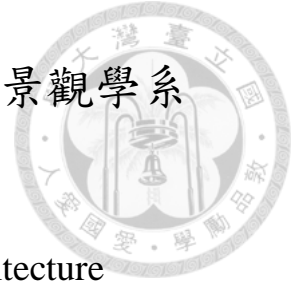


國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系



碩士論文

Department of Horticulture and Landscape Architecture

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

植物工廠內栽培‘桃園 1 號’草莓之研究

Study on cultivation of strawberry ‘Taoyuan No. 1’

in plant factory

鄭宇翔

Yu-Hsiang Cheng

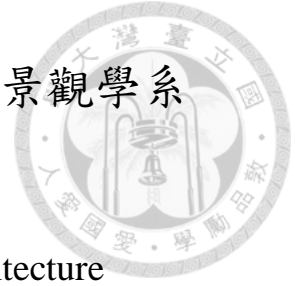
指導教授：楊雯如 博士

Advisor：Wen-Ju Yang, Ph. D.

中華民國 103 年 1 月

January, 2014

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系



碩士論文

Department of Horticulture and Landscape Architecture

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

植物工廠內栽培‘桃園 1 號’草莓之研究

Study on cultivation of strawberry ‘Taoyuan No. 1’

in plant factory

鄭宇翔

Yu-Hsiang Cheng

指導教授：楊雯如 博士

Advisor : Wen-Ju Yang, Ph. D.

中華民國 103 年 1 月

January, 2014

誌謝



大家好，小弟鄭宇翔，今年二十六，一事無成，一條魯蛇。碩士學位，對我而言，得來相當不易，試驗過程中屢遭挫折，無論是自己的疏失，抑或是意外事故，都讓我深深的覺得自己在處理問題上的能力很有問題。先別說這個了，你有聽過，楊雯如博士嗎？我的授業恩師，也是至今影響我最深的一位老師。深入淺出的教導方式，讓資質駑鈍的我一點就通，每次犯錯也能夠耐心叮囑，使我在這些年中獲益匪淺。不僅在學業上，在生活上對我更是照顧有加，求學期間讓我在整體上，有了長足的進步，其感激之情實在是難以言喻呢。論文的完成，更要感謝羅筱鳳老師與方煒老師，無論是在試驗上的幫忙和論文上的建議，給予了很充分的支持。

求學路上，有許多相知相惜的好朋友，讓我在低潮的時候能有個依靠。感謝實驗室的同伴們：阿雞、瑜玆、怡臻、桂萍、雅晶和育如的相互扶持，妳們的陪伴讓我備感窩心。我常常跟別人說，沒有 Jerry 哥、亨哥、大黃哥、雞塊哥、李潔、慈華、李蕾和佳琳等朋友，就沒有今天的我；謝謝你們在我無聊和無助的時候，能和我說說話，讓小弟得以找回狀態。家人們的付出與包容，讓我備感溫馨，得以全力以赴。正所謂歡樂的時光總是過得特別快，又到了要說拜拜的時間了，即將離開學校，我想和所有幫助過我的朋友與師長們，再次說聲感謝，謝謝。

最後，特別感謝西屯扶輪社與中華扶輪教育基金會的栽培，獎學金的提供讓我在鑽研學術上無後顧之憂，得以專學研究，希望將來有機會發揮所學，回饋社會，為需要幫助的人出一份力。



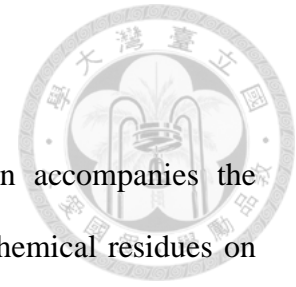
摘要

台灣在草莓果實的慣行生產上，會噴灑大量的農藥防治，導致在果實藥劑殘留。植物工廠的概念是在封閉環境中栽培植物隔絕病蟲害。本試驗目的在探討植物工廠內草莓植株花芽及結果的溫度及日長設定，建立草莓果實之生產流程。此外，養液氮濃度對於開花之影響也一併探討。

本試驗使用的植物材料為‘桃園 1 號’ 5 片葉之走莖植株，以非循環水耕系統栽培。欲處理之花芽誘導溫度為 25/20°C，設定溫度為 14°C，栽培層區域中心實際測得的溫度為 26/15°C，光周 13 小時。植株連續五週分批次移入花芽誘導環境，代號分別 I、II、III、IV 和 V，觀察花芽誘導情形。結果顯示 3 至 6 週的花芽誘導處理即可在冠莖中心誘導花序形成，但是 6 至 9 週才達到 100% 植株形成花序。花序形成至第一朵花開放需 1 至 3 週，第一朵花開放至全部植株開花，需 1 至 5 週。V 從處理至開始採收需要 78.1 天，顯著少於 I、II、III 和 IV 的 103.2、103.6、104.3 和 102.7 天。可採收天數的部分，I 和 II 分別為 41.2 和 40.2 天，顯著高於 III、IV 和 V 的 25.0、20.6 和 21.0 天。每株產果重以 I 和 II 的 182.3 和 170.7 g 最高，顯著高於 III、IV 和 V 的 127.0、90.4 和 129.6 g。10 g 以上的果實產量在 50.2 至 88.3 g，以 I 的 88.3 g 最高。可銷售果佔總產量的 43.6 至 53.6%，處理間無顯著差異。降低養液氮濃度可以促進花序形成，但是會減少冠莖直徑、葉面積、地上乾鮮重和地下部鮮乾重。

關鍵字：草莓、水耕栽培、植物工廠、花芽誘導、產量、氮肥

Abstract



In Taiwan, the conventional production of strawberry often accompanies the application of pesticide and fungicides, and which may result in chemical residues on fruits. The central idea of plant factory is to grow plants in a closed controlled environment and keep pests and pathogens away from the system. Therefore, the objective of the study was to determine the temperature and photoperiod setting for floral induction and fruiting in National Taiwan University Plant Factory. The effect of nitrogen concentration on flowering was also investigated.

Five-leaves runner plants of strawberry cv. 'Taoyuan No. 1' were grown in non-cyclic hydroponic system. The expected environment for floral induction was 25/20°C with photoperiod of 13 hours of lighting. The computer setting of temperature was 14/14°C, and the actual temperature obtained from the center of each cultivated layer was 26/15°C. Plants were moved into the floral induction environment in continuous 5 weeks, designated as batches I, II, III, IV and V. The result showed that 3 to 6 weeks of floral induction in the environment was sufficient for inflorescence formation in the crown. However, it took 6 to 9 week to reach 100% of inflorescence formation. From the formation of the inflorescence to the blooming of the first flower took 1 to 3 weeks, and all of the plant bloomed took 1 to 5 weeks. From the beginning of treatment to harvest of V took 78.1 days, which was significantly shorter than that of I (103.2 days), II (103.6 days), III (104.3 days) and IV (102.7 days). Harvest duration of I and II were 41.2 days and 40.2 days which was significantly longer than III (25.0 days), IV (20.6 days) and V (21.0 days). The average fruit production per plant of I and II were 182.3 g and 170.7 g which were significantly higher than III (127.0 g), IV (90.4 g) and V (129.6 g). The percentage of the fruit weighing above 10 g per plant was ranging 50.2% and 88.3%, and which of I (88.3%) was significantly higher than the

others. The percentage of the marketable fruit was between 43.6% and 53.6%, and which was not significant different between treatments. Decreasing nitrogen concentration in solution favored floral formation; however, the crown diameter, leaf area, fresh and dry weight of shoot and roots was decreased as nitrogen concentration decreased.

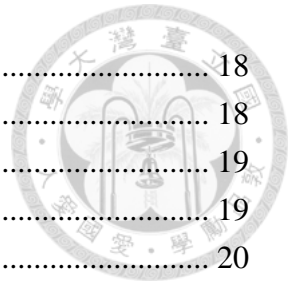
Keywords: strawberry, hydroponic, plant factory, flower bud induce, production, nitrogen fertilizer

目錄



摘要	i
Abstract.....	ii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
前言	1
第一章 前人研究	2
一、 草莓概述	2
二、 栽培種分類	2
三、 植物學形態	3
(一) 根系	3
(二) 冠莖	3
(三) 葉片	4
(四) 走莖	5
(五) 花器	6
四、 栽培模式	8
(一) 多年生地毯栽培系統	8
(二) 一年生高畦栽培系統	8
(三) 種植花芽已分化之冷藏休眠苗	9
五、 臺灣草莓栽培歷史與現況	10
六、 無土栽培系統	11
(一) 無土栽培定義	11
(二) 發展歷史	11
(三) 無土栽培類型	12
(四) 養液調配與管理	13
七、 植物工廠	13
(一) 植物工廠定義	13
(二) 植物工廠發展	14
(三) 植物工廠類型	14
第二章 材料方法	16
一、 試驗地點與設備	16
二、 養液配方	16
三、 植物材料	17
(一) 組織培養苗的培養	17
(二) 走莖苗的繁殖	17
四、 試驗處理	18

(一) 低溫短日處理時間對於花芽形成的影響	18
(二) 養液處理對於花芽形成的影響	18
五、 調查項目	19
(一) 營養生長調查	19
(二) 生殖生長調查	20
六、 統計分析	20
第三章 結果	21
一、 低溫短日對於草莓花芽形成的影響	21
(一) 溫度變化	21
(二) 生殖生長情形	21
(三) 營養生長情形	22
二、 養液處理對於花芽形成與營養生長的影響	23
(一) 植株花序生成率	23
(二) 營養生長情形	23
第四章 討論	25
第五章 結論	28
參考文獻	53



表目錄

表 1. Enshi 與 Modified solution 母液 100 倍元素含量	29
表 2. 草莓走莖苗的繁殖流程	30
表 3. 草莓走莖苗試驗初始葉片數與葉面積	31
表 4. 低溫短日處理對於‘桃園 1 號’草莓植株花序數、開花數、處理至採收天數和 採收天數的影響	32
表 5. 低溫短日處理對於‘桃園 1 號’草莓植株果實數量和產量的影響	33
表 6. 低溫短日下不同養液處理對於‘桃園 1 號’草莓營養生長之影響.....	34



圖目錄



圖 1. 國立臺灣大學人工光型植物工廠	35
圖 2. 臺灣大學人工光型植物工廠 B1 室示意圖與相關配置	36
圖 3. 九支燈管下不同高度之光強度	37
圖 4. 草莓組織培養苗之出瓶培養	38
圖 5. 草莓組織培養苗於非循環養液栽培系統之生長情形與走莖苗的繁殖	39
圖 6. 花芽誘導試驗開始之走莖植株	40
圖 7. '桃園 1 號' 草莓三出複葉之中軸長度與葉面積之關係	41
圖 8. 花序生長與開花之觀察	42
圖 9. 2013 年 7 月底至 11 月中 B1 室之日夜溫變化	43
圖 10. 低溫短日處理期間 '桃園 1 號' 草莓花序發育與開花的情形	44
圖 11. 草莓花朵開放與果實發育	45
圖 12. 臺灣大學人工光型植物工廠 B1 室內栽培 '桃園 1 號' 草莓之情形	46
圖 13. 臺灣大學人工光型植物工廠栽培 '桃園 1 號' 草莓之果實外觀	47
圖 14. 低溫短日處理期間 '桃園 1 號' 草莓葉面積的歷時變化	48
圖 15. 低溫短日處理期間對於 '桃園 1 號' 草莓冠莖直徑的歷時變化	49
圖 16. 低溫短日處理期間 '桃園 1 號' 草莓走莖生成的累積	50
圖 17. 低溫短日期間養液對於 '桃園 1 號' 草莓花序形成的影響	51
圖 18. '桃園 1 號' 草莓在不同養液處理三週後的植株外觀	52



前言

草莓 (*Fragaria xananassa* Duch.) 屬薔薇科 (Rosaceae) 多年生宿根性作物，現行栽培種多為美洲原生之智利草莓 (*F. chiloensis*) 與維吉尼亞野草莓 (*F. virginiana*) 雜交而來之八倍體 (Darrow, 1985)，臺灣主要的鮮食栽培品種為‘桃園1號’，每年9月下旬至10月中旬定植於田間，定植後植株感受低溫及短日而進入生殖生長，產期為12月至隔年4月 (李, 2005)。臺灣果菜批發市場之草莓平均價格每公斤約為100元，屬於高單價之蔬菜。根據農糧署2010年統計，臺灣非產期進口之草莓產值高達158萬美元，若能在5月至11月之間，利用植物工廠的栽培系統生產果實，將會是很大的商機。此外，草莓果實的田間生產容易遭受病蟲害的侵襲，因此在慣行生產上，農民會噴灑大量的農藥進行防治，導致在果實採收期時，仍會有大量的農藥殘留，造成消費者會有安全的疑慮。植物工廠為隔絕病蟲害影響的封閉環境，利用這個特點，可於廠內生產出安全無毒的草莓果實。

近年來植物工廠之栽培模式蓬勃發展，本研究室利用植物工廠之栽培系統，進行草莓走莖苗的水耕栽培研究。本人接續其研究，將走莖苗繁殖流程確定，並進一步探討低溫短日誘導草莓走莖苗所需時間，建立草莓果實之生產系統。

此外，國外亦會使用 frigo plant 來進行草莓之生產，frigo plant 為已花芽創始之冷藏走莖苗，從定植到採收只需要2個月，採收期1個月 (Lieten *et al.*, 2005)，可依延長或提早產季之不同目的，來選擇種植時機，以獲得較好之收益，目前美國、荷蘭、法國和比利時等國家，皆有 frigo plant 的生產及其在一年生高畦栽培系統上之運用 (Dijkstra, 1989; Lieten *et al.*, 2005)。若能在植物工廠內誘導草莓走莖苗花芽創始，並以環境控制使苗株休眠，配合冷藏模式的研發，將來在6到10月間，便可利用 frigo plant 於溫室內生產草莓果實。

第一章 前人研究



一、草莓概述

草莓 (*Fragaria xananassa* Duch.) 屬薔薇科 (Rosaceae) 多年生宿根性作物，現行栽培種多為美洲原生之智利草莓 (*F. chiloensis*) 與維吉尼亞野草莓 (*F. virginiana*) 雜交而來之八倍體 (Darrow, 1985)。果實鮮紅亮麗，風味佳，富含維生素C，營養價值高，不僅可供鮮食，又有多種加工用途，如果醬、冰淇淋及草莓酒，為溫帶地區重要的小果類之一 (李，2005)。

二、栽培種分類

目前栽培種草莓依對光周的反應不同可分成三種類型，大多數商業栽培品種為相對短日型 (June-bearing)，少數為長日型 (Everbearing) 和日中型 (Day-neutral) (Hancock, 1999; Konsin *et al.*, 2001; Nicoll and Galletta, 1987; Scott and Lawrence, 1975)。

相對短日型，英名稱作June-bearing，開花受到溫度和日長的交互影響，溫度高於15°C時，臨界日長約為14小時，溫度低於15°C時，花芽分化則不受日長影響 (Austin, 1991; Durner and Polin, 1987; Heide, 1977; Sønsteby and Nes, 1998)。相對短日型為世界主要栽培之類型，溫帶地區如美國和歐洲等地，約在7至8月定植，經冬季低溫休眠，於隔年春季開花結果，產期約在4月至6月；熱帶和亞熱帶地區如西班牙、義大利和臺灣等地，會在9月至10月定植，並於12月採收，採收期可至隔年4至6月。

長日型，英名稱作Everbearing，適宜形成花芽的日長大於12小時 (Hancock, 1999)，美國與歐洲等地區，約在3至4月定植，於7至8月開始採收，產期可持續至10月。Nishiyama等人 (2000) 指出長日型品種'Summerberry'在日夜溫30/25°C時，光周高於14小時，會促進花芽的形成，而光周低於13小時，則會受到抑制 (Hancock, 1999)。



日中型，英名稱作Day-neutral，無論長日或是短日，生長季之溫度低於28°C，即可開花 (Hancock, 1999)，在溫度適宜情況下，全年皆可生產。

三、植物學形態


(一) 根系

草莓根為鬚根系 (fibrous root system)，由冠莖基部發生，新根長出後為白色，長至 4 至 5 公分後，便會分支，發育出側根 (rootlet)。肉眼可見的根部構造可分為根尖 (root tip)、側根 (rootlet) 和木栓細胞覆蓋的部分。根尖為根生長最旺盛的部位。側根顏色為白色，為主要吸收水分和養分的部位。根老化表層被木栓細胞所覆蓋，顏色呈黃色或褐色等較深的顏色，仍具有吸水的功能，但主要功能為支持和傳導 (Darrow, 1966; Galletta and Bringham, 1990)。一般而言，當地上部生長勢較佳時，則根系在生長速率、鮮重和乾重皆有較好之表現 (Mohamed, 2002; Reekie *et al.*, 2007)。

根部生長發育與溫度有密切相關，生長之溫度範圍為 7 至 30°C (Hancock, 2000; Proebsting, 1957; Robert and Kenworthy, 1956)。「Earliglow」與「Kent」相對短日型草莓栽培於光周 14 小時、光強度 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、日夜溫 18/12、25/12、25/22 和 30/22 °C 環境下，根系乾重分別為分別為 6.35、5.82、4.77 和 3.17 g；18/12 和 25/12°C 相比，日溫較低的 18/12°C 有顯著較高的根系乾重，25/12°C 和 25/22°C 相比，夜溫較低的 25/12°C 有顯著較高的根系乾重，25/22°C 和 30/22°C 相比，日溫較高的 30/22 °C 有顯著較低的根系乾重 (Wang and Camp, 2000)；兩者相比結果顯示，夜溫較低有利於根部乾種累積，日溫高於 30°C 時，較不利於乾物質之累積。

(二) 冠莖

草莓節間短，無明顯莖幹，株型矮小，地上部之短縮部位稱為冠莖。冠莖內部有葉芽和腋芽。葉芽發育成葉片，腋芽則因環境條件不同而分化為走莖、花芽或是側冠 (Darrow, 1966; Galletta and Bringham, 1990)。冠莖較大之草莓苗初期生



長快速，可提高早期產量，且每株產生可銷售果數越多 (Bish *et al.*, 2002; Johnson *et al.*, 2005; Rice and Duna, 1986)。Cocco 等人 (2010)將子株依冠莖大小分三等級扦插：2.0-3.9、4.0-5.5 和 5.6-7.0 mm，扦插發根後，定植於巴西南部進行調查，試驗時間為 4 至 12 月，期間日長在 12.5 至 13.5 小時，平均溫度在 13 至 23°C 間，最高溫不超過 30°C，最低溫在 10°C 以上。調查生長情形與田間果實產量。田間定植前，3 等級子株扦插後之平均葉片數在 4.4 至 4.9 片之間，無顯著差異；以 5.6-7.0 mm 等級扦插之子株平均冠莖直徑為 7.47 mm，顯著高於 2.0-3.9 和 4.0-5.5 mm 等級之 5.18 和 5.68 mm。定植田間後，葉片數依扦插之等級大小依序為 31.4、30.6 和 40.8 片。到花天數依序為 55、45 和 38 天；早期產量依序為 192.9、164.2 和 208.5 g。以 5.6-7.0 mm 走莖扦插之植株有顯著較多之葉片數、較短之到花天數與較高之早期產量。

(三) 葉片

草莓葉片為 3 片小葉組合而成的 3 出複葉，新葉由冠莖內部伸出，圍繞著冠莖基部生長為 5 片葉 2 輪的螺旋葉序，第 6 片葉會與第 1 片葉重疊。未展開之新葉，被老葉之托葉所保護；當第一片葉展開時，已有 5 至 7 個發育中的葉原基集生於冠莖基部 (Darrow, 1966; Galletta and Bringhurst, 1990)。第一個葉原基形成與下一個葉原基形成的間隔期約 8 至 12 天 (Galletta and Bringhurst, 1990)。

在溫帶地區，葉片主要生長期在 5 至 8 月，生長適溫為 15 至 26°C，光周高於 13 個小時。'Earliglow' 相對短日型草莓，感受自然環境之冬季低溫和日長花芽創始後，移至生長箱調查後續的生長情形，生長箱之環境條件為光周 14 小時、光強度 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和日夜溫 18/12、25/12、25/22 和 30/22°C；4 個溫度處理之植株皆有開花結果，平均單果重量以 18/12°C 最高，為 10.98 g，25/12、25/22 和 30/22°C，重量依序為 8.57、7.08 和 5.62 g。18/12、25/12、25/22 和 30/22°C 之葉片乾重分別為 5.32、7.43、7.17 和 5.20 g；18/12 和 25/12°C 相比，日溫較高的 25/12°C 有顯著較高的葉片乾重，25/12 和 25/22°C 相比，夜溫較低的 25/12°C 有顯著較高的葉片乾重，25/22 和 30/22°C 相比，日溫較高的 30/22°C 有顯著較低的葉片乾重，綜合以上


可以得知，日夜溫 25/12°C 為適合葉片生長的條件，日溫 18 和 30°C 則會抑制生長 (Wang and Camp, 2000)，參考根部乾物量累積，25/12°C 為較佳之培養環境。

Konsin 等人 (2001) 指出 'Korona' 相對短日型草莓在 18/16°C，植株於溫室內接受自然光照射，進行 12、13.5、15 和 18 個小時的光周處理 49 天，在光周 12、13.5 和 15 小時下生長的植株可完成花芽誘導並順利開花結果，12 和 13.5 小時處理下的植株花序數約為 10 個，顯著高於 15 小時處理下的 1 個，平均單果重量皆為 6 克，無顯著差異，總產量以 12 和 13.5 小時最高約為 700 克，15 小時處理下顯著較低，約為 150 克，而在 18 小時下，植株無花芽創始，持續進行營養生長。葉面積在 12 和 13.5 小時下，葉面積約 70 cm²，兩者無顯著差異，而在 15 和 18 小時下，葉面積為 110 和 120 cm²，兩者無顯著差異，15 和 18 小時之葉面積顯著高於 12 和 13.5 小時下生長的植株。12 和 13.5 小時低於臨界日長，在相對冷涼的溫度下，植株順利創始花芽，但有相對較低之葉面積；15 小時雖然高於臨界日長，因處理時間較長，所以也可順利開花，但在花序數、開花數及產量的比較上，皆顯著低於 12 和 13.5 小時處理下的植株；在高於臨界日長的 18 小時下，植株仍在營養生長階段，且有較高之葉面積，因此若要在營養生長期促進葉片生長，光周的設定應該於臨界日長。

(四) 走莖

走莖由冠莖基部葉片的腋芽發育而成，發育成熟的走莖有兩個節點與節間，第 1 個節點通常處於休眠的狀態，而第 2 個節點可向上形成不定芽，向下形成不定根而成為另一新植株，稱為子株 (daughter plant) (Galletta and Bringhurst, 1990)。

溫帶地區之走莖主要生長期在 5 至 8 月，生長適溫為 21 至 30°C，光周大於 10 個小時以上的環境下有利於走莖的發生，短於 10 個小時則會抑制；此外走莖的生成會因品種的不同而有差異 (Dennis *et al.*, 1970; Durner *et al.*, 1984; Hancock, 2000; Hartmann, 1947; Heide, 1977)。Konsin 等人 (2001) 在日夜溫 18/16°C、光周 12、13.5、15 和 18 小時下，處理 49 天，光周 15 和 18 小時下，走莖生長顯著高



於 12 和 13.5 小時。Heide (1997) 欲探討光周和溫度交互作用對於 'Zefyr'、'Jonsok'、'Senga Sengana' 和 'Abunance' 相對短日型草莓生長和開花的影響，進行溫度 12°C、18°C 和 24°C 與光周 10、12、14、16 和 24 小時的處理組合，結果顯示走莖的發生隨著溫度和光周的降低而減少，其中 'Zefyr' 和 'Senga Sengana' 在光周 10 小時，溫度 12°C 下，幾乎沒有走莖發生。Durner 等人 (1984) 指出 'Redchief' 和 'Guardian' 相對短日型草莓在光周 9 小時、進行日夜溫 18/14°C、22/18°C、26/22°C 和 30/26°C 的處理，結果顯示在低於臨界日長的環境下生長，26/22°C 和 30/26°C 的日夜溫，會促進走莖生長，且無法順利誘導花芽創始；18/14°C、22/18°C 的日夜溫，植株完成花芽創始，走莖生長受到抑制。

走莖生長會與其他器官競爭光合產物與養分，限制植株葉面積生長、根系生長與減少單株果實產量 (Darrow, 1936; Savini et al., 2008)，因此摘除走莖可以減少養分消耗，促使養分集中於花芽，提昇產量，此外摘除走莖可以減少農藥的用量與增加採收的方便性 (Darrow, 1936)。在一年生高畦栽培系統 (annual hill row system) 中走莖的管理更是重要，'Dover' 與 'Tuffs' 相對短日型草莓植株於 10 月中定植，栽培期每兩週摘除走莖一次則可增加前期產量與總產量 (Albregts and Howard, 1986)。

以臺灣栽培環境而言，全年日長介於 10.75 至 13.5 小時，栽培期間走莖皆可生長，生長量與溫度及植物開花結果之營養競爭有關，溫度愈高，生殖生長量愈低時，走莖生長量愈高。所以田間管理需除走莖，以提高果實產量。

(五) 花器

草莓的花序為聚繖花序 (dichasial cymes)，由冠莖基部葉片的腋芽及其下方數個側芽發育而成。花序抽出後，頂端開出的第一朵花為 1 級花，花梗上會成對抽出側枝，並發育為 2 朵 2 級花，而 2 級花之花梗會再分支，成對抽出 3 級花之花梗，花朵之數目呈等比級數增加，而同一花序中花數及果實數隨花序分枝而愈來愈多，果實大小則愈來愈小，摘除花序上後開之小花有助於養分集中於先開之花

朵及果實，雖然果實數量和產量降低，但有助於生產果形大且品質較好之果實 (呂，2009)。大部分栽培種之花朵為兩性花且自花授粉親合，食用之草莓果實為授粉後膨大之花托，植物學上之果實為花托上之瘦果 (Darrow, 1966 ; Galletta and Bringhurst, 1990 ; Guttridge, 1985)。

草莓的開花，可分為三個階段，花芽誘導期、花芽創始和花芽分化期 (Dunner and Poling, 1987)，相對短日型草莓的花芽誘導期在秋冬季，為一年中相對較低溫短日之氣候。‘Korona’相對短日型草莓在 18/12°C，光周 12、13、14、15 和 16 小時，光強度 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 環境下花芽誘導處理 21 天，在光周 12、13、14 和 15 小時，可順利誘導出花芽並開花，處理結束至開出第一朵花約為 47 天，16 個小時下，植株持續進行營養生長，最終並無開花 (Verheul *et al.*,2006; Verheul *et al.*,2007)。株齡一年之‘豐香’相對短日型草莓，處理 25/15 和 25/20°C 於臺大人工氣候室進行 6 個星期的花芽誘導，試驗時間為 8 月 2 日至 11 月 3 日，對照組於溫室內培養，日長約在 13 至 11 小時之間，月均溫在 29.6 至 21.5°C，最高溫在 35°C 以下，最低溫在 20°C 以上，處理結束後將移至苗栗田間定植，調查定植後至開出第一朵花之天數，結果顯示田間對照組需 42.7 天、20/15°C 為 17.6 天、25/20°C 為 27.8 天 (李，1998)。

給予適量的氮肥，可促進冠莖分化側冠，增加可創始花芽之芽點，進而增加花序數，提高產量，但過量則會促進營養生長、抑制花芽創始和降低果實產量 (Breen and Martin, 1981 ; Way and White, 1968)。Sønsteby 等人 (2009)指出氮肥的施用時機對於開花亦有影響；‘Korona’相對短日型草莓在光周 10 小時、日夜溫 18/18 °C 的環境誘導花芽創始，並於開始誘導前兩週、一週、當週、後一週、後兩週和後三週給予氮肥處理，探討施用時機對於開花的影響，結果顯示在開始誘導後，施用氮肥可提早花期，並可增加植株花序數和開花數，進而提高產量；誘導前兩週、一週和當週給予氮肥，會減少花序數，並延後開花日期，可見在花芽誘導前通過減少氮肥，有助於縮短到花日期，增加花序數與開花數，進而增加產量與延



長產期。

四、栽培模式

草莓栽培地區主要在緯度20至60度之間，從溫帶、亞熱帶至熱帶皆可栽培，目前依地理環境與氣候條件可分為兩種栽培系統：地毯式栽培系統 (matted row system) 和高畦栽培系統 (high hill system) (Hancock, 1999)。

(一) 多年生地毯栽培系統

為溫帶地區慣用之栽培系統，June-bearing為主要栽培品種，種植之畦面平整，行株距寬45至60 cm，於第一年春季定植，夏季進行營養生長，植株發出大量走莖並累積養分，秋冬季花芽創始後因低溫而進入休眠，冬天來臨之前，栽培者會於畦面鋪設麥稈或稻稈，增加土溫，減少霜害和凍害的發生，當植株累積足夠低溫後，於隔年春季打破休眠，花芽持續發育並開花，夏季採收果實，一年僅收一次，栽種4至5年後更新植株，為多年生栽培，單位面積產量低，但栽培面積大，因此總產量會高於一年生高畦栽培系統 (Hancock, 1999; Galletta and Bringhurst, 1990)。

冬溫較低之高緯地區，如歐洲地區與美國北部，一般以地毯栽培式系統於早春種植短日型品種，在第一年拔除所有的花，以增加植株生長勢及走莖的產生，此為來年產量的關鍵 (Hancock, 1999; Galletta and Bringhurst, 1990)。

(二) 一年生高畦栽培系統

為熱帶與亞熱帶採行之栽培模式，全年日長短於14小時，夏季高溫多溼不適合植株生長及產果，栽培者於8月下旬至10月上旬定植，約在定植1個月後花芽創始，相較於溫帶地區，冬季之低溫不會使植株進入休眠，因此花芽可持續分化並開花，產期約在冬末至春末間，母株為主要產果來源，採收結束後，每年更新植株 (Hancock, 1999; Galletta and Bringhurst, 1990)。

冬季溫度不致太低之地區，如美國加州及佛羅里達州、義大利及西班牙及臺灣等地，多在夏末秋初以高畦栽培系統種植短日型品種，走莖為一個養分積儲 (sink)，此競爭關係不利於開花 (Albregts and Howard, 1986; Duval and Golden, 2005;

Takeda *et al.*, 2004), 因此在栽培過程中會拔除走莖，以利果實生產；在美國加州於短日型品種草莓栽培季結束後，可種植日中型品種以延長草莓產期。高畦栽培系統單位面積產量高，每公頃可超過30噸，大於地毯式之10噸 (Hancock, 1999)。Butler等人 (2002)估算美國北卡羅來納州 (North Carolina)以一年生高畦栽培系統之每公頃的收益為地毯式栽培系統的兩倍之多。

(三) 種植花芽已分化之冷藏休眠苗

Cold-stored waiting-bed plant又稱 waiting-bed plant或是frigo plant (Dijkstra, 1989)，為具有花芽且進入休眠狀態，經過冷藏的走莖苗，從定植到採收只需要2個月，採收期1個月 (Lieten *et al.*, 2005)。在高緯度地區，8月初將走莖苗定植於waiting-bed，隨著進入秋冬日長逐漸變短，溫度變低，植株經過低溫短日的花芽誘導期後，於11月至1月間，進入休眠的狀態，待植株入休眠後，將走莖苗於田間挖起，摘除葉片和走莖，並清理根部，將裸根的植株裝箱並冷藏於-1°C黑暗環境下，隔年在從冷藏庫取出，可依產季延長或提早，來選擇種植時機，以獲得較好之收益，目前美國、荷蘭、法國和比利時等國家，皆有在一年生高畦栽培系統應用frigo plant之生產模式 (Dijkstra, 1989；Lieten *et al.*, 2005)。

冷藏苗的品質受到Chilling hours的累積和冷藏的條件所影響。而品質會進而影響種植後的存活率、活力以及果實產量 (Dijkstra, 1989)。隨著11~1月間的溫度逐漸下降，Chilling hours的累積也會逐漸增加，澱粉含量的增加也有相同的趨勢 (Lopez *et al.*, 2002)。愈晚從田間挖起走莖苗，Chilling hours和澱粉含量也較高 (Bringhurst, 1959)，對於冷藏苗定植後的果實產量和存活率有顯著的影響 (Lieten, 1997)。-1°C的冷藏溫度中，可以有效地降低走莖苗的損傷率、定植後田間存活率和果實產量。-3°C會對於冠莖組織帶來傷害，降低田間存活率和果實產量。儲藏期間5% O₂和5% CO₂的組合，可使植株移置田間種植後之存活率達100% (Lieten and Goffings, 1997)。



五、臺灣草莓栽培歷史與現況

1934年由日本引進9個栽培種草莓於陽明山上試作，但品種之抗病力差，因此無大規模經濟栽培。1958年由前臺北區農業改良場日本引進‘福羽’，蘆洲農民引進‘馬歇爾’，開始了小規模之經濟栽培；同年，大湖鄉農民自蘆洲引進草莓試種，為大湖草莓栽培之開端，當時所種植草莓栽培種皆為加工用品種。後來又陸續引進‘春香’和‘豐香’等鮮食用栽培種。1980年起觀光採果盛行，觀光草莓園遊客大增，為求更好之收益，大湖鄉農民紛紛改種鮮食品種，使大湖成為全國皆知草莓故鄉(李，1993；張等人，2009)。農糧署2012年統計資料，臺灣草莓栽培面積為577公頃，大湖鄉占最大宗，其次為獅潭、卓蘭、公館、泰安等鄉鎮(行政院農業委員會，農業統計年報，2012)。

臺灣草莓主要產區位在亞熱帶，日長介於10.75至13.5小時，夏季日溫30至33°C、夜溫25至26°C，冬季日溫16至20°C、夜溫11至16°C(洪，2013)。現今主要的栽培品種為‘桃園1號’和‘桃園3號’，其中又以‘桃園1號’為大宗。‘桃園1號’是由‘豐香’選拔而來，為相對短日型(facultative short day)。臺灣主要草莓栽培區中一般於9月中至10月初之間定植，採雙行植，行株距約為20至30公分。臺灣的日長全年高於9小時，全年皆有走莖產生，在9至10月定植初期，溫度和日長適合走莖生長，且未進入生殖生長階段，走莖生長茂盛，成為光合產物主要之積貯(sink)；因此為將光合產物累積在植株，減少養分之消耗，農民會拔除走莖以利植株生長，同時挑選生長良好之走莖培育為育苗母株，供下一年度走莖苗的生產。定植後約1個月，植株感受低溫進入生殖生長，於11月間開第一次花，開花至採收約為35日，而11月至翌年3月間亞熱帶之低溫並不致誘發草莓植株休眠，故植株可持續生長並開花結果，產期可從12月持續至翌年4月，約可以採收三至四期果實(李，1993；呂，2009；洪，2013；張等人，2009)。

栽培期間農民會摘除走莖和老葉，減少養分競爭和病蟲害的發生(呂，2009)。走莖會與花朵和果實競爭養分(Albregts and Howard, 1986; Duval and Golden, 2005;

Takeda *et al.*, 2004)，因此在開花結果期為了促進開花和提升果實品質，農民會拔除走莖；老葉的淨光合作用速率較低，且容易有病蟲害問題，摘除老葉可方便管理，降低病蟲害的發生。開花結果期間，應優先摘除病葉和老葉，植株保有 10 片之葉片為佳（呂，2009）。

六、無土栽培系統

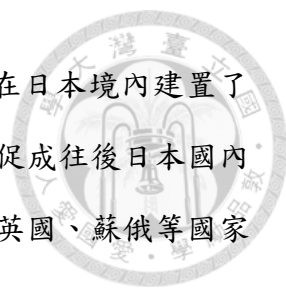
(一) 無土栽培定義

英文名稱為 *Soilless culture*，一種不以土壤為介質之栽培法。有別於傳統土耕，主要是在設施內進行生產，利用泥炭苔 (peat moss)、蛭石 (vermiculite)、岩棉 (rockwool)、海綿或是水等介質，作為土壤的替代物質將植物固定，並將氮 (N)、磷 (P)、鉀 (K)、鈣 (Ca) 和鎂 (Mg) 等植物所需之營養元素溶於水中，供給植物生長發育。無土栽培於設施內進行生產，較不受天候、地力和病蟲害影響，具有可周年穩定生產和單位面積產量高的優點（高，1991）。

(二) 發展歷史

1860 至 1865 年間德國學者 Sachs 和 Knop 首先研發出人工營養配方，證實在水中添加氮 (N)、磷 (P)、鉀 (K)、鈣 (Ca) 和鎂 (Mg) 等元素，可使水耕植物正常生長發育。往後有更多的學者相繼研發出各種的營養液配方如 Hogland 和 Arnon 配方（高，1991）。

水耕栽培實際應用約是在 1925 年以後，為解決連作所導致之土壤肥力下降、鹽分累積和病蟲害侵擾等問題，當時的學者嘗試利用無土介質和營養配方，來代替傳統的栽培方式。1929 至 1930 年代，美國加州大學教授 William F. Gericke 最早將無土栽培法商業化，並將此技術命名為“*Soilless culture*”。1938 年後，一些美國的大農戶開始接受無土栽培技術，但因缺乏價格低廉的化學肥料和資材，加上水耕栽培方面的知識不夠完備，一直到 1950 年代，水耕栽培技術沒有獲得很好的發展。1945 至 1946 年間，駐日美軍對於蔬菜有所需求，因此於亞斯森遜島 (Ascension)



建置水耕栽培設施，生產萵苣、番茄和小黃瓜等作物；之後又在日本境內建置了共 22 公頃的水耕栽培設施，為當時世界規模最大之設施，這也促成往後日本國內積極研發水耕栽培技術的契機。1950 年代以後，荷蘭、日本、英國、蘇俄等國家皆著手研發水耕栽培技術（高，1991）。

為解決夏季蔬菜產銷失衡及生產無農藥殘留之清潔蔬菜，國內開始研究水耕蔬菜栽培技術。1969 年，時任龍潭農校校長呂理福先生，於校內建置一座礫耕栽培示範中心，開啟臺灣的水耕技術研究；同年臺灣大學園藝系李咩教授與當時臺灣省農業試驗所李伯年教授也著手於植物營養和養液配方之相關研究。臺灣位處熱帶與亞熱帶間，夏季高溫多濕，容易因設施內之水溫升高而使溶氧量降低，導致植株生長不良，因此臺中區農業改良場於 1984 至 1990 年間，以溫帶地區之水耕技術為基礎，進行本土化水耕栽培技術的開發（高，1991）。

(三) 無土栽培類型


栽培類型可依照介質種類分為固形介質栽培和非固形介質栽培。固形介質栽培利用之無土介質如礫石、砂、珍珠石、蛭石或是岩棉等，進行生產；非固形介質栽培，以水為栽培介質，稱為水耕栽培，英名為“hydroponic”，再依照養液供給的方式分為湛水式 (Deep flow technique)和淺水式 (Nutrient film technique)(高，1991)。

1. 固形介質栽培

固形介質栽培，以礫石、砂、珍珠石、蛭石或是岩棉等介質，模擬植物在土壤生長的形式，供給營養液，使其生長發育。根系、養液和空氣三者之間的緩衝力較強，可定時定量控制營養供給，方便管理，但有鹽分累積之問題（高，1991）。

2. 非固形介質栽培

栽培床中養液高度 8 至 15 公分稱為湛水式，高度 1 至 3 公分者稱為淺水式；若依供液方式之別則可細分成流灌式、噴灌及流灌混合式等三種。又在噴灌方



式中養液若以霧狀方式噴出時，為噴霧耕。依養液回收與否分為非循環開放式 (open soilless system、non-circulation) 及循環封閉式 (closed soilless system、recirculation) 水耕系統 (Martinez *et al.*, 2010)。非循環式之養液使用一段時間後，將舊的養液排掉，不重複使用，更換新的養液 (Takeda, 1999)，可較精確控制水耕液中各元素含量；循環式之養液重複循環使用，可節省水資源，減少環境汙染 (Asao *et al.*, 2008)，但水耕液較不新鮮，且每種作物對元素吸收的偏好不同，以致於在補充養液時，較無法切確估計水耕液中各元素的含量。

(四) 養液調配與管理

養液調配之水質，建議在電導度 0.5 以下，pH 值在 5.5 至 7.5 之間為佳。調配時分作 A 和 B 兩液，A 液為巨量元素，有氮、磷、鉀、鈣和鎂；B 液為微量元素，有鐵、錳、鋅、銅、硼和鉬 (高，1991)。

栽培過程中 pH 需定期監控及調整，養液之 pH 維持在 5.0~6.5 為適宜範圍，培養液 pH 若上升至 8 以上時，易引起缺鐵、錳和磷的症狀，可使用硫酸、硝酸或磷酸調整；pH 降至 4.5 以下時，易引起缺鉀、鈣、鎂的症狀，可使用氫氧化鉀或氫氧化鈉調整 (高，1991)。

養液之濃度與電導度成正比，因此電導度可反映植株吸收的狀況。營養液之濃度之變化若超過配方量之 20%，即進行調整。非循環養液栽培系統，定期更換養液，並調整 pH 值即可；循環式養液栽培系統，則定期監控電導度，並加入養液和清水進行調整 (高，1991)。

七、植物工廠

(一) 植物工廠定義

廣義而言，可定義為在設施內，有計畫性地周年穩定量產，如芽菜栽培場、蘑菇栽培場、種子種苗生產場皆包含在內。狹義來說，在設施內以人工方式控制光、溫度、濕度、二氧化碳濃度和營養等環境條件，配合電腦監控設備，並結合



水耕栽培技術，穩定地周年量產，如同工廠的生產線，主要是指人工光之完全控制型植物工廠（古在，2011；高辻，2007）。

(二) 植物工廠發展

世界上最早的植物工廠於 1957 年於丹麥建置，約有 1000 m²，採人工光與太陽光併用型，進行水芹嫩芽的生產。1963 年奧地利 Rusuna 公司建置了高達 30 m 之高塔型螺旋立體化栽培之玻璃溫室，也是首座立體式自動化植物工廠。1960 年代，General Electric 公司開始研究完全控制型植物工廠，為最早開始研究之企業。1970 年代 General Foods、General Mills 與 Phytopharm 也陸續開始人工光型植物工廠之運作，但因設備成本過高，無法達成收支平衡，因而在 1990 年代時放棄了。日本因土地狹小和人口密度過高，加上高齡化和糧食自給率下降之問題，因此在 1974 年由高倉直及高辻正基先生開始著手研究植物工廠的栽培模式，以一種勞力密集低且單位面積生產高之模式，生產安全衛生的糧食（古在，2011；高辻，2007）。

(三) 植物工廠類型

植物工廠的類型依照光源的使用方式，可分為三種，人工光型、太陽光型和人工光與太陽光併用型（高，1991；古在，2011；高辻，2007）。

1. 人工光型植物工廠

人工光型植物工廠的建置採用隔絕太陽輻射熱，且不透光之建材，充分隔絕外部環境所帶來之影響，加上立體式栽培、水耕技術、人工光源、電腦監控系統與冷氣，可穩定控制廠內之溫度、濕度、營養、光周期、光強度和光質等環境條件，防止病蟲害發生，不僅可周年生產乾淨衛生之蔬果，更可以在非農地或不適農耕的地方建廠，充分利用土地，但初期硬體設備成本和能源消耗高，因此在發展上有較大的瓶頸（高，1991；古在，2011；高辻，2007）。

2. 太陽光型植物工廠

以玻璃溫室和塑膠布溫室為基礎，太陽光作為光源，加裝各種自動化環控

系統，如冷氣、自動供給養液系統和電腦監控設備，以水耕栽培進行生產。在 3 種類型中，成本最低，但受到環境影響最大（高，1991；古在，2011；高辻，2007）。

3. 人工光與太陽光併用型植物工廠

以太陽光型植物工廠為基礎，在白天時利用太陽光，陰天或晚上時則利用人工光源進行補光或是延長光周期。與人工光型相比，相對較節省能源；而以太陽光型更有利於環境的調節，為彈性較高的類型（高，1991；古在，2011；高辻，2007）。



第二章 材料方法



一、試驗地點與設備

試驗於國立臺灣大學人工光型植物工廠 B1 室進行 (圖 1)。室內配有熱泵系統進行控溫 (圖 2)，採用非循環養液栽培系統，內部設有四架層架，每架層架具有 3 至 4 層的培養空間，每層配有一栽培槽和人工光源 (圖 2)，栽培槽規格為長 110 cm、寬 50 cm、最大容水高度 8 cm。人工光源為 Wellypower T5 FH 28W/865 6500K 燈管，每層配置 9 支，層架上實測光強度由燈管下 5 公分至栽培層板介於 600 至 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (圖 3)。

二、養液配方

根據洪(2013)的試驗結果選定日本園試處方 (Enshi) (Kitazawa *et al.*, 2005)，作為試驗的養液配方，並以 Enshi 為基礎降低氮含量，調整其配方為 Modified solution。養液之調配順序依據高(1991)之建議，調配為 100 倍的母液 A 及母液 B (表 1)。由於 EDTA-2Fe 水溶液，曝光會降低其有效性，因此單獨配置，並以鋁箔紙包覆於瓶外，配方如下：

- (一) Enshi solution 100 倍母液 A： KNO_3 ：81 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ：15.5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ：100 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{MnSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ ：0.2 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ：0.022 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ：0.005 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。
- (二) Enshi solution 100 倍母液 B： $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ：95 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 H_3BO_3 ：0.3 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{Na}_2\text{MoO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ：0.002 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。
- (三) EDTA-2Fe 1000 倍母液：EDTA-2Fe：31 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
- (四) Modified solution 100 倍母液：降低氮和鉀含量為原配方之 0.07 和 0.5 倍，並提高磷含量至原配方之 3 倍。



三、植物材料

(一) 組織培養苗的培養

試驗材料為‘桃園 1 號’草莓 (*Fragaria × ananassa* Duch. cv. ‘Taoyuan No. 1’)之組織培養苗，購自田岱種苗場 (圖 4)。組織培養苗的培養，分為兩個階段，出瓶和養液培養，流程如下：

1. 組織培養苗出瓶

於 2012 年 10 月 12 日，從瓶內夾出組織培養苗，洗掉培養基，將其浸入稀釋 1000 倍益力水溶液的燒杯內，並將燒杯放置超音波震盪儀內，震盪 15 分鐘後，將苗取出，固定於 2 cm × 2 cm 的海綿塊中間，放置於盛有清水的培養盤內，蓋上塑膠蓋以維持濕度，置於植物工廠 A3 室進行培養 (圖 4)。初時僅給予 3 支燈管之光照，10 月 15 日增強至 6 支燈管，10 月 17 日調為 9 支燈管，並在 10 月 20 日將培養盤上的塑膠蓋移開，使組織培養苗能夠適應外界環境。

2. 養液培養

清水培養一個星期後，10 月 21 日將組織培養苗移至非循環養液栽培系統 (圖 5)，使用 Enshi 養液培養，每層水量 40L，EC 值為 $0.55 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ，pH 值為 6.5，每層種 60 株，共 3 層，培養 4 星期，間期每個星期調整一次 pH 值。11 月 16 日改為每層 25 株 (圖 5)，並更換養液，養液濃度調高為 EC 值 $0.75 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ，pH 值為 6.5，每個星期校正一次 pH 值，每兩個星期更新一次養液。

(二) 走莖苗的繁殖

組織培養苗培養到 7 至 8 片葉，開始接取走莖上之子株，進行試驗。在層架溫度 $25/20^{\circ}\text{C}$ ，光周期 16 個小時下，將走莖上的子株包裹於海綿塊上，插入層板之圓孔洞中，使其浸入養液，待其根萌發後 (圖 5)，以剪刀剪斷其與母株之連結。詳細之繁殖流程見表 2。



四、試驗處理

(一) 低溫短日處理時間對於花芽形成的影響

試驗進行分為兩個階段，分別為低溫短日之花芽誘導期及高溫長日之花與果實發育期。2013年7月25日至9月17日進行光周期13小時、日夜溫20/15°C的花芽誘導處理；2013年9月18日至試驗結束期間，將生長條件調整至光周期16小時、日夜溫25/20°C，以利植物生長。試驗期間以HOBO Pendant® Temperature Data Logger 64K紀錄試驗期間的溫度變化。

試驗植株分為五批繁殖，分別在2013年6月13日、6月20日、6月27日、7月4日和7月11日，批次代號依序為I、II、III、IV和V。走莖自發根算起50天後，帶有5至6片葉(圖6)，以葉面積為基準，選擇大小接近之個體作為試驗材料(表3)。

待走莖苗生長滿50天時，每個星期移入一批至B1室進行處理，I、II、III、IV和V的處理日期依序為2013年7月25日、8月1日、8月8日、8月15日、8月22日。

I、II和V處理各有2層，III和IV處理各有3層，每層種4株，每株為1重複。養液槽每層水量30L，養液EC值0.60 dS·m⁻¹，pH值為6.5，每3天校正1次pH值，每二星期更新養液。

植株於處理3週後，開始拔除老葉，每週定期拔除一次。葉片老化後，葉柄基部與冠莖基部之連接會減弱，葉片呈現下垂之現象，因此以葉片下垂至層板為拔除標準。植株開花後以水彩筆輕刷花藥，並在柱頭授粉，同時以兩台循環風扇輔以授粉。

(二) 養液處理對於花芽形成的影響

試驗二與試驗一同時進行，利用B1室的其他層架，進行養液試驗，每處理4株，每株為1重複，於2013年7月25日進行至8月15日結束，並調查記錄相關



項目。環境條件為光周期 13 小時、日夜溫 20/15℃，4 種養液處理分別為：

1. Enshi solution 1/2 倍(EC 0.60 dS·m⁻¹)
2. Modified solution 1 倍(EC 0.8 dS·m⁻¹)
3. Modified solution 3/4 倍(EC 0.65 dS·m⁻¹)
4. Modified solution 1/2 倍(EC 0.45 dS·m⁻¹)

五、調查項目

(一) 營養生長調查

1. 葉面積

在試驗前及試驗期間每次處理記錄受試植株之葉片數並測量所有葉片之中軸長度以估算生育期間全株葉面積變化，全株葉面積以葉片樣本中軸長度與葉面積之迴歸方程式估算之，數據調查至 2013 年 9 月 26 日。迴歸方程式由試區內非調查株隨機採集不同大小之葉片，並以葉面積儀 (LI-3100, LI-COR, USA) 測量葉面積及測量葉片中軸長度後進行回歸分析，求得下列方程式，如下：

$$LA = 2.5367L^{1.8501}, R^2 = 0.9542$$

其中：

LA：葉面積 (cm²)

L：葉片中軸長度 (cm)

2. 走莖數

移入 B1 室當週，將所有走莖摘除，於處理後 1 週，開始計算每週摘除之新生走莖，並記錄數量，數據調查至 2013 年 9 月 26 日。

3. 冠莖直徑

每週調查冠莖基部之直徑並記錄，數據調查至 2013 年 9 月 26 日。

4. 植株鮮重與乾物種

試驗二於 2013 年 8 月 15 日，將受試植株根部水分拭乾後，分為地下部與

地下部分別秤其重量，並烘箱 70°C 烘乾 120 小時後秤重測得植株體乾物重。



(二) 生殖生長調查

1. 植株花序生成與開花比率

試驗期間每週記錄花序形成與開花的植株數。花序形成的觀察是以鑷子撥開冠莖基部的葉柄，紀錄是否出現肉眼可辨識的花序形成 (圖 8)。開花的植株以第一朵花完全展開為基準，數據調查至 2013 年 10 月 31 日。

2. 果實產量

試驗期間每週記錄果實數量、果實重量與開始採收週數，並計算每株平均果實數量、產量和可銷售果 (>10 g) 的產量，數據調查至 2013 年 12 月 19 日。

六、統計分析

所有試驗皆採完全隨機設計，以 COSTAT 統計軟體進行最小顯著差異分析 (least significant difference, LSD)，分析各處理間是否有顯著性差異 ($P \leq 0.05$)。

第三章 結果



一、低溫短日對於草莓花芽形成的影響

(一) 溫度變化

花芽誘導理期間 B1 環境之電腦設定為光周期 13 小時、日夜溫 14/14°C；層架上的 Data logger 所測得之光期實際溫度約在 24 至 28°C 之間 (圖 9)，與電腦設定之光期溫度相差 10°C 以上，暗期實際溫度約在 14 至 16°C 之間，與電腦設定溫度接近。同時期 B1 室內感應器紀錄之光期溫度在 18 至 24°C 之間，暗期溫度在 14 至 16°C 之間。

在 I 之花芽誘導率達 100% 後，於 2013 年 9 月 18 日將 B1 之電腦設定調整為光周期 16 小時、日夜溫 18/20°C；層架所測得之光期實際溫度約在 22 至 26°C 之間 (圖 9)，與電腦設定之光期溫度相差 4°C 以上，暗期實際溫度約在 20°C 左右，與電腦設定溫度接近。此時期 B1 室內感應器紀錄之光期溫度在 18 至 23°C 之間，暗期溫度約 20°C。

(二) 生殖生長情形

1. 植株花序形成與開花比率

從 2013 年 7 月 25 日開始處理，每週移入一批，植株給予低溫短日之開花誘導處理，依序分為別為 I、II、III、IV 和 V，結果顯示處理 3 至 6 週，可於冠莖中心觀察到花序的形成，比率達 50%；處理 6 至 9 週達 100% (圖 10)。花序形成至開出第一朵花所需週數，需 1 至 3 週 (圖 10)，至開花率達 100%，需再 1 至 5 週。

I、II、III 和 IV 低溫短日處理 5 至 6 週，於冠莖中心觀察到花序的形成，處理至花序生成之趨勢接近 (圖 10)，初次出現花序之比率分別為 87.5、50.0、58.3 和 66.7%；初次出現花序至形成比率達 100%，需再 1 至 3 週。I、II、III 和 IV 初次出現花序至開出第一朵花所需週數為 3 週，開花株比率分別為 87.5、50、

33.3 和 58.3%；開出第一朵花至開花率達 100%，I、II 和 IV 需再 1 週，III 為 3 週。

V 處理 3 週後，即可觀察到花序於冠莖中心形成，初次出現花序比率為 66.5% (圖 10)；初次出現花序至形成比率達 100%，需再 6 週。初次出現花序至開出第一朵花所需週數為 1 週；開出第一朵花至開花率達 100%，需再 5 週。

I 和 II 有較多的花序，分別為 3.3 和 2.8 個，顯著高於 III、IV 和 V 的 1.3、2.0 和 1.8 個。開花數的部分，I 和 II 有較多的花朵數，分別為 40.6 和 32.3 朵，顯著高於 III、IV 和 V 的 17.8、21.5 和 25.8 朵。開出第一朵花至可採收所需週數為 3.8 至 6 週，III 所需週數最短為 3.8 週，顯著少於其他 4 批處理 (表 4)。

2. 果實產量

植株於 10 月 24 日開始採收果實，圖 11 為草莓花朵完全展開後至果實成熟期間的發育過程，圖 12 為 B1 室的結果情形，圖 13 為不同重量草莓果實之外觀。果實產量之結果統計至 12 月 19 日。I、II、III 和 IV 從試驗處理至開始採收分別為 103.2、103.6、104.3 和 102.7 天，所需天數顯著高於 V 的 78.1 天 (表 4)。開花後至果實成熟可採收的時間約為 33 天。

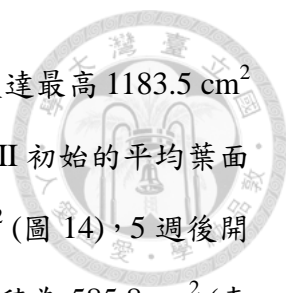
採收天數的部分，I 和 II 分別為 41.2 和 40.2 天，顯著高於 III、IV 和 V 的 25.0、20.6 和 21.0 天 (表 4)。截至 12 月 19 日，I、II 和 III 分別還有 2、1 和 2 株，持續結果採收中，IV 和 V 已結束採收。

每株產果重在 90.4 至 182.3 g 之間，I 和 II 的 182.3 和 170.7 g 為最高，III、IV 和 V 分別為 127.0、90.4 和 129.6 g。10 g 以上的果實產量在 50.2 至 88.3 g 之間。可銷售果佔產量總產量的 43.6 至 53.6%，處理間無顯著差異 (表 5)。

(三) 營養生長情形

1. 葉面積

植株於每批次處理之 3 週後，開始拔除老葉，每週定期拔除一次，當每週新生葉面積低於拔除之老葉葉面積時，葉面積便會下降。



I 初始的平均葉面積為 588.3 cm^2 (表 3), 於試驗開始 5 週後達最高 1183.5 cm^2 (圖 14), 6 週後開始下降, 9 週後的平均葉面積為 637.4 cm^2 。II 初始的平均葉面積為 580.9 cm^2 (表 3), 於試驗開始 4 週後達最高為 1121.2 cm^2 (圖 14), 5 週後開始下降, 8 週後的平均葉面積為 449.6 cm^2 。III 初始的平均葉面積為 585.8 cm^2 (表 3), 於試驗開始 4 週後達最高為 1077.3 cm^2 (圖 14), 5 週後開始下降, 7 週後的平均葉面積為 532.0 cm^2 。IV 初始的平均葉面積為 584.3 cm^2 (表 3), 於試驗開始 4 週後達最高為 868.7 cm^2 (圖 14), 5 週後開始下降, 6 週後的平均葉面積為 554.9 cm^2 。V 初始的平均葉面積為 448.0 cm^2 (表 3), 於試驗開始 4 週後達最高為 890.8 cm^2 (圖 14), 5 週後的平均葉面積為 566.2 cm^2 。

2. 冠莖直徑

5 批植株之冠莖生長趨勢相同。移入時的初始冠莖直徑分別為 12.3、12.1、11.2、11.4 和 11.3 mm (圖 15)。試驗調查於結束 9 月 26 日, I、和 II 的冠莖直徑分別為 18.8 和 19.1 mm, 顯高於 III、IV 和 V 的 16.7、16.2 和 15.5 mm。

3. 走莖數

累積計算至 9 月 26 日之每株走莖生成數, I、II、III、IV 和 V 分別為 13.1、11.6、12.9、9.7 和 6.5 條 (圖 16)。每植株平均每週之走莖生成條數為 1.3 至 1.8 條之間。

二、養液處理對於花芽形成與營養生長的影響

(一) 植株花序生成率

Modified solution 1、3/4 和 1/2 倍處理可於試驗期間, 觀察到花序於冠莖中心形成, 最終的花序形成比率為 80%、25% 和 25%。Enshi solution 1/2 倍未觀察到花序形成 (圖 17)。Modified solution 1 倍於處理 1 週後, 於冠莖中心觀察到花序形成, 花序形成比率為 25%; 處理 2 週後, 達 100%。Modified solution 1/2 和 3/4 倍於處理 1 和 2 週後, 花序形成比率為 25%, 至試驗結束皆為 25%。

(二) 營養生長情形

植株之冠莖直徑、葉面積、地上乾鮮重和地下部鮮乾重於試驗後三週進行調查，植株外觀詳見圖 18。

Enshi solution 1/2 倍的冠莖直徑為 16.96 mm (表 6)，與 Modified solution 1 倍的 15.26 mm 無顯著差異，顯著高於 Modified solution 3/4 和 1/2 倍，分別為 14.77 和 14.30 mm。

處理間的葉面積於試驗開始時，無顯著差異，平均葉面積為 585.8 cm²。試驗 3 週後，Enshi solution 1/2 倍的葉面積為 1592.3 cm² (表 6)，顯著高於 Modified solution 1/2、3/4 和 1 倍的處理，分別為 890.5、873.3 和 684.9 cm²。Modified solution 之間的處理，無顯著差異。

地上部鮮重的部分，Enshi solution 1/2 倍為 61.9 g (表 6)，顯著高於 Modified solution 1、3/4 和 1/2 倍，分別為 42.6、40.8 和 33.4 g。Modified solution 處理之間，無顯著差異。

地上部乾重的部分，四個處理間，無顯著差異，Enshi solution 1/2 倍、Modified solution 1、3/4 和 1/2 倍的乾重分別為 14.3、13.8、13.2 和 10.9 g (表 6)。

地下部鮮重的部分，Enshi solution 1/2 倍的處理為 47.4 g，與 Modified solution 1 倍處理的 39.7 g 無顯著差異，顯著高於 Modified solution 3/4 和 1/2 倍，分別為 35.0 和 31.5 g (表 6)。

地下部乾重的部分，Enshi solution 1/2 倍的處理為 4.6 g，與 Modified solution 1 倍處理的 3.9 g 無顯著差異，顯著高於 Modified solution 3/4 和 1/2 倍，分別為 3.6 和 3.2 g (表 6)。

第四章 討論



本試驗設定以 20/15°C 進行花芽誘導，但試驗結果顯示花芽誘導期間層架之光期溫度在 24 至 28°C 之間 (圖 9)，無法降至預期的 20°C，可能因 7 月和 8 月戶外溫度高，使熱泵之水溫提升，導致降溫能力下降，以至於無法降至 20°C；暗期因不受陽光照射之影響，因此溫度可達到預期的 15°C。花芽誘導時期的實際處理溫度為 26/15°C。

產苗母株由 2012 年 10 月 12 日組織培養苗開始培養，至 2013 年 6 月 13 日開始繁殖試驗第一批之走莖苗，代號為 I，接著每隔一個星期繁殖一批走莖苗，分別為 II、III、IV 和 V，試驗材料之走莖苗皆由同一批母株繁殖。試驗結果顯示，I、II、III 和 IV 的初始葉面積統計上無顯著差異 (表 3)，V 則顯著較小，推測是產苗母株之生長活力下降，導致 V 葉面積下降，因而產生葉面積的差異。若要建立出穩定的果實生產系統，產苗母株的更新系統，在未來也必須建立，才能使走莖苗的繁殖系統更將健全。

臺灣草莓主要產區位在亞熱帶，日長介於 10.75 至 13.5 小時，全年高於 9 小時，栽培期皆會產生走莖，為減少開花結果期之養分消耗，農民會拔除走莖以利植株生長，而植物工廠內光強度遠低於田間，光合產物相對較少，在植物工廠內栽培時，更應減少養分的消耗，需每週摘除走莖。

I、II、III 和 IV 批植物低溫短日處理 5 至 6 週 (圖 10)，可於冠莖中心觀察到花序的形成，V 處理 3 週後，即可觀察到花序於冠莖中心形成，造成這樣差異的原因，推測是 V 在 2013 年 8 月 22 日移入時，戶外溫度開始降低，熱泵內之水溫低於 8 月上旬時期之溫度，所以此時期 B1 室內的溫度較低，與李 (1998) 較低之日夜溫，可提早花期的結果一致。從溫度變化可以知道，草莓對於溫度反應敏感，若要整齊地使草莓花芽創始，誘導期間溫度之穩定相當重要，冷氣之溫度控制較為容易且穩定，未來若要進一步研究，希望以冷氣作為降溫系統進行。

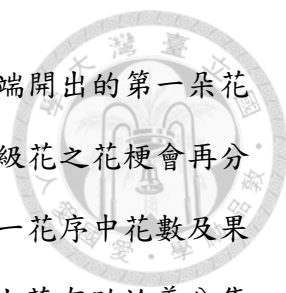
I、II 和 III 在低溫短日之花芽誘導期結束前，可於冠莖中心觀察到花序的形成

(圖 10)，IV 在提高溫度和光周後 1 週，即觀察到花芽形成，因此可以推斷在 26/15 °C，13 個小時的環境下，5 週足夠成功誘導‘桃園 1 號’草莓花芽的創始，未來若能確實將溫度穩定控制在 20/15°C，或許所需的花芽誘導期會更短，需待進一步的驗證。

Sønsteby 等人 (2009)指出氮肥的施用時機會影響草莓之花芽創始，在花芽誘導後一週施用氮肥，可增加植株花序數和開花數，進而提高產量。試驗二的結果顯示，在花芽誘導期間，降低氮肥濃度，可以促進花芽創始 (圖 16)，進而提早開花，與前人研究結果不同。Sønsteby 等人 (2009)為準確控制氮濃度，以介質耕之方式並給予液肥來進行試驗。而本試驗以水耕方式栽培，直接降低養液中之氮肥濃度，試驗結果與前人研究不同，推斷是栽培模式不同所造成之結果。雖然 Modified solution 處理之植株皆可誘導出花芽，但因氮之濃度降低至 Enshi solution 之 0.07 倍，植株營養生長明顯地受到抑制 (表 6)，對於後續開花結果有不利影響，從植株生長情形可以推斷其氮元素低於正常生長所需之濃度，因此未來若要促進草莓之花芽創始，必須要找出草莓正常生長所需的氮濃度範圍，提高 Modified solution 之氮濃度，同時參考 Sønsteby 等人 (2009)之研究，在低溫短日誘導期之前，減少氮肥供應，並在誘導期間提高氮濃度。

花序數會隨著低溫短日花芽誘導期的時間增加而提高 (Konsin *et al.*, 2001；Sønsteby and Heide, 2008)，試驗結果顯示 I 和 II 有顯著較多的花序，推測是因花芽誘導時間較長之影響；而花朵數亦會隨花序數增加而提高 (Konsin *et al.*, 2001；Sønsteby and Heide, 2008)，進而提高產量。試驗結果顯示，I 和 II 處理之單株產量顯著高於其他處理，與前人研究結果相符。

採收天數以 I 和 II 之時間最長，約 40 天，推測是因較多花序數之影響。葉片側芽經低溫短日誘導而創始為花芽，花芽會發育為花序，第一個花序抽出後，開花結果，為第一期花與果；接著下一個花序才會抽出，為第二期花。因此，較多的花序數，會有較長之採收期。



草莓的花序為聚繖花序 (dichasial cymes)。花序抽出後，頂端開出的第一朵花為 1 級花，花梗會成對抽出側枝，並發育為 2 朵 2 級花，而 2 級花之花梗會再分支，成對抽出 3 級花之花梗，花朵之數目呈等比級數增加，同一花序中花數及果實數隨花序分枝而愈來愈多，果實則愈來愈小，摘除花序上之小花有助於養分集中於先開之花朵及果實，生產少量但果形大及品質較好之果實 (呂, 2009)。從前人研究可以知道，較多之花序數，會有較高之可銷售果率 (Konsin *et al.*, 2001; Sønsteby and Heide, 2008)。試驗結果顯示，I 和 II 有較多的花序數，但可銷售果率與 III、IV 和 V 間並無顯著差異，與前人研究不同，但在單株之大果產量上，I 和 II 為最高，因此若將 4 級以上之花摘除，應該可以進一步提高大果之產量與比率。

試驗進行的過程，為確保果實發育良好，授粉為人工的方式，以水彩筆輕刷花藥，在柱頭授粉，並以循環風扇增加授粉機會。人工授粉耗時費力，未來若要邁向規模生產，是個必須解決的問題，而改善室內氣體循環或是以機器震動植株等此類自動化的方式，或許是一個不錯的改進方向。

第五章 結論

試驗結果可以得知‘桃園 1 號’草莓在 26/15°C，13 個小時的環境下，5 週足夠成功誘導花芽創始，從採收期和大果率的結果可以得知花序數之重要性，花芽誘導期之長短，直接影響花序的數量，進而影響產量，然而誘導時間與能源消耗有極大之關係，目前尚未計算成本，因此無法得知實際之效益。

Modified solution 對於花芽創始有顯著的影響，低溫短日處理 1 週後，即可觀察花序於冠莖基部形成，Modified solution 雖可誘導出花芽，卻會限制營養生長，可能對開花結果有不利影響，後續若要再進一步試驗，可將 Modified solution 之氮濃度略為提高。

臺灣地區在冬季利用高畦生產草莓，產期從十二月開始至翌年四月 (李, 1993; 呂, 2009)，其他月份皆由國外進口草莓，若能利用植物工廠之優勢，在非產期生產草莓，將會是一大優勢。本試驗已成功於植物工廠內，誘導草莓花芽創始，並順利開花結果，若要將開花產果之流程確定，則需更加穩定的環境條件。

臺灣夏季高溫多濕，田間病蟲害嚴重且有颱風豪雨的侵襲，不利於田間植株之生長，若能仿效國外生產 frigo plant 之模式，在植物工廠內誘導草莓走莖苗創始花芽，使其花芽休眠並發展冷藏模式，結合溫室栽培技術，於田間產季接近結束前種植，此時的夏季溫度和日長對於開花結果有促進的效果，將來在 6 到 10 月間也可生產草莓果實，此亦為值得研究的方向。

表 1. Enshi 與 Modified solution 母液 100 倍元素含量

Table 1. The content of macronutrients and micronutrients in 100X Enshi and Modified solution

Macronutrients	Enshi solution (g/L)	Modified solution (g/L)
N	24.4	1.8
P	4.12	12.7
K	31.3	14.3
Ca	16.1	16.1
Mg	4.9	4.9
Micronutrients	Enshi solution (ppm)	Modified solution (ppm)
Mn	65.0	65.0
Zn	5.0	5.0
Cu	1.3	1.3
B	52.5	52.5
Mo	0.79	0.79
EDTA-2Fe 1000X (ppm)		
Fe	7593.8	7593.8

註：以上元素皆由第一化工原料股份有限公司購買之藥品提供

表 2. 草莓走莖苗的繁殖流程

Table 2. The procedure of growing strawberry runner plants.

時間	事項
第 1 天	<p>走莖苗的繁殖，環境條件為日/夜溫 25/20℃，光周期 16 小時，人工光源為 Wellypower T5 FH 28W/865 6500K 燈管，每層配置 9 支，光強度 $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$。採用 Enshi solution，EC 值為 0.60，每層水量 40L</p> <p>★繁殖步驟</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 選取帶 1 到 2 片葉的走莖，且走莖外觀呈現 L 型，即為適合繁殖的大小 2. 將走莖上的子株包裹於海綿塊上，插入層板之圓孔中，使其浸入養液 3. 第 2 到第 4 天間，密切注意走莖是否有浸入養液中 4. 約在第 3 到第 4 天之間，走莖會發育出根系，為確保走莖根系的生長良好，在第 5 天，加水滿至 40L
第 8 天	將走莖苗與繁殖母株分離，移至空的層架培養， 每層 40 株 ，使用 Enshi solution，EC 值為 0.60，每層水量 40L
第 12 天	加水滿至 40L
第 15 天	更新養液，Enshi solution，EC 值為 0.60，每層水量 40L
第 19 天	加水滿至 40L
第 22 天	更新養液，Enshi solution，EC 值為 0.60，每層水量 40L， 植株長大，調整每層株數為 20 株
第 26 天	加水滿至 40L
第 29 天	更新養液，Enshi solution，EC 值為 0.60，每層水量 40L， 植株長大，調整每層株數為 12 株
第 33 天	加水滿至 40L
第 36 天	更新養液，Enshi solution，EC 值為 0.60，每層水量 40L
第 40 天	加水滿至 40L
第 43 天	更新養液，Enshi solution，EC 值為 0.60，每層水量 40L
第 47 天	加水滿至 40L
第 50 天	植株達可進行花芽誘導的大小，此時植株約具有 4 到 6 片葉， 花芽誘導的每層株數為 4 株

表 3. 草莓走莖苗試驗初始葉片數與葉面積

Table 3. The leaf number and leaf area of strawberry at the beginning of experiment.

Treatment ^z	Leaf number	Leaf area(cm ²)
I	5.1±0.1 ab ^y	589.5±26.4 a
II	5.0±0 b	585.8±14.7 a
III	5.0±0 b	584.3±12.7 a
IV	5.0±0 b	562.1±19.1 a
V	5.3±0.2 a	448.0±21.1 b

^zTreatment I started the experiment on July 25, 2013. Treatment II was on August 1. Treatment III was on August 8. Treatment IV was on August 15. Treatment V was on August 22.

^yStatistical analyses were conducted using ANOVA (CoStat 6.2, CoHort Software, USA) and the means compared with the LSD test with a significance degree $\alpha = 0.05$.

Mean±SD (standard deviation of mean)

表 4. 低溫短日處理對於‘桃園 1 號’草莓植株花序數、開花數、處理至採收天數和採收天數的影響

Table 4. Effect of cool temperature and short photoperiod treatment on inflorescences formation, flower number, treatment to harvest and harvest periods of strawberry ‘Taoyuan No.1’.

Treatment ^z	Inflorescences number /plant	Flower number /plant	Treatment to harvest (day)	Harvest periods (day)
I	3.3±0.2 a ^y	46.5±5.6 a	103.2±2.1 a	41.2±2.2 a
II	2.8±0.2 a	38.1±5.6 ab	103.6±0.6 a	40.2±0.9 a
III	1.3±0.2 c	21.0±2.0 c	104.3±2.1 a	25.0±1.8 b
IV	2.0±0.3 b	24.3±2.6 c	102.7±0.9 a	20.6±1.0 b
V	1.8±0.3 bc	28.6±3.2 bc	78.1±4.4 b	21.0±2.5 b

^zTreatment I started the experiment on July 25, 2013. Treatment II was on August 1. Treatment III was on August 8. Treatment IV was on August 15. Treatment V was on August 22.

^yStatistical analyses were conducted using ANOVA (CoStat 6.2, CoHort Software, USA) and the means compared with the LSD test with a significance degree $\alpha = 0.05$.

Mean±SD (standard deviation of mean)

表 5. 低溫短日處理對於‘桃園 1 號’草莓植株果實數量和產量的影響

Table 5. Effect of cool temperature and short photoperiod treatment on fruit number and fruit production of strawberry ‘Taoyuan No.1’.

Treatment ^z	Average fruit number/plant	Average fruit production/plant (g)	Fruit above 10g /plant (g)	Marketable fruit (%)
I	22.6±3.3 a ^y	182.3±28.9 a	88.3±15.0 a	47.4 a
II	19.9±2.6 ab	170.9±17.9 ab	76.1±12.2 ab	45.0 a
III	11.5±1.1 cd	127.0±16.8 bc	67.4±9.6 ab	53.6 a
IV	9.0±0.6 d	90.4±7.6 c	50.2±6.1 b	55.2 a
V	14.4±1.6 bc	129.6±20.1 abc	57.3±9.2 ab	43.6 a

^zTreatment I started the experiment on July 25, 2013. Treatment II was on August 1. Treatment III was on August 8. Treatment IV was on August 15. Treatment V was on August 22.

^yStatistical analyses were conducted using ANOVA (CoStat 6.2, CoHort Software, USA) and the means compared with the LSD test with a significance degree $\alpha = 0.05$.

Mean±SD (standard deviation of mean)

表 6. 低溫短日下不同養液處理對於‘桃園 1 號’草莓營養生長之影響

Table 6. Effect of different solutions on vegetative growth of strawberry ‘Taoyuan No.1’.

Treatment ^z	Crown diameter (mm)	Leaf area (cm ²)	Shoot		Roots	
			Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
Enshi solution 1/2X	16.96 a ^y	1592.3 a	61.9 a	14.3 a	47.4 a	4.6 a
Modified solution 1X	15.26 ab	890.5 b	42.6 b	13.8 a	39.7 ab	3.9 ab
Modified solution 3/4X	14.77 b	873.3 b	40.8 b	13.2 a	35.0 bc	3.6 b
Modified solution 1/2X	14.30 b	684.9 b	33.4 b	10.9 a	31.5 c	3.2 b

^zThe experiment started on July 25,2013 and investigated on August 15.

^yStatistical analyses were conducted using ANOVA (CoStat 6.2, CoHort Software, USA) and the means compared with the LSD test with a significance degree $\alpha = 0.05$.



圖 1. 國立臺灣大學人工光型植物工廠

Fig 1. National Taiwan University Plant Factory with artificial light.

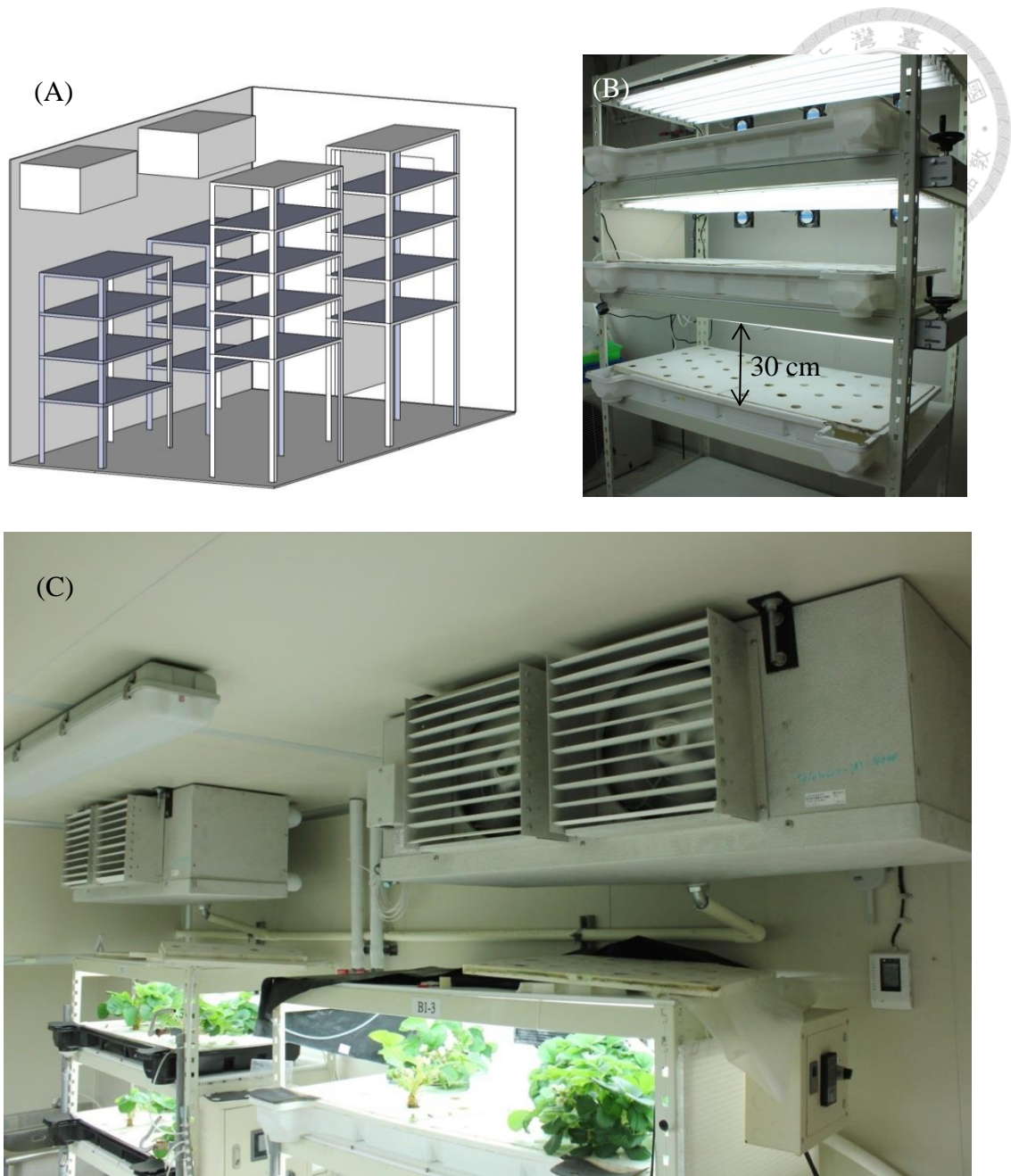


圖 2. 臺灣大學人工光型植物工廠 B1 室示意圖與相關配置

(A) B1 室內配置圖 (B) 培養槽與人工光源 (C) B1 室內配置之熱泵系統

Fig 2. Layout of B1 room in National Taiwan University Plant Factory with artificial light. (A) Layout of B1 room (B) Growth tank and artificial light (C) Heat pump

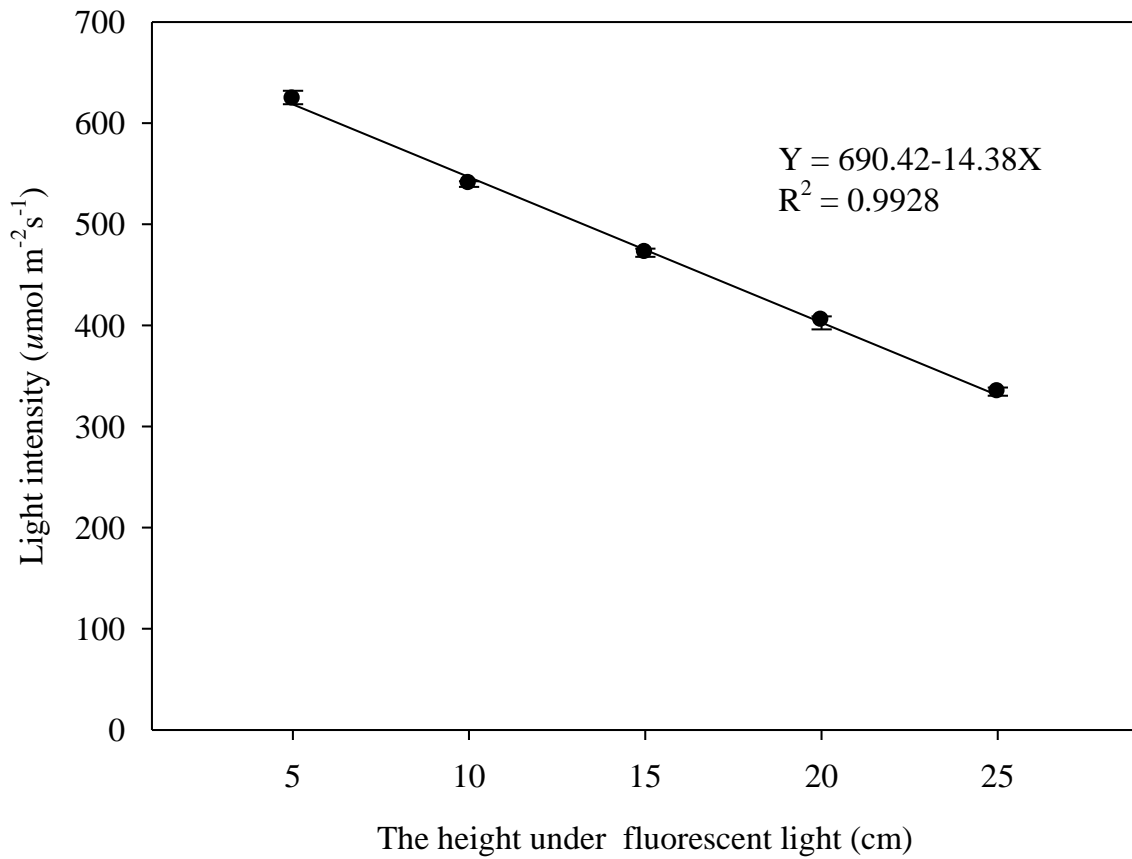


圖 3. 九支燈管下不同高度之光強度

Fig 3. Light intensity under different height of 9 fluorescent lamps.

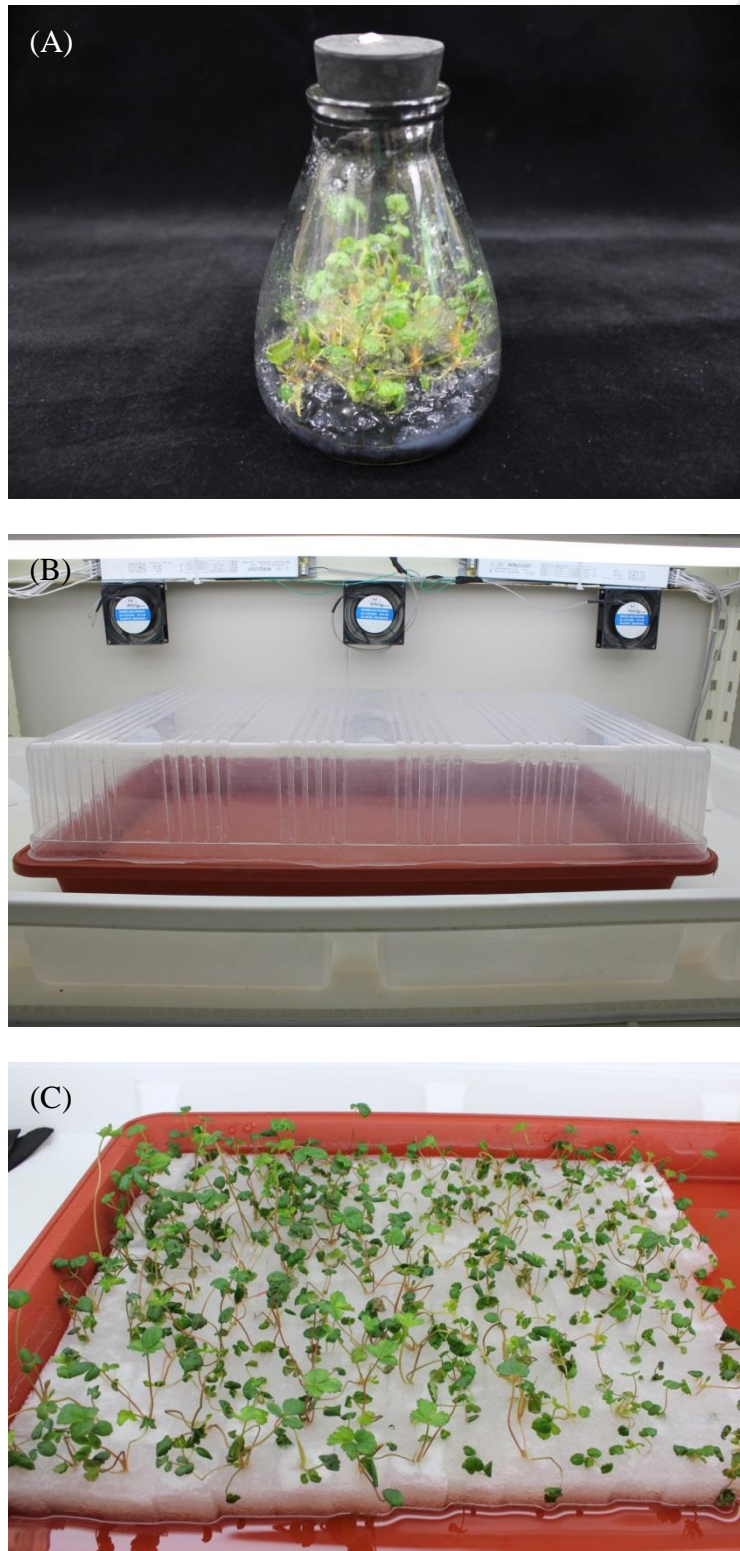


圖 4. 草莓組織培養苗之出瓶培養

(A) 草莓組織培養苗 (B) 培養盤外觀 (C) 甫出瓶之草莓組織培養苗出瓶培養於清水中

Fig 4. The growth of strawberry plantlets *ex vitro*. (A) Strawberry plantlet (B) Growth tray (C) Strawberry plantlets grew in water *ex vitro* on November 22, 2012.

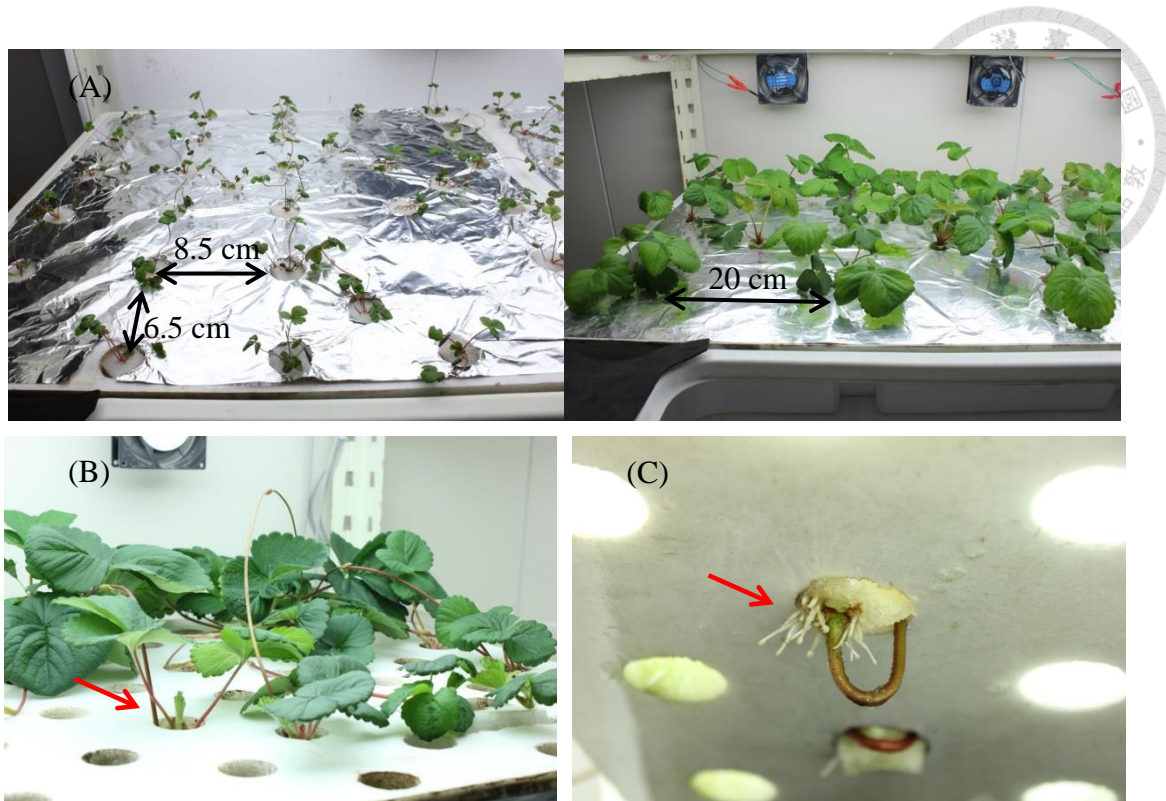


圖 5. 草莓組織培養苗於非循環養液栽培系統之生長情形與走莖苗的繁殖
 (A) 組織培養苗出瓶 10 天後及 4 個星期後之生長情形 (B) 走莖苗繁殖的草莓子株
 (C) 子株發根後的情形

Fig 5. The growth of strawberry plantlet in non-cycle solution culture system and the propagation of runner plants. (A) Strawberry plantlets grew *ex vitro* after ten days and four weeks. (C) The propagation of strawberry runner plant. (D) The growth of runner after rooted.

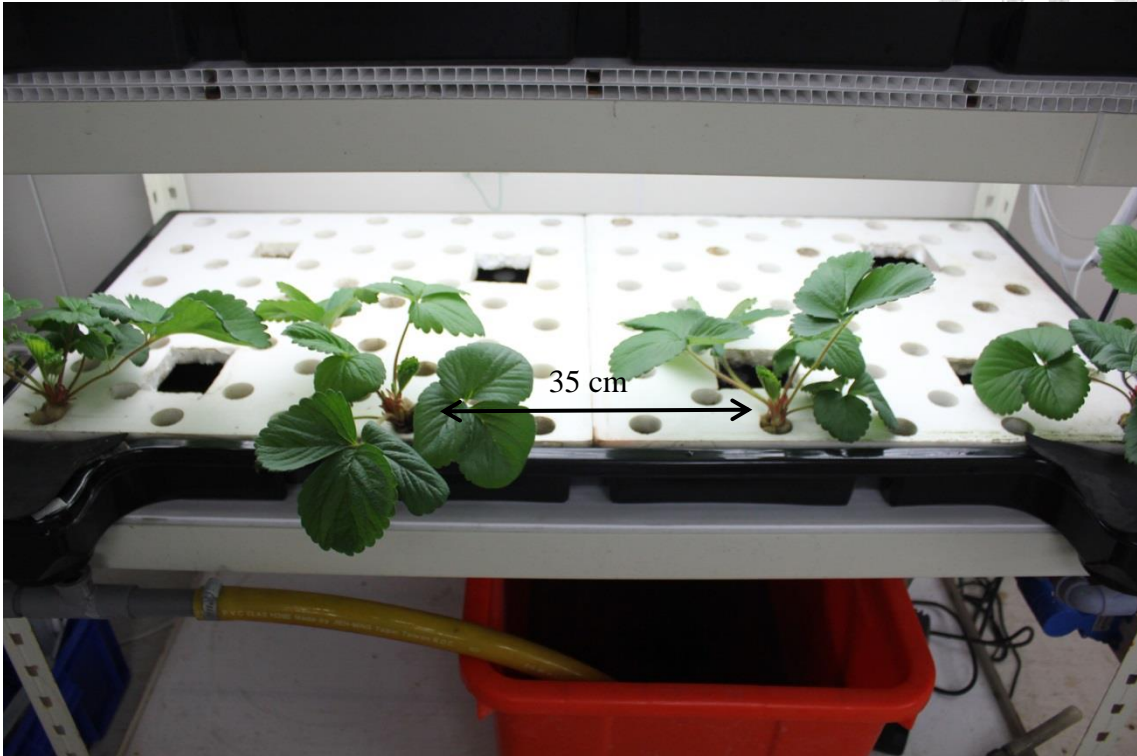


圖 6. 花芽誘導試驗開始之走莖植株

Fig 6. The strawberry plants with 5-6 leaves at the beginning of inducing flower buds.

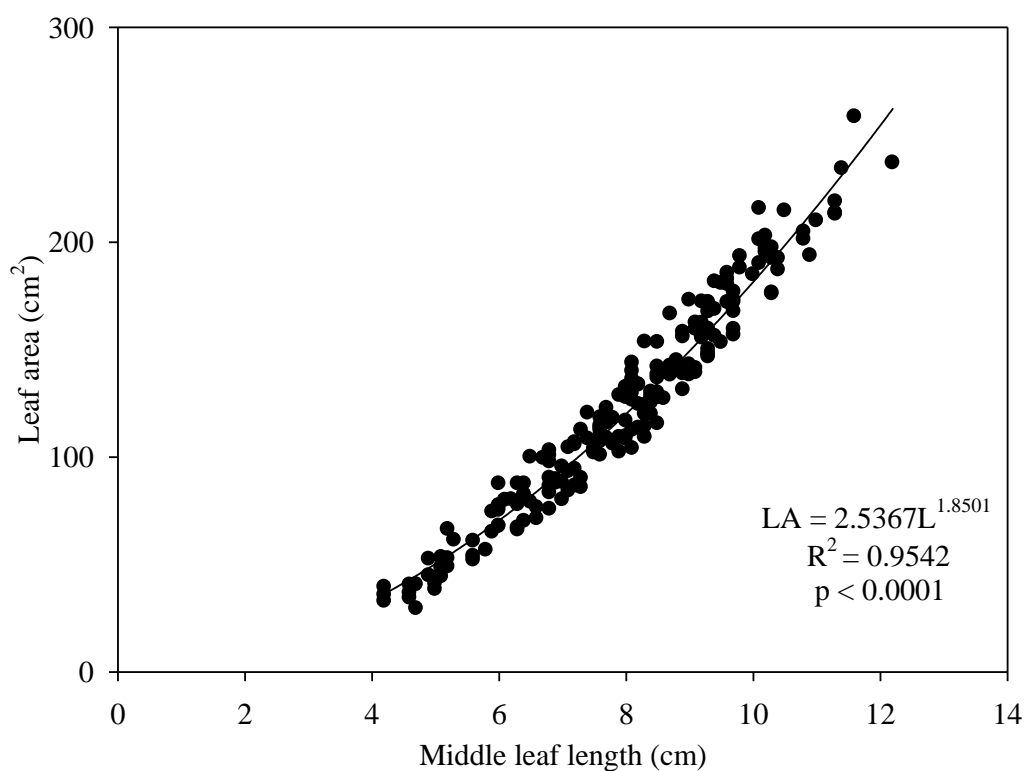


圖 7. '桃園 1 號' 草莓三出複葉之中軸長度與葉面積之關係

Fig 7. The relationship between middle leaf length of ternate leaf and the measurements of the actual leaf area of 'Taoyuan No. 1' strawberries (n = 200).



圖 8. 花序生長與開花之觀察

(A) 花序於冠莖基部形成 (B) 花序發育並抽出 (C) 花朵完全展開

Fig 8. The observation of inflorescence growth and flowering. (A) The formation of the inflorescence in the base of crown. (B) The development and growth of the inflorescence. (C) Flower was fully blooming.

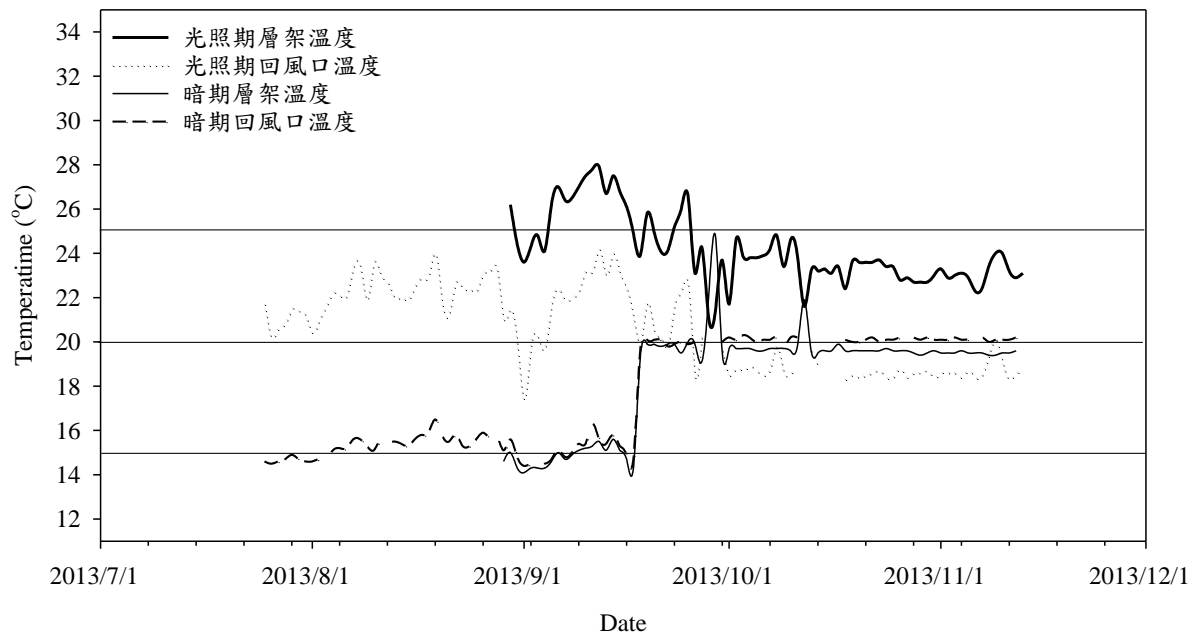


圖 9. 2013 年 7 月底至 11 月中 B1 室之日夜溫變化

Fig 9. Variation of day and night temperature in B1 room from August 25 to November 12 in 2013.

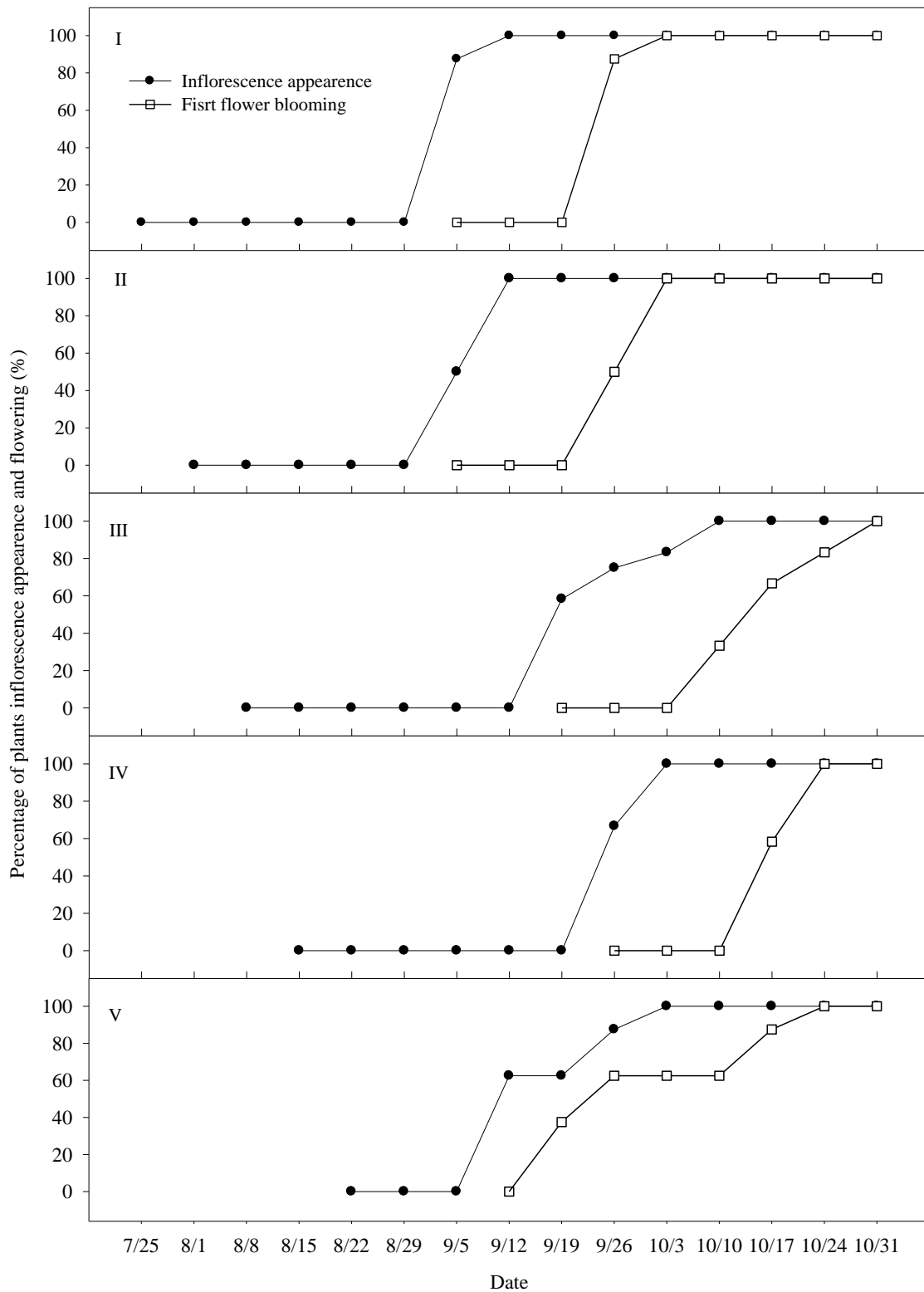


圖 10. 低溫短日處理期間‘桃園 1 號’草莓花序發育與開花的情形

Fig 10. The formation of the inflorescence and flowering of strawberry ‘Taoyuan No. 1’ during cool temperature and short photoperiods treatment. Treatment I started the experiment on July 25, 2013. Treatment II was on August 1. Treatment III was on August 8. Treatment IV was on August 15. Treatment V was on August 22.

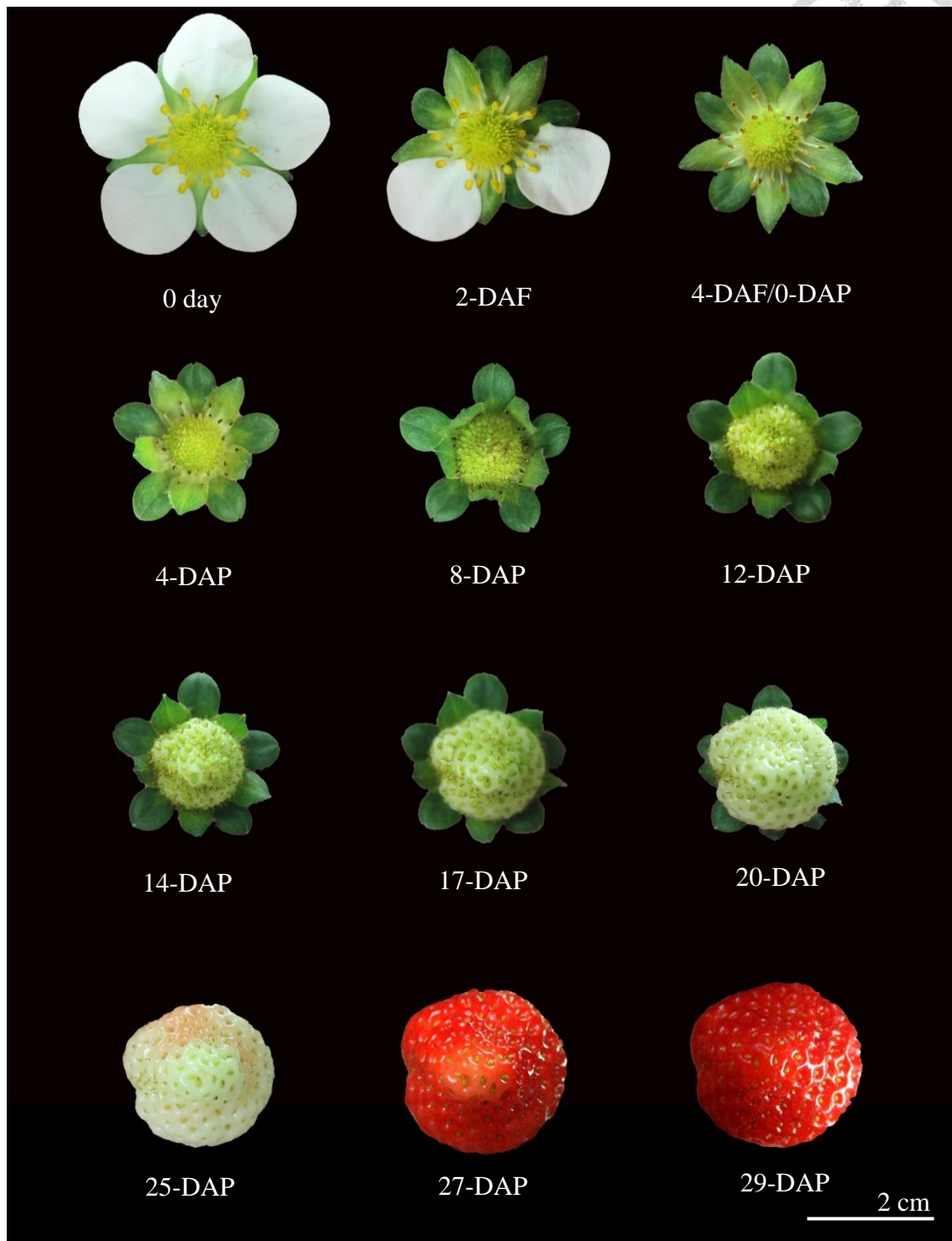


圖 11. 草莓花朵開放與果實發育

Fig 11. The flowering and fruit developing of the strawberry. 0 day was flower fully blooming. DAF was days after flower and DAP was days after pollination. 2-DAF : anther dehiscence partially. 4-DAF : anther dehiscence fully. 4-DAP : receptacle started to swell, diameter was 0.9 cm. 14-DAP : receptacle turned green to white, diameter was 1.3 cm. 25-DAP : receptacle turned into red, diameter was 2.4 cm. 29-DAP : receptacle turned red, diameter was 2.6 cm and fruit was 8.45 g.



圖 12. 臺灣大學人工光型植物工廠 B1 室內栽培‘桃園 1 號’草莓之情形

Fig 12. The growth of the strawberry ‘Taoyuan No.1’ in B1 room in National Taiwan University Plant Factory with artificial light.

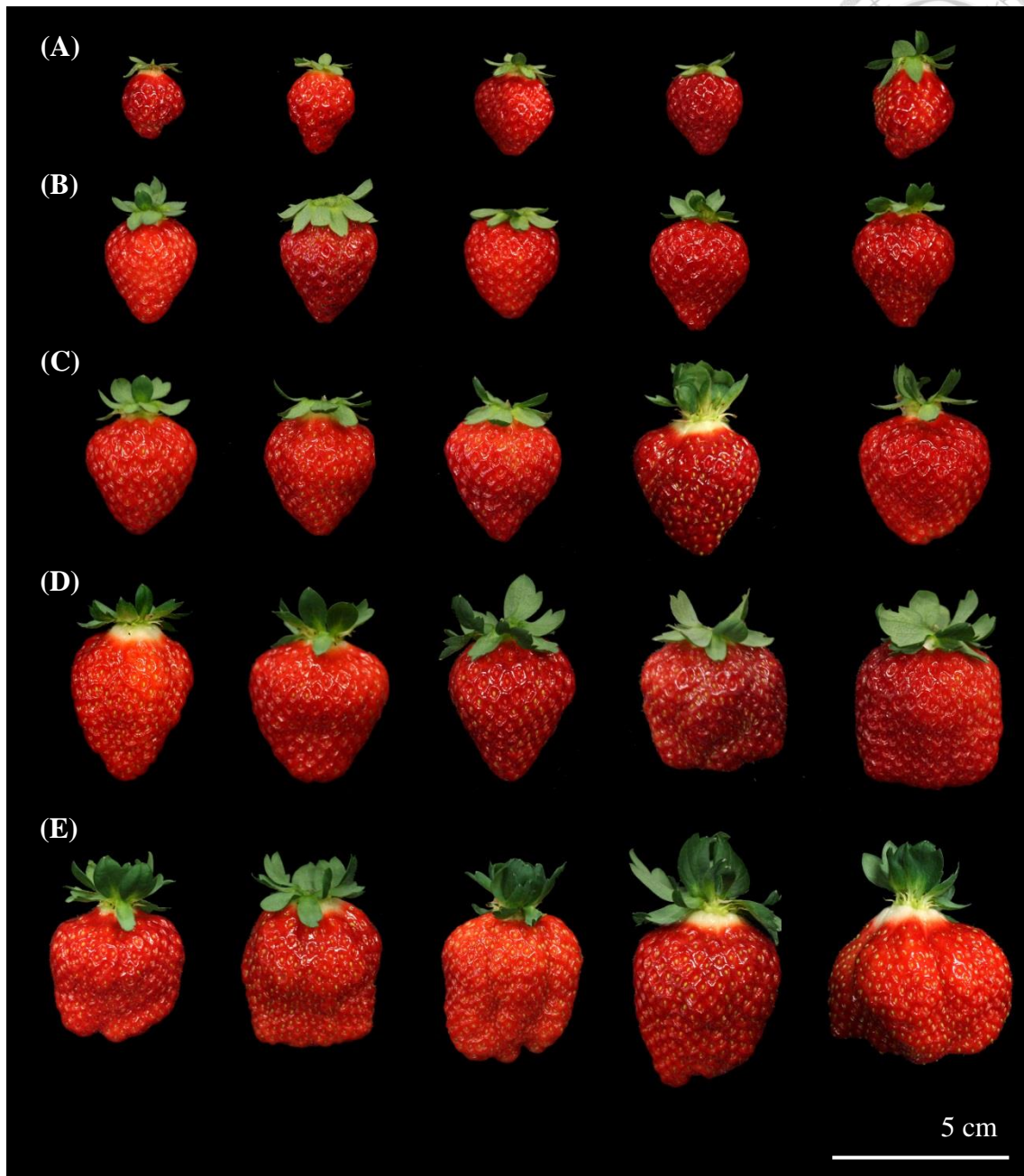


圖 13. 臺灣大學人工光型植物工廠栽培‘桃園 1 號’草莓之果實外觀
(A) 小於 5 g (B) 5 到 10 g (C) 10 到 15 g (D) 15 到 20 g (E) 大於 20 g

Fig 13. Appearance of strawberry ‘Taoyuan No.1’ from National Taiwan University Plant Factory with artificial light. (A) Above 5 g (B) 5 to 10 g (C) 10 to 15 g (D) 15 to 20 g (E) Above 20 g

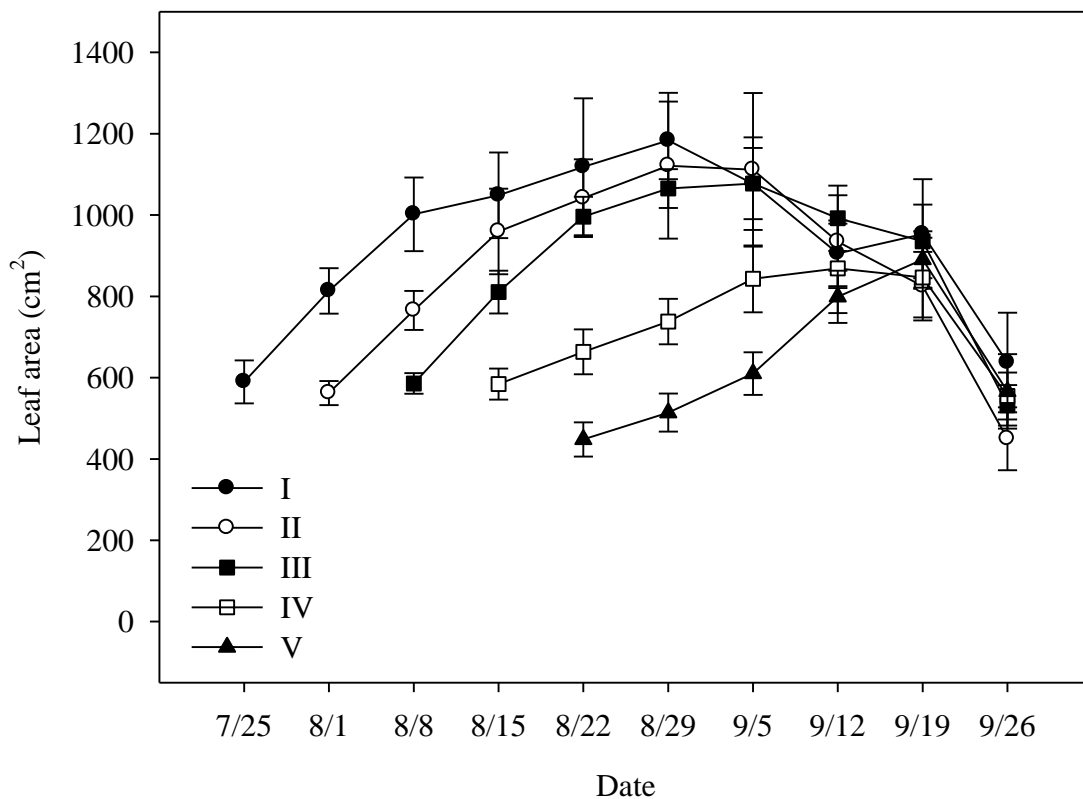


圖 14. 低溫短日處理期間‘桃園 1 號’草莓葉面積的歷時變化

Fig 14. The elapsed of leaf area of strawberry ‘Taoyuan No. 1’ during cool temperature and short photoperiods treatment. Treatment I started the experiment on July 25, 2013. Treatment II was on August 1. Treatment III was on August 8. Treatment IV was on August 15. Treatment V was on August 22.

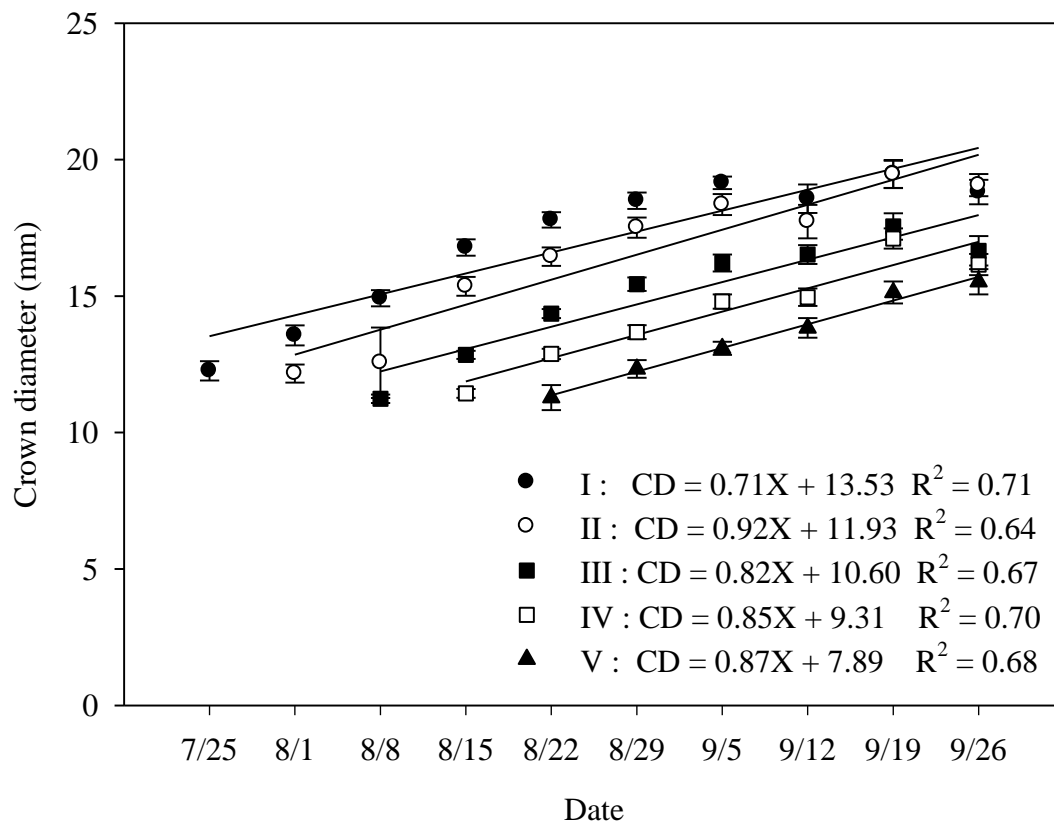


圖 15. 低溫短日處理期間對於‘桃園 1 號’草莓冠莖直徑的歷時變化

Fig 15. The elapsed of crown diameter of strawberry ‘Taoyuan No. 1’ during cool temperature and short photoperiods treatment. Treatment I started the experiment on July 25, 2013. Treatment II was on August 1. Treatment III was on August 8. Treatment IV was on August 15. Treatment V was on August 22.

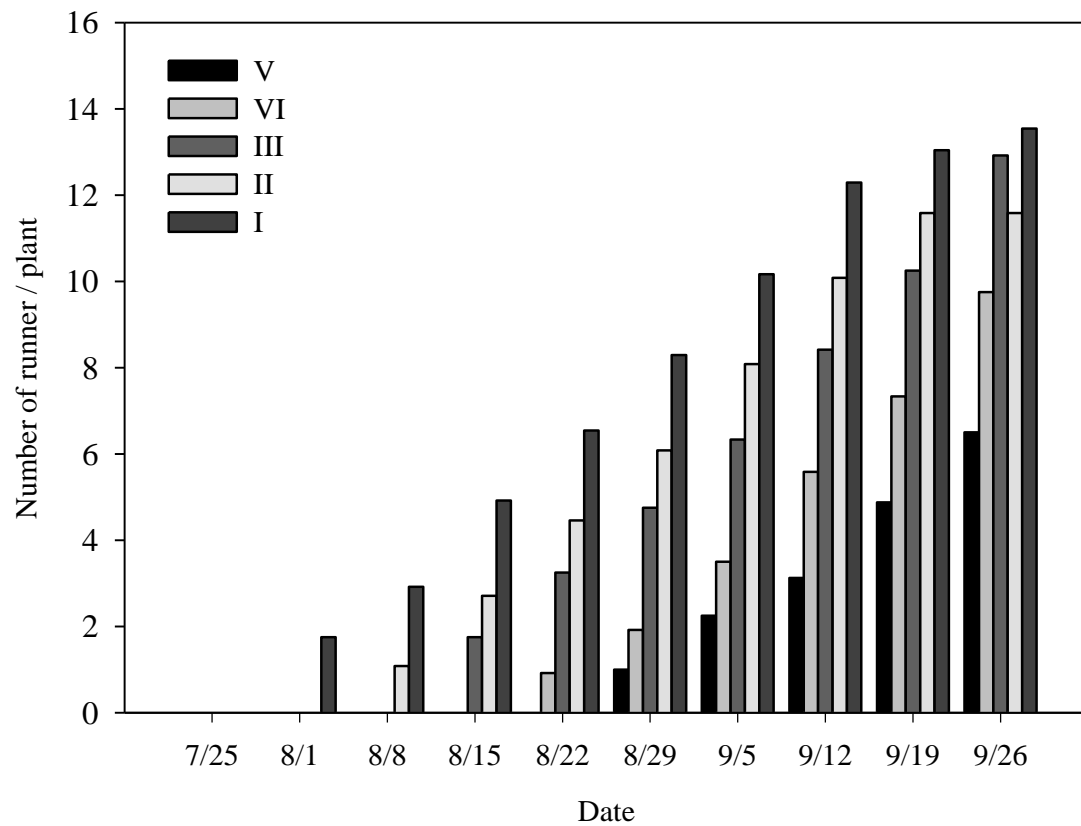


圖 16. 低溫短日處理期間‘桃園 1 號’草莓走莖生成的累積

Fig 16 . The accumulation of runner formation of the strawberry ‘Taoyuan No. 1’ during cool temperature and short photoperiods treatment. Treatment I started the experiment on July 25, 2013. Treatment II was on August 1. Treatment III was on August 8. Treatment IV was on August 15. Treatment V was on August 22. Runners were removed at the beginning of the treatment, and started to count from the next week.

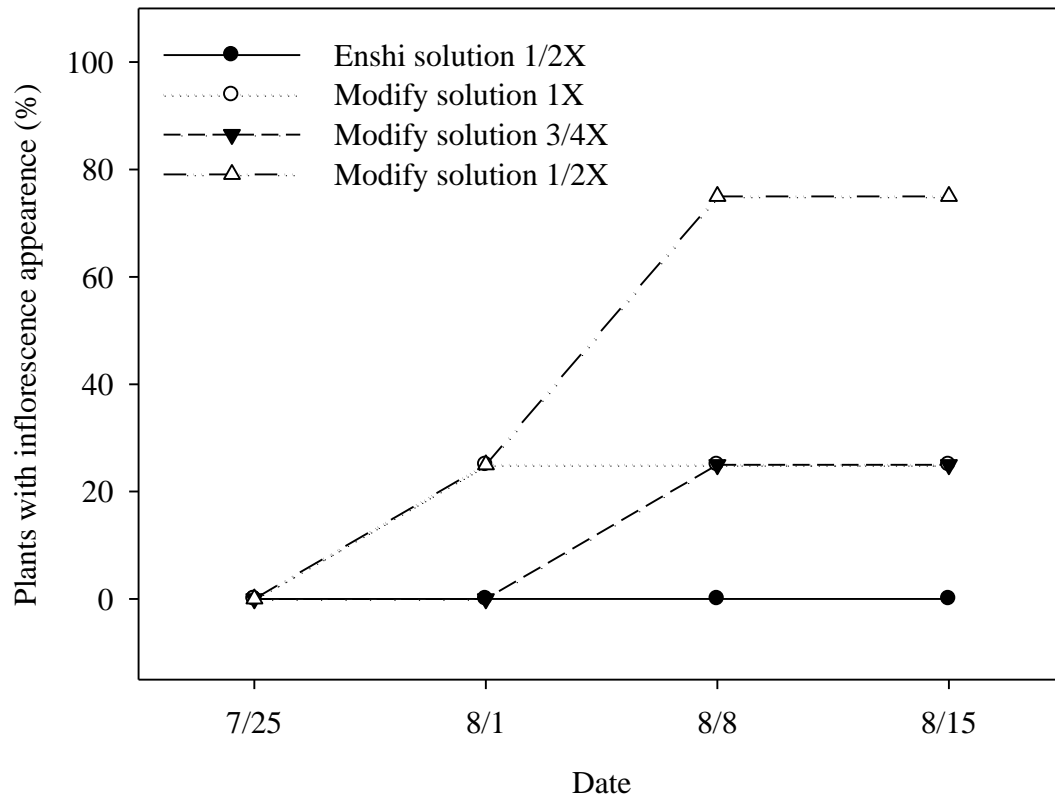
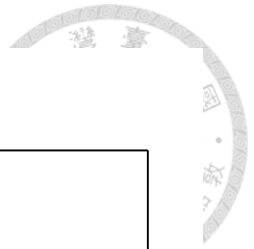


圖 17. 低溫短日期間養液對於‘桃園 1 號’草莓花序形成的影響

Fig 17. The effect of solution treatments on the formation of the inflorescence of strawberry ‘Taoyuan No. 1’ during cool temperature and short photoperiods treatment .

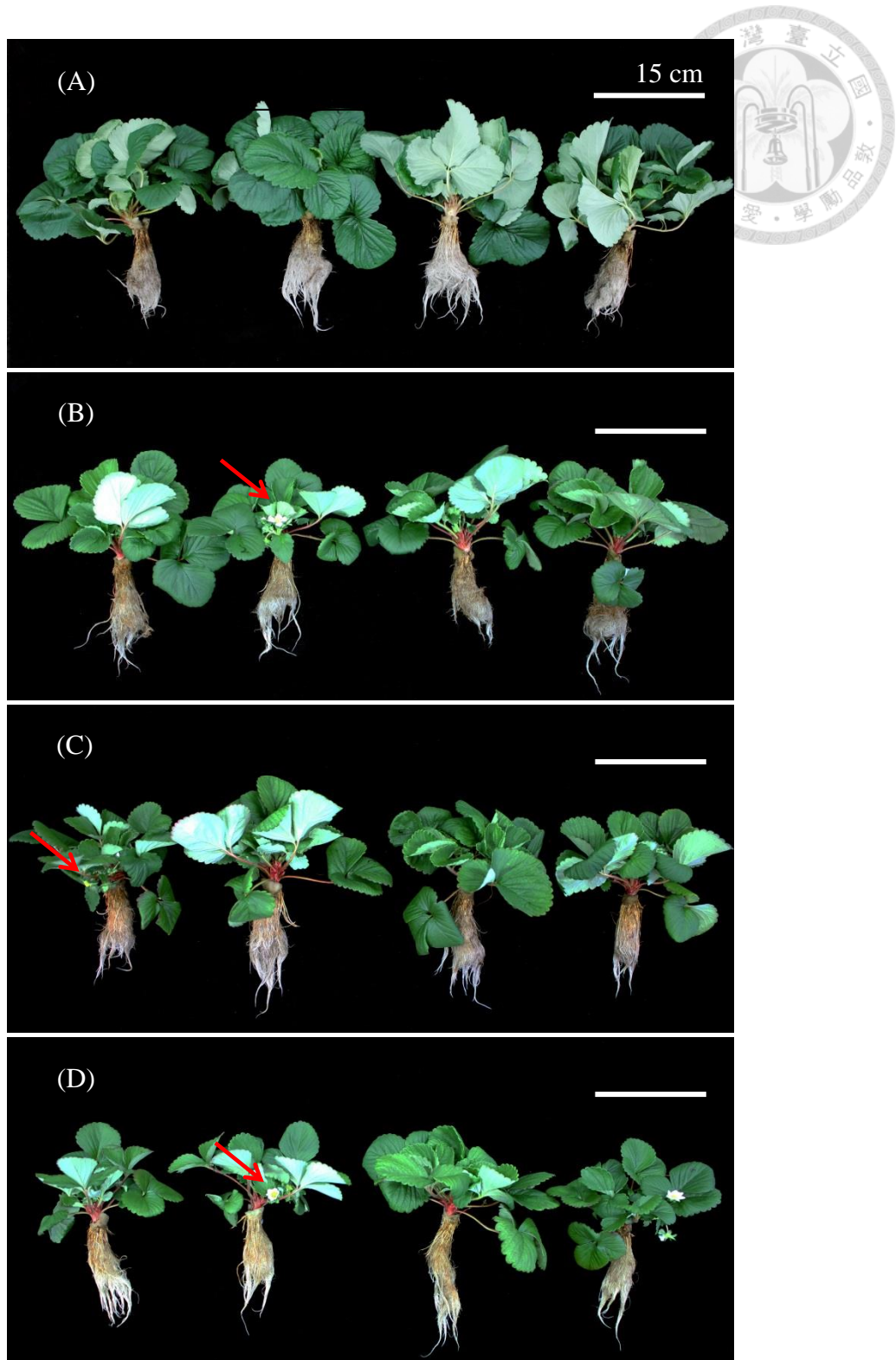


圖 18. '桃園1號'草莓在不同養液處理三週後的植株外觀

(A) Enshi solution 1/2倍 (B) Modified solution 1倍 (C) Modified solution 3/4倍
(D) Modified solution 1/2倍

Fig 18. Plant Morphology of the strawberry 'Taoyuan No. 1' after 3 weeks solution treatment. (A) Enshi solution 1/2X (B) Modified solution 1X (C) Modified solution 3/4X (D) Modified solution 1/2X

參考文獻



- 李心瑩. 1998. 利用低溫處理改變豐香品種草莓的生長發育期. 臺灣大學園藝學研究所碩士論文. 臺北.
- 李窓明. 1993. 臺灣草莓產業演進四十年. p. 315-328. 刊於：杜金池等編著. 臺灣蔬菜產業演進四十年專集. 臺灣省農業試驗所編印. 臺中.
- 李窓明. 2005. 草莓. p. 575-580. 刊於：臺灣農家要覽編著. 臺灣農家要覽 農作篇 (二). 行政院農業委員會. 臺北.
- 呂嘉彬. 2009. 摘除老葉、走莖與花對臺灣冬季草莓生長發育與生產之影響. 臺灣大學園藝學研究所碩士論文. 臺北.
- 洪瑜玟. 2013. 植物工廠水耕生產草莓走莖苗. 臺灣大學園藝暨景觀學系碩士論文. 臺北.
- 高德錚. 1991. 動態浮根式水耕系統之開發與利用. 臺中區農業改良場. 特刊第 27 號.
- 張廣森、彭淑貞、黃勝泉. 2009. 草莓產業的發展及展望. 苗栗區農業專訊 48:2-4.
- 古在豐樹. 2012. 方煒譯. 人工光型植物工廠. 財團法人豐年社. 臺北.
- 高辻正基. 2011. 方煒譯. 完全制御型植物工廠. 財團法人豐年社. 臺北.
- Austin, M. E. 1991. Short day induction of spring and fall crops in 'Sparkle' strawberry. *Adv. Hort. Sci.* 5:27-29.
- Bish, E.B., D.J. Cantliffe, and C.K. Chandler. 2002. Temperature conditioning and container size affect early season fruit yield of strawberry plug plants in a winter, annual hill production system. *Hort Sci.* 37:762-764.
- Breen, P.J., L. W. Martin, 1981. Vegetative and reproductive growth responses of three strawberry cultivars to nitrogen. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*

106:266-272.

Bringham, R. S., V. Voth and D. V. Hook. 1959. Relationship of root starch content and chilling history to performance of California strawberries. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 75:373-381.

Cocco, C., J. L. Andriolo, L. Erpen, F. L. Cardoso and G. S. Casagrande. 2010. Development and fruit yield of strawberry plants as affected by crown diameter and plantlet growing period. Pesq. agropec. bras. 45:730-736.

Darrow, G.M. 1966. The strawberry: History, Breeding and physiology. Holt, Rinehart & Winston, N.Y.

Dennis, F.G., Jr., J. Lipecki and C.-L. Kiang. 1970. Effects of photoperiod and other factors upon flowering and runner development of three strawberry cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95:750-754.

Dijkstra, J. 1989. The use of cold stored waiting-bed plants for a late harvest. Acta Hort. 265:207-214.

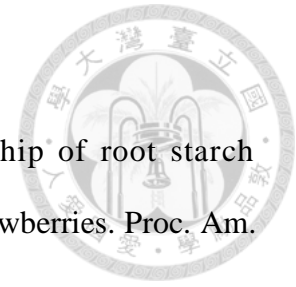
Durner, E.F and E.B. Poling. 1987. Flower bud induction, initiation, differentiation and development in the 'Earliglow' strawberry. Sci. Hor. 31:61-69.

Durner, E.F., J.A. Barden, D.G. Himelrick, and E.B. Poling. 1984. Photoperiod and temperature effects on flower and runner development in day-neutral, junebearing, and everbearing strawberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109:396-400.

Galletta, G.J. and R.S. Bringham. 1990. Strawberry management, p. 83-156. In: G. J. Galletta and D. G. Himelrick (eds.). Small fruit crop Mgt. Prentice-Hall, New Jersey.


Guttridge, C.G. 1985. *Fragaria xananassa*, p. 16-33. In: A. H. Halvey (eds.). CRC Handbook of Flowering. Vol. III. CRC Press. Boca Raton, Florida.

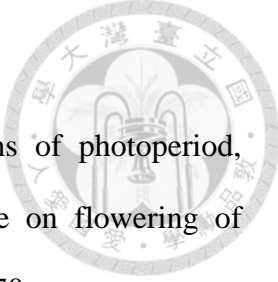
Hancock, J.F. 1999. Cultural systems, p. 111-129. In: J. F. Hancock (eds.). Strawberries.





- CAB International, Wallingfer, UK.
- Hancock, J.F. 2000. Strawberries, p. 445-455. In: A. Erez (eds.). Temperate fruit crops in warm climates. Kluwer Academic, Massachusetts, USA.
- Hartmann, H.T. 1947. Some effects of temperature and photoperiod on flower formation and runner production in the strawberry. *Plant Physiol.* 22:407-420.
- Heide, O.M. 1977. Photoperiod and temperature interaction in growth and flowering of strawberry. *Physiol. Plant.* 40:21-26.
- Johnson, C., T. Raiford, and K. Whitley. 2005. Initial crown diameter of transplants influences marketable yield components of two strawberry cultivars in annual hill production system. *Intl. J. Fruit Sci.* 5:23-29.
- Konsin, M., I. Voipio, and P. Palonen. 2001. Influence of photoperiod and duration of short-day treatment on vegetative growth and flowering of strawberry (*Fragaria xananassa* Duch.). *J. Hort. Sci. & Biotechnol.* 76:77-82.
- Lieten, F. 1997. Relations of digging date, chilling and root carbohydrate content to storability of strawberry. *Acta Hort.* 439:623-626.
- Lieten, F. and G. Goffings. 1997. Effect of temperature and controlled atmosphere on cold storage of strawberry plants. *Acta Hort.* 439:445-448.
- Lieten, F., J. M. Kinet, and G. Bernier. 1995. Effect of prolonged cold storage on the production capacity of strawberry plants. *Sci. Hort.* 60:213-219.
- Lieten, P., and B. Evenhuis, and G. Baruzzi. 2005. Cold storage of strawberry plants. *Intl. J. Fruit Sci.* 5:75-82.
- Lopez, S., J.V. Maroto, A. S. Bautista, B. Pascual, and J. Alagarda. 2002. Differences in carbohydrate content of waiting-bed strawberry plants during development in the nursery. *Sci. Hort.* 94:53-62
- Mohamed, F.H. 2002. Effect of transplant defoliation and mulch color on the

- 
- performance of three strawberry cultivars grown under high tunnel. *Acta Hort.* 567:482-485.
- Nicoll, M.F. and G.G. Galletta. 1987. Variation in growth and flowering habits of Junebearing and everbearing strawberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112: 872-880.
- Nishiyama, M. and K. Kanahama. 2000. Effect of temperature and photoperiod on the development of inflorescences in everbearing strawberry (*Fragaria xananassa* Duch.) plants. *Acta Hort.* 514:261-267.
- Proebsting, E.L. Sr. 1957. The effect of soil temperature on mineral nutrition of the strawberry. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 69:278-281.
- Reekie, J.Y., P.R. Hicklenton, J.R. Duval, and P.C. Struik. 2007. Dry matter partitioning in a nursery and a plasticulture fruit field of strawberry cultivars ‘Sweet Charlie’ and ‘Camarosa’ as affected by prohexadione-calcium and partial leaf removal. *Europ. J. Hort. Sci.* 72:122-129.
- Rice, R.P. and N. Duna. 1986. The effect of initial plant size on yield components of winter-planted strawberries in Coastal Lebanon. *J. Hort. Sci.* 61:201-203.
- Roberts, A.N. and A.L. Kenworthy. 1956. Growth and composition of the strawberry plant in relation to root temperature and intensity of nutrition. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 68:157-168.
- Scott, D.H. and F.J. Lawrence. 1975. Strawberries, p. 71-97. In: J. Janick and J.N. Moore (eds.). *Advances in Fruit Breeding*. West Lafayette, USA.
- Sønsteby, A. and A. Nes. 1998. Short days and temperature effects on growth and flowering in strawberry (*Fragaria xananassa* Duch.). *J. Hort. Sci. & Biotech.* 73:730-736.
- Sønsteby, A., N. Opstad, U. Myrheim and M. Heide. 2009. Interaction of short day and timing of nitrogen fertilization on growth and flowering of ‘Korona’ strawberry

- 
- (*Fragaria ×ananassa* Duch.). *Sci. Hort.* 123:204-209.
- Verheul, M., A. Sønsteby and S. O. Grimstad. 2006. Interactions of photoperiod, temperature, duration of short-day treatment and plant age on flowering of *Fragaria ×ananassa* Duch. cv. Korona. *Sci. Hort.* 107:164–170.
- Verheul, M., A. Sønsteby and S. O. Grimstad. 2007. Influences of day and night temperatures on flowering of *Fragaria ×ananassa* Duch., cvs. Korona and Elsanta, at different photoperiods. *Sci. Hort.* 112:200–206.
- Wang, S.Y. and M. J. Camp. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Sci. Hort.* 85:182-199.
- Way, D.W. and G. C. White. 1968. The influence of vigour and nitrogen status on the fruitfulness of Talisman strawberry plants. *J. Hort. Sci.* 43:409–419.