaran. 2006. Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of *Vigna sinensis*. *Bioreso. Tech.* 97: 1745-1751.
- Skoog, F. 1940. Relational between zine and auxin in the growth of highter plant. *Amer. J. Bot.* 27:939-951.

- Tadolini, B. 1988. Polyamine inhibition of lipoperoxidation: the influence of polyamines on iron oxidation in the presence of compounds mimicking phospholipid polar heads. *Biochem. J.* 249:33-36.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. *Plant physiology*. Sinauer Associates Inc., Massachusetts.
- Thirumaran, G., M. Arumugam, R. Arumugam and P. Anantharaman. 2009. Effect of seaweed liquid fertilizer on growth and pigment concentration of *Abelmoschus esculentus* (L.) Medikus. *American- Eurasian J. Agron.* 2:57-66.
- Tiburcio, A. F., J. L. Campos, X. Figueras and R. T. Besford. 1993. Recent advances in the understanding of polyamine functions during plant development. *Plant Growth Regul.* 12: 331- 340.
- Todorova¹, D., I. Sergiev, V. Alexieva¹, E. Karanov¹, A. Smith, and M. Hall. 2007. Polyamine content in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh during recovery after low and high temperature treatments. *Plant Growth Regul.* 51: 185-191.
- VanToai, T. T. and C. S. Bolles. 1991. Postanoxic injury in soybean (*Glycine max*) seedlings. *Plant Physiol.* 97: 588-592.
- Voesenek, L.A.C.J and C.W.P.M. Blom. 1999. Stimulated shoot elongation: a mechanism of semiaquatic plants to avoid submergence stress. In: H.R. Lerner (ed) *Plant responses to environmental stresses: from phytohormones to genome reorganization*. Marcel Dekker, New York, pp 431-448.
- Vuylsteker, C., E. Dewaele, and S. Rambour. 1998. Auxin induced lateral root formation in chicory. *Ann. Bot.* 81:449-454.
- Wahid A., S. Gelania, M. Ashraf and M.R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environ. Exp. Bot.* 61:199-223
- Wample, R. L. and D. M. Reid. 1979. The role of endogenous auxin and ethylene in the formation of adventitious roots and hypocotyl hypertrophy in flooded sunflower (*Helianthus annuus*). *Physiol. Plant.* 45:219-226.
- Wang, T., S.Wang, S.Guo, and Y.Sun. 2008. Effects of exogenous spermidine on the photosynthesis of *Cucumis sativus* L. seedlings under rhizosphere hypoxia stress. *Front. Agr. China.* 2:55–60.
- White, J.G. and R. H. Zasoki, 1999. Mapping soil micronutrients. *Field Crops Res.* 60: 11-26.
- Wood, J.G. and P. M. Sibly. 1951. Carbonic anhydrase activity in plants in relation to zinc content. *Aust. J. Biol. Sci.* 5:244- 255.

- Yan, B., Q. Dai, S. Huang and Z. Wang. 1996. Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leave. *Plant Soil* 179: 261-268.
- Yarnell, S. H. 1956. Cytogeneties of the vegetable crops (II) :Crucifers. *Bot. Rev.* 22(2):81-166.
- Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, I. Gultekin, S. Karanlik, S. A. Bagei, and I. Cakmak. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc deficient calcareous. *Soils. J. Plant Nutri.* 20:461-471.
- Yiu, J.C., L.D. Juang, D. Y.T. Fang, C.W. Liu, and S.J. Wua. 2008. Exogenous putrescine reduces flooding-induced oxidative damage by increasing the antioxidant properties of Welsh onion. *Sci. Hort.* 120:306-314.
- Yordanor, I., T. Tsonev, V. Goltsev, N. M. Merakchiiska, and K. Georgieva. 1997. Gas exchange and chlorophyll fluorescence during water and high temperature stresses and recovery. *Photosynthetica* 33: 423-431.
- Zhou, W. J. and X.Q. Lin. 1995. Effects of waterlogging at different growth stages on physiological characteristics and seed yield of winter rape (*Brassica napus* L.). *Field crops Res.* 44:103-110.