

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

草莓植物工廠循環式水耕系統栽培

Cultivation of strawberry in plant factory

using recirculating hydroponic system

黃珮甄

Pei-Chen Huang

指導教授：楊雯如 博士

Advisor : Wen-Ju Yang, Ph.D.

中華民國 107 年 11 月

November, 2018



致謝

兩年多的研究所生活即將畫下句點，這一路上充滿了歡笑、汗水與淚水，感謝一路上與我相伴的朋友，為我的研究所生涯增添色彩。

本論文能完成實屬不易，特別感謝我的指導教授楊雯如老師，給予我各種寶貴的意見，在研究上，指引我試驗的方向，提點我思考上的盲點，糾正我邏輯上的謬誤；在生活上，鼓勵我進行各種嘗試，讓我更有自信面對未來的各種挑戰，引導我坦誠面對自己的弱點，使自己成更好的人。感謝生機系方煒教授提供我至北京參加研討會的機會，讓我有機會能和來自各地的學生互相討論、切磋，並給予我試驗上的協助與建議。感謝羅筱鳳教授平時對我的關心以及口試上的協助。

我非常幸運能加入 227 這個充滿歡樂的大家庭，感謝實驗室前輩育如、漢強、上海和恩儀，平時對我的指導、提醒、關心以及解決我的各種疑難雜症，沒有你們我有很多事情無法完成，也感謝若瑛學姊，耐心的教導我關於植物工廠的一切事務，讓我能在短時間內就將植物工廠的工作上手，在我開始實驗後還提供我一些意見。感謝芳瑜和雅婷兩位夥伴，不管在課程上或是試驗上都一同奮鬥，感謝學弟妹晨翔、柏如、心卉與恩賢當我的小幫手，協助我進行調查，讓我能事半功倍。

本研究能完成，還倚靠了來自各界熱情的協助。感謝生機系的興穎、忠晏與家豪，協助我養液離子分析的工作，讓我省去了很多時間。感謝助理憶昇，能及時在植物工廠事務上給我協助，讓我能夠順利進行試驗。感謝胖丁學長，雖然工作忙碌，但仍抽出時間回答我的問題，給我草莓栽培上的建議。感謝家人願意全力支持我讀研究所，讓我能無後顧之憂。

由衷感謝一路上曾經協助過我的人們，不管是實質上提供試驗的協助，或是只是聽我吐苦水給我安慰的朋友，或是在我犯錯時原諒、包容我的朋友，你們都是讓我繼續前進的動力，沒有你們，我無法完成這本論文，再次衷心感謝各位。

2018.11.25 黃珮甄

摘要

植物工廠為一精密環控的設施，可以用以生產無病毒草莓苗及無農藥之果實。目前以循環式水耕系統生產走莖苗及果實的問題尚未解決；因此，本研究著重在建立循環式養液系統的栽培模式，並在溫室內評估走莖苗之後續生長。

Enshi 養液作為走莖苗生產之基礎養液， $N_{129\%}S_{90\%}$ 提高 29%的氮與降低 10% $MgSO_4$ 以評估走莖苗生產，養液配方對於母株生長沒有影響， $N_{129\%}S_{90\%}$ 單一母株每週可生產 1.83 子株，母株的生長趨勢在第二次養液更新後未再上升；因此建議最後一次子株採收後更新母株，平均每母株採收 37 子株，由 Enshi 養液改良的 $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液提高 7.8%的子株產量。 $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液有效減少 SO_4^{2-} 的累積與增加 NO_3^- 的供應，但養液 EC 及 pH 值變化較劇烈。走莖苗移植至溫室後，幾乎所有植株皆能順利成活。

循環式水耕系統花芽誘導最初以 Enshi 養液套用先前已建立之非循環式系統之生殖生長模式，評估‘桃園一號’與‘長柄’草莓的生殖生長，兩品種最終可見花序比率皆僅有 12%。由於誘導結束時恰逢養液更換，開花期氮肥驟然提高，多數植物回轉進行營養生長。因此規劃養液減氮試驗，在初始及補充養液中降低 Enshi 養液的氮含量。 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 及 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 分別恢復 100%及 93.33%植株開花，但減氮系統花序出現較慢，尤其是 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 。養液減氮試驗中的 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 能維持穩定的濃度，而 SO_4^{2-} 濃度持續上升， K^+ 及 NO_3^- 在減氮養液中供應較少，果實發育初期濃度不足，即使更換養液，採收時間仍比對照組非循環系統晚 6 至 7 日，且平均果重僅有 16 g，顯著低於非循環系統的 20 g。減氮養液雖可以解決循環式系統花芽誘導的問題，但營養不足以提供良好的果實生產，因此以循環式養液系統利用再誘導植株生產第 2 期果尚不可行。循環系統產果的系統仍須進一步研究，在花序誘導率問題解決後，還要避免造成植株營養缺乏。

關鍵字：草莓、循環式系統、植物工廠、走莖苗、開花

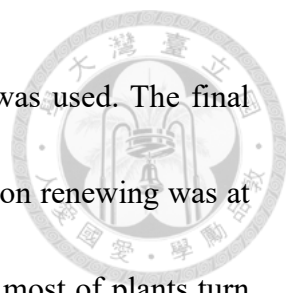
Abstract



Plant factory, a sophisticated environmentally controlled facility, could facilitate the production of virus-free strawberry daughter plants and pesticide-free fruits. At present, the problem caused by recirculating hydroponic system in daughter plants and fruits production has not yet been solved. Therefore, this study focused on the establishment of recirculating hydroponic system in strawberry daughter plants and fruit production. The growth of daughter plants was also evaluated in the greenhouse.

$N_{129\%}S_{90\%}$, Enshi solution with 29% nitrogen enhancement and 10% $MgSO_4$ decrease, was evaluated for daughter plants production. No difference between $N_{129\%}S_{90\%}$ and Enshi solution in mother plants' growth. $N_{129\%}S_{90\%}$ enabled 1 mother plant to produced 1.83 daughter plants per week in average. The growth of the mother plants was not promoted after the second solution renewing; therefore, the mother plants were suggested to be renewed after the final harvest, and each mother plants produced 37 daughter plants in average. The Enshi solution modification, $N_{129\%}S_{90\%}$, increased 7.8% of daughter plant production. $N_{129\%}S_{90\%}$ nutrient solution effectively decreased the SO_4^{2-} accumulation in addition to supply more NO_3^- , but the variation of EC and pH value were larger. Nearly all the daughter plants grew well after transferring to the greenhouse.

The flower induction in recirculating hydroponic system was first evaluated both 'Taoyuan No.1' and 'Changbin' strawberry by direct fitting the reproduction model



previously built in non-recirculation system which Enshi solution was used. The final inflorescence ratio of both cultivars was only 12%. Due to the solution renewing was at the end of floral induction, the dramatic increase of nitrogen forced most of plants turn back to vegetative growth. Therefore, a nitrogen-reduced nutrient solution experiment was programmed. We reduced nitrogen content of Enshi solution in both the initial and supplemental nutrient solution. N_{75%}+N_{50%} and N_{75%}+N_{75%} recovered the final inflorescence to 100% and 93.33%, respectively, but the appearance of inflorescence was slower in nitrogen-reduced nutrient program, particularly N_{75%}+N_{75%}. The concentration of Ca²⁺ and Mg²⁺ maintained stable and SO₄²⁻ was accumulating throughout the experimental period. The K⁺ and NO₃⁻ were less supplement in nitrogen-reduced nutrient solution and plants suffer depletion at the early fruit development stage which might resulted in delaying harvest by 6 to 7 days compared to non-recirculating control, and the delay could not prevent even if we renewed the solution. The average fruit weight was 16 g, which was significantly smaller than the average weight 20 g of non-recirculating system. In recirculating system, the nitrogen-reduced nutrient program could solve the problem of flower induction but the nutrient was not sufficient to offer good fruit production; therefore, the re-induced plants for the production of second bunch of fruits by recirculating hydroponic system was not applicable. Producing strawberry fruits in recirculating hydroponic system required more study to avoid nutrient deficiency after

the floral induction problem was solved.



Key word : strawberry (*Fragaria ×ananassa* Duch.), recirculating system, plant factory,

daughter plant, flowering

目錄



致謝.....	i
摘要.....	ii
Abstract.....	iii
表目錄.....	ix
圖目錄.....	x
前言.....	1
第一章 前人研究.....	2
一、草莓概述.....	2
二、草莓植株型態介紹.....	2
(一) 冠莖.....	2
(二) 葉片.....	3
(三) 根系.....	3
(四) 走莖.....	3
(五) 花器.....	3
三、草莓苗的育成.....	4
(一) 草莓苗的種類.....	4
(二) 影響走莖苗育成之因子.....	4
1. 植株的狀態.....	5
2. 光強度.....	5
3. 光週及溫度.....	5
4. 栽培管理.....	6
四、果實的生產.....	7
(一) 影響草莓開花的因子.....	7
1. 光週與溫度互作.....	7



2. 營養管理.....	7
(二) 影響草莓果實大小的因子.....	8
五、台灣草莓栽培歷史與現況.....	9
六、無土栽培.....	10
(一) 無土栽培之種類.....	10
(二) 水耕液管理.....	11
七、植物工廠.....	11
(一) 植物工廠定義.....	11
(二) 植物工廠發展歷史.....	12
(三) 植物工廠類型.....	12
第二章 材料與方法.....	14
一、試驗地點與設備.....	14
(一) 植物工廠.....	14
(二) 溫室.....	14
二、養液配方.....	14
三、植物材料.....	16
四、試驗處理.....	16
(一) 調整循環式養液硫酸鎂與氮濃度對走莖苗生產效率評估.....	16
(二) 循環式系統果實生產之評估.....	17
1. Enshi 養液對‘桃園一號’與‘長柄’草莓開花結果的影響.....	17
2. Enshi 減氮循環式養液配方對‘長柄’花芽分化的影響.....	18
(三) 再誘導植株對於果實生產之影響.....	18
五、調查項目.....	19
(一) 營養生長調查.....	19
(二) 生殖生長調查.....	20

(三) 養液元素分析.....	20
六、統計分析.....	20
第三章 結果.....	21
一、調整循環式養液硫酸鎂與氮濃度對走莖苗生產效率評估.....	21
(一) 母株的生長.....	21
(二) 養液分析.....	21
(三) 子株生長評估.....	22
二、循環式系統果實生產之評估.....	22
(一) Enshi 養液對‘桃園一號’與‘長柄’草莓開花結果的影響.....	22
(二) Enshi 減氮循環式養液配方對‘長柄’花芽分化的影響.....	23
1. 植株的生長.....	23
2. 養液分析.....	24
三、再誘導植株對於果實生產之影響.....	25
(一) 植株的生長.....	25
(二) 養液分析.....	26
第四章 討論.....	28
一、調整循環式養液硫酸鎂與氮濃度對走莖苗生產效率評估.....	29
二、循環式系統果實生產之評估.....	31
三、再誘導植株對於果實生產之影響.....	33
第五章 結論.....	35
參考文獻.....	101



表目錄

表 1. 養液配方對於‘桃園一號’草莓 20 週內單一母株及栽培床子株產量之影響...38	
表 2. ‘桃園一號’草莓栽培於 N _{129%} S _{90%} 與 Enshi 養液在第 9 至 16 週間每週消耗之養液量.....39	
表 3. 養液配方對於‘桃園一號’草莓走莖採收時子株平均發根週數之影響.....40	
表 4. 養液配方對於‘桃園一號’草莓單一走莖採收子株數之影響.....41	
表 5. 養液配方及發根週數對‘桃園一號’草莓子株葉片數之影響，葉片數於走莖採收時計算並將走莖上的子株依位置分類.....42	
表 6. ‘桃園一號’草莓子株移植至溫室之存活率.....43	
表 7. 養液配方及發根週數對‘桃園一號’草莓子株葉片數之影響，葉片數於子株定植於溫室 3 週後計算並將走莖上的子株依位置分類.....44	
表 8. ‘桃園一號’與‘長柄’在花序誘導與發育後冠莖數目之差異.....45	
表 9. 養液系統對於‘長柄’草莓冠莖數與花序數之影響.....46	
表 10. 養液系統對於‘長柄’草莓低溫短日處理至採收所需天數、平均果實重與可售果實比例之影響.....47	
表 11. 養液系統對於‘長柄’草莓產量之影響.....48	
表 12. 初次與再誘導之‘長柄’草莓冠莖數、花序數及花序可見至開花所需天數之差異.....49	
表 13. 初次與再誘導之‘長柄’草莓低溫短日處理至採收所需天數、平均果實重與可售果實之比例之差異.....50	
表 14. 初次與再誘導之‘長柄’草莓果實產量的差異.....51	

圖目錄



- 圖 1. '桃園一號'草莓產苗母株栽培於 (A) $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 (B) Enshi 養液之生長情形。影像擷取時為栽培第 13 週。.....52
- 圖 2. '桃園一號'草莓母株栽培於 $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 養液之累計走莖產量。.....53
- 圖 3. '桃園一號'母株在 $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 配方下每個栽培床各採收批次之 (A) 發根子株 (B) 未發根子株與 (C) 所有子株數量。.....54
- 圖 4. '桃園一號'草莓母株栽培於 $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 養液之最新展開葉 SPAD 值。...55
- 圖 5. '桃園一號'草莓產苗母株栽培於 $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 養液之累計葉片數.....56
- 圖 6. '桃園一號'草莓母株栽培於 $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 養液之葉面積變化。.....57
- 圖 7. '桃園一號'草莓栽培於 $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 養液下之 EC 值變化。.....58
- 圖 8. '桃園一號'草莓栽培於 $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 養液下補充養液前之 pH 值。.....59
- 圖 9. '桃園一號'草莓母株栽培於 $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 養液下之離子含量變化。.....60
- 圖 10. '桃園一號'草莓母株栽培於 $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 養液下之離子濃度變化。.....61
- 圖 11. '桃園一號'草莓採收子株之外觀 (A) 由左而右分別為發根 4 週、3 週及未發根子株 (B) 由左而右分別為發根 3 週、2 週及未發根子株 (C) 由左而右分別為發根 3 週及 1 週之子株 (D)發根 2 週之子株。.....62
- 圖 12. '桃園一號'草莓子株定植於溫室之外觀 (A)–(C)子株定植後 1 週之生長情形 (D)–(F)及(J)–(L)分別為(A)植株定植 2 週與 3 週 (G)(H)及(M)(N)分別為(B)植株定植 2 週與 3 週 (I)及(O)分別為(C)植株定植 2 週與 3 週。.....63
- 圖 13. '桃園一號'與'長柄'草莓花序形成之差異.....64
- 圖 14. '桃園一號'與'長柄'草莓在花序誘導與果實發育期間之累計葉片數.....65
- 圖 15. '桃園一號'與'長柄'草莓在花序誘導與果實發育期間之葉面積變化.....66
- 圖 16. '桃園一號'與'長柄'草莓在花序誘導與發育期間之累計走莖數.....67
- 圖 17. '桃園一號'與'長柄'草莓在花序誘導與果實發育期間之冠莖粗度變化.....68
- 圖 18. 循環式減氮系統及非循環系統對'長柄'草莓花序形成之影響，其中減氮循環

式系統包含 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} °.....	69
圖 19. 循環式減氮系統及非循環系統對花芽誘導與發育期間‘長柄’草莓之累計葉片數影響，其中減氮循環式系統包含 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} °.....	70
圖 20. 循環式減氮系統及非循環系統對花芽誘導與發育期間‘長柄’草莓之葉面積影響，其中減氮循環式系統包含 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} °.....	71
圖 21. 循環式減氮系統及非循環系統對花芽誘導與發育期間‘長柄’草莓之累計走莖數影響，其中減氮循環式系統包含 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} °.....	72
圖 22. 循環式減氮系統及非循環系統對花芽誘導與發育期間‘長柄’草莓最新展開葉之 SPAD 值影響，其中減氮循環式系統包含 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} °.....	73
圖 23. ‘長柄’草莓在循環式減氮系統及非循環系統花芽誘導期間 EC 值之變化，其中循環式減氮系統分為 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} °.....	74
圖 24. ‘長柄’草莓在循環式減氮系統及非循環系統花芽誘導期間 pH 值之變化，其中循環式減氮系統分為 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} °.....	75
圖 25. ‘長柄’草莓栽培於 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} 養液下花芽誘導及發育期間養液離子的含量變化.....	76
圖 26. ‘長柄’草莓栽培於 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} 養液下花芽誘導及發育期間養液離子的濃度變化.....	77
圖 27. ‘長柄’草莓在循環式減氮系統果實發育期間 EC 值之變化，其中循環式減氮系統分為 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} °.....	78
圖 28. ‘長柄’草莓在循環式減氮系統果實發育期間 pH 值的變化，其中循環式減氮系統分為 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} °.....	79
圖 29. ‘長柄’草莓栽培於 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} 養液下果實發育期間養液離子的含量變化.....	80
圖 30. ‘長柄’草莓栽培於 N _{75%} +N _{50%} 與 N _{75%} +N _{75%} 養液下果實發育期間養液離子的濃度變化.....	81

圖 31. 試驗開始時 (A) 初次與 (B) 再誘導‘長柄’草莓之生長情形。試驗結束時 (C) 初次與 (D)(E) 再誘導‘長柄’草莓之生長情形。.....	82
圖 32. 初次與再誘導之‘長柄’草莓之花序形成差異.....	83
圖 33. 初次與再誘導之‘長柄’草莓在花序誘導與果實發育期間之累計葉片數.....	84
圖 34. 初次與再誘導之‘長柄’草莓在花序誘導與果實發育期間之葉面積變化.....	85
圖 35. 初次與再誘導之‘長柄’草莓在花序誘導與果實發育期間之累積走莖數.....	86
圖 36. 初次與再誘導之‘長柄’草莓在花序誘導與果實發育期間之最新展開葉 SPAD 值.....	87
圖 37. 初次與再誘導之‘長柄’草莓花芽誘導與果實發育期間養液 EC 值的變化....	88
圖 38. 初次與再誘導之‘長柄’草莓花芽誘導與果實發育期間 pH 值的變化.....	89
圖 39. 初次與再誘導之‘長柄’草莓花芽誘導與果實發育期間養液離子的含量變化.....	90
圖 40. 初次與再誘導之‘長柄’草莓花芽誘導與果實發育期間養液離子的濃度變...	91

前言

草莓 (*Fragaria ×ananassa* Duch.) 為薔薇科 (Rosaceae) 多年生宿根性植物，栽培種為智利草莓 (*F. chiloensis*) 與北美洲維吉尼亞野草莓 (*F. virginiana*) 之雜交種。目前台灣主要的栽培種為‘桃園一號’，果實產季為 12 月至隔年 4 月。

臺灣夏季高溫多雨不利草莓植株生長且容易罹病，因此每年皆會清除田間的植株並在 9 月下旬至 10 月上旬重新定植 (李，2005)。傳統上，草莓的育苗方式為選取田間植株之相對強健走莖苗作為來年的育苗母株，未能確保植株不帶病，帶病育苗母株會影響子株的成活率以及生長勢，使草莓的產量降低。草莓的育苗期在高溫多濕的夏季，育苗期長達 6 個月以上，勤於管理的農民往往使用大量的農藥控制病蟲害，因此果實有大量的農藥殘留 (鐘等，2014)，疏於管理的農民，則造成嚴重的病蟲害問題；此外，過高的溫度會抑制走莖的生成，降低產苗量。

植物工廠為一精密環控的系統，可完全杜絕病蟲害，利用無病毒苗搭配水耕技術可在週年供應無毒健康種苗及果實。循環式水耕系統之養液可重複使用，更換頻率較非循環系統低，可有效節水 (高，1991)；因此循環式水耕為植物工廠量產走莖苗及果實的關鍵技術，營養生長及生殖生長的養分吸收效率可能差異甚大，瞭解重要離子濃度變化為訂定養液管理的基礎。本研究室前期利用磁驅式馬達循環系統栽培‘桃園一號’，並記錄其生長及養液中離子消耗狀況 (陳，2016)，本研究根據其養液分析結果調整養液配方並應用於走莖苗生產，評估走莖苗的生產效率以及養液離子的消耗狀況。此外，本研究室前期所建立植物工廠草莓果實生產屬非循環生產系統 (鄭，2014)，因此，本研究將評估循環式之花芽誘導及果實生產。

第一章 前人研究

一、草莓概述

草莓 (*Fragaria ×ananassa* Duch.) 為薔薇科 (Rosaceae) 多年生宿根性植物，目前栽培種為智利草莓 (*F. chiloensis*) 與北美洲維吉尼亞野草莓 (*F. virginiana*) 之雜交種。其果實鮮紅亮麗、香氣濃郁且富含維生素C，營養價值高，另外也可加工製成果醬、冰淇淋或酒，深受大眾喜愛 (李，2005)。

依草莓對光週的反應可分為相對短日型 (Junebearer)、長日型 (Everbearer) 及日中性型 (Day-neutral) 三種類型，現今商業品種類型為相對短日型及日中型草莓，長日型草莓僅在南加州有商業化生產 (Hancock and Sjulín, 2008)。

地毯式栽培系統 (matted row system) 及高畦栽培系統 (high hill system) 為兩種主要的栽培系統。地毯式栽培系統慣行於北美或歐洲等緯度高、冬季寒冷之區域，在春天定植相對短日型草莓，為促進走莖生長，於定植後的第一年拔除所有的花序，以增加來年果實產量，植株受到冬季的低溫而休眠，果實於隔年夏季採收，一年僅採收一次，每4至5年更新植株。高畦栽培系統則多應用在栽培日中性型及相對短日型草莓，其中日中性型對光週不敏感，在溫度不高於26°C時可順利開花結果，因此溫帶地區皆可種植，而相對短日型草莓僅在冬季溫暖的低緯度地區，如加州、佛羅里達、義大利或臺灣等地進行栽培，在秋末冬初時進行定植，生產果實時需拔除走莖以利果實發育，冬季花芽可持續分化，果實於冬末至春末採收，須每年更新植株 (Hancock, 1999；Hancock and Sjulín, 2008)。

二、草莓植株形態介紹

(一) 冠莖

草莓冠莖 (crown) 為一節間短之短縮莖，包含腋芽及葉芽，腋芽會隨著環境條件與營養狀態而分化為走莖、花序或側冠莖，葉芽則發育成葉片 (Darrow, 1966)。當冠莖的頂芽分化成花序後，下一節位的腋芽便會分化出側冠莖，使植株得以持續生長，而側冠莖在適當的環境下亦有可能進行花芽分化，進而增加果實產量 (Jahn and Dana, 1970)。冠莖數目對促進果實產量提升之效益依品種而異，將草莓‘Pajaro’依冠莖數目分成 1 至 5 個冠莖並評估其果重及產量，其果實重量不受冠莖數目影響，但具有 3 個冠莖之植株產量最高，具有 1 個及 5 個冠莖之植株產量最低；‘Oso



Grande'草莓則是冠莖數目不影響產量，但冠莖數目越多，果實重量越低 (López-Galarza et al., 1997)。

(二) 葉片

草莓為三出羽狀複葉 (pinnate trifoliate)，葉片以 2 輪 5 片葉的螺旋方式由冠莖抽出，第 6 片葉會與第 1 片葉重疊。當第 1 片葉發育時，其內部已有 5 至 7 片被老葉托葉所包覆的小葉片，草莓的葉間期 (plastochron) 受到溫度影響，約為 8 至 12 日，春夏會較秋天短 (Galletta and Bringhurst, 1990)。

(三) 根系

草莓為鬚根系 (fibrous root system)，根的生長與葉片發育模式相似，新生根會由冠莖上高於老根的位置發生，根長至 2 至 5 公分時便會分支，50%至 90%的根位在地表下 10 至 15 公分處。肉眼可見的根段包含根尖、根尖後白色根段與木質化深色且較粗的根段，大部分的水分及養分皆由白色根段所吸收，較老的木質化根段可吸收部分的水分，但主要負責傳導 (Dana, 1980；Galletta and Bringhurst, 1990)。

根圍溫度的高低會影響水耕草莓的生長，'Tochiotome' 草莓以湛水式 (DFT) 系統進行根溫試驗，植株地上部溫度維持 20°C，當根溫維持 30°C 時，養液中的溶氧量下降，根部的呼吸受到抑制，導致根部細胞活力下降，多數植株在栽培 2 個月內死亡；根溫維持在 10 及 20°C 時，植物的乾重、葉片數及 SPAD 值無顯著差異，但以根溫 10°C 之植株花序數略高於 20°C，顯示低根溫可以促進開花，但果實的抗壞血酸與可溶性固形物則不受根溫影響 (Sakamoto et al., 2016)。

(四) 走莖

走莖由腋芽分化而來，發育成熟的走莖具有節間與節點，單數節點通常會休眠，有時也會萌發出另一條走莖，而雙數節點則可發育成不定芽，而不定芽可分化出葉片及不定根，而形成新植株，稱為走莖苗 (runner plant) 或子株 (daughter plant)，在適當的環境條件下，子株在母株連結 2 至 3 週後切斷即可順利存活，走莖繁殖為草莓苗生產的主要方式 (Galletta and Bringhurst, 1990)。

(五) 花器

草莓為聚繖花序 (dichasial cyme)，由腋芽分化而來，花序抽出後，其頂端開出的第 1 朵花為一級花 (primary flower)，由主要花梗成對抽出側枝，形成 2 朵二級花 (secondary flower)，二級花梗上又會成對抽出側枝，形成三級花 (tertiary flower)，

花朵數目以等比級數增加。多數栽培種為兩性花，正常的花具有 10 個花萼、5 片花瓣、20 至 30 個雄蕊，雌蕊數則為 60 至 600，雌蕊數目會隨著花序的分枝而減少，造成果實變小，雌蕊在授粉後會發育成瘦果 (achene)，而主要食用部位為膨大的花托 (receptacle) (Galletta and Bringhurst, 1990；Hancock, 1999)。

三、草莓苗的育成

(一) 草莓苗的種類

定植於田間的草莓苗主要為走莖苗，走莖苗依定植時的狀態可分為裸根苗、容器育苗與冷藏苗 (cold-stored waiting bed plants)。裸根苗是在田間由健壯、未罹病的母株生產，待定植時再將子株連根崛起，若育苗期使用之土壤帶有病害，容易影響幼苗成活率與初期生長發育，造成產量降低；容器育苗具幼苗發育整齊、成活率高、需水量少、增加早期產量與總產量等特徵，冷藏苗為具有花芽但進入休眠的植株。溫帶地區入秋後的低溫短日可誘導植株形成花芽，但冬季的低溫又迫使植株進入休眠狀態，此時將走莖苗連根挖起，在拔除葉片與走莖並整理根系後，將之冷藏於-1°C 的黑暗中，隔年春天取出並定植，在溫度回升後，可以迅速開花結果。冷藏苗近年來被用於延長或提早產季，在英國、荷蘭及比利時等國皆有使用 (Dijkstra, 1989；Lieten, 2005)。容器育苗包含穴植管苗、軟鉢苗及穴盤苗 (plug plant)，其成本較裸根苗高，一般採高架栽培，以避免接觸土壤而感染病原菌，近年來逐漸取代裸根苗；穴植管苗與鉢苗需要誘植，將走莖牽引至填滿介質的容器裡進行發根，前者又因為較容易搬運，而更常被使用 (李, 1996；李, 2005；Durner et al., 2002)，穴盤苗為國外高畦栽培系統主要的走莖苗來源，育成方法為先採收走莖，再將具至少 2 片展開葉且有不定根之子株移至穴盤發根，植株的栽培需搭配遮陰及噴霧，以防止葉片萎凋 (Rowley, 2010)。

許多病原會經由走莖傳播，為獲得健康的走莖苗，需培育健壯、無病毒的育苗母株，組織培養苗為利用莖頂生長點培養而得之無病毒苗，具有生產成本高、走莖發育旺盛等特點，但組培苗可能會因為繼代次數過多、生長調節劑使用不當，造成側芽異常發生、果實小且易有畸形果，不利於果實生產，欲作產果用途須作為親株繁殖子株數代再定植於田間 (張, 2009；張與張, 2013)。

(二) 影響走莖苗育成之因子



1. 植株的狀態

子株的生成速率會受到產苗母株的品種及種類影響。Bish 等 (2002) 發現‘Oso Grande’產生走莖之能力比‘Sweet Charlie’強，而比較兩品種之組培苗、組培苗子株與一般走莖苗的繁殖效率效率，組培苗可生產最多子株，而一般走莖苗生產的子株最少。

子株的發育受到其發根期與母株連結否、大小及發出之節點位置影響。Treder 等 (2006) 發現‘Elsanta’子株在發根的前 2 週保持與母株相連可以大幅提升子株存活率，且生長較發根時未與母株連結之子株旺盛，其鮮重、冠莖粗度與根長度等數值皆較大；Freeman 與 Pepin (1971) 依鮮重將‘British Sovereign’冷藏苗分級，發現小於 5 g 之冷藏苗定植後存活率較 5 至 10 g 與大於 10 g 之冷藏苗低；Takeda 等 (2004) 將‘Chandler’將子株定植於穴盤發根，發現重量小於 0.9 g 的子株盤根率 (plug formation) 較 2.5 至 4 g 及 4 至 6 g 子株低。此外，離母株越遠的節點子株有重量較輕的趨勢，盤根率也隨之下降，但無顯著差異，因此，為了維持草莓苗的整齊度，建議不要定植過小的子株。

2. 光強度

光強度為限制植物生長的重要因子，提高光強度可以促進走莖苗的生產 (Smeets, 1955)，光合產物隨著光強度遞增而增加，因此更多的碳水化合物可以促進植物的生長發育 (Kinet et al., 1985)。Kim 等 (2010) 在 140、210 及 280 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的光強度下栽培草莓‘Maehyang’，發現走莖生成數目與子株數皆隨光強度提升而增加。為評估‘Maehyang’母株與子株對於光強度反應的差異，將相連的母株及子株放入不同的光強度環境栽培，光強度分為 100、200 及 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，共有 9 種光度組合，母株環境中的光強度遞增，其葉片數及乾物重也隨之增加，但提升子株環境的光強度，對子株的生長影響有限，子株的生長仍受母株影響，母株環境的光強度才是影響植物生長的關鍵 (Park, 2017)。

3. 光週及溫度

走莖的發育會受到光週及溫度的影響，長日可以促進走莖生長，在適當的溫度範圍內下，高溫可以促進走莖發育，但品種間有差異。相對短日型草莓‘Abundance’以 12、18 及 24°C 分別栽培於光週 10、12、14、16 及 24 h 的環境，走莖數目隨著栽培溫度的上升與日長延長而增加，但在 18 及 24°C 時，光週 16 及 24 h 的走莖生成數量差

異不大 (Heide, 1977)。相對短日型草莓‘Honeoye’栽培於14、17、20、23、26與29°C下並搭配長日 (16h) 或短日 (9h)，結果顯示短日下走莖不會生成，長日下在20至26°C間的走莖數會隨溫度上升而遞增，過低及過高的溫度皆不利走莖生成 (Bradford et al., 2010)。Konsin等 (2001) 也發現相對短日型草莓‘Korona’走莖生成隨光週增加而上升。對相對短日型草莓而言，在適宜的溫度下，走莖數會隨溫度上升而增加，延長日長可以增加走莖生成數。

日中型草莓‘Tribute’與‘RH30’分別栽培於14、17、20、23、26與29°C下並搭配長日 (16h) 或短日 (9h)，發現長日較短日能產生更多走莖，但品種差異非常大，‘Tribute’在適宜的環境下16週內最多可生成60條走莖，但‘RH30’只有7條；溫度對日中型草莓走莖的生產量則會因品種而異，長日下‘Tribute’在23°C下生成最多走莖，‘RH30’的走莖生成數隨著溫度升高而提升 (Bradford et al., 2010)，顯示光週期的增加可以促進日中型草莓生成走莖，但品種間走莖的生產能力有很大的差異。

將長日型草莓‘Rita’栽培於9、15、21及27°C下，並搭配連續光照或短日10 h，連續光照下產生之走莖比短日多，栽培溫度15及21°C搭配連續光照可產生最多走莖，7週內約可產生2條，短日下僅有27°C產生走莖，在7週內約可生產1條走莖 (Sønsteby and Heide, 2007)。由於長日型草莓在長日下可連續開花，與走莖發育競爭養分，導致走莖生成數量較少 (Nicoll and Galletta, 1987)。

走莖苗的育成溫度會影響根的發育，Saito等 (2008) 將走莖苗置放在5、10、15、20、25及30°C的環境下發根5日，結果顯示15及20°C之走莖苗發育最多根系，5及30°C發根數最少；比較發根前儲存溫度及栽培溫度對於走莖苗發根的影響，處理分為以5、15及30°C儲存2日，再分別移至相同處理溫度發根5日，及先以5°C儲存2日再移至30°C發根5日，結果顯示儲存與發根維持在15°C之處理與儲存5°C再移到30°C的處理效果最佳，而儲存與發根維持在30°C之處理最差，低溫可以促進根原體的創始，高溫則會抑制或破壞根原體創始，因此欲在夏季栽培走莖苗，建議事先冷藏走莖苗再定植。

4. 栽培管理

氮肥與栽培密度皆會影響草莓的走莖數，草莓‘Festival’分別以40、80、120及160 mg·L⁻¹的氮濃度灌溉，在其餘養分供應相同的條件下，在80與120 mg·L⁻¹之N濃度下能生成較多走莖 (Cantliffe et al., 2007)；Cárdenas-Navarro等 (2006) 在相

同氮濃度下，調整栽培液中的銨態氮與硝酸態氮的比例，兩者的比例分別為 0:4、1:3、2:2、3:1 與 4:0，結果顯示 2:2 銨態氮與硝酸態氮比例生產的子株數目顯著多於純銨態氮，且當銨態氮比例大於 50% 時，不利於子株的乾物重累積；Treder 等 (2007) 分別在每平方公尺種植 12 及 24 株 'Elsanta' 草莓，密植會造成植株的走莖生成數降低，但就單位面積的產量討論時，密植的走莖產量比疏植高 13.8%。

四、果實的生產

(一) 影響草莓開花之因子

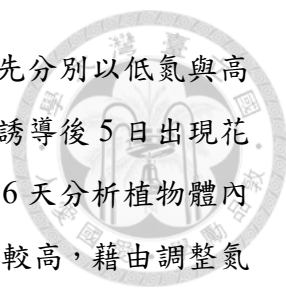
1. 光週與溫度互作

相對短日型草莓開花受溫度及光週期交互作用影響。草莓 'Zefyr'、'Jonsok'、'Senga Sengana' 及 'Abundance' 栽培於 12、18 及 24°C 下，分別以光週 10、12、14、16 及 24 h 處理，結果顯示 12°C 的臨界日長為 16 h，18°C 的臨界日長為 14 h，24°C 的臨界日長為 12 h，各品種開花的趨勢類似，臨界日長隨栽培溫度降低而延長，花朵數則隨溫度降低而增加，在光週大於 12 h 時，花朵數隨光週上升而減少；連續光照下，'Senga Sengana' 及 'Abundance' 開花皆被抑制，但 'Zefyr' 及 'Jonsok' 在 12 及 18°C 連續光照下仍可開花，顯示相對短日型草莓對於光週及溫度的反應因品種而異 (Heide, 1977)。在 14、17、20、23、26 與 29°C 下栽培 'Honeoye' 並搭配長日 (16 h) 與短日 (9 h) 處理，開花在溫度高於 26°C 時被抑制；23°C 時僅有短日開花，為絕對短日之光週反應；20°C 短日開花狀況較長日佳，為相對短日之光週反應；17°C 時短日花序較快形成，但長日最終花序數目較多；14°C 則是長日產生之花序較多，為相對長日之光週反應，顯示溫度會影響相對短日型草莓的光週反應 (Bradford, 2010)。

長日型草莓 'Rita' 栽培於 9、15、21 及 27°C 下，並搭配連續光照及短日 10 h，連續光照下，花朵數及開花速率隨溫度上升而增加；短日下，21°C 植株開花比例最高 (Sønsteby and Heide, 2007)。Nishiyama 與 Kanahama (2000) 評估長日型草莓 'SummerBerry' 最適開花條件，在日夜溫 30/25°C 下，以 11、12、13、14、15 及 16 h 光週處理，發現光週大於 14 h 可促進開花。

2. 營養管理

Klebs (1918) 提出植物體內的碳水化合物及氮之比例會影響植物的花芽分化，



增加植體內的碳氮比會促進植物生殖生長。Yamasaki 等 (2000) 先分別以低氮與高氮栽培‘豐香’草莓一個月後，進行花芽誘導，低氮處理的植株在誘導後 5 日出現花序，但高氮處理至誘導後 11 日皆未出現花序，誘導開始後的第 6 天分析植物體內的碳氮比，發現低氮處理之植物體內的碳含量較高，其碳氮比亦較高，藉由調整氮肥供應量可以控制植物的生長。適度的氮肥可以促進植物的生殖生長，Breen 與 Martin (1981) 比較不同的氮濃度下相對短日型草莓生長的差異，結果顯示植物的花朵數、花序數皆隨著氮肥供應增加而增加，但過多的氮肥反而會抑制花序及側冠莖的發生。

氮肥施用時機會影響草莓‘Korona’的開花表現，在花芽誘導的前 2、1 週、花芽誘導當週與花芽誘導後 1、2 及 3 週進行增氮的處理 3 週，並以每週施用一次 $8.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之氮肥為對照組，花芽誘導前或當週增加氮肥會增加到花天數，而花芽誘導後再增加氮肥則會降低到花天數，氮肥的施用對於冠莖數目不會有影響，但增加氮肥供應可有效增加花序數及花朵數，顯示花芽誘導期後 3 週施用氮肥有助於開花及花序發育，花序的增加代表一級果增加，可以增加果實的大小與產量 (Sønsteby et al., 2009)。另外，以低溫短日誘導‘豐香’草莓 20 日，分別在誘導開始的第 0、5、10 及 15 日增加 N、P 及 K^+ 的供應處理 2 日，並以未施用肥料之處理為對照組，結果顯示在花芽誘導後 10 及 15 日施用肥料可以縮短到花天數，推測原因為當花序分化時需要更多的氮肥供應花器生長 (Yamasaki and Yano, 2008)。

(二) 影響草莓果實大小的因子

果實的大小主要受到瘦果數目影響，草莓的食用部位為花托，花托的發育受到瘦果的調節，膨大的瘦果含有大量的生長素，會影響果實的大小 (Nitsch, 1950)；瘦果的數目與品種、花序上的位置、溫度有關，瘦果數隨著花序的分支而遞減，導致第 2、3 及 4 級果的重量分別為第 1 級果的 90%、35%至 55%及 25%至 40% (Valleau, 1918)；其亦會隨著栽培溫度的降低而增加，當日夜溫為 $16/11^\circ\text{C}$ 時，‘豐香’ (‘Toyonoka’) 及‘女峰’ (‘Nyoho’) 草莓能產生最多瘦果 (森, 1998)，另外，去除第 1 或 2 級果可以增加平均果重，但不會增加總產量，而同時去除第 1 及第 2 級果則無法增加平均果重及總產量 (Khanizadeh et al., 1993)。

果實重量與數目呈現反比關係，Rindom 與 Hansen (1995) 對‘Dania’草莓分別施用 1、4、9 及 $20 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氮肥，隨著氮濃度的上升，植物會產生較多的花序，

進而增加果實數目，雖然能提高總產量，卻造成果實的重量下降。



五、台灣草莓栽培歷史與現況

台灣最早栽培草莓的歷史可追溯至 1934 年，當時由日本引進 9 個品種於陽明山試種，但抗病力差，無法行經濟栽培，1940 年代末期引進‘馬歇爾’(‘Marshall’)及‘福羽’後，開始有小規模的經濟栽培，之後更替為‘愛利收’(‘Aliso’)，當時的草莓皆為加工用途；‘春香’在 1982 年開始推廣後，台灣的草莓栽培由加工轉成鮮食，現今主要栽培品種‘桃園一號’則是從日本引進之‘豐香’選育而來 (李, 1993; 李, 2005)。根據農糧署 2017 年的統計資料，全台灣草莓的耕地面積為 500.33 公頃，苗栗縣占了 449.93 公頃，以大湖鄉栽培最多，面積為 374.74 公頃，其次是獅潭、卓蘭、泰安與公館等鄉鎮 (行政院農委會，農情報告資源網)。

台灣草莓的主要產區位在亞熱帶，日長介於 10.75 至 13.5 h 間，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。走莖苗於 9 月下旬至 10 月上旬定植，採雙行植，行株距 20 至 30 公分，為了防止養分競爭，定植初期農民會拔除走莖以利生殖生長，同時也會培育健壯母株的走莖成為來年的育苗母株，定植後約 1 個月植株能感受光週及溫度變化而開始進行生殖生長並持續花芽分化，果實產期約從 12 月開始，並持續至翌年 4 月，約可採收 3 至 4 期果 (李, 2005; 呂, 2009; 洪, 2013)。

栽培於田間的草莓主要病蟲害有青枯病 (bacteria wilt)、炭疽病 (Anthracnose)、萎凋病 (Fusarium wilt)、葉芽線蟲 (leaf nematode) 及二點葉蟎 (two-spotted spider mite) 等，其中炭疽病為近年來草莓育苗的重要病害，炭疽病由真菌引起，一年四季皆可存活於草莓植株上，其分生孢子可藉由水、風力及帶病走莖傳播，台灣夏季高溫多濕，為炭疽病散播的溫床，染病的植株葉柄、走莖及冠莖變黑，根系褐化、腐爛，造成植物萎凋死亡。炭疽病造成民國 100 年 9 月底至 10 月初定植的草莓補植率超過 25%，調查發現草莓苗的來源為同一育苗業者，顯示草莓苗期病害管理的重要性 (李和呂, 2004; 鐘與彭, 2013)。

缺乏健康種苗導致近年來 10 月時草莓苗價格飆漲，田間甚至出現缺苗的現象。植物工廠為一可杜絕病蟲害之密閉空間，應用組織培養及水耕栽培技術可以在植物工廠內生產無病毒苗，而植物工廠、溫室及田間高架床系統的結合，可以建構健

康三級種苗體系，組培苗於植物工廠出瓶及馴化後成為第一級苗，第一級苗所生產之子株稱為第二級苗母株；第二級苗母株會被移至溫室高架床上盆，並生產第二級苗或稱第三級苗母株；第三級苗母株被移至田間高架床後生產的子株為第三級苗，第三級苗則定植於田間生產果實，健康三級種苗體系能穩定提供無毒健康種苗，解決目前草莓的育苗困境 (陳，2016)。

六、無土栽培

無土栽培 (soilless culture) 為不以土壤而以其他資材作為栽培介質固定植物根部的生產模式，其介質包含蛭石 (vermiculite)、珍珠石 (perlite)、岩棉 (rockwool) 及泥炭苔 (peat moss) 等，植物所需營養如氮 (N)、磷 (P)、鉀 (K)、鈣 (Ca)、鎂 (Mg) 及硫 (S) 則調配於水中的栽培模式。無土栽培大多需要搭配設施使用，因此產量較不易受天候、地力、連作障礙及病蟲害影響，可週年生產、單位面積產量高且作物品質佳，不過初期投入成本較高 (高，1991)。

(一) 無土栽培之種類

無土栽培根據栽培介質固體形狀之有無分為固形介質栽培及非固形介質栽培，固形介質栽培之植物根部可固定於介質上，常用介質包含發泡海綿、蛭石、珍珠石、岩棉及不織布等；非固形介質栽培之植物根部會暴露於濕空氣或浸潤於養液中，根據栽培床內之養液多寡可分為湛水式 (deep flow technique, DFT) 及淺水式或稱養液薄膜 (nutrient film technique, NFT)，前者栽培槽內養液高度在 8 至 15 cm 之間，後者養液高度約為 1 至 3 公分，使部份根系暴露於空氣中，有利根系吸收氧氣，而噴霧耕 (mist spray) 為定時將養液以噴霧狀送至植物根部 (高，1991)。依照養液的回收與否，可將栽培系統分為循環式 (recirculation system; closed system) 及非循環式系統 (non-circulation system; open system)，前者使用過的養液經補充並調整 pH 值後，使養液再度回到栽培系統中，非循環式系統則是將使用過的養液直接排出，便重新注入養液，循環式系統比非循環系統能省下 10% 至 50% 的用水量 (Nederhoff and Stanghellin, 2010)。

循環式栽培系統卻存在著一些問題，首先是病蟲害問題 (Ehret et al., 2001)，若管理不當，病原菌可能會藉由水耕液散播；其次是某些植物如菸草、番茄、洋桔梗及草莓等其根部會分泌的酚類或有機酸，這些物質使植物的生長受到抑制，常見的

有機酸包含苯甲酸 (benzoic acid)、琥珀酸 (succinic acid) 和己二酸 (adipic acid) 等，其中苯甲酸會抑制草莓的生長，造成果實產量的下降，目前有電降解法 (electrodegradation)、添加活性碳與養液過濾等方法以解決養液中有機酸的問題 (Asao et al., 2008 ; Kitazawa et al., 2005 ; Steinkellner et al., 2008 ; Waechter-Kristensen et al., 1999)；另外養液中離子的吸收效率依作物的種類、狀態及環境條件而異，若無法即時監控養液中各離子的濃度，使離子維持在固定的濃度範圍內，則植物可能會出現營養不良或毒害的徵狀，因此若要長期以循環式系統栽培作物，其補充模式需要經過謹慎的評估。

(二) 水耕液管理

培養液的水源可能來自於井水、自來水、雨水等，但某些區域之水源不適宜作為水耕液，如沿海地區的水質須注意氯 (Cl^-) 及鈉 (Na^+) 的濃度，當 Na^+ 的濃度高於500 ppm時， K^+ 、 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 的吸收會受到抑制，而 Cl^- 的濃度只要不超過100 ppm基本上問題不大，另外，位於石灰岩地的水源pH值若大於7.5，易出現缺乏Fe、Mg與P缺乏問題，且硝酸鈣將無法溶解而呈灰色懸浮 (高，1991；沈，2009)。

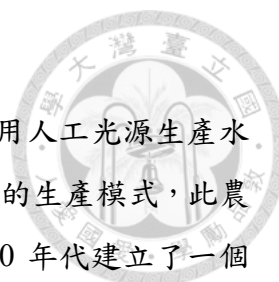
配置養液時，所有植物所需的肥料皆需完全溶於水，才能供給植物吸收，為了防止養液在配置時沉澱，建議養液在調配分為A液、B液，A液以磷酸鹽為基礎，所有不會與磷酸沉澱之離子皆可配置於同一母液，B液則以鈣鹽為基礎，不易與鈣沉澱之離子皆可配置於同一母液 (高，1991)。

另外，養液濃度與電導度具關連性，可以由EC值的變化得知養液的消耗狀況，但無法得知各別離子在養液中的確切濃度，養液的pH值以介於5.5至6.5間為佳，過低會造成N、P、K與Ca等元素吸收不良，過高則引起Fe、Mn、B等元素缺乏，常用於調整養液pH值之化合物包含 (H_2SO_4)、磷酸 (H_3PO_4)、氫氧化鈉 (NaOH) 及氫氧化鉀 (KOH) 等 (高，1991；沈，2009)。

七、植物工廠

(一) 植物工廠定義

植物工廠以栽培蔬菜或種苗等作物為主，在設施內以人工的方式控制光、溫度、濕度、二氧化碳濃度、培養液等環境條件，不受季節或場所限制，可自動連續生產的系統 (高辻，2007)。



(二) 植物工廠發展歷史

最早的植物工廠出現於 1957 年，由丹麥 Christensen 農場使用人工光源生產水芹嫩芽，北歐的氣候受限於溫度及光週，很早即發展出人工補光的生產模式，此農場便可視為太陽光利用型植物工廠。奧地利 Rusuna 公司在 1960 年代建立了一個 30 m 的玻璃溫室，採立體式栽培，為首座立體式自動化植物工廠。美國 General Electric 在 1960 年代開始研究完全控制型植物工廠，意即僅使用人工光源的植物工廠，該公司為最早開發的企業，其後 General Foods、General Mills 與 Phytopharm 公司也相繼投入研究，但因無法達成收支平衡，在 1990 年代皆停止開發。日本首座實用化植物工廠則是在 1980 年代成立，為太陽光利用型植物工廠，主要生產蘿蔔嬰；而日本第一座實用化完全控制型植物工廠則是 1983 年成立，當時以高壓鈉燈作為光源生產萵苣 (高辻，2007)。

(三) 植物工廠類型

植物工廠依光源之利用模式可分為太陽光利用型、僅使用人工光源的完全控制型及人工光源及太陽光併用型植物工廠 (高，1991；高辻，2007)。植物依生產系統可分為開放型 (open)、半封閉型 (semi-closed) 及封閉型 (closed)。田間露地栽培為開放型系統，其栽培受環境影響甚鉅；半封閉型如隧道棚與太陽光型植物工廠，與外界環境稍有阻隔，因此作物能較不受環境影響；密閉型如人工光型植物工廠，完全和外界環境隔離，室內環境不受氣候影響 (古在，2011)。

太陽光型植物工廠以太陽光作為栽培光源，在一般設施的玻璃溫室或塑膠布溫室加裝自動化調節設備，為溫室水耕栽培的延伸型態，常用於生產葉菜類或番茄、草莓、玫瑰等生長期較長之作物，但太陽光型植物工廠易受天候影響，無法進行週年生產且僅能使用平面栽培 (高，1991；高辻，2007)。

完全控制型植物工廠需使用不透光且隔熱的資材，其內部環境不受外界環境干擾，完全以人工光源栽培，因此可使用立體式栽培床，以電腦控制栽培環境的光週、溫度、CO₂ 濃度、濕度及水耕液，建造成本高，導致較不易達成收支平衡，另外人工光源的亮度與波長與太陽光仍有差異，較不適合應用在生育期長、需光性強的作物，主要生產萵苣、菠菜與香草類等葉菜 (高，1991；高辻，2007)。

人工光源及太陽光併行植物工廠可利用太陽光供應植物生長並將太陽能儲存，太陽能可作為調節溫度的能源，此系統具有遮光設備、空調設備及人工補光的光源，

相較於完全控制型植物工廠省電，且具有較高的日射量，能栽種生育期較長之作物，和太陽光型植物工廠相比，併用型較不受天候影響，具週年生產性(高，1991)。



第二章 材料與方法



一、試驗地點與設備

(一) 植物工廠

試驗地點位於國立臺灣大學人工光型植物工廠 A3、B1 與 B2 室，A3 室進行種苗繁殖試驗、B1 及 B2 室進行花芽誘導試驗。三室皆各有 4 個層架，每架層架有 3 至 4 層栽培床，每栽培床配有栽培槽與 9 支燈管，栽培槽為長 110 cm、寬 50 cm、高 8 cm 之黑色塑膠水盤，最高容水量為 40 L，人工光源位在栽培床上 25 cm 處。A3 室之燈管為 Philips TL5 28W/865 6500K，層架上實際光強度從燈下 5 公分至栽培板之光度為 360 至 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，B1 與 B2 室之燈管為 Wellypower T5 FH 28W/865 6500K，燈管上方搭配反光片，層架上實際光強度從燈下 5 公分至栽培板之光度為 320 至 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。A3、B1 及 B2 室內皆配有 2 台分離式變頻冷氣進行控溫，A3 室的為 RX50JVLT (Daikin, Japan)，B1 與 B2 室為 CU-K50CA2 (Panasonic, Japan)。

A3 與 B1 室皆以循環式系統進行試驗，栽培層架下具有一個 120 L 之儲液桶，儲液桶初始時具有 90 L 養液，每層栽培床則保持 30 L 之養液，利用磁驅式馬達將養液由儲液桶往上運送至各栽培槽，溢流的養液則順著水管回流至儲液桶，每週補充一次養液或水，並以 H_2SO_4 或 NaOH 調整 pH 值至 6.5，更換養液時機則是依各試驗需求而定。B2 室則是以非循環系統進行試驗，每 2 週更換 1 次養液，新注入的養液須將 pH 值調整至 6.5，更換養液的隔週補充一次養液，使養液保持在 30 至 25 L 之間。

(二) 溫室

採收之子株定植於國立臺灣大學四號館旁之溫室，內有一架風扇及 3 個栽培床。此溫室遮陰程度嚴重，晴天時栽培床上之光度為 26 至 19 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

二、養液配方

日本園試處方 (Enshi) (Kitazawa et al., 2005) 為洪 (2013) 選出最適合非循環系統草莓栽培之配方。根據陳 (2016) 之循環式養液分析結果，調整 Enshi 養液的配方，將氮濃度調高 29% 並降低 10% 硫酸鎂濃度，稱為 $\text{N}_{129\%}\text{S}_{90\%}$ 。減氮之配方則是以 Enshi 養液作為基礎，調降氮含量至 75% 及 50%，且減氮配方之鉀濃度亦較

Enshi 養液少 54%，磷濃度則是比 Enshi 養液高約 3 倍，稱之為 Modified E N-75 及 Modified E N-50 (陳，2016)，以下簡稱 N_{75%}及 N_{50%}。以 N_{75%}及 N_{50%}為基礎，進一步調降 MgSO₄ 濃度至 60%，稱之為 N_{75%}S_{60%}及 N_{50%}S_{60%}。以下為各配方之離子濃度：

(一) Enshi :

N : 40.62 mg·L⁻¹ (NH₄-N : NO₃-N = 8 : 92) 、 P : 6.96 mg·L⁻¹ 、
K : 52.08 mg·L⁻¹ 、 Ca : 26.87 mg·L⁻¹ 、 Mg : 8.22 mg·L⁻¹ 、 S : 10.91 mg·L⁻¹ 、
Fe : 1.26 mg·L⁻¹ 、 B : 0.09 mg·L⁻¹ 、 Mn : 0.11 mg·L⁻¹ 、
Cu : 2.12 μg·L⁻¹ 、 Zn : 8.33 μg·L⁻¹ 、 Mo : 1.32 μg·L⁻¹ 。

(二) N_{129%}S_{90%} :

N : 52.29 mg·L⁻¹ (NH₄-N : NO₃-N = 17 : 83) 、 P : 6.96 mg·L⁻¹ 、
K : 52.08 mg·L⁻¹ 、 Ca : 26.87 mg·L⁻¹ 、 Mg : 7.40 mg·L⁻¹ 、 S : 9.82 mg·L⁻¹ 、
Fe : 1.26 mg·L⁻¹ 、 B : 0.09 mg·L⁻¹ 、 Mn : 0.11 mg·L⁻¹ 、
Cu : 2.12 μg·L⁻¹ 、 Zn : 8.33 μg·L⁻¹ 、 Mo : 1.32 μg·L⁻¹ 。

(三) N_{75%} :

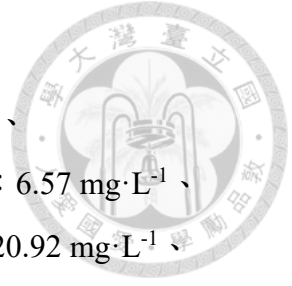
N : 30.46 mg·L⁻¹ (NH₄-N : NO₃-N = 1 : 3) 、 P : 21.26 mg·L⁻¹ 、
K : 23.94 mg·L⁻¹ 、 Ca : 25.88 mg·L⁻¹ 、 Mg : 8.22 mg·L⁻¹ 、 S : 10.91 mg·L⁻¹ 、
Fe : 1.26 mg·L⁻¹ 、 B : 0.09 mg·L⁻¹ 、 Mn : 0.11 mg·L⁻¹ 、 Cl : 8.94 mg·L⁻¹ 、
Cu : 2.12 μg·L⁻¹ 、 Zn : 8.33 μg·L⁻¹ 、 Mo : 1.32 μg·L⁻¹ 。

(四) N_{50%} :

N : 20.30 mg·L⁻¹ (NH₄-N : NO₃-N = 1 : 3) 、 P : 21.29 mg·L⁻¹ 、
K : 23.93 mg·L⁻¹ 、 Ca : 27.38 mg·L⁻¹ 、 Mg : 8.22 mg·L⁻¹ 、 S : 10.91 mg·L⁻¹ 、
Fe : 1.26 mg·L⁻¹ 、 B : 0.09 mg·L⁻¹ 、 Mn : 0.11 mg·L⁻¹ 、 Cl : 20.92 mg·L⁻¹ 、
Cu : 2.12 μg·L⁻¹ 、 Zn : 8.33 μg·L⁻¹ 、 Mo : 1.32 μg·L⁻¹ 。

(五) N_{75%} S_{60%} :

N : 30.46 mg·L⁻¹ (NH₄-N : NO₃-N = 1 : 3) 、 P : 21.26 mg·L⁻¹ 、
K : 23.94 mg·L⁻¹ 、 Ca : 25.88 mg·L⁻¹ 、 Mg : 4.93 mg·L⁻¹ 、 S : 6.57 mg·L⁻¹ 、
Fe : 1.26 mg·L⁻¹ 、 B : 0.09 mg·L⁻¹ 、 Mn : 0.11 mg·L⁻¹ 、 Cl : 8.94 mg·L⁻¹ 、
Cu : 2.12 μg·L⁻¹ 、 Zn : 8.33 μg·L⁻¹ 、 Mo : 1.32 μg·L⁻¹ 。



(六) N_{50%}S_{60%} :

N : 20.30 mg·L⁻¹ (NH₄-N : NO₃-N = 1 : 3) 、 P : 21.29 mg·L⁻¹ 、
K : 23.93 mg·L⁻¹ 、 Ca : 27.38 mg·L⁻¹ 、 Mg : 4.93 mg·L⁻¹ 、 S : 6.57 mg·L⁻¹ 、
Fe : 1.26 mg·L⁻¹ 、 B : 0.09 mg·L⁻¹ 、 Mn : 0.11 mg·L⁻¹ 、 Cl : 20.92 mg·L⁻¹ 、
Cu : 2.12 μg·L⁻¹ 、 Zn : 8.33 μg·L⁻¹ 、 Mo : 1.32 μg·L⁻¹ 。

三、植物材料

試驗材料為‘桃園一號’與‘長柄’草莓 (*Fragaria ×ananassa* Duch. cv. ‘Taoyuan No. 1’、‘Changbin’)，試驗植株皆為植物工廠所栽培之走莖苗，其繁殖方法為選取走莖上具有一片展開葉之子株，以浸潤的海綿包覆其根部並放入栽培層板的圓孔中發根，待植株發根後，剪斷與母株之連結，詳細流程參照鄭 (2014) 建立的草莓繁殖流程。以非循環系統進行育苗，栽培槽養液量需保持在 40 L，每 2 週更新一次養液，每 3 日將養液補充至 40 L。栽培環境為 24/19°C、光週期 16 h，使用之養液配方為 Enshi 養液。

四、試驗處理

(一) 調整循環式養液硫酸鎂與氮濃度對走莖苗生產效率評估

本試驗以‘桃園一號’作為參試品種，植株為發根 8 至 9 週之走莖苗，比較循環式系統之養液配方對走莖苗生產之影響，試驗自 2017 年 2 月 13 日開始至 7 月 3 日結束，試驗期間光週期設定為 16 h、日夜溫 24/19°C，並以 HOBO (UA-002-64, Onset Hobo, USA) 紀錄試驗期間之光強度與溫度變化 (附圖 1)。

本試驗為比較 N_{129%}S_{90%}與 Enshi 養液生產走莖苗之差異，試驗共 3 重複，每重複為一層栽培槽，每層具有 4 株產苗母株。產苗母株放置於栽培床之中間，兩側以黑色抑草蓆覆蓋並以夾子與膠帶將其固定，並在每片抑草蓆上剪出 11 個大約 2 × 2 cm 的洞穴，以海綿塞住，作為固定子株之用。每週一次將具一條向外伸長走莖之子株以點心叉固定於插花海綿 (Smithers - Oasis, USA) 上，並放入抑草蓆上預留之洞穴。受限於栽培空間，僅繁殖走莖上前 2 個子株，即第 2 與第 4 節位之子株。每週標定新生的走莖，若可發根子株多於洞穴時，優先選擇較早發生之走莖。發根洞穴佈滿子株的隔週即可將走莖成串採收，走莖採收標準為第 1 子株 (第 2 節



位) 須發根滿 2 週。

每週依養液之 EC 值補充養液或水至儲液桶 90 L 的高度，並將養液之 pH 值調整至 6.5，當 EC 值大於 $0.75 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 時，僅補充水，反之則補充養液，養液每 8 週更換一次。

試驗開始後每週調查草莓母株之新生葉片數、走莖數、葉面積及最新展開葉之 SPAD 值，調查開始前拔除老葉，老葉判定標準為葉柄下垂至層板。每次採收時則調查發根與未發根子株數目，未發根子株以具一條向外延伸之走莖為基準，採收子株須調查其葉片數、發根週數及單一走莖上子株數。紀錄養液補充前後之 EC、pH 值及水量，並蒐集養液以離子分析儀 (IA-300, DKK-TOA Corporation, Japan, Cationic column : PCI-2051, Anion column : PCI-322) 分析養液中離子濃度。

前 3 批採收之子株定植於溫室並進行後續生長評估，將成串採收之子株定植於 3.5 吋盆中，評估子株 3 週內之生長，前 3 批子株之定植日期分別為 2017 年 4 月 4 至 5 日、2017 年 4 月 17 至 18 日及 2017 年 5 月 15 日，以 HOBO (UA-001-64, Onset Hobo, USA) 紀錄試驗期間溫度變化 (附圖 2)。栽培介質為滿地王 (農友，台灣) 與根基旺 3 號 (南海園藝，台灣) 以 2:1 混合，視介質濕度補充水分，使介質保持濕潤，試驗期間晴天每天澆一次水，陰雨天則未補水。子株為成串定植，其連結於定植後 2 週剪斷。定植後 3 週計算其葉片數與存活率。

(二) 循環式系統果實生產之評估

1. Enshi 養液對‘桃園一號’與‘長柄’草莓開花的影響

本試驗使用‘桃園一號’與‘長柄’作為試驗品種，植株為發根後 6 個月之走莖苗，評估兩品種花芽誘導及果實發育期間之差異，試驗環境條件有兩階段，分別為花芽誘導期及果實發育期，前者為低溫短日、後者則恢復為營養生長之溫度及日長設定。花芽誘導自 2017 年 2 月 20 日至開始，其環境設定為光週 13 h、日夜溫 $22/17^{\circ}\text{C}$ ，於 2017 年 4 月 17 日結束花芽誘導，並將環境設定調整為光週 16 h、日夜溫 $24/19^{\circ}\text{C}$ 。每個品種皆有兩個栽培層架，每個栽培層架具有 3 層栽培床，以 1 層栽培床為 1 重複，共有 6 重複；每層具有 4 至 6 株植株。以 Enshi 養液作為試驗養液，每週補充養液至儲液桶 90 L 位置，並將養液之 pH 值調整至 6.5，試驗在 2017 年 4 月 17 日結束花芽誘導時更換養液。由於花芽分化率低，試驗於 2017 年 6 月 12 日提早結束。試驗期間以 HOBO 記錄溫度及光強度變化 (附圖 3)。

試驗開始後每週調查植株之新生葉片數、走莖數及葉面積，調查開始前拔除老葉，老葉判定標準為葉柄下垂至層板，調查結束後拔除走莖，並紀錄花芽可見日期。

2. Enshi 減氮循環式養液配方對‘長柄’花芽分化的影響

參試植株為發根 14 週‘長柄’走莖苗，評估減氮循環式系統之配方對於花芽誘導及果實發育影響，並以非循環系統作為對照組，試驗環境條件如上述有兩階段，分為花芽誘導期及果實發育期，花芽誘導期自 2017 年 11 月 8 日至 2018 年 1 月 10 日，果實發育期則是直到 2018 年 3 月 24 日所有果實採收完畢才結束。試驗期間以 HOBO 記錄溫度及光強度變化 (附圖 4)。

減氮循環式試驗處理分為 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 及 $N_{75\%}+N_{75\%}$ ，兩者初始加入的養液皆為 $N_{75\%}$ ，但後續每週補充的養液則分為 $N_{75\%}$ 或 $N_{50\%}$ ，每週將養液補充至儲液桶 90 L 位置，並將養液之 pH 值調整至 6.5，循環式養液在 2018 年 2 月 7 日及 2018 年 2 月 24 日更換，更換時的補充模式皆與更換前相同。非循環系統則是使用 Enshi 養液，每 2 週更換一次養液，更換時，將養液先調整至 pH 6.5，再注入 30 L 養液至栽培槽，隔週補充 5 L 之 Enshi 養液，每個養液處理皆有 3 重複，一個栽培床為 1 重複，每個栽培床具有 5 株植株。

試驗開始後每週調查草莓母株之新生葉片數、走莖數、葉面積及最新展開葉之 SPAD 值，調查開始前拔除老葉，老葉判定標準為葉柄下垂至層板。紀錄花芽可見日期及花序數目，在每個花序第 1 朵花開之後進行疏花，所有植株最多留 5 朵花，並疏去 3 級 (含) 以上的花，開花後以水彩筆順時針由外往內輕刷位於中央的柱頭授粉。果實在完全轉色後採收，並記錄所有果實的採收日期、重量，試驗結束時，調查植株之冠莖數目。以離子分析儀分析養液補充前後的離子濃度，並紀錄更換養液後 4 週內之 EC 值及 pH 值變化。

(三) 再誘導植株對於果實生產之影響

以‘長柄’作為參試品種，比較未受花芽誘導與曾開花結果之植株花芽誘導與果實發育之差異，前者之植株為發根 16 週之走莖苗，後者則由前次試驗 (Enshi 減氮循環式養液配方試驗) 挑選出具 1 個冠莖的健康植株，試驗共 3 重複，一個栽培床為 1 重複，每個栽培床具有 5 株植株。

試驗環境條件有兩階段，花芽誘導期自 2018 年 4 月 10 日至 2018 年 6 月 12 日，果實發育期則是直到 2018 年 8 月 28 日所有果實採收完畢才結束。試驗期間

以 HOBO 記錄溫度及光強度變化 (附圖 5)。

根據植物的生長狀態來決定養液的補充模式，其補充方式可分為三階段，第一階段為試驗開始至 2018 年 6 月 12 日花芽誘導期結束，兩處理初始加入 N_{75%}S_{60%}，其後每週皆補充 N_{50%}S_{60%}；第二階段則從花芽誘導結束至該處理第一朵花開，此階段不需更換養液，僅每週補充 Enshi，本階段的長短決定於植株花序發育的速率，因此兩處理略有差異；第三階段則為開花後的果實發育期，此階段在開始時需將養液更換成 Enshi，初次誘導之處理更換養液時間為 2018 年 6 月 26 日，再誘導處理為 2018 年 7 月 17 日，之後則每週補充 N_{129%}S_{90%}。

試驗開始後的調查項目及疏花授粉之方式與前次試驗相同，但本試驗之 EC 及 pH 值則在更換或補充養液後每 3 日測量一次。

五、調查項目

(一) 營養生長調查

1. 葉片數

以完全展開的葉子為標準，紀錄老葉拔除前後的展開葉數目，再以當週拔除老葉前的葉片數減去前一週拔除老葉後的葉片數即為該週新生葉片數。

2. 走莖數

於試驗開始時移除所有走莖，1 週後開始調查新生走莖數。在生殖生長試驗中，每週在調查後移除走莖。

3. 葉面積

隨機挑選試區內正常無受損的展開葉，測量葉片的中軸長，拍照後以 ImageJ (USA) 分析其葉面積，並進行迴歸分析，‘桃園一號’與‘長柄’葉面積迴歸公式如下 (附圖 6 及附圖 7)：

$$\text{‘桃園一號’：} LA = 2.0229 L^{1.9337}$$

$$\text{‘長柄’：} LA = 2.1727 L^{1.8653}$$

LA：葉面積 (cm²)

L：葉片中軸長度 (cm)

4. 葉綠素計讀值 (SPAD 值)

以葉綠素計 (SPAD-502, Spectrum Technologies, Plainfield, IL, USA) 測量每週

最新展開葉之葉綠素計讀值，每片葉隨機測量三點後取平均。

5. 冠莖粗度

以游標尺 (TN-008M, Mitutoyo, Japan) 測量拔除老葉後的冠莖基部粗度。

(二) 生殖生長調查

1. 花序生成時間與開花日期

試驗期間每週調查具可見花序的植株數，可見花序的判斷標準為撥開冠莖中心的葉柄後，觀察是否具有肉眼可辨識的花序形成。開花日則以植株之第一朵花完全展開之日期作為基準。

2. 果實產量

記錄每個果實的採收日期及重量，計算每處理的果實總產量及可銷售果實比例 (>10 g)。

(三) 養液元素分析

蒐集更新時或調整前後之養液樣品，須靜待養液平衡，再取栽培槽內靠近植物根部之養液。樣品儲存於 4 °C 冰箱，養液分析前以過濾膜 (MF-Millipore MCE membrane 0.22 μm, Merck, Germany) 過濾養液，以生機系方煒老師實驗室離子分析儀分析養液中鉀離子 (K^+)、鈣離子 (Ca^{2+})、鎂離子 (Mg^{2+})、銨根 (NH_4^+)、硝酸根 (NO_3^-)、硫酸根 (SO_4^{2-}) 及氯離子 (Cl^-) 濃度。

六、統計分析

所有試驗採完全隨機設計 (complete randomized design, CRD)，僅有兩個處理時以 Student's *t* test (雙尾) 進行分析 (Excel 2016, Microsoft, USA)，兩個以上處理時利用 COSTAT 6.4 (Cohort, USA) 進行變方分析 (ANOVA) 與最小顯著差異分析 (least significant difference, LSD)，比較各處理間是否具顯著差異 ($P < 0.05$)，以 Sigma plot 10.0 進行繪圖。

第三章 結果



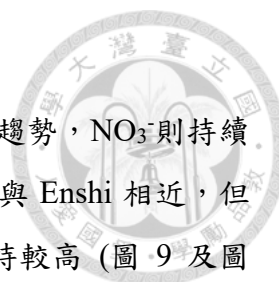
一、調整循環式養液硫酸鎂與氮濃度對走莖苗生產效率評估

(一) 母株的生長

試驗期間，兩處理之母株皆十分健康（圖 1），在外觀上的差異不大，但 $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液之子株密度目視上稍微較 Enshi 高，試驗期間 $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 兩處理 20 週內之累計走莖數分別為 23.33 與 22 條，未達顯著差異，但於第 2、7、8、12、14、16 週時，兩處理具有顯著差異（圖 2）。以栽培床為單位計算子株產量，兩處理之子株皆在 20 週內採收 6 次，子株數目的計算則分為已發根的子株數目（圖 3A）、未發根但已具一條向外延伸之子株數目（圖 3B）以及所有的子株數目（圖 3C），已發根的子株數目在第 5 次採收時具顯著差異，而未發根的子株數目在第 2 次採收時具顯著差異，皆以 $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液顯著較高。分析 20 週內的子株總產量， $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 養液每個栽培床分別生產 148 與 137 株子株，平均單一母株分別繁殖 36.58 與 33.92 株子株，平均每週一株母株在分別生產 1.83 及 1.70 株子株，前者的產量比後者高出 7.8%， $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液之子株產量顯著較高，兩者發根子株數目無顯著差異，但 $N_{128\%}S_{90\%}$ 養液未發根子株數目顯著較多（表 1）。另外， $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液處理之植株其 SPAD 值有較高的趨勢，且第 8、14、17 週時展開新葉之 SPAD 值顯著較高（圖 4）。養液配方對母株的累計葉片數與葉面積則沒有顯著差異， $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 養液之葉面積在分別在第 5 與 2 週時開始下降，第 8、9 週後，即養液更新後，兩處理之葉面積皆上升，但 $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液上升幅度較大，第 16 週之後，兩處理之葉面積無太大變化，大約維持在 300 cm^2 左右，且拔除老葉後的葉片數維持在 2 至 3 片（圖 5 及圖 6）。

(二) 養液分析

本試驗每 8 週更新一次養液，由於走莖苗的採收從第 6 週開始，其後每隔 2 或 3 週採收一次，為了評估走莖苗生產時養液中離子的變化量，故以第 8 至 16 週的養液進行分析。 $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 養液初始 EC 值分別為 0.68 與 0.61 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，兩處理的 EC 值皆持續上升， $N_{129\%}S_{90\%}$ 的上升速度較快，且養液的消耗量也較多； $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液在第 11 與 13 週時僅補充水，造成當週 EC 值急遽下降（表 2 與圖 7）。養液 pH 值的穩定性，以 Enshi 養液較佳，補充養液前之 pH 約在 6.89 至 7.28 之間； $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液在更換養液後 1 週內 pH 急遽下降至 3.7，下降的情形直至第



11 週後才較為穩定，介於 6.16 至 7.27 之間 (圖 8)。

Enshi 養液之 K^+ 、 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 含量與濃度僅有微幅上升的趨勢， NO_3^- 則持續下降， SO_4^{2-} 持續累積；而 $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液之離子含量及濃度變化與 Enshi 相近，但 Mg^{2+} 與 SO_4^{2-} 的上升趨勢較為平緩，養液中 NO_3^- 含量與濃度維持較高 (圖 9 及圖 10)。另外， NH_4^+ 在 $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 Enshi 養液中皆在更換養液的 1 週內被快速消耗， $N_{129\%}S_{90\%}$ 補充養液中的 NH_4^+ 也都是在 1 週內被快速消耗。

(三) 子株生長評估

植物工廠內的走莖採成串採收，一般而言，發根愈久之子株，葉片數多且根系越旺盛 (圖 11)；第 1 子株為第 2 節位萌發出來的子株，因較早發育，發根時間比第 4 節位的第 2 子株久，因此植株較大；各批次的子株發根時間略有差異，但發根時間幾乎不受養液配方的影響，第 1 子株的發根時間在 2.34 至 3 週之間，第 2 子株則為 1.18 至 2.03 週 (表 3)； $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液之每條走莖生產的平均子株數在 1.86 至 2.24 株之間，Enshi 養液則為 1.79 至 2.11 株，兩處理差異不大，僅在第 2 批次具顯著差異 (表 4)。分析前 3 批子株採收時的葉片數，將子株依養液配方、發根週數及在走莖上的位置分類，受限於植物生長速度與栽培床大小，並非每個批次都具有所有的組別，葉片數隨發根時間的延長而增加，養液配方不影響子株的葉片發育，在相同發根週數下，子株位置對於葉片數的影響亦不大 (表 5)；而發根 2 週的第 1 子株具有 1.73 至 2.08 片展開葉，且根系開始發育、延長，因此走莖之採收之判斷標準訂為第 1 之子株至少發根 2 週 (表 5 及圖 11)。

前 3 批子株定植於溫室評估其後續生長，除 $N_{129\%}S_{90\%}$ 的第 1 批次子株有 1 株死亡外，其餘所有植株都可以成長為健康植株，但植株在定植後 3 週出現徒長的現象 (表 6 與圖 12)，養液配方對子株定植後累積葉片數影響極小，僅有部分達顯著差異，且以 $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液表現為佳，於植物工廠內發根愈久之子株因其初始葉片數多，定植後也能保持較多的葉片數，節位對於累計葉片數則影響不大 (表 7)。

二、循環式系統果實生產之評估

(一) Enshi 養液對‘桃園一號’與‘長柄’草莓開花的影響

以循環式 Enshi 養液系統栽培草莓品種‘桃園一號’與‘長柄’，在 8 週低溫短日誘導後，花序形成比率極低，初期以‘長柄’植株形成花序比例略高，但兩品種最終

可見花序比率皆約為 12% (圖 13)。「桃園一號」與「長柄」的初始葉片數分別為 2.58 及 2.64 片，兩者無顯著差異，但「桃園一號」之累計葉片數有高於「長柄」的趨勢，具顯著差異的週數以試驗後半段時期為主，即第 10 至 15 週 (圖 14)。「長柄」在低溫短日處理的前 8 週有較高的葉面積，後 8 週則以「桃園一號」較大。植物在試驗開始前皆以非循環系統栽培，當植物移至循環系統以低溫短日的進行花芽誘導後，「桃園一號」與「長柄」之葉面積分別在第 3 及 1 週後開始上升，第 6 至 8 週其葉面積則是有微幅下降的趨勢，第 8 週更換養液及調整日長與溫度後，兩品種葉面積皆有上升的趨勢，但第 14 週後葉面積下降 (圖 15)，「桃園一號」累計走莖數顯著較「長柄」高，兩品種在 16 週內分別產生 26.71 與 23.71 條走莖 (圖 16)。冠莖粗度為測量拔除老葉後冠莖基部的粗度，不易精準量測，因此數值不太穩定，在試驗期間冠莖粗度持續上升，「桃園一號」有較粗的趨勢，但兩品種至試驗後期才具顯著差異，以「桃園一號」略高 (圖 17)。兩品種之冠莖數目分別為 1.32 與 1.06 個，雖無顯著差異，但「桃園一號」略高 (表 8)。

(二) 減氮循環式養液配方對「長柄」花芽分化的影響

1. 植株的生長

評估 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 與 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 減氮循環式系統對於花序誘導之影響，並以 Enshi 養液非循環系統為對照組，所有處理在花序誘導 8 週後皆有部分植株形成花序， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 、 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 及非循環系統於該週可見花序比率分別為 40%、13.33% 與 66.67%，50% 植株具可見花序週數三處理分別為 9、10 與 8 週，最終可見花序比率分別為 100%、93.33% 及 100%。 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 與非循環系統之花序形成之趨勢相近 (圖 18)。養液系統會影響植物的花序數， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 、 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 及非循環系統之花序數分別為 2.73、1.8 及 3.33 個，非循環系統顯著高於 $N_{75\%}+N_{75\%}$ ，但三處理的冠莖數無顯著差異 (表 9)。

各處理之累計葉片數及葉面積在花芽誘導期 (第 0 週至第 9 週) 皆無顯著差異 (圖 19 及圖 20)，累計葉片數在第 10 週後非循環系統有較高的趨勢 (圖 19)。 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 、 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 及非循環系統在試驗開始時葉面積分別為 624.3、573.6 與 644.2 cm^2 ， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 及非循環系統之葉面積在花芽誘導期有降低的趨勢， $N_{75\%}+N_{75\%}$ 則是維持穩定，當進入花序及果實發育期後，非循環系統葉面積快速上升，循環式系統則無太大變化，直到第 13 週更換養液後葉面積才上升，且三處理

之葉面積在第 12 至 14 週具顯著差異，而 16 週以後，三處理之葉面積皆下降 (圖 20)。花芽誘導期之累計走莖數無太大差異，在花序分化及果實發育期時， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 、 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 及非循環系統則有顯著差異，其累計走莖數分別為 24.27、26.8 及 31.13 條，非循環系統顯著高於 $N_{75\%}+N_{50\%}$ (圖 21)。三處理 SPAD 值變化趨勢類似，花芽誘導的前 2 週下降，之後逐漸回升，第 9 週後又逐漸下降直到第 13 週，第 14 週後處理間則無固定的趨勢 (圖 22)。

非循環式系統之果實採收時間顯著早於循環式系統，平均在短日處理後 107.05 日可採收，比循環式系統提早 6 至 7 日，且果實重量也顯著較高，平均一粒果實可達 20.42 g，而 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 及 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 平均果重僅有 16.26 及 16.22 g，另外，非循環系統可售果實之比例高達 95.83% (表 10)。果實的總產量以非循環系統最高， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 次之， $N_{75\%}+N_{75\%}$ 最少，非循環式系統大於 30 g 之果實佔總產量 17.36%，為所有處理中最高， $N_{75\%}+N_{75\%}$ 次之，而 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 僅占 2.9% (表 11)。

2. 養液分析

本試驗更換養液的時間為第 13 週與 15.5 週，第 15.5 週更換養液之因為 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 養液滲漏，養液將近少了 90 L，無法進行試驗，故在非調查日更換所有循環式系統養液，但後續補充模式也是每隔 7 日補充及調整養液 pH 值，而此次養液更換日期距前一次更換僅相隔 18 日，故第 13 至第 15.5 週無進行養液分析。紀錄花芽誘導期前 4 週 (第 0 週至第 4 週) 的 EC 及 pH 變化，非循環系統每 2 週更換一次養液，因此在第 2 週時 EC 值回復 $0.59 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ，所有處理之 EC 值皆隨時間下降，但非循環系統下降速率較快 (圖 23)；非循環系統養液之 pH 值在換養液後持續上升，至更換養液前可達 7.44， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 及 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 循環式養液系統 pH 值變化相似，在更換養液後 7 日內 pH 可降至 5.34，在第 2 週後，pH 值穩定上升，最高約為 pH 7.06 (圖 24)。分析花芽誘導期及果實發育前期 (第 0 週至第 13 週) 之循環式養液補充前後之離子含量及濃度變化， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 及 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 養液離子含量變化趨勢相似，養液中的 K^+ 逐漸下降，但 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 養液之 K^+ 離子消耗速率較快，至更換養液前已消耗完畢； Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 皆能維持固定的含量及濃度， NH_4^+ 皆於 2 週內消耗完畢，但 NO_3^- 變化量在兩種循環式系統略有差異， NO_3^- 在 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 及 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 養液分別在第 5 及 6 週內消耗完畢， SO_4^{2-} 含量與濃度皆持續上升。另外， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 之 Cl^- 濃度較高，最高約為 18.53 mg L^{-1} (圖 25 及圖 26)。

記錄從第 13.5 週更換養液後至試驗結束之循環式養液之 EC 及 pH 變化，這 4 週為果實發育期，循環式養液之 EC 值皆持續下降， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 在更換養液後的前 2 週下降速率較 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 劇烈，但後期下降速率趨緩（圖 27），pH 值在養液更換的 4 天內急遽下降，但之後回升，並能維持穩定的 pH 值直到 18.5 週，但試驗的最後一週 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 養液之 pH 值會持續下降至 4.72， $N_{75\%}+N_{75\%}$ 則維持穩定（圖 28）。果實發育期之 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 及 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 養液離子含量變化趨勢與花芽誘導期相似，但 K^+ 及 NO_3^- 消耗速率更快， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 在試驗結束時幾乎耗盡 K^+ ，而 NO_3^- 則是在試驗結束前 1 週使用完畢，比 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 養液早了 1 週，而循環式系統中的 NH_4^+ 離子則是在更換養液 1 週內耗盡（圖 29 及圖 30）。

三、再誘導植株對於果實生產之影響

前次減氮循環式試驗以 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 之花芽誘導情形較佳，因此以此補充模式為基礎並進行調整， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 之 SO_4^{2-} 持續累積（圖 25），因此本試驗在花芽誘導期調降 40% $MgSO_4$ 之濃度，採用 $N_{75\%}S_{60\%}+N_{50\%}S_{60\%}$ 補充模式直到花芽誘導結束，第 2 階段從第 9 週開始至第 1 朵花開，此時為適溫長日的花序發育期，每週改為補充 Enshi 養液，第 3 階段的果實發育期則因使用減氮養液會造成鉀與氮的不足（圖 29），因此調整為全部更換成 Enshi 養液，並以 $N_{129\%}S_{90\%}$ 為補充養液。

(一) 植株的生長

試驗開始時，初次與再誘導植物皆為健壯植株，但再誘導植株較大、冠莖較粗、生長稍旺盛；試驗結束時，兩處理皆有部分植株分化出側冠莖，而再誘導植株冠莖分化情形較明顯，有些甚至具有 8 個冠莖（圖 31），初次與再誘導植株在試驗結束時平均冠莖數目分別為 1.47 及 3.07 個，以再誘導植株略多，但無顯著差異（表 12）。

初次與再誘導植株最終可見花序比例則分別為 100% 及 26.67%，再誘導植株的花序分化情形較差；初次誘導植株於第 9 週開始出現花序，再誘導植株則是第 12 週始出現（圖 32），但兩者的花序數目及花序可見至開花所需天數無顯著差異。

初次與再誘導植株在試驗結束時平均產生了 58.33 及 38.2 片葉，兩者在試驗期間新生葉片數沒有顯著差異（圖 33）。初次與再誘導植株之初始葉面積分別為 577.34 cm^2 及 654.65 cm^2 ，兩者無顯著差異，前 7 週兩處理葉面積皆維持穩定，第 8 至第 11 週，兩者葉面積已低於試驗初期，其葉面積皆不超過 500 cm^2 ，初次誘導

植株養液在第 11 週更新後葉面積逐漸上升；而再誘導植株養液在第 14 週更新，更新後葉面積依舊持平，以致兩者葉面積在試驗後期的第 14、第 17 至 20 週具顯著差異 (圖 34)。初次與再誘導植株在試驗期間分別產生 31.47 及 37.13 條走莖，雖未達顯著差異，但兩處理在試驗後半段的第 9 至第 11 週及第 13 至第 17 週具顯著差異，以再誘導植株產生較多的走莖 (圖 35)。初次誘導植株之 SPAD 值在花芽誘導期較高，其中第 5、7 及 9 週達顯著差異；果實發育期則是以再誘導植株略高，在第 14 及 18 週兩者具顯著差異 (圖 36)。

初次誘導之果實比再誘導早約 18 日採收，且果重顯著較高，平均單果重為 14.61 g，可售果實比例為 82.8%，而再誘導植株平均果重僅有 11.55 g 而可售果實比例為 60% (表 13)。從總產量的分布來看，兩處理的所採收的果實重量集中在 10 至 19.99 g 之區間，而再誘導的植株小於 10 g 佔總產量的比例高達 22.44%，亦無大於 30 g 的果實，果實總產量較低 (表 14)。

(二) 養液分析

再誘導層架於試驗開始後便開始滲漏，在隔天 (2018 年 4 月 11 日) 養液約少了 12 L，但因為養液剛更新，所滲漏之養液亦不多，因此僅以 N_{75%}S_{60%} 補充再誘導層架並將養液補充至與初次誘導相同的水量 (約 8 L)，分析補充後再誘導層架內的養液，發現各離子濃度除了 NH₄⁺ 比試驗開始時少了一半外，其餘離子皆與前一天的數值相近，故本試驗忽略其中的誤差 (資料未顯示)。

養液分析的數據分為三階段說明，第一階段為試驗開始至第 9 週花芽誘導結束，試驗初始使用之養液為 N_{75%}S_{60%}，其 EC 值為 0.49 dS·m⁻¹，之後每週補充 N_{50%}S_{60%} 直到第 8 週，兩層架的養液 EC、pH 值及離子變化在花芽誘導期變化趨勢類似，EC 值大致上能維持穩定的數值，pH 值則是在試驗開始的一週內分別下降至 4.37 及 4.17，之後維持穩定的數值直到第 4 週，第 5 至第 8 週則是每次補充前皆會下降至 5.17 至 5.87 間，初次與再誘導層架的 K⁺ 分別在第 6 及 5 週內消耗完畢，NH₄⁺ 與 NO₃⁻ 皆分別在第 1 及第 4 週內使用完畢，初次誘導的 Ca²⁺ 持平，而再誘導的 Ca²⁺ 逐漸下降，兩處理 Mg²⁺ 皆持平，SO₄²⁻ 則持續累積 (圖 37、圖 38、圖 39 及圖 40)。

第 2 階段為花序發育期，即從花芽誘導結束到第一朵花開之期間，兩處理時間分別為 2 週及 5 週，此階段改為每週補充 0.6 dS·m⁻¹ 之 Enshi 養液，兩層架的 EC

值持續上升，pH 值保持穩定，介於 6.5 至 7.16 間，兩處理之 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及 SO_4^{2-} 之濃度皆持續上升， NH_4^+ 及 NO_3^- 仍維持每週皆消耗完畢 (圖 37、圖 38、圖 39 及圖 40)。

第 3 階段為果實發育期，初次與再誘導層架分別從第 11 及第 14 週開始直至試驗結束，此階段須將所有養液更換成 Enshi，其更換養液後之 EC 值皆為 $0.63 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ，在養液更換的 3 日內兩處理 EC 值皆明顯下降，其中以再誘導層架下降幅度較大，其後以 EC 值約 $0.67 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 之 $N_{129\%}S_{90\%}$ 補充，兩處理 EC 值持續上升，初次與再誘導層架在試驗結束時其 EC 值分別為 0.88 及 $0.77 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ，更換養液後兩者 pH 值皆能維持穩定，養液離子濃度變化趨勢類似，兩處理的 K^+ 與 Ca^{2+} 濃度有微幅上升的趨勢， Mg^{2+} 及 SO_4^{2-} 則快速攀升， NO_3^- 持續減少 (圖 37、圖 38、圖 39 及圖 40)。

第四章 討論

本研究著重於循環式系統養液配方的調整，以維持養液 EC 值、pH 值以及離子濃度為目標，期望降低更換養液頻率。本研究室初期以沉水式馬達栽培‘桃園一號’草莓，植株出現生長異常的現象，包含老葉轉紅、新葉白化且根系褐化，推測原因為沉水式馬達會影響養液中離子的分布 (洪, 2013)，因此陳 (2016) 採用磁驅式與加壓式兩種非沉水式馬達進行栽培，植株在兩種馬達下皆生長良好，但養液在磁驅式馬達下能維持較穩定 EC 值及養液消耗量，因此本研究循環式系統皆採用磁驅式馬達。

養液的 EC 值與 pH 值變化會受到養液配方及植物吸收的影響，一般來說，養液 EC 值越高對植株的營養生長越有利，但 EC 過高使植株的生長過快容易發生頂燒 (tipburn)，造成新葉葉尖焦枯、無法展開，導致經濟上的損失，頂燒為缺鈣所致，鈣離子的運移需依靠木質部的蒸散流，延長光週、增加光度或濕度控制不當的環境因不利蒸散作用，容易產生頂燒 (Gaudreau et al., 1994; Manson and Guttridge, 1975; Palecia et al., 2010; Saure, 1998)，Manson and Guttridge (1975) 發現濕度控制比增加鈣離子的供應更能緩解頂燒問題，較佳的溼度調控為在亮期降低環境的溼度以加強蒸散作用，並在暗期保持潮濕以增加根壓，以利泌液作用，使鈣離子更容易運送至新葉 (Bradfield and Guttridge, 1979)。頂燒為本研究中最容易發生的生理障礙，在走莖苗生產試驗中，為防止頂燒，當養液超過 $0.75 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 時，僅補充水 (圖 7)，試驗期間，不管是母株或子株皆未出現頂燒現象，但在再誘導試驗中，並未加以控制養液的 EC 值，其中初次誘導的養液在試驗結束之 EC 值高達 $0.88 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ (圖 37)，試驗期間雖有在亮期使用除濕機，並將除濕機的溼度設定在 60%，但植物還是出現頂燒的徵狀 (附圖 8)，顯示目前臺大植物工廠的草莓栽培設備無法承受過高的 EC 值，若能加強風扇的對流以利蒸散作用可能是緩解頂燒的一個方法。

養液 pH 穩定性受到 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例影響。作物種類與養液的 pH 值會影響其吸收 NH_4^+ 或 NO_3^- 的偏好，如番茄在 pH 5 時 NO_3^- 優先吸收，在 pH 7 時 NH_4^+ 與 NO_3^- 的吸收無偏好性，而草莓則為 NH_4^+ 優先吸收，與 pH 無關 (池田與大澤, 1983)，而吸收 NH_4^+ 的同時植物會釋放一個 H^+ ，造成養液的 pH 下降 (Ikeda, 1983)，因此 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例越高，養液的 pH 值較不穩定，Enshi 與 $\text{N}_{129}\text{S}_{90}$ 養液 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例分別為 8:92 與 17:83，而 $\text{N}_{75}\%$ 、 $\text{N}_{50}\%$ 、 $\text{N}_{75}\text{S}_{60}\%$ 及 $\text{N}_{50}\text{S}_{60}\%$ 之 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例皆

為 1:3。根據本研究的養液分析資料， NH_4^+ 的濃度在更換養液後最高，且多數在一週內消耗完畢，大量消耗 NH_4^+ 造成養液容易在更換初期 pH 急速下降，待 NH_4^+ 用盡後則 pH 變化會逐漸穩定，而 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例較低的 Enshi 養液較能在試驗初期維持穩定的 pH 值 (圖 8、圖 24、圖 28 及圖 38)。另外，若以單一 NO_3^- 作為氮源，養液 pH 值常有上升之趨勢 (沈，2009)，解釋了當 NH_4^+ 消耗完畢後，可視為養液中僅有 NO_3^- ，因此 pH 值微幅上升 (圖 8、圖 24、圖 28 及圖 38)。

離子分析儀無法精準測量 P 及 S 的正確濃度，P 受到養液 pH 值影響會以 PO_4^{3-} 、 HPO_4^{2-} 及 H_2PO_4^- 形式存在，但離子分析儀僅能偵測 PO_4^{3-} 的濃度，無法得知 P 的總含量，因此無分析資料。S 的變化量則可能因為植物吸收較少，造成測量誤差，但其變化有固定的趨勢 (圖 9 及圖 39)。

一、調整循環式養液硫酸鎂與氮濃度對走莖苗生產效率評估

在 $\text{N}_{129\%}\text{S}_{90\%}$ 與 Enshi 兩種栽培養液下，草莓母株生長與各批次採收子株數目差異不明顯 (圖 3、圖 5 及圖 6)，但 $\text{N}_{129\%}\text{S}_{90\%}$ 子株總產量顯著較高，產量主要的差異來自於未發根子株數 (表 1)，推測 $\text{N}_{129\%}\text{S}_{90\%}$ 走莖節點分化出子株之速度較快。另外， $\text{N}_{129\%}\text{S}_{90\%}$ 的展開新葉 SPAD 值較 Enshi 高 (圖 4)，植物體中葉綠素的含量會受到 N、Mg 與 Fe 的影響 (Marschner, 2012)， Mg^{2+} 的濃度在兩種養液中皆隨時間上升，並無缺乏問題，SPAD 值有差異可能來自 $\text{N}_{129\%}\text{S}_{90\%}$ 養液 N 濃度提高所致 (圖 9)。

更換養液或母株的年齡可能會影響其葉面積，在第 8 週更換養液後，兩處理葉面積皆有稍微回升，但在第 16 週更換養液後，兩處理之葉面積無太大變化 (圖 6)，推估原因為母株開始老化；因此，建議產苗母株要在生產子株約 16 週後進行更新，第 16 週時共可以採收 4 次， $\text{N}_{129\%}\text{S}_{90\%}$ 及 Enshi 單一母株分別可採收 23 及 21 株子株 (資料未呈現)。

陳 (2016) 利用 Enshi 養液栽培‘桃園一號’草莓 48 天，植物在試驗期間皆能維持穩定的 EC 與 pH 值，本試驗之 Enshi 養液處理 EC 值持續上升 (圖 7)，但 pH 值則維持穩定 (圖 8)。離子變化量略有不同，本試驗 K^+ 、 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 含量些微累積，陳 (2016) 的結果則是持平，不過兩次試驗 NO_3^- 與 SO_4^{2-} 的變化趨勢一致 (圖 9)。兩試驗差異的原因可能與試驗單位及走莖繁殖有關，陳 (2016) 的試驗為每循環單

位具 2 層栽培槽，總水體為 150 L，每個栽培槽上具 6 株植株，每週拔除走莖，未評估子株產量；本試驗則每循環單位具 3 個栽培槽，總水體為 180 L，每個栽培槽雖僅有 4 植株作為母株，但著重子株生產，光合作用及蒸散面積大，因此本試驗養液消耗較大，補充的養液量較多，造成養液中部分離子累積，EC 值持續上升。

$N_{129\%}S_{90\%}$ 為參考陳 (2016) 養液離子數據分析結果所設計，期望能維持氮肥供應力及減少 SO_4^{2-} 的累積。試驗結果顯示， $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液確實可以有效減緩 NO_3^- 下降的速率與降低 SO_4^{2-} 的累積 (圖 9)。因其初始 EC 值較高，需要補水以避免 EC 值過高而造成頂燒，補水雖能確保養液中 K^+ 、 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 維持固定的濃度進而降低更換養液的頻率，但養分供給因此減少，且補水容易造成本系統之養液環境變動劇烈，提高氮肥的效益有限。

有許多研究指出 NH_4^+/NO_3^- 比例除了影響養液 pH 值穩定性外，還會影響草莓的生長，在相同的氮濃度下，當 NH_4^+/NO_3^- 在 1:3 與 1:1 時，其葉面積與乾、鮮重會比僅以 NO_3^- 或 3:1 栽培高 (Tabatabaei et al., 2006)，而 Cárdenas-Navarro 等 (2006) 在不拔除草莓走莖的狀況下，發現 NH_4^+/NO_3^- 不影響母株的鮮重，但會影響子株的乾重，其中 NH_4^+/NO_3^- 在 1:1 時之子株乾重顯著高於 3:1 及純 NH_4^+ 栽培，子株因為無法自行合成光合產物，養分來源多半來自母株，因此吸收 NH_4^+ 的能力有限，對 NH_4^+ 的毒害更敏感，因此當 NH_4^+ 比例高於 50% 時，不利於子株生長。Enshi 與 $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液之 NH_4^+/NO_3^- 分別為 8:92 與 17:83， NH_4^+ 的比例皆不高，因此生長差異不太明顯，本試驗兩配方之累計葉片數、葉面積及子株採收時葉片數 (表 5、圖 5 及圖 6) 無顯著差異，僅有累計走莖數、採收子株數及 SPAD 值在調查期間有顯著差異 (圖 2、圖 3 及圖 4)。

受限於栽培床的大小，走莖一般而言每 3 週採收一次，子株在植物工廠僅進行短期的栽培，因此子株採收時的發根週數、葉片數及單一走莖採收之子株數受到養液配方的影響有限 (表 3、表 4 及表 5)。

子株的根系狀態會影響其定植後的生長，若子株在與母株相連的狀況下發根 2 週，其後續之存活率可達 100%，但若在發根前即剪斷母株與子株的連結，其子株存活率僅有 65%，且植物生長較弱，鮮重、冠莖粗及根長度較小 (Treder et al., 2007)，另外，未發根子株成活率受到溫室濕度的影響，濕度太低時子株不易成活 (Lieten, 1998)，發根之子株則是相對容易管理。本試驗採收的走莖包含帶根子株及未發根

子株，為了確保未發根子株的成活率而成串定植 (圖 12)，結果顯示存活率極高，僅 1 株死亡 (表 6)，與 Treder (2007) 等之研究結果相符。


節點數越小的子株離母株越近、較早發育，Tanaka 等 (2004) 將子株依節點數分類並於穴盤內發根，發現子株的節點數不影響子株的根長度與盤根率，其盤根率都可以超過 92%，本試驗雖無調查子株根系的狀況，但由存活率推測其根系發育皆良好，且依節點調查子株的葉片數，發現子株的位置對其生長的影響極小，主要影響子株葉片數多寡的因子為走莖採收時的葉片數，雖然兩處理在採收時葉片數沒有顯著差異，但定植 3 週後 N_{129%}S_{90%}的葉片數有略高於 Enshi 的趨勢，推測產苗母株在 N_{129%}S_{90%}養液下能獲得較多養分及能量以供給子株，有利於子株的後續發育 (表 7)。

為了防止高光造成植物蒸散過於旺盛導致失水，本試驗將子株定植於低光溫室，子株卻徒長 (圖 12 J-O)；因此，建議植物生長穩定後即可移至光強度較高的溫室，或者定植後漸進式的增加光度。

二、循環式系統果實生產之評估

以 Enshi 養液進行循環式系統花芽誘導，套用本研究室已經建立之 8 週低溫短日誘導條件評估‘桃園一號’與‘長柄’草莓生殖生長之差異，兩品種最終花序比例約為 12% (圖 13)，雖本試驗花芽誘導的狀況不佳，但初期花序分化以‘長柄’略高，顯示‘長柄’對於低溫短日的反應可能較為靈敏。陳 (2016) 以 Enshi 養液之非循環系統比較兩品種生殖生長的差異，發現‘長柄’之花序分化的植株比率較‘桃園一號’高，而‘桃園一號’之累計葉片數、走莖數、冠莖數目及葉面積皆略高於‘長柄’。非循環系統 Enshi 養液栽培下‘桃園一號’與‘長柄’的花序在誘導後 7 週出現，最終花序比例分別為 91.7%及 56.1% (陳，2016)。而本研究套用 (陳，2016) 建立之營養生長循環式養液管理系統到果實生產上，在第 8 週時可觀察到花序將大量萌發，但此時即遇養液更換，即氮肥大量補充，且環境調整為長日適溫，植物轉回營養生長，其中又以‘桃園一號’更為旺盛 (圖 14 及圖 16)。

花芽誘導的時間長短與氮肥的施用時機都是植物工廠循環式養液系統是否能順利開花結果的關鍵技術，過多的氮肥會抑制花芽形成與降低果實產量 (Lineberry, 1944)，但不足時卻會造成植物發育不良、生長遲緩。適度的氮肥可以促進草莓開



花及增加果實產量 (Breen and Martin, 1981)，但植物的氮肥需求量因環境與生長狀態而異。因此，降低氮供應量並延遲更換養液，循環式養液系統可以成功誘導‘長柄’草莓進入生殖生長，尤其在 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 花芽分化趨勢與非循環類似 (圖 18)。不過減氮養液會影響植株的生長，尤其是在第 9 週誘導結束到第 13 週更換養液期間，花序及果實開始發育，然而養液中 N 及 K^+ 濃度極低 (圖 25 及圖 26)，導致植物的累計葉片數、走莖數及葉面積在第 9 至 13 週皆有較低的趨勢 (圖 19、圖 20 及圖 21)，瘦果的形成也於此階段發生，果實的大小受瘦果的數目影響 (Nitsch, 1950)，營養缺乏為果實發育不良的原因之一。氮為植物吸收最多的元素，與植物胺基酸、蛋白質、核酸及葉綠素等合成有關，當缺乏時葉片黃化、變小、植株生長受阻，嚴重時老葉甚至會轉為紅色；鉀為植物體內最多的陽離子，其功能為維持細胞膨壓、氣孔運動及活化酵素等，嚴重缺乏時會造成新葉壞疽 (Britto and Kronzucker, 2008; Taiz and Zeiger, 2010; Ullio, 2010)，本試驗皆無發現元素缺乏的徵狀。比較兩個循環式系統， $N_{75\%}+N_{75\%}$ 的累計葉片數、走莖數及葉面積等皆稍微高於 $N_{75\%}+N_{50\%}$ ，推測原因為 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 氮肥供給較多，營養生長旺盛，但也造成養液更換前 K^+ 的消耗量過大，致使花序出現速率較慢。

果實發育期間養液中的離子的消耗速率較花芽誘導期快 (圖 25 及圖 29)， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 的 NO_3^- 甚至在試驗結束前就消耗完畢，較快速耗盡 NO_3^- 之因除了與每週比 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 補充較少氮之外， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 果實產量較高，故養分需求量大，其 EC 值的下降速率也比 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 快。氮的濃度會影響果實的大小，適度的施用氮肥可以促進草莓果實發育，增加果實的重量 (Nestby, 2008)。足夠的 K^+ 則能增加植物果實產量、維生素 C 及可溶性糖，且加快果實的成熟速率 (Ganeshamurthy, 2011)，鉀缺乏則會造成草莓果實無法轉色且缺乏風味 (Ulrich et al., 1980)， $N_{75\%}+N_{50\%}$ 花序出現速率雖與非循環系統類似，但平均採收時間顯著較高，代表果實發育時間較久。

Enshi 養液之氮來源包含 KNO_3 、 $Ca(NO_3)_2$ 及 $NH_4H_2PO_4$ ，因此調整氮濃度時也會造成其他離子的濃度改變， $N_{50\%}$ 及 $N_{75\%}$ 配方除了降低養液中氮濃度外， K^+ 濃度也比 Enshi 下降 54%、磷濃度變為原本的 3 倍，為使減氮配方之 Ca^{2+} 濃度能與 Enshi 養液相同，以 $CaCl_2$ 作為 Ca 源。氮是植物必須元素，與光合作用的水裂解及植物根部及葉片細胞分裂有關 (Taiz and Zeiger, 2010)，但植物本身僅需要微量，過度累積除了造成 EC 值過高也可能影響硝酸吸收效率，有研究指出，施用 $CaCl_2$ 會

降低硝酸還原酶的活性進而降低硝酸的吸收 (Richharia et al., 1997)，但植物種類及栽種模式都可能會影響植物對 Cl⁻ 的耐受性。Enshi 養液本身不含 Cl⁻，但台灣自來水之 Cl⁻ 含量為 0.1 至 1.0 mg·L⁻¹ (台灣自來水公司)，而本試驗測得 Cl⁻ 濃度為 18.53 mg·L⁻¹ (圖 26)。草莓 'Selva' 及 'Camarosa' 分別栽培在 Cl⁻ 濃度 0、213 及 318 mg·L⁻¹ 之 Hoagland-Arnon 養液，213 mg·L⁻¹ 處理之植物高度、產量、果實硬度及總葉綠素含量皆高於 0 mg·L⁻¹ 處理，318 mg·L⁻¹ 處理則對另外兩處理無顯著差異，適當濃度 Cl⁻ 可以促進草莓生長，而 318 mg·L⁻¹ 的 Cl⁻ 濃度亦不會出現毒害徵狀 (Esna-Ashari and Gholami, 2009)。本試驗 Cl⁻ 濃度仍遠低於 Esna-Ashari 與 Gholami 的試驗處理，推測對植株的影響不大。

Mondal 等 (2017) 為了生產低鉀的 '豐香' 草莓，以 1/4 全量的 Enshi 養液作為基礎，將 KNO₃ 調整成原來的 1/1、1/8 及 1/16，養液每 2 週更換一次，植株的葉片數、根長度、冠莖粗度及乾鮮重都隨養液 KNO₃ 濃度下降而遞減，但單株果實產量以 1/8 KNO₃ 最高，1/1 KNO₃ 因營養生長旺盛，導致生殖生長被抑制，因此適度降低硝酸鉀濃度可以促進開花，但過低的 KNO₃ 濃度則會影響產量。本試驗中 K⁺ 與 NO₃⁻ 濃度降低皆會降低植株的營養生長，與 Mondal 等 (2017) 試驗結果相符。

三、再誘導植株對於果實生產之影響

臺灣的草莓栽培模式為於 9 月下旬至 10 月上旬定植於田間，之後隨著天氣轉涼及日長縮短開始花芽分化，並可連續開花直到隔年 4 月回溫，期間可採收 3 至 4 期果，其中第 2 期果一般比第 1 期果大且產量較高，有研究指出果實的發育時間會隨著開花次數的增加而減少，'桃園一號' 第 1 期果開花至果實採收需 43 日，第 2 期果為 37 日，第 3 及第 4 期果分別為 30 及 20 日 (蔡與曾，1992)，因此期望植物工廠能應用再誘導植株生產第 2 期果以增加果實的產量並縮短果實發育期。

本試驗在花芽誘導期以 N_{75%}S_{60%}+N_{50%}S_{60%} 減氮循環系統進行。對照的初次誘導植株在第 9 週才出現花序，平均果實重量為 14.61 g，比較前一次 N_{75%}+N_{50%} 的試驗結果，花序發育較慢 (圖 18 及圖 32)、果實也較小 (表 10 及表 13)。比較兩次誘導之養液分析的結果，本次試驗植株 Mg²⁺ 與 SO₄²⁻ 吸收較少，SO₄²⁻ 的上升速率趨緩，K⁺ 與 NO₃⁻ 的消耗速率較快，Ca²⁺ 的變化趨勢類似 (圖 25 及圖 39)。K⁺、Ca²⁺ 與 Mg²⁺ 三者的吸收會互相影響 (Junes et al., 2008)，降低 MgSO₄ 之供應雖然能避免

SO₄²⁻過度累積，但造成 K⁺與 NO₃⁻的消耗量上升。植物在 K⁺與 NO₃⁻不足的狀況下延遲花芽分化，且在花序發育期養分不足，即使後續在果實發育期增加氮及鉀的供應量，增大果實的效益有限。再誘導植株的株齡較大、冠莖粗，所需養分更多，因此養液 K⁺與 Ca²⁺消耗更快，養分不足的狀況更加嚴重，導致花芽誘導速率更慢，開花比例較低，且因花序發育慢且少，果實採收時間較晚，果實重量也較輕，可售果實比例僅有 60%，並無法達到縮短栽培時間與增加果實重量的目的。

本試驗為解決循環系統開花問題，以減氮達成花芽誘導的目的，忽略養分不足之嚴重因素，造成果實較少及產量較低；在擴及植株再誘導開花時，養分不足的問題更加遽。因此，以減氮方式解決循環系統的花芽誘導問題，並非良好策略，應該著重減少養液更換頻度，才不會因為養液更換而導致植株回復營養生長。

植物工廠與田間環境具有差異，植物工廠可以精確的控制環境，花芽誘導期及果實發育期可以調整成較適合植物的光週與溫度，因植物工廠光度不足，為增加光合作用同化產物，在果實發育期調高溫度及延長光週有助於植物生長。而田間受到外在環境影響，第 2 期果生長發育的溫度會比第 1 期果低，更適合花序及瘦果發育 (森, 1998)，因此第 2 期果會比第 1 期果大。若要在植物工廠複製田間第 2 期果的生產條件，建議可以將現行的日夜溫 22/17°C 的花芽誘導溫度設定再往下調，以加快花序的生成及增大果實。

冠莖的分化一般被認為可以增加花序數進而提升產量 (Jahn and Dana, 1970)，但植物工廠內一旦冠莖數量大於 3 個，則很難再形成花序，且受限於層板的空間，冠莖易形成扇形 (圖 31E)。多數初次誘導植株在花芽分化階段會發育出 1 個側冠莖 (圖 31C)，而有部分再誘導植株則是在花序出現前即有多個側冠莖發生 (附圖 9)，造成生長點增加而產生許多小葉片及走莖，因此葉面積下降，且後期之累計葉片數及走莖數較多 (圖 33 及圖 35)。此外，側冠莖之發生使植株差異極大。

利用多次誘導植株以循環系統在植物工廠內進行產果，除了要解決養液供應問題外，目前臺灣大學植物工廠的層架較適合種植栽培期較短的葉菜類，草莓經低溫誘導後，其冠莖變粗、根系也過於龐大，更增加試驗難度。

第五章 結論

田間慣行的草莓栽培每年皆須更新植株，以每公頃種苗需求量 4 萬 5 千至 5 萬株計算，每年種苗之需求量達 2,400 萬株以上 (張等, 2016)。農民常以前一年的走莖進行育苗，多年下來母株衰弱甚至染病，所生產的子株定植後生長勢弱，需要大量使用農藥控制病蟲害，因此近年來產業上缺苗及補植率高的問題日益嚴重 (鐘與彭, 2013)。為解決產業尚缺苗的問題，本研究在植物工廠內以循環式水耕栽培結合組織培養技術生產無病毒健康種苗及安全無毒的果實。

以 $N_{129\%}S_{90\%}$ 及 Enshi 養液生產‘桃園一號’草莓走莖苗， $N_{129\%}S_{90\%}$ 為以 Enshi 養液為基礎，提高氮 29% 的與減少 10% $MgSO_4$ ，對母株的生長的影響不明顯，但 $N_{129\%}S_{90\%}$ 的子株產量比 Enshi 高 7.8%，每週可生產 1.83 子株/母株，而產苗母株約在栽培後的 16 週開始老化，若要持續產苗，建議約每 16 週需更新一次產苗母株，此時 $N_{129\%}S_{90\%}$ 及 Enshi 養液分別可生產 23 及 21 子株/母株。採收後的子株在溫室定植後成活率極高、且生長旺盛，代表植物工廠生產的走莖苗可以提供給臺灣草莓苗產業使用。 $N_{129\%}S_{90\%}$ 養液雖能有效減緩 NO_3^- 下降的速率與降低 SO_4^{2-} 的累積，但 EC 值及 pH 值變動皆較 Enshi 劇烈，兩種補充模式皆不適合進行栽培，建議在更換養液時使用 Enshi，後續以 $N_{129\%}S_{90\%}$ 補充，推測較能維持穩定的 EC 及 pH 值，並維持氮肥的供應且減少 SO_4^{2-} 累積。

以 Enshi 養液對‘桃園一號’與‘長柄’兩品種進行花芽誘導，花芽分化的比率約為 12%，在第 8 週花芽誘導結束時將循環式養液全面更新成 Enshi 養液，會使植物的氮肥過多，因而回復營養生長。以循環式減氮配方 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 及 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 進行花芽誘導並以非循環系統作為對照，發現 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 為較適合進行花芽誘導之循環系統，植株花芽分化的趨勢與非循環式系統十分接近，在第 8 週的可見花序比例分別為 40% 與 66.7%，而最終可見花序比率皆為 100%，但 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 的果實平均重量顯著低於非循環系統，兩者平均果重分別為 16.26 g 與 20.42 g，而 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 的果實採收時間也顯著晚於非循環系統 6.95 日。植物在循環式系統生長較差，累計走莖數較非循環系統低。循環式減氮養液的 K^+ 及 NO_3^- 濃度隨栽培時間而減少， Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 能維持穩定的濃度，而 SO_4^{2-} 濃度持續上升，養液雖於第 13 週果實開始發育後更換，離子濃度的變化趨勢仍舊與花芽誘導期相同，不過 K^+ 及 NO_3^- 濃度下降速率更快，因此果實發育期不適合使用減氮配方。欲增大果實及縮短栽培時間，

可能需改變果實發育期的養液配方，且調整更換養液的時間。另外，減氮養液配方有 SO_4^{2-} 累積的問題，因此建議降低 SO_4^{2-} 的補充。

再誘導試驗修正了減氮試驗的養液補充模式，於誘導期間降低 40% 的 MgSO_4 供應，使用 $\text{N}_{75\%}\text{S}_{60\%}+\text{N}_{50\%}\text{S}_{60\%}$ 之補充模式，並於第一朵花開後更換養液，使用 Enshi 配方，補充養液則為 $\text{N}_{129\%}\text{S}_{90\%}$ 。初次及誘導植株分別於第 9 及 12 週出現花序，最終花序比例分別為 100% 及 26.67%；果實重量以初次誘導顯著較重，平均有 14.61 g，再誘導的平均果重僅有 11.55 g；果實採收時間則是初次誘導顯著早於再誘導，前者比後者早 18 日採收。再誘導植物在本試驗無法達到縮短栽培時間及增大果實的目的，主要因為花芽誘導期降低硫酸鎂的供應會影響植物的生長，造成兩者的花芽分化時間皆比前次減氮試驗晚，而再誘導植株因冠莖粗、株齡大需較多養分，使花芽分化的條件更加嚴峻。再誘導植株應用於產果時還有側冠莖的問題，部分再誘導植株在花芽分化前即會發育出側冠莖，除了造成管理上的困難，還會影響其花芽分化。本試驗在開花後改變補充模式，增加氮的供應及降低硫酸鎂的補充，卻仍出現氮濃度持續下降而 SO_4^{2-} 累積的狀況，養液的 EC 值持續上升而 pH 值維持穩定，在循環式系統維持氮肥及 SO_4^{2-} 濃度是一個仍需克服的問題，無論是在走莖苗生產或是果實發育階段。

生殖生長的養液管理還需更進一步的研究，減氮雖能促進開花，但果實產量低，並非良好策略，應在不影響植物生長下，降低氮的供給量，且須減少養液的更換頻率，防止植物因更換養液而恢復營養生長。

循環式系統的應用降低了更換養液的頻率，可以較節省水資源與減緩藥品的消耗，但有時會因為管理疏失或設備折損造成養液滲漏，須定期關注以防止植物缺乏養液而造成損失。有前人研究指出草莓的根部會釋放有機酸及植物殘體 (Kitazawa et al., 2005)，導致植物生長受到抑制，但臺大植物工廠的循環式系統內植物生長良好並未發現此問題，不過，植物殘體多會累積在儲液桶下方與栽培槽底部，雖不會對植物造成立即性的影響，但養液會逐漸混濁，使試驗結束後的清潔變得不易。

目前臺大植物工廠內的栽培層架不適合栽培草莓，此栽培槽較適合栽種葉菜類等短期作物，草莓冠莖會在花芽誘導期間變粗，但栽培層板的洞會限制冠莖的發育，植物的根系也容易互相交纏，而轉色中的果實有時也會因為與栽培層板摩擦造

成果實受傷，進而影響商品價值。另外，栽培層架所搭配之 T5 螢光燈管之光強度弱，成為限制草莓生長的因子之一，LED 燈的價格雖然較高，但它有較強的亮度且較為省電，有潛力取代目前的螢光燈管。



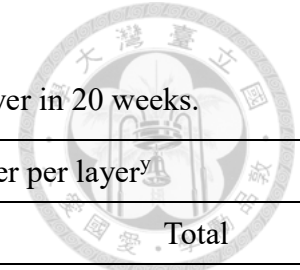


表 1. 養液配方對於‘桃園一號’草莓 20 週內單一母株及栽培床子株產量之影響

Table 1. The effect of nutrient solution formula on ‘Taoyuan No. 1’ daughter plants number per mother plant and per layer in 20 weeks.

Nutrient solution formula	Daughter plants number per mother plant			Daughter plants number per layer ^y		
	Rooted	Unrooted	Total	Rooted	Unrooted	Total
N _{129%} S _{90%}	29.83 ± 0.88 a ^z	7.17 ± 0.38 a	36.58 ± 1.23 a	119.33 ± 3.51 a	28.67 ± 1.53 a	148 ± 4.35 a
Enshi	28.92 ± 1.23 a	5.33 ± 1.01 b	33.92 ± 0.95 b	115.67 ± 0.18 a	21.33 ± 4.04 b	137 ± 2.64 b

^z Mean ± standard error (n=3). Means within columns followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$ by Student’s *t* test.

^y 0.55 m² per layer.

表 2. '桃園一號'草莓栽培於 N_{129%}S_{90%}與 Enshi 養液在第 9 至 16 週間每週消耗之養液量

Table 2. The amount of nutrient solution consumption (L) from Week 9 to Week 16 in strawberry 'Taoyuan No. 1' grown under N_{129%}S_{90%} and Enshi solution.

Week	9	10	11	12	13	14	15	16
N _{129%} S _{90%}	40	32	40	50	40	46	35	45
Enshi	36	25	25	25	25	30	35	25

表 3. 養液配方對於‘桃園一號’草莓走莖採收時子株平均發根週數之影響
 Table 3. The effect of nutrient solution formula on daughter plants average rooting weeks at runner harvest in ‘Taoyuan No. 1’ strawberry.

Lot ^z	Daughter plant position ^y	N _{129%} S _{90%}	Enshi
1	1 st	2.79 ± 0.11 a ^x	2.73 ± 0.08 a
	2 nd	1.48 ± 0.04 a	1.30 ± 0.06 b
2	1 st	2.80 ± 0.05 a	2.92 ± 0.07 a
	2 nd	2.03 ± 0.35 a	1.61 ± 0.21 a
3	1 st	2.69 ± 0.07 a	2.78 ± 0.11 a
	2 nd	1.53 ± 0.12 a	1.40 ± 0.09 a
4	1 st	2.34 ± 0.10 a	2.42 ± 0.14 a
	2 nd	1.19 ± 0.06 a	1.18 ± 0.22 a
5	1 st	3.00 ± 0.15 a	2.97 ± 0.10 a
	2 nd	1.92 ± 0.14 a	1.63 ± 0.13 a
6	1 st	2.66 ± 0.04 a	2.78 ± 0.16 a
	2 nd	1.90 ± 0.17 a	1.85 ± 0.24 a

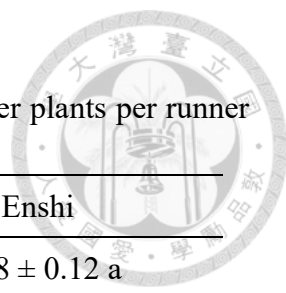
^z 1st lot was harvested on 27 Mar. 2017, 2nd on 17 Apr. 2017, 3rd on 8 May 2017, 4th 22 May 2017, 5th 12 Jun. 2017 and 6th 3 Jul. 2017.

^y 1st and 2nd were daughter plants on 2nd and 4th node, respectively.

^x Mean ± standard error (n=3). Means within rows followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$ by Student's *t* test.

表 4. 養液配方對於‘桃園一號’草莓單一走莖採收子株數之影響

Table 4. The effect of nutrient solution formula on harvested daughter plants per runner in ‘Taoyuan No. 1’ strawberry.



Lot ^z	N _{129%} S _{90%}	Enshi
1	1.86 ± 0.13 a	1.88 ± 0.12 a
2	2.17 ± 0.07 a	1.96 ± 0.15 b
3	2.24 ± 0.19 a	2.08 ± 0.22 a
4	1.94 ± 0.25 a	1.79 ± 0.15 a
5	2.06 ± 0.10 a	2.11 ± 0.14 a
6	1.94 ± 0.26 a	2.01 ± 0.22 a

^z 1st lot was harvested on 27 Mar. 2017, 2nd on 17 Apr. 2017, 3rd on 8 May 2017, 4th 22 May 2017, 5th 12 Jun. 2017 and 6th 3 Jul. 2017.

^y Mean ± standard error (n=3). Means within rows followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$ by Student's t test.

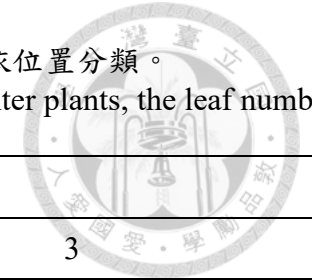


表 5. 養液配方及發根週數對‘桃園一號’草莓子株葉片數之影響，葉片數於走莖採收時計算並將走莖上的子株依位置分類。
 Table 5. The effect of nutrient solution formula and rooting weeks on leaf number in ‘Taoyuan No. 1’ strawberry daughter plants, the leaf number was calculated at runner harvest and classified by daughter plants position.

Rooting weeks	Daughter plant position ^y	Lot ^z					
		1		2		3	
		N _{129%} S _{90%}	Enshi	N _{129%} S _{90%}	Enshi	N _{129%} S _{90%}	Enshi
4	1 st	2.92 ± 0.14 aA ^x	3.00 ± 0.00 aA	3.28 ± 0.25 aA	3.00 ± 0.50 aA	—	—
3	1 st	2.42 ± 0.37 bA	2.57 ± 0.32 bA	2.83 ± 0.03 bA	2.57 ± 0.17 aA	2.74 ± 0.25 aA	2.62 ± 0.21 aA
3	2 nd	—	—	2.17 ± 0.29 cA	2.50 ± 0.71 abA	—	—
2	1 st	1.75 ± 0.44 cA	1.73 ± 0.12 cA	2.08 ± 0.14 cA	2.00 ± 0.00 bcA	1.93 ± 0.12 bA	2.00 ± 0.00 bA
2	2 nd	1.83 ± 0.14 cA	1.78 ± 0.38 cA	1.93 ± 0.12 cA	1.83 ± 0.29 cA	1.89 ± 0.32 bA	1.89 ± 0.19 bA
1	2 nd	1.17 ± 0.14 dA	1.12 ± 0.11 dA	1.25 ± 0.35 dA	1.08 ± 0.14 dA	1.08 ± 0.14 cA	1.15 ± 0.13 cA
0 ^w	—	0.00 ± 0.00 eA	0.00 ± 0.00 eA	0.00 ± 0.00 eA	0.00 ± 0.00 eA	0.00 ± 0.00 dA	0.00 ± 0.00 dA

^z 1st lot was harvested on 27 Mar. 2017, 2nd on 17 Apr. 2017 and 3rd on 8 May 2017

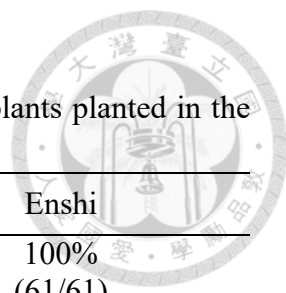
^y 1st and 2nd were daughter plants on 2nd and 4th node, respectively.

^x Mean ± standard error (n=3). Means within columns (in small letter) and every two row (in capital letter) followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$ by LSD test and Student’s *t* test, respectively.

^w Unroot daughter plants.

表 6. ‘桃園一號’草莓子株移植至溫室之存活率

Table 6. The survival rate of ‘Taoyuan No. 1’ strawberry daughter plants planted in the greenhouse.



Lot ^z	N _{129%} S _{90%}	Enshi
1	98.36% (60/61) ^y	100% (61/61)
2	100% (87/87)	100% (72/72)
3	100% (70/70)	100% (64/64)

^z 1st lot was harvested on 27 Mar. 2017, 2nd on 17 Apr. 2017 and 3rd on 8 May 2017.

^y Denominator represented the number of daughter plants transplanted to greenhouse and numerator represented the survived daughter plants number.

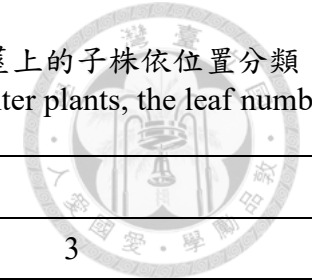


表 7. 養液配方及發根週數對‘桃園一號’草莓子株葉片數之影響，葉片數於子株定植於溫室 3 週後計算並將走莖上的子株依位置分類。
 Table 7. The effect of nutrient solution formula and rooting weeks on leaf number in ‘Taoyuan No. 1’ strawberry daughter plants, the leaf number was calculated after planting in greenhouse for 3 weeks and classified by daughter plants position.

Rooting weeks	Daughter plant position ^y	Lot ^z					
		1		2		3	
		N _{129%} S _{90%}	Enshi	N _{129%} S _{90%}	Enshi	N _{129%} S _{90%}	Enshi
4	1 st	5.25 ± 0.43 aA ^x	5.00 ± 0.00 aA	5.50 ± 0.50 aA	4.94 ± 0.42 aA	—	—
3	1 st	4.36 ± 0.34 bA	4.55 ± 0.18 bA	4.82 ± 0.17 bA	4.40 ± 0.09 bB	5.18 ± 0.31 aA	5.08 ± 0.22 aA
3	2 nd	—	—	4.56 ± 0.51 bcA	3.75 ± 0.35 cA	—	—
2	1 st	3.88 ± 0.44 bcA	3.86 ± 0.13 cA	4.02 ± 0.23 cdA	3.28 ± 0.25 cdB	4.27 ± 0.40 bA	4.00 ± 0.00 bA
2	2 nd	4.07 ± 0.12 bcA	4.06 ± 0.42 cA	3.98 ± 0.23 cdA	3.64 ± 0.13 cA	4.33 ± 0.29 bA	4.00 ± 0.33 bA
1	2 nd	3.42 ± 0.52 cdA	3.13 ± 0.12 dA	3.42 ± 0.12 deA	3.17 ± 0.14 dA	3.92 ± 0.14b bA	3.59 ± 0.08 bB
0 ^w	—	2.67 ± 0.58 dA	3.00 ± 0.00 dA	3.12 ± 0.26 eA	2.89 ± 0.19 dA	3.37 ± 0.15 cA	2.86 ± 0.75 cA

^z 1st lot was harvested on 27 Mar. 2017, 2nd on 17 Apr. 2017 and 3rd on 8 May 2017.

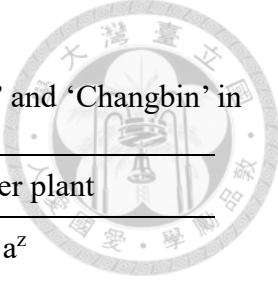
^y 1st and 2nd were daughter plants on 2nd and 4th node, respectively.

^x Mean ± standard error (n=3). Means within columns (in small letter) and every two row (in capital letter) followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$ by LSD test and Student’s t test, respectively.

^w Unroot daughter plants.

表 8. '桃園一號'與'長柄'在花序誘導與發育後冠莖數目之差異

Table 8. The difference between strawberry cultivars 'Taoyuan No. 1' and 'Changbin' in crown number after flower induction and development period.

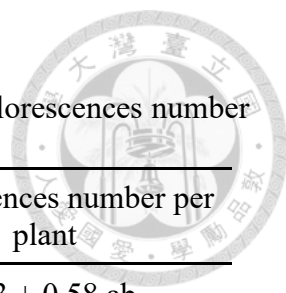


Cultivar	Crown number per plant
'Taoyuan No.1'	1.32 ± 0.35 a ^z
'Changbin'	1.06 ± 0.10 a

^z Mean ± standard error (n=6). Means followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$ by Student's *t* test.

表 9. 養液系統對於‘長柄’草莓冠莖數與花序數之影響

Table 9. Effect of nutrient solution system on crown number and inflorescences number in strawberry ‘Changbin’.



Treatment	Crown number per plant	Inflorescences number per plant
N _{75%} +N _{50%}	2.4 ± 1.11 a ^z	2.73 ± 0.58 ab
N _{75%} +N _{75%}	1.33 ± 0.23 a	1.8 ± 0.2 b
Non-recirculating system	1.87 ± 0.99 a	3.33 ± 0.81 a
LSD _{0.05}	1.74	1.17

^z Mean ± standard error (n=3). Any two means within columns not followed by the same letter were significantly different at $P < 0.05$ by LSD test.

表 10. 養液系統對於‘長柄’草莓低溫短日處理至採收所需天數、平均果實重與可售果實比例之影響

Table 10. Effect of nutrient solution system on short day treatment to harvest, average fruit weight and marketable fruit in strawberry ‘Changbin’.

Treatment	SD treatment to harvest (day)	Average fruit weight (g)	Marketable fruit (%) ^z
N _{75%} +N _{50%}	113.00 ± 0.88 a ^y	16.26 ± 2.27 b	81.16
N _{75%} +N _{75%}	114.15 ± 2.59 a	16.22 ± 1.46 b	83.33
Non-recirculating system	107.05 ± 1.94 b	20.42 ± 1.21 a	95.83
LSD _{0.05}	3.87	3.41	

^z Fruit weight above 10 g was recorded as marketable fruit.

^y Mean ± standard error (n=3). Any two means within columns not followed by the same letter were significantly different at $P < 0.05$ by LSD test.



表 11. 養液系統對於‘長柄’草莓產量之影響

Table 11. Effect of nutrient solution system on strawberry fruits yield in ‘Changbin’.

Treatment	Fruit weight (g) ^z (Percentage to total weight (%))				Total fruit weight (g)
	Below 10 g	10 - 19.99 g	20 - 29.99 g	Above 30 g	
N _{75%} +N _{50%}	90.31 (8.04)	522.17 (46.46)	478.73 (42.60)	32.64 (2.90)	1123.85
N _{75%} +N _{75%}	62.62 (8.09)	458.63 (55.41)	215.24 (27.83)	67.05 (8.67)	773.54
Non-recirculating system	26.71 (1.82)	527.36 (35.93)	658.74 (44.89)	254.84 (17.36)	1467.65

^z Fifteen strawberry plants were evaluated for its fruit weight in a treatment.

^y Fruit weight above 10 g was recorded as marketable fruit.

表 12. 初次與再誘導之‘長柄’草莓冠莖數、花序數及花序可見至開花所需天數之差異
 Table 12. The differences between the primary and re-induced ‘Changbin’ strawberry in crown number, inflorescences number and the days from inflorescence appearing to flowering.

Plants	Crown number per plant	Inflorescences number per plant	Inflorescence appearing to flowering ^z (day)
Primary	1.47 ± 0.12 a ^y	2.27 ± 0.31 a	13.5 ± 0.58 a
Re-induced	3.07 ± 1.79 a	1.07 ± 1.01 a	10.17 ± 3.06 a

^z Day to first flower blooming was recorded.

^y Mean ± standard error (n=3). Means followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$ by Student’s *t* test.

表 13. 初次與再誘導之‘長柄’草莓低溫短日處理至採收所需天數、平均果實重與可售果實之比例之差異

Table 13. The differences between the primary and re-induced ‘Changbin’ strawberry in short day treatment to harvest, average fruit weight and marketable fruit.

Plants	SD treatment to harvest (day)	Average fruit weight (g)	Marketable fruit (%) ^z
Primary	115.20 ± 1.69 b	14.61 ± 0.60 a	82.8
Re-induced	133.38 ± 2.77 a	11.55 ± 0.18 b	60

^z Fruit weight above 10 g was recorded as marketable fruit.

^y Mean ± standard error (n=3). Means followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$ by Student's *t* test.

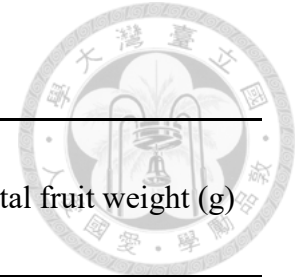


表 14. 初次與再誘導之‘長柄’草莓果實產量的差異

Table 14. The difference between the primary and re-induced ‘Changbin’ strawberry in fruit yield.

Plants	Fruit weight (g) ^z (Percentage to total weight (%))				Total fruit weight (g)
	Below 10 g	10 - 19.99 g	20 - 29.99 g	Above 30 g	
Primary	91.3 (9.76)	629.25 (67.28)	181.52 (19.41)	33.22 (3.55)	935.29
Re-induced	38.63 (22.44)	113.16 (65.74)	20.33 (11.81)	0 (0)	172.12

^z Fifteen strawberry plants were evaluated for its fruit weight in a treatment.

^y Fruit weight above 10 g was recorded as marketable fruit.



圖 1. '桃園一號' 草莓產苗母株栽培於 (A) $N_{129\%}S_{90\%}$ 與 (B) Enshi 養液之生長情形。影像擷取時為栽培第 13 週。

Fig. 1. The growth of 'Taoyuan No. 1' cultivated under (A) $N_{129\%}S_{90\%}$ and (B) Enshi solution. The experiment was conducted from 13 Feb. 2017 to 3 Jul. 2017, and the photos were taken on 13th week after the onset of experiment.

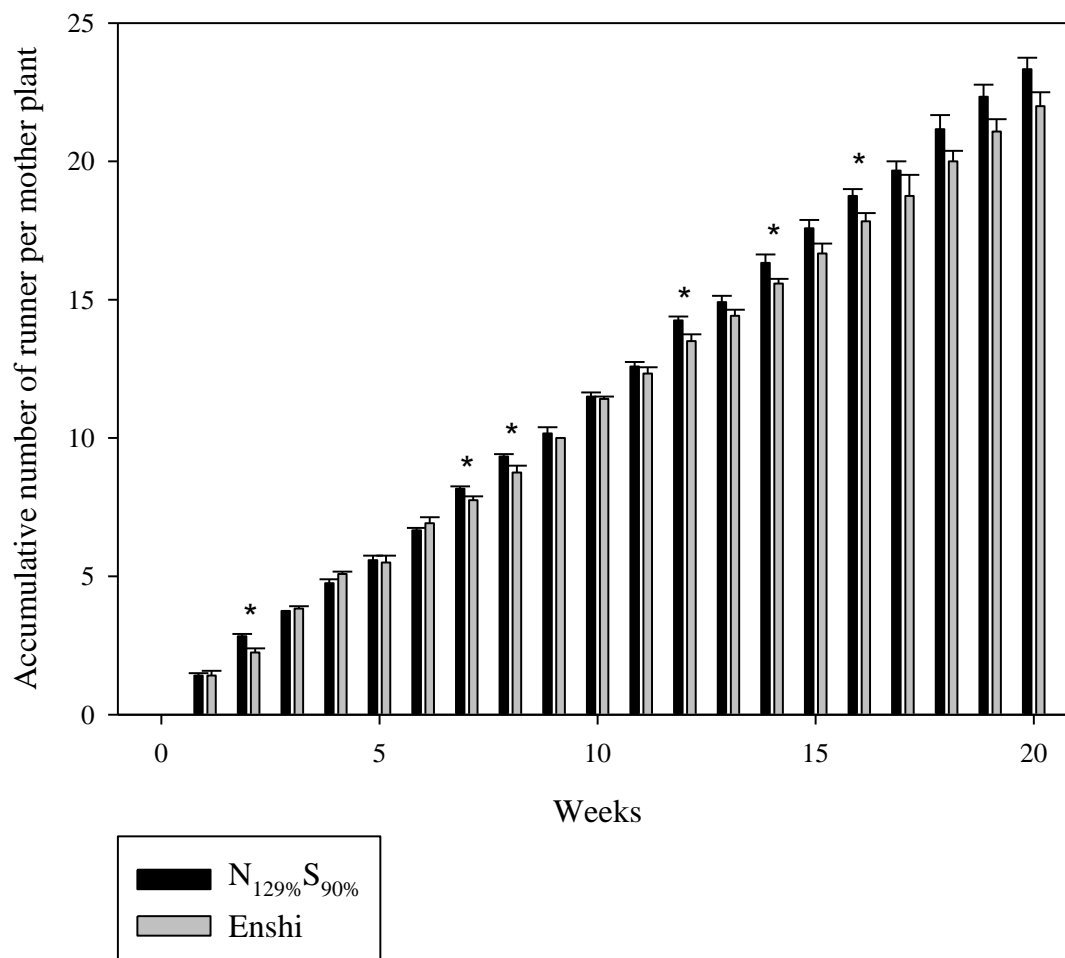


圖 2. '桃園一號'草莓母株栽培於 N_{129%}S_{90%}與 Enshi 養液之累計走莖產量。
 Fig. 2. The accumulative number of runner of strawberry 'Taoyuan No. 1' mother plant grown under N_{129%}S_{90%} and Enshi solution. * Significant at $P < 0.05$ by Student's t test. The experiment was conducted from 13 Feb. 2017 to 3 Jul. 2017.

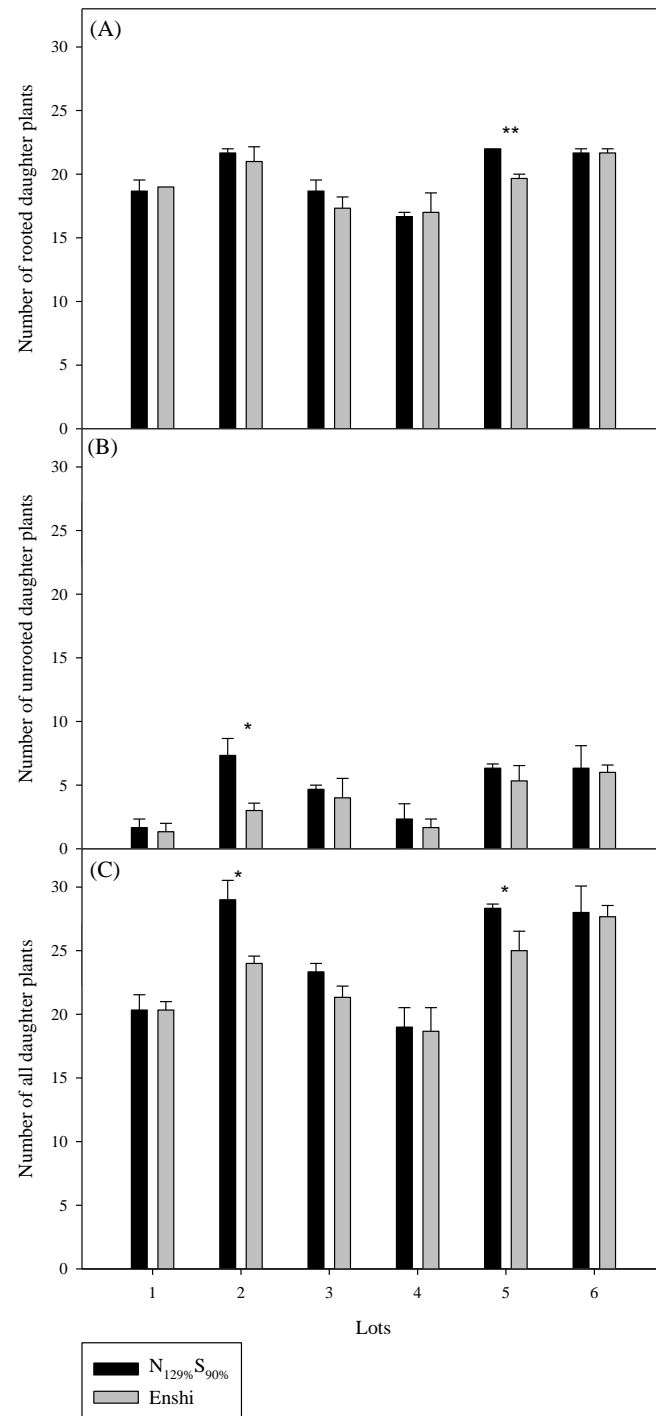


圖 3. ‘桃園一號’母株在 N_{129%}S_{90%}與 Enshi 配方下每個栽培床各採收批次之 (A) 發根子株 (B) 未發根子株與 (C) 所有子株數量。

Fig. 3. The number of (A) rooted (B) unrooted and (C) total daughter plants of each harvest lots per layer of strawberry ‘Taoyuan No.1’ mother plants grown under N_{129%}S_{90%} and Enshi solution. *, ** Significant at $P < 0.05$, 0.01 by Student’s t test, respectively. A cultivation bed is 0.55 m^2 . The experiment was conducted from 13 Feb. 2017 to 3 Jul. 2017.

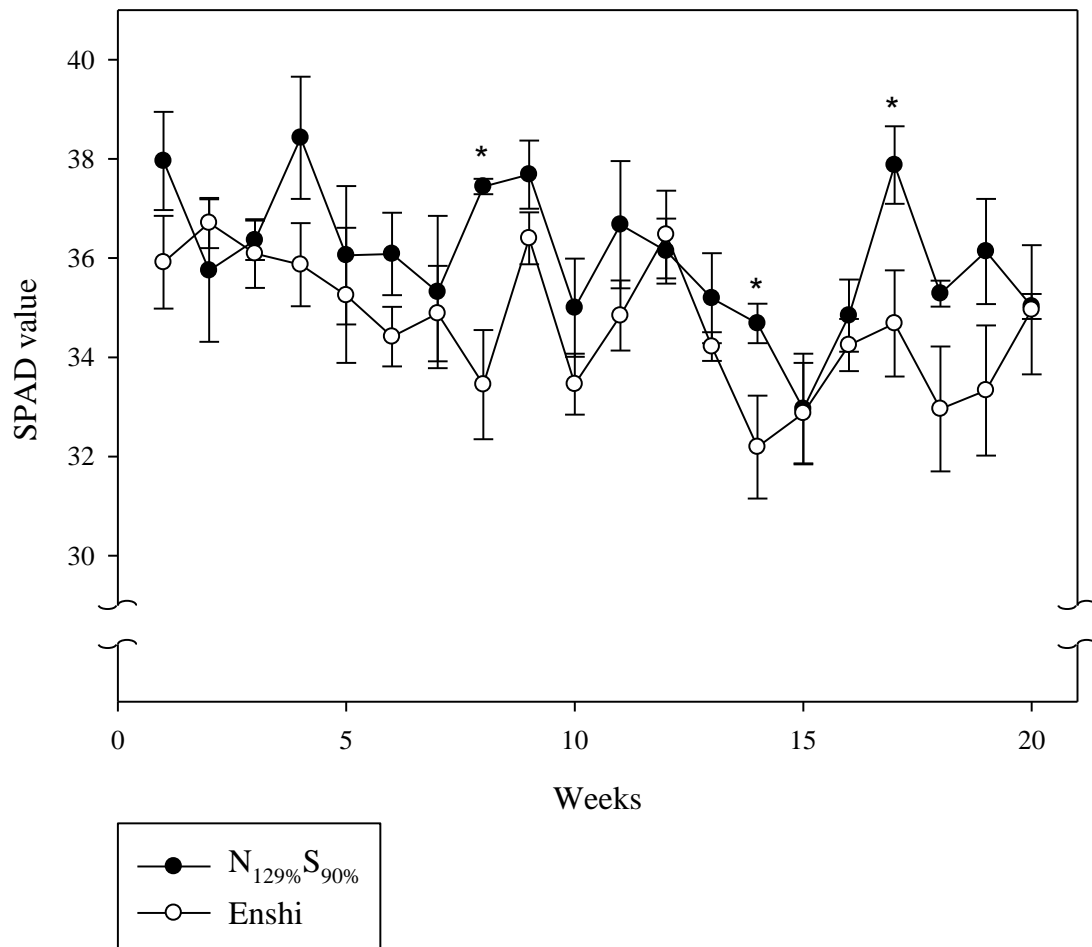


圖 4. ‘桃園一號’草莓母株栽培於 N_{129%}S_{90%}與 Enshi 養液之最新展開葉 SPAD 值。
 Fig. 4. The SPAD of the latest fully expanded leaf of strawberry ‘Taoyuan No. 1’ mother plant grown under N_{129%}S_{90%} and Enshi solution. *Significant at $P < 0.05$ by Student’s t test. The experiment was conducted from 13 Feb. 2017 to 3 Jul. 2017.

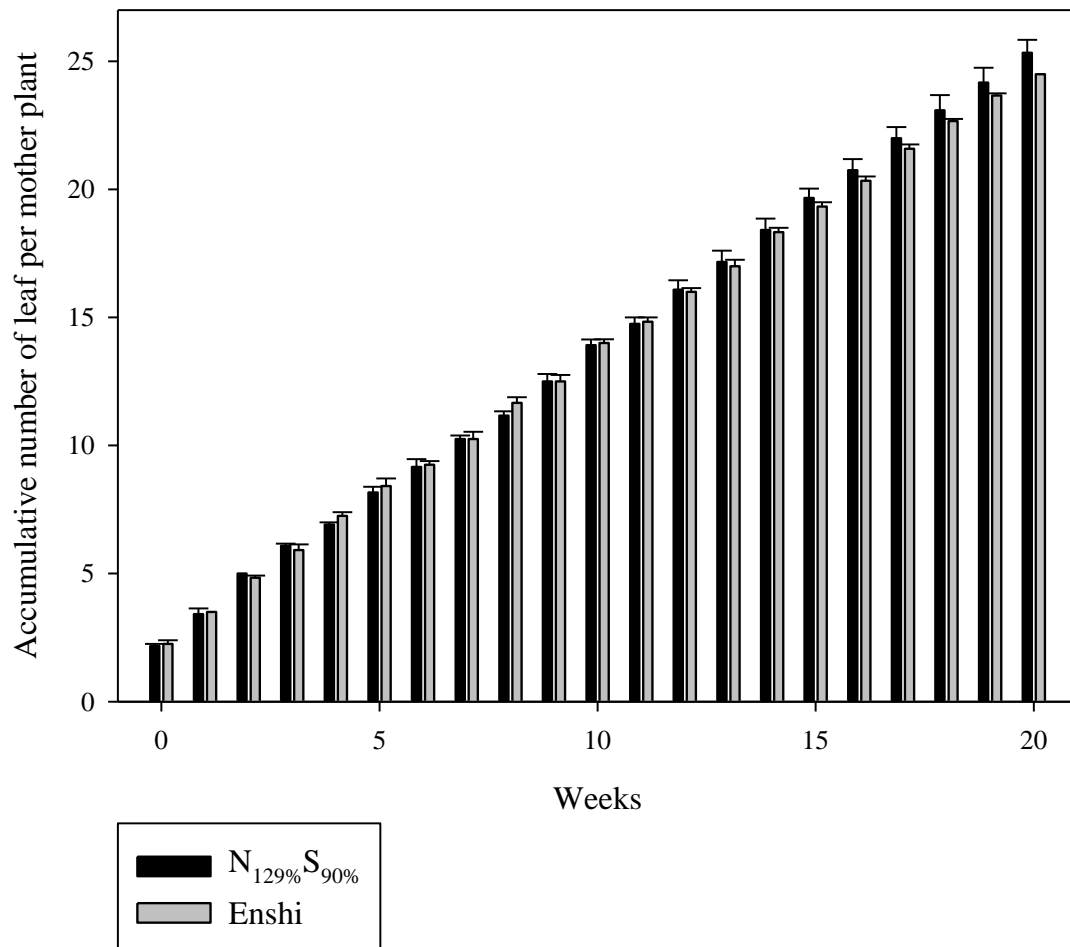


圖 5. '桃園一號'草莓產苗母株栽培於 N_{129%}S_{90%}與 Enshi 養液之累計葉片數
 Fig. 5. The accumulative number of leaf of strawberry 'Taoyuan No. 1' mother plant grown under N_{129%}S_{90%} and Enshi solution. The experiment was conducted from 13 Feb. 2017 to 3 Jul. 2017.

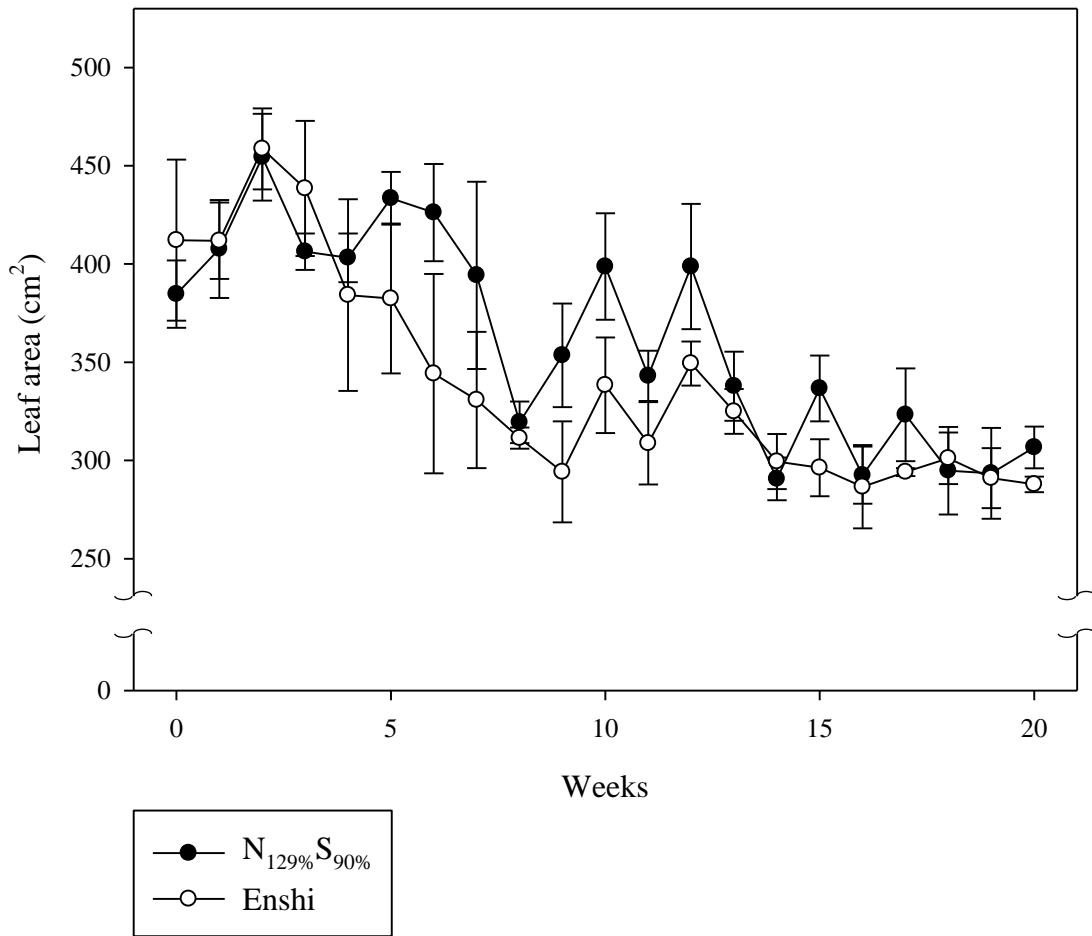


圖 6. ‘桃園一號’草莓母株栽培於 N_{129%}S_{90%}與 Enshi 養液之葉面積變化。

Fig. 6. The leaf area variation of strawberry ‘Taoyuan No. 1’ mother plants grown under N_{129%}S_{90%} and Enshi solution. The experiment was conducted from 13 Feb. 2017 to 3 Jul. 2017.

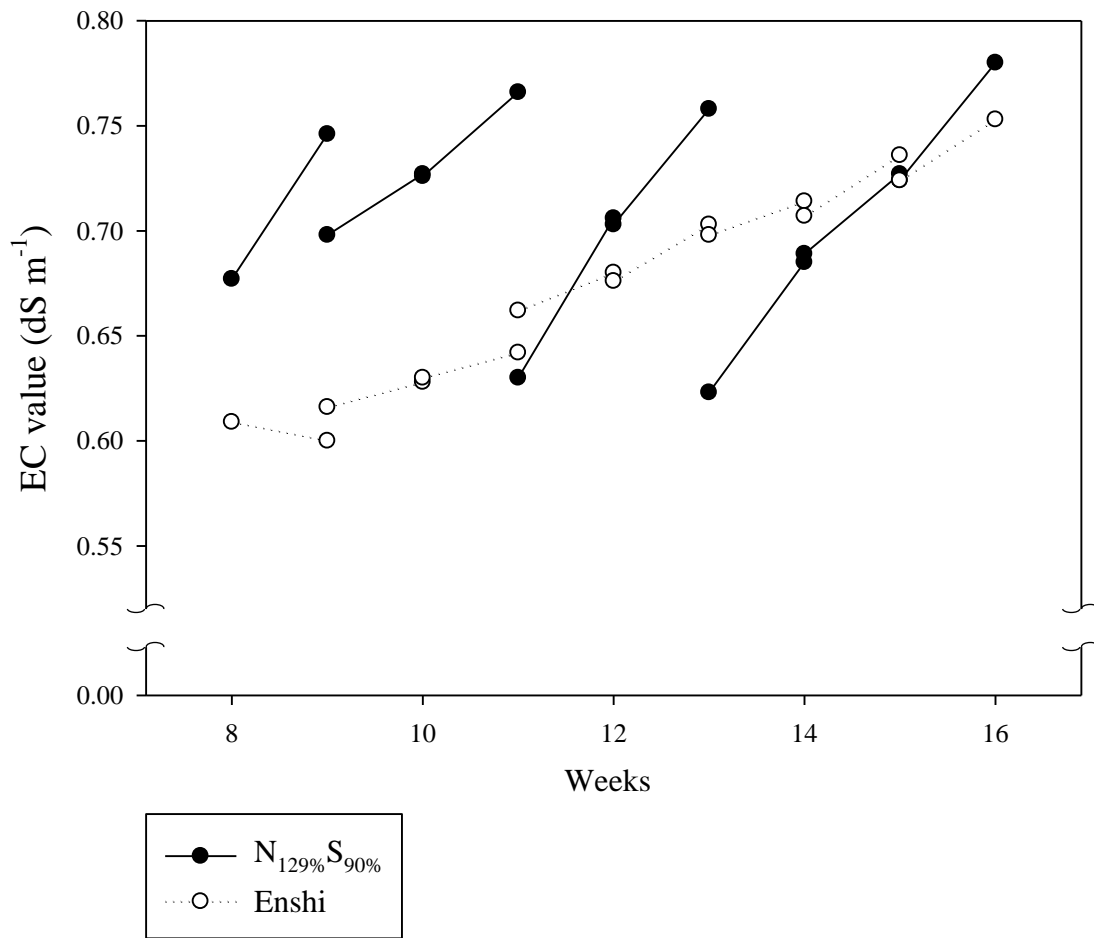


圖 7. '桃園一號'草莓栽培於 N_{129%}S_{90%}與 Enshi 養液下之 EC 值變化。
 Fig. 7. The EC variation of N_{129%}S_{90%} and Enshi solution before and after supplement. The plant grown was 'Taoyuan No. 1'. The experiment was conducted from 13 Feb. 2017 to 3 Jul. 2017 and the data was recorded from 10 Apr. 2017 to 5 Jun. 2017.

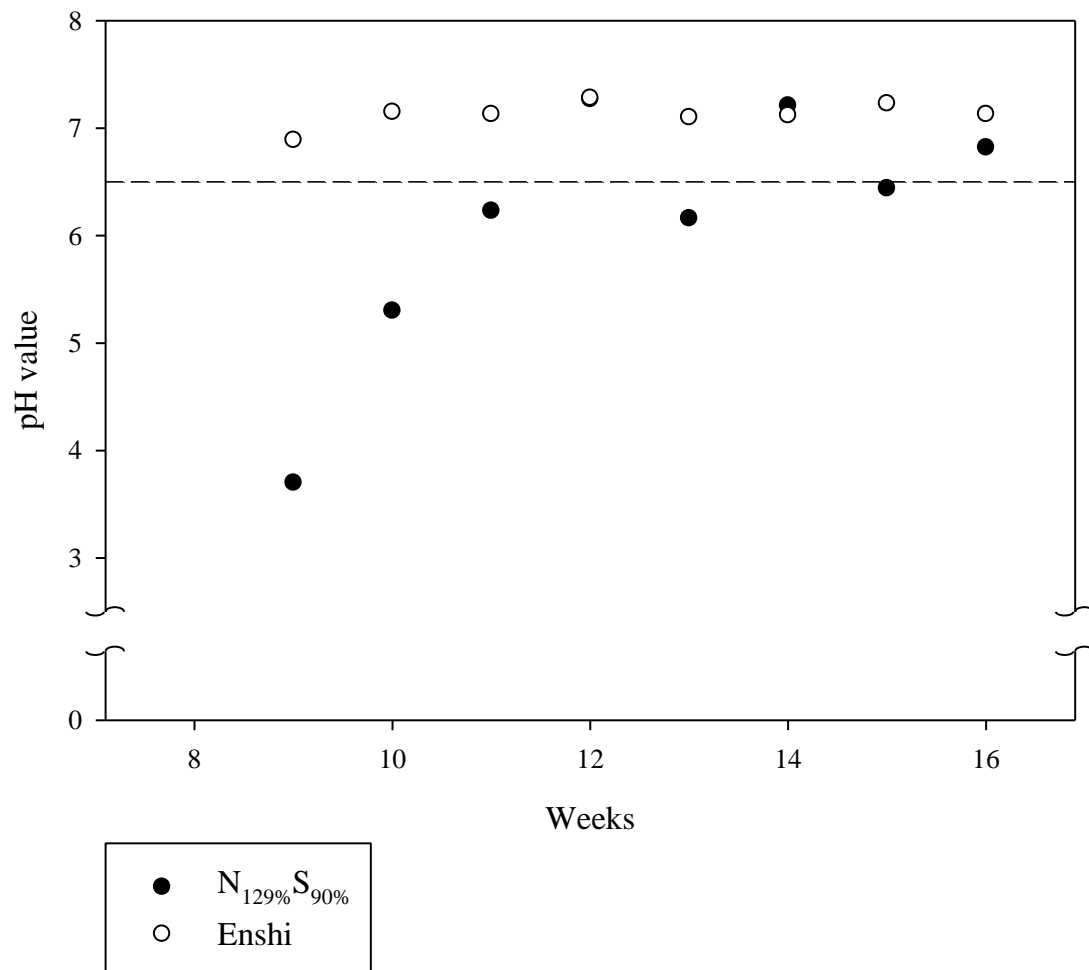


圖 8. '桃園一號'草莓栽培於 N_{129%}S_{90%}與 Enshi 養液下補充養液前之 pH 值。
 Fig. 8. The pH value of N_{129%}S_{90%} and Enshi solution before supplement in strawberry 'Taoyuan No. 1'. The experiment was conducted from 13 Feb. 2017 to 3 Jul. 2017 and the data was recorded from 10 Apr. 2017 to 5 Jun. 2017.

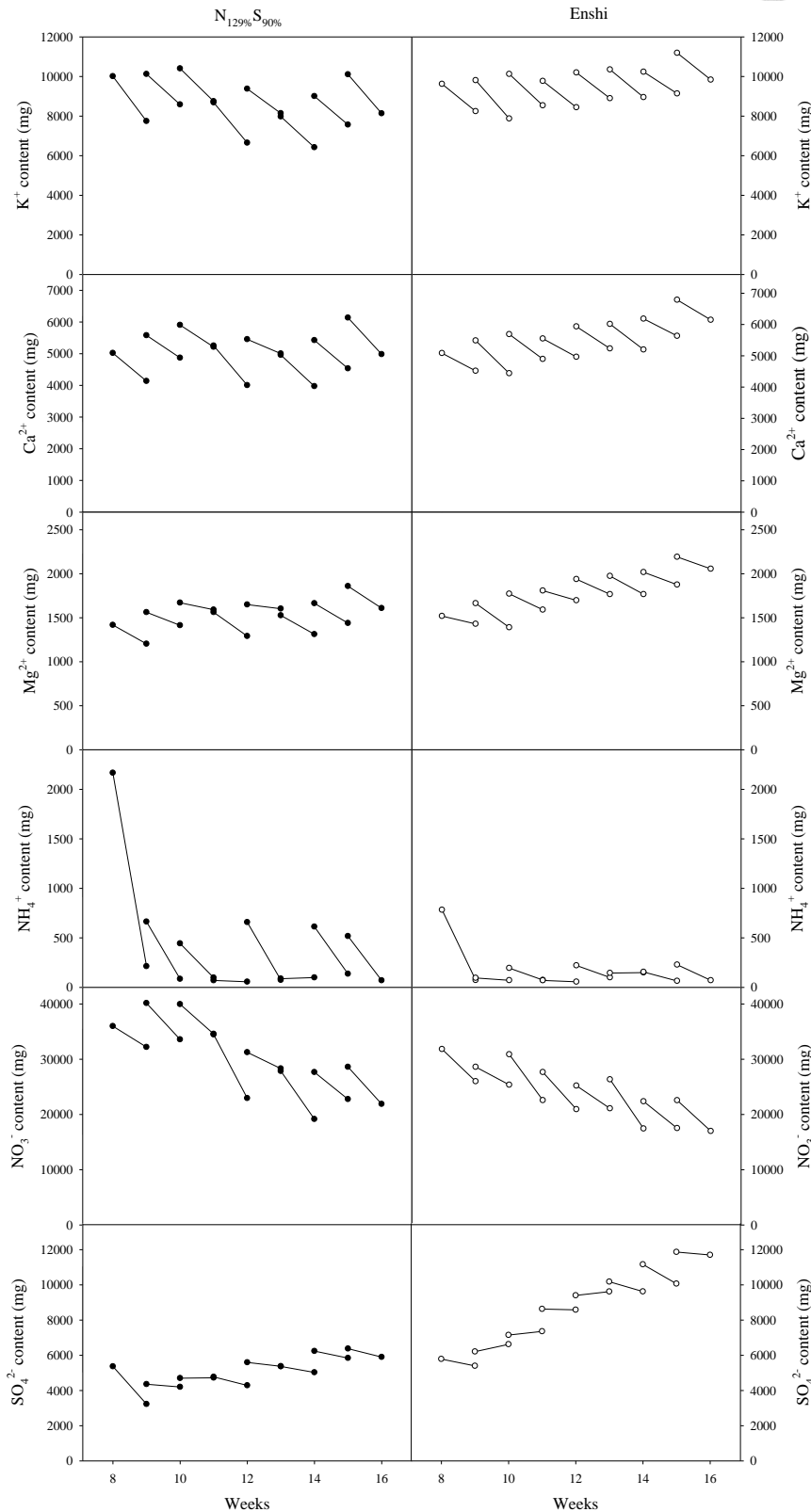
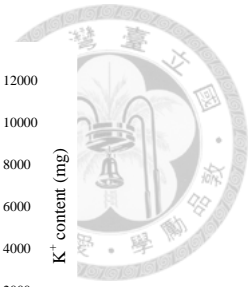


圖 9. '桃園一號' 草莓母株栽培於 N_{129%}S_{90%} 與 Enshi 養液下之離子含量變化。

Fig. 9. The ion content of N_{129%}S_{90%} and Enshi solution. The selected plants were 'Taoyuan No. 1'. The experiment was conducted from 13 Feb. 2017 to 3 Jul. 2017 and the data was recorded from 10 Apr. 2017 to 5 Jun. 2017.

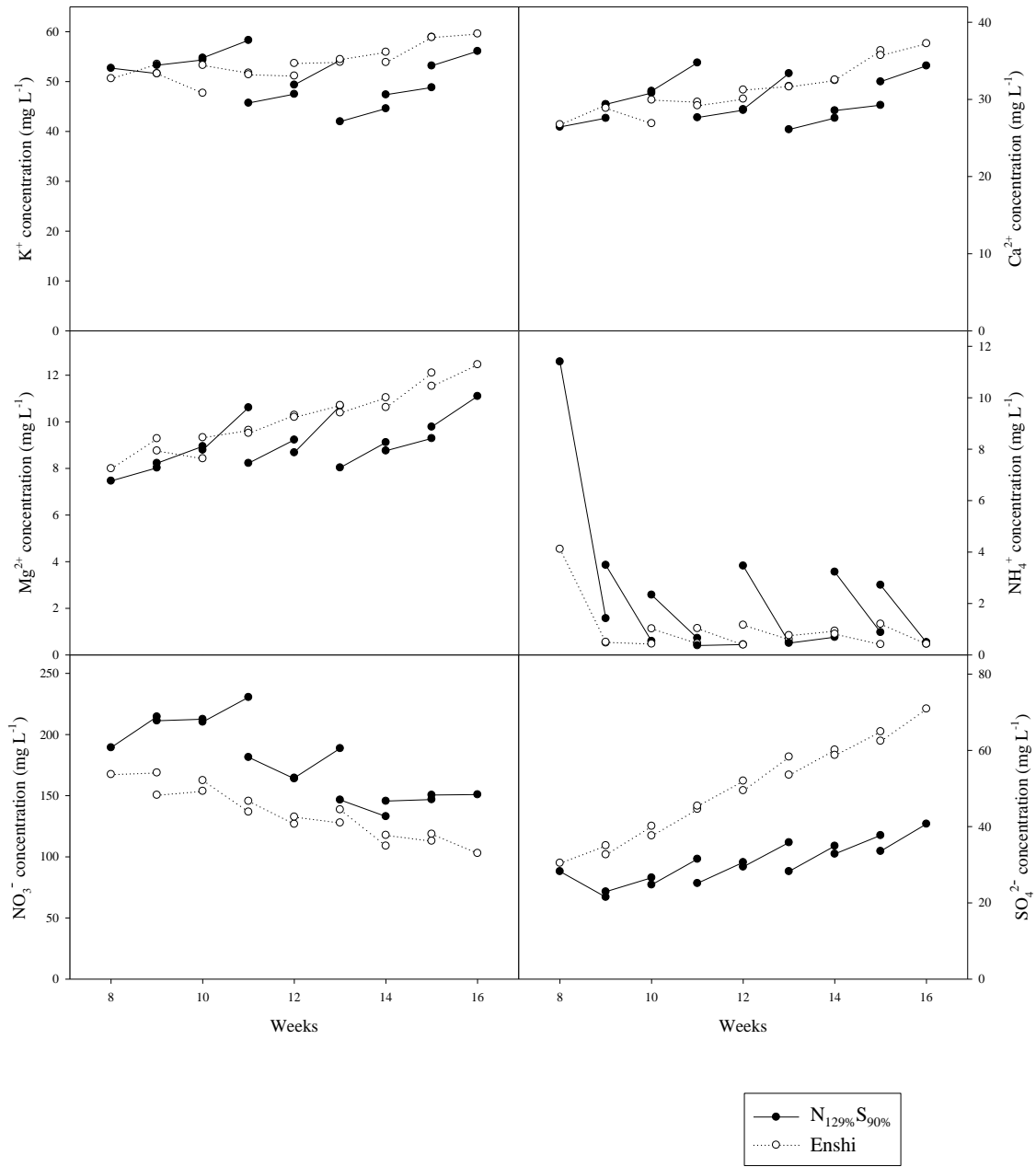


圖 10. '桃園一號'草莓母株栽培於 N_{129%}S_{90%}與 Enshi 養液下之離子濃度變化。
 Fig. 10. The ion concentration of N_{129%}S_{90%} and Enshi solution. The selected plants were 'Taoyuan No. 1'. The experiment was conducted from 13 Feb. 2017 to 3 Jul. 2017 and the data was recorded from 10 Apr. 2017 to 5 Jun. 2017.

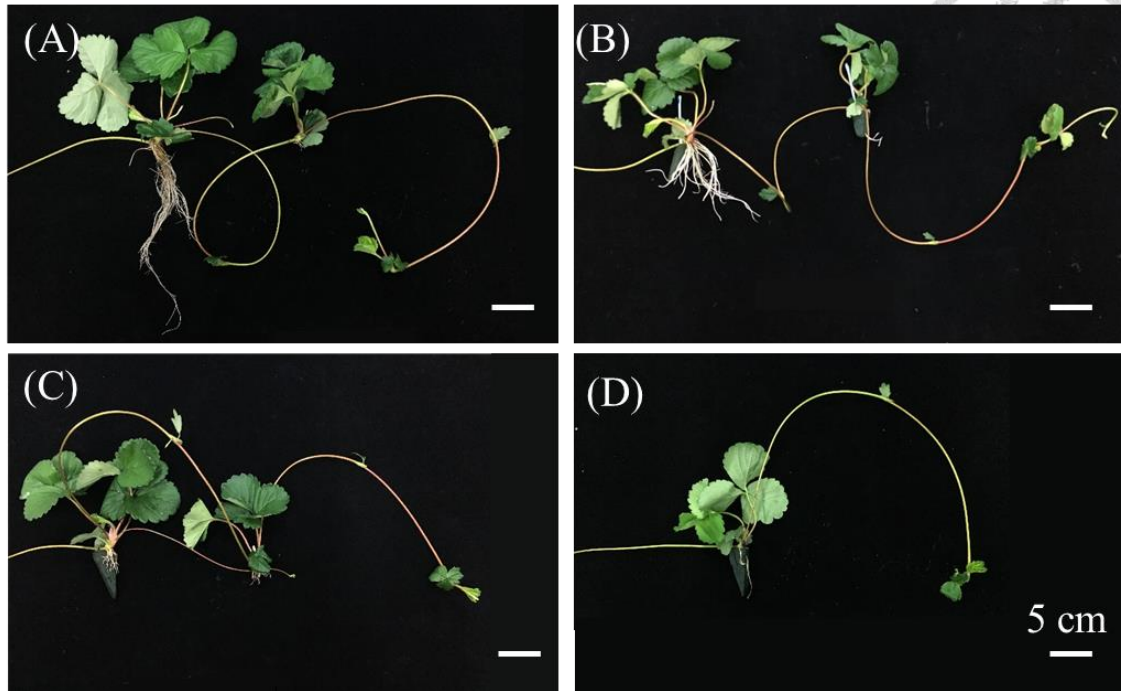


圖 11. '桃園一號'草莓採收子株之外觀 (A) 由左而右分別為發根 4 週、3 週及未發根子株 (B) 由左而右分別為發根 3 週、2 週及未發根子株 (C) 由左而右分別為發根 3 週及 1 週之子株 (D)發根 2 週之子株。

Fig. 11. The appearance of harvested strawberry 'Taoyuan No. 1' daughter plants. (A) From left to right, daughter plants were rooting for 4 weeks, 3 weeks and unrooted, respectively. (B) From left to right, daughter plants were rooting for 3 weeks, 2 weeks and unrooted, respectively. (C) From left to right, daughter plants were rooting for 3 weeks and 1 week, respectively. (D) Daughter plant was rooting for 2 weeks.



圖 12. ‘桃園一號’草莓子株定植於溫室之外觀 (A)–(C)子株定植後 1 週之生長情形 (D)–(F)及(J)–(L)分別為(A)植株定植 2 週與 3 週 (G)(H)及(M)(N)分別為(B)植株定植 2 週與 3 週 (I)及(O)分別為(C)植株定植 2 週與 3 週。

Fig. 12. The appearance of strawberry ‘Taoyuan No. 1’ daughter plants planted in the pots in the greenhouse. (A)(B)(C) The daughter plants planted in pots for 1 week (D)(E)(F) and (J)(K)(L) were (A) planted in pots for 2 and 3 weeks, respectively (G)(H) and (M)(N) were (B) planted in pots for 2 and 3 weeks, respectively (I) and (O) were (C) planted in pots for 2 and 3 weeks, respectively.

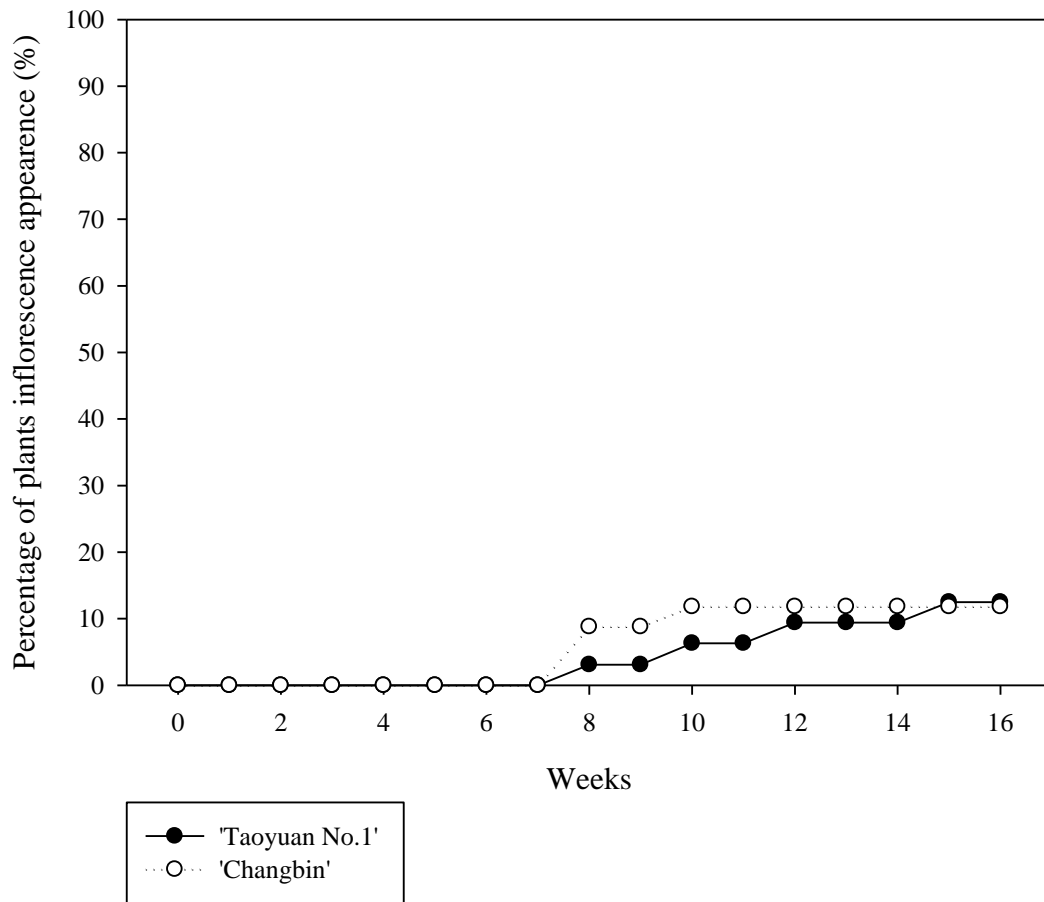


圖 13. '桃園一號'與'長柄'草莓花序形成之差異

Fig. 13. The differences between strawberry cultivars 'Taoyuan No. 1' and 'Changbin' on inflorescences formation. Plants were grown under cool temperature and short day for 8 weeks for inflorescences induction (week 0 to week 8).

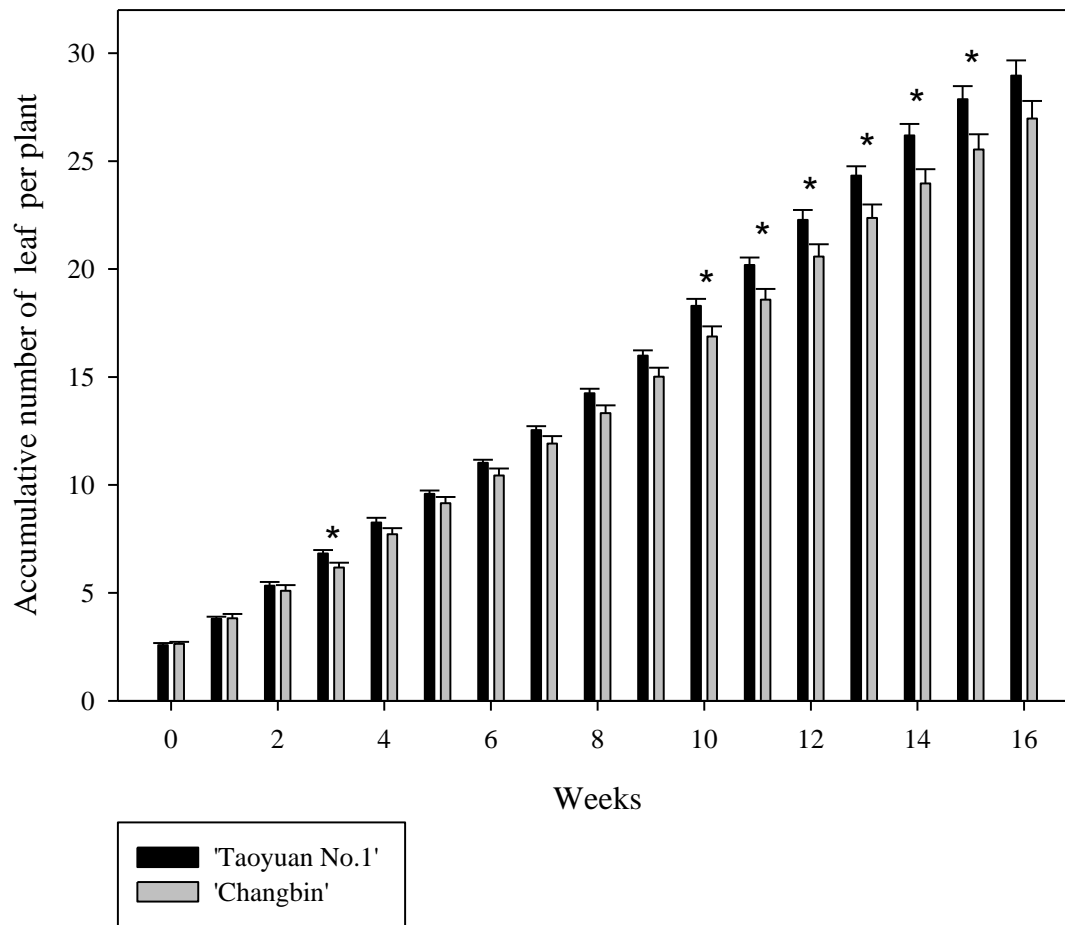


圖 14. '桃園一號'與'長柄'草莓在花序誘導與果實發育期間之累計葉片數
 Fig. 14. The accumulative number of leaf of strawberry cultivars 'Taoyuan No. 1' and 'Changbin' during inflorescences induction and development period. * Significant at $P < 0.05$ by Student's t test. Plants were grown under cool temperature and short day for 8 weeks (week 0 to week 8).

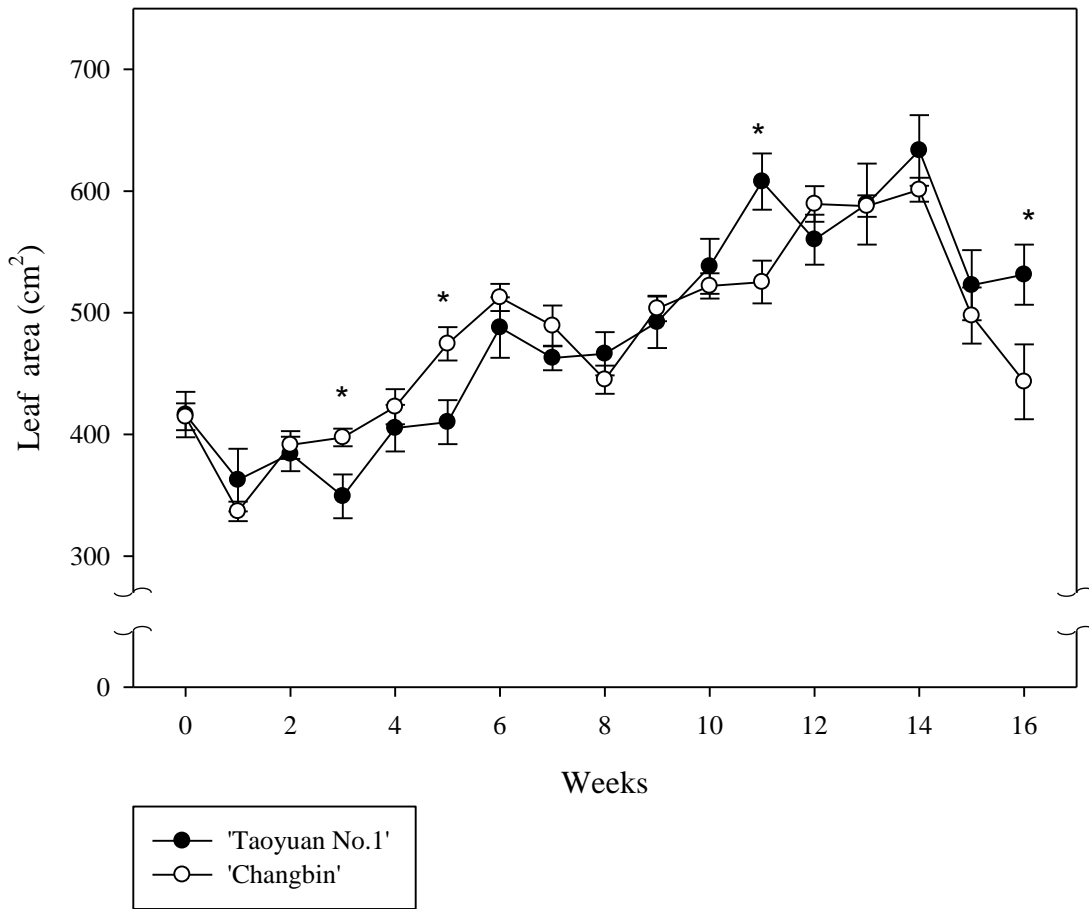


圖 15. '桃園一號'與'長柄'草莓在花序誘導與果實發育期間之葉面積變化
 Fig. 15. The leaf area variation of strawberry cultivars 'Taoyuan No. 1' and 'Changbin' during inflorescences induction and development period. * Significant at $P < 0.05$ by Student's t test. Plants were grown under cool temperature and short day for 8 weeks (week 0 to week 8).

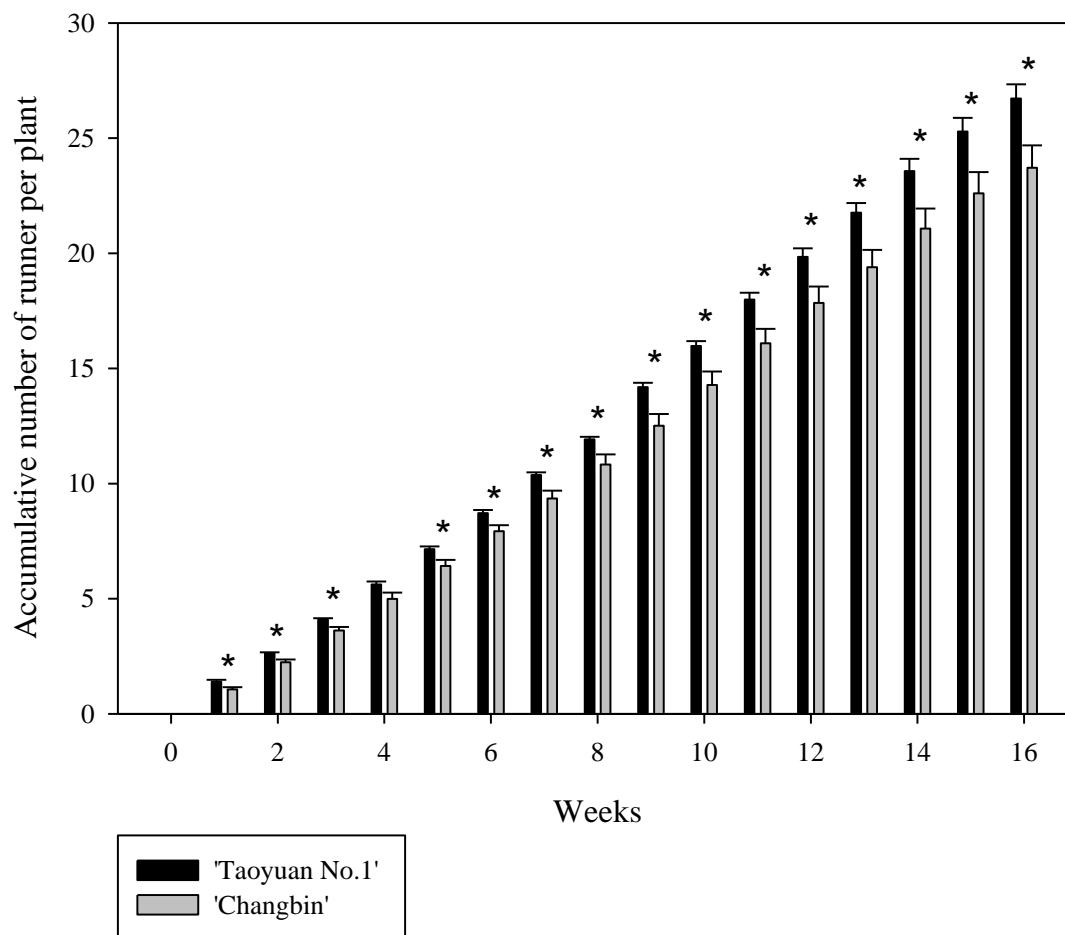


圖 16. '桃園一號'與'長柄'草莓在花序誘導與發育期間之累計走莖數

Fig. 16. The accumulative number of runners of strawberry cultivars 'Taoyuan No. 1' and 'Changbin' during inflorescences induction and development period. * Significant at $P < 0.05$ by Student's t test. Plants were grown under cool temperature and short day for 8 weeks (week 0 to week 8).

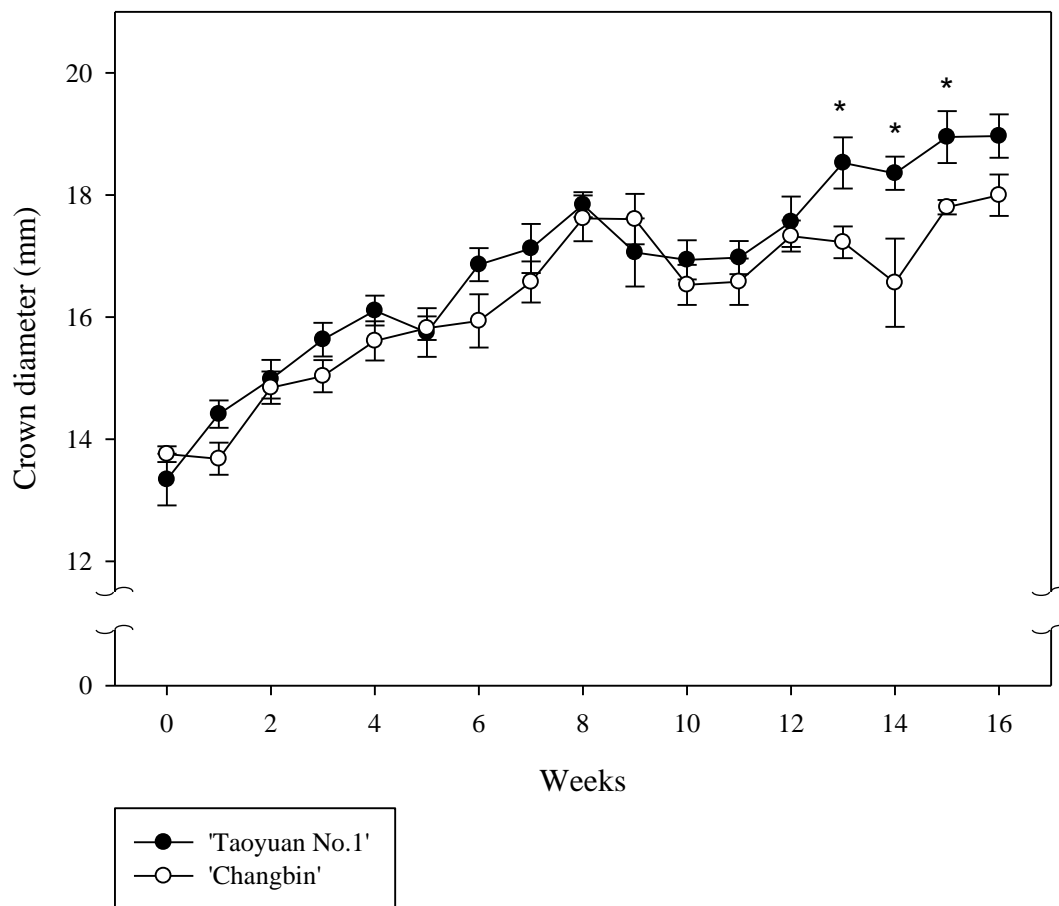
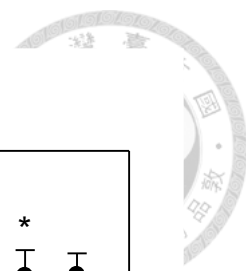


圖 17. '桃園一號'與'長柄'草莓在花序誘導與果實發育期間之冠莖粗度變化
Fig. 17. The crown diameter of strawberry cultivars 'Taoyuan No. 1' and 'Changbin' during inflorescences induction and development period. * Significant at $P < 0.05$ by Student's t test. Plants were grown under cool temperature and short day for 8 weeks (week 0 to week 8).

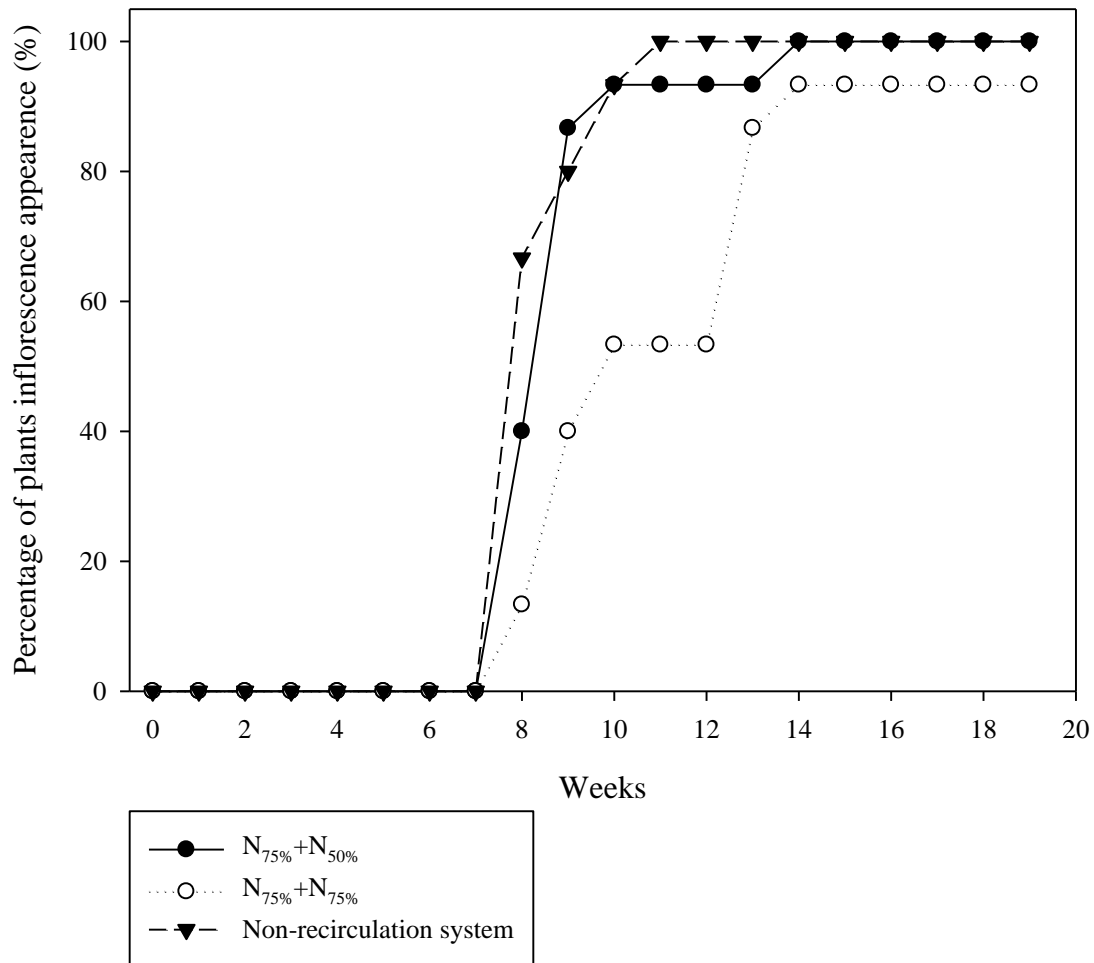


圖 18. 循環式減氮系統及非循環系統對‘長柄’草莓花序形成之影響，其中減氮循環式系統包含 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 與 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 。

Fig. 18. The effect of nitrogen-reduced recirculated hydroponic system $N_{75\%}+N_{50\%}$ and $N_{75\%}+N_{75\%}$ and non-recirculated system on inflorescences formation in strawberry ‘Changbin’. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks (week 0 to week 9) for inflorescences induction.

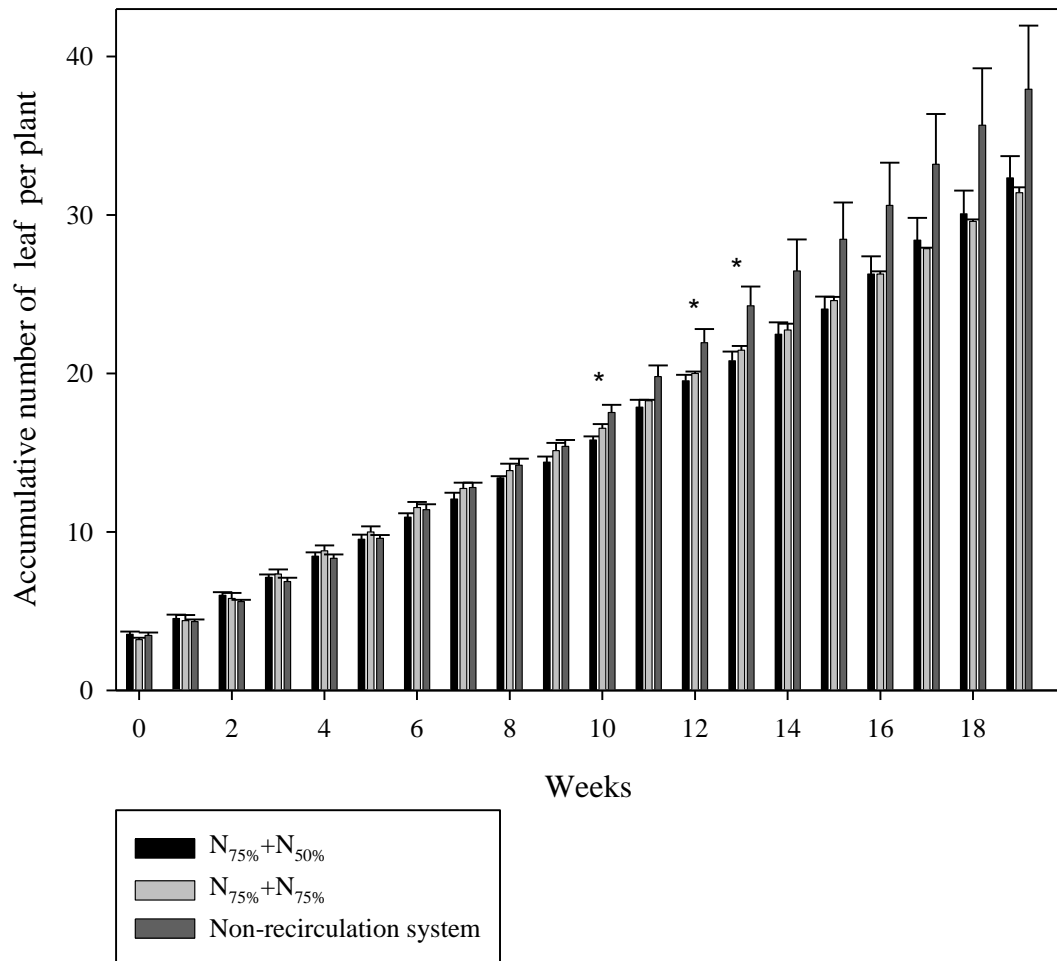


圖 19. 循環式減氮系統及非循環系統對花芽誘導與發育期間‘長柄’草莓之累計葉片數影響，其中減氮循環式系統包含 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 與 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 。

Fig. 19. The effect of nitrogen-reduced recirculated hydroponic system $N_{75\%}+N_{50\%}$ and $N_{75\%}+N_{75\%}$ and non-recirculated system on accumulative number of leaf in strawberry ‘Changbin’ during inflorescences induction and development period. * Significant at $P < 0.05$. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks (week 0 to week 9) for inflorescences induction.

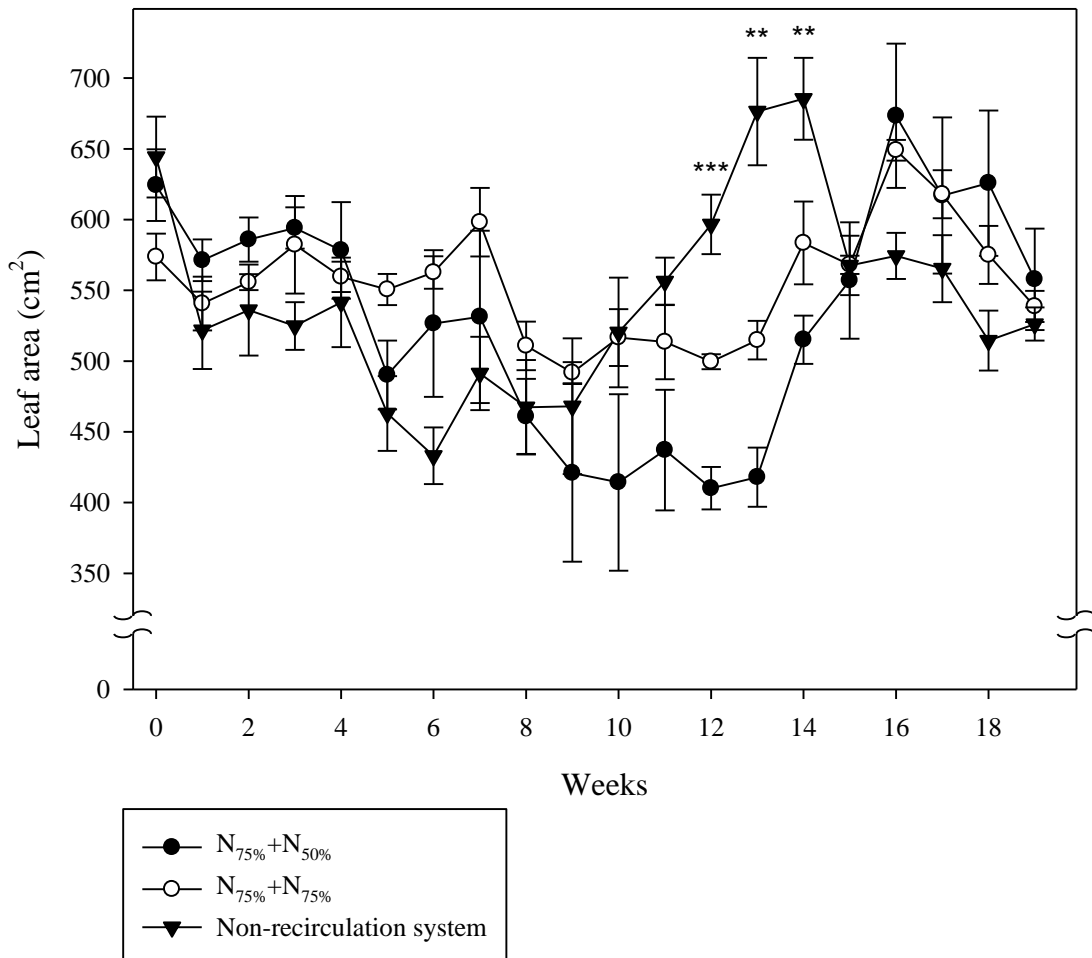


圖 20. 循環式減氮系統及非循環系統對花芽誘導與發育期間‘長柄’草莓之葉面積影響，其中減氮循環式系統包含 N_{75%}+N_{50%}與 N_{75%}+N_{75%}。

Fig. 20. The effect of nitrogen-reduced recirculated hydroponic system N_{75%}+N_{50%} and N_{75%}+N_{75%} and non-recirculated system on leaf area in strawberry ‘Changbin’ during inflorescences induction and development period. **, *** Significant at $P < 0.01, 0.001$, respectively. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks (week 0 to week 9) for inflorescences induction.

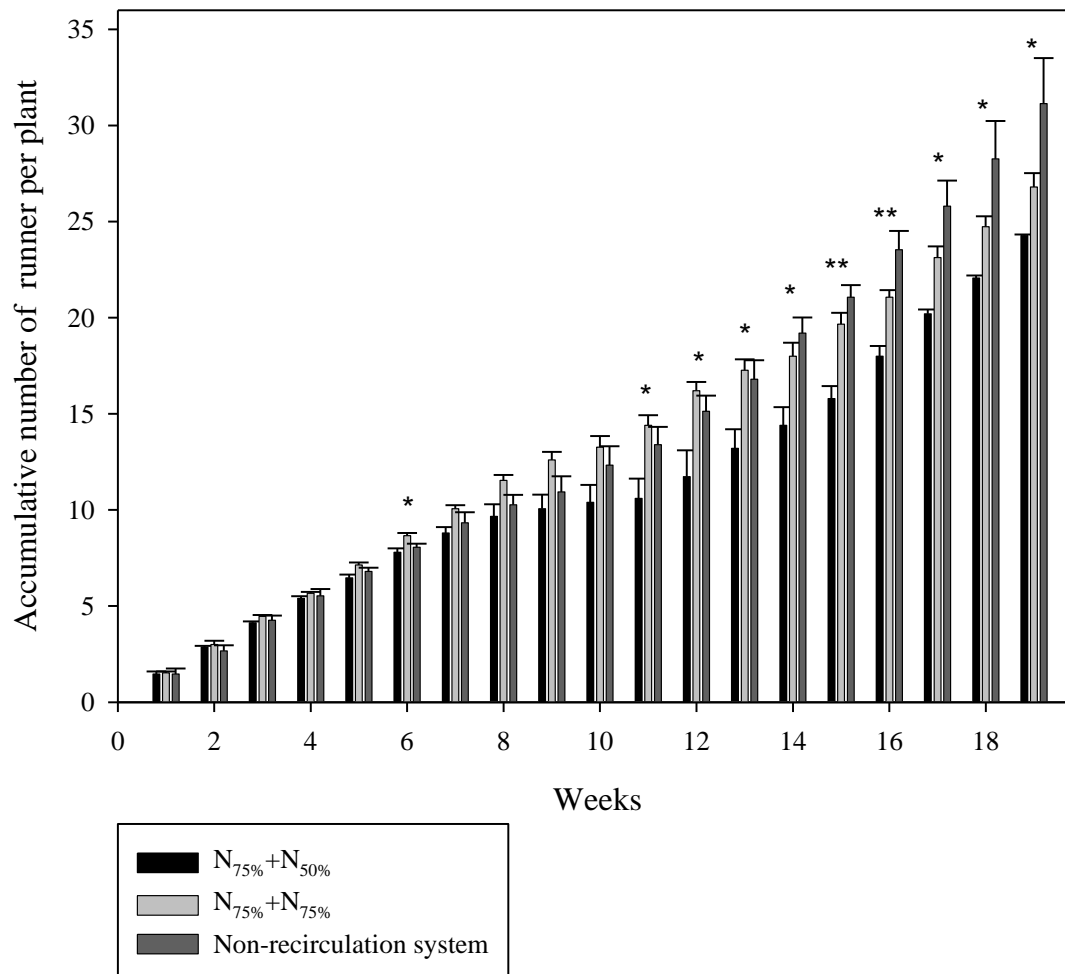


圖 21. 循環式減氮系統及非循環系統對花芽誘導與發育期間‘長柄’草莓之累計走莖數影響，其中減氮循環式系統包含 N_{75%}+N_{50%}與 N_{75%}+N_{75%}。

Fig. 21. The effect of nitrogen-reduced recirculated hydroponic system N_{75%}+N_{50%} and N_{75%}+N_{75%} and non-recirculated system on accumulative number of runner in strawberry ‘Changbin’ during inflorescences induction and development period. *,** Significant at $P < 0.05, 0.01$, respectively. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks (week 0 to week 9) for inflorescences induction.

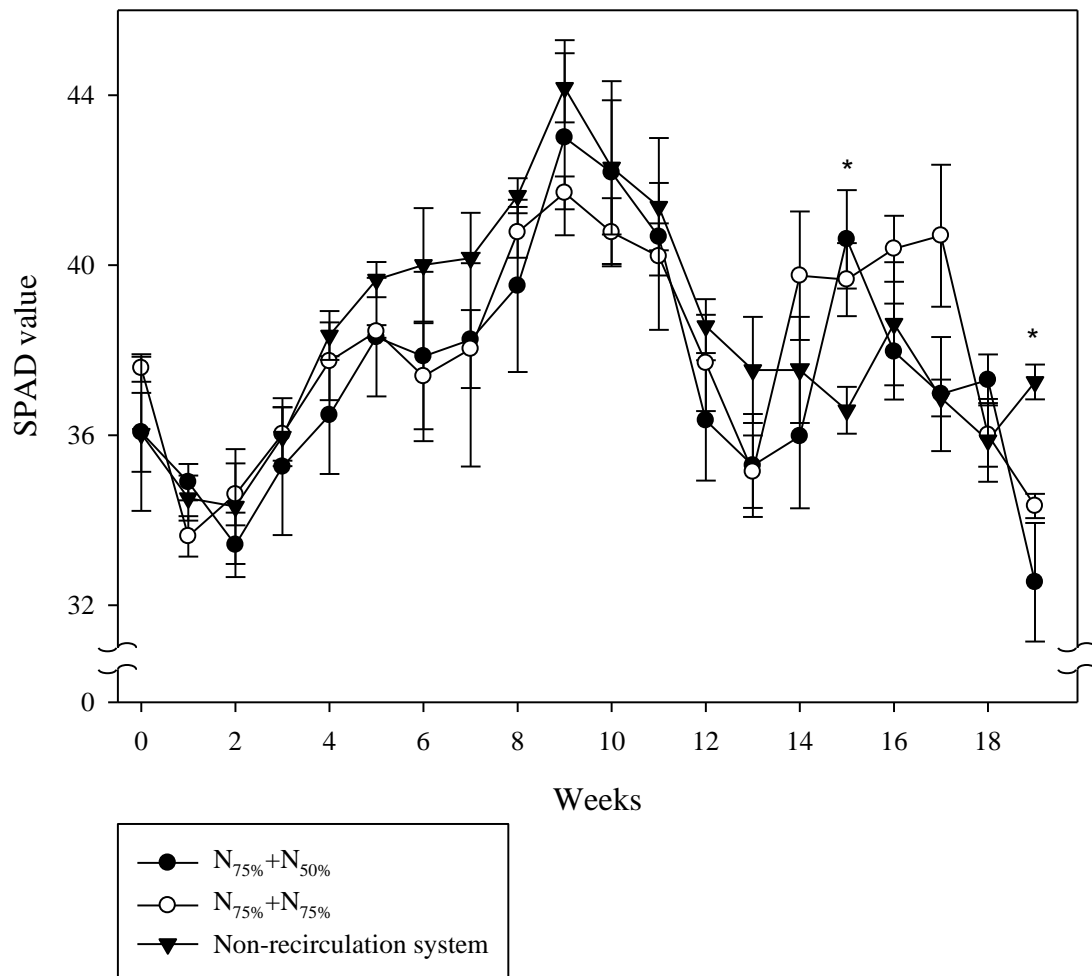


圖 22. 循環式減氮系統及非循環系統對花芽誘導與發育期間‘長柄’草莓最新展開葉之 SPAD 值影響，其中減氮循環式系統包含 N_{75%}+N_{50%}與 N_{75%}+N_{75%}。

Fig. 22. The effect of nitrogen-reduced recirculated hydroponic system N_{75%}+N_{50%} and N_{75%}+N_{75%} and non-recirculated system on SPAD of latest fully expanded leaf in strawberry ‘Changbin’ during inflorescences induction and development period. * Significant at $P < 0.05$. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks (week 0 to week 9) for inflorescences induction.

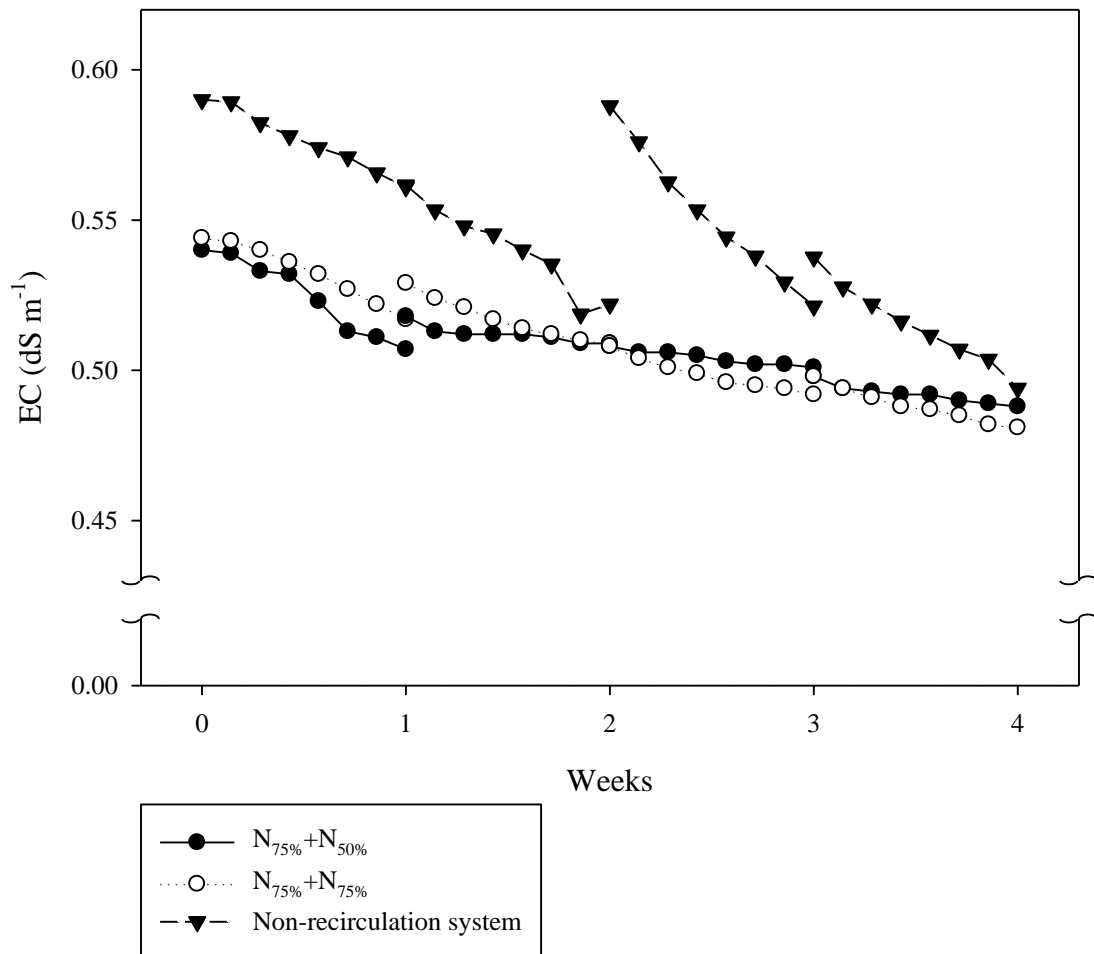


圖 23. ‘長柄’草莓在循環式減氮系統及非循環系統花芽誘導期間 EC 值之變化，其中循環式減氮系統分為 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 與 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 。

Fig. 23. The EC variation of nitrogen-reduced recirculated hydroponic system $N_{75\%}+N_{50\%}$ and $N_{75\%}+N_{75\%}$ and non-recirculated system during inflorescences induction period. The selected plants were ‘Changbin’. The experiment was conducted from 8 Nov. 2017 to 24 Mar. 2018.

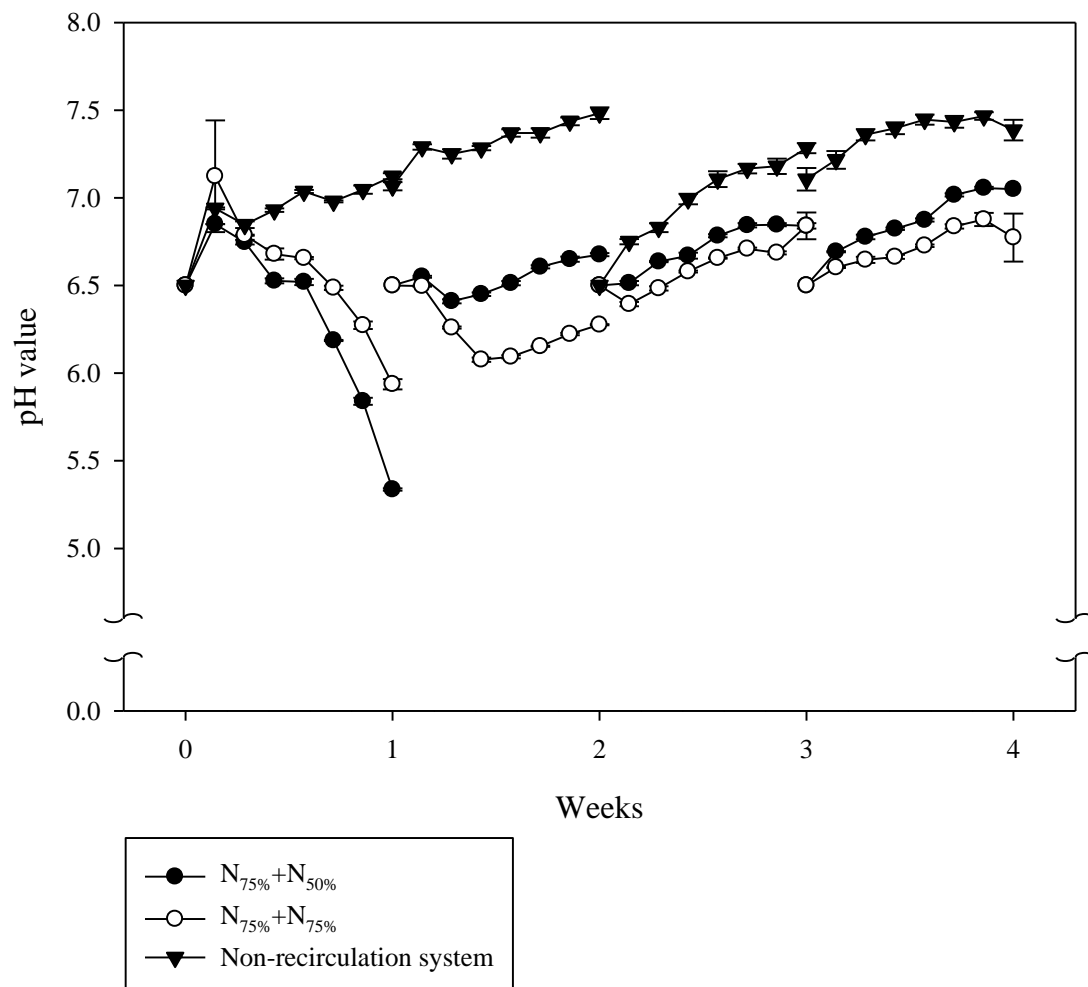


圖 24. ‘長柄’草莓在循環式減氮系統及非循環系統花芽誘導期間 pH 值之變化，其中循環式減氮系統分為 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 與 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 。

Fig. 24. The pH variation of nitrogen-reduced recirculated hydroponic system $N_{75\%}+N_{50\%}$ and $N_{75\%}+N_{75\%}$ and non-recirculated system during inflorescences induction period. The selected plants were ‘Changbin’. The experiment was conducted from 8 Nov. 2017 to 24 Mar. 2018.

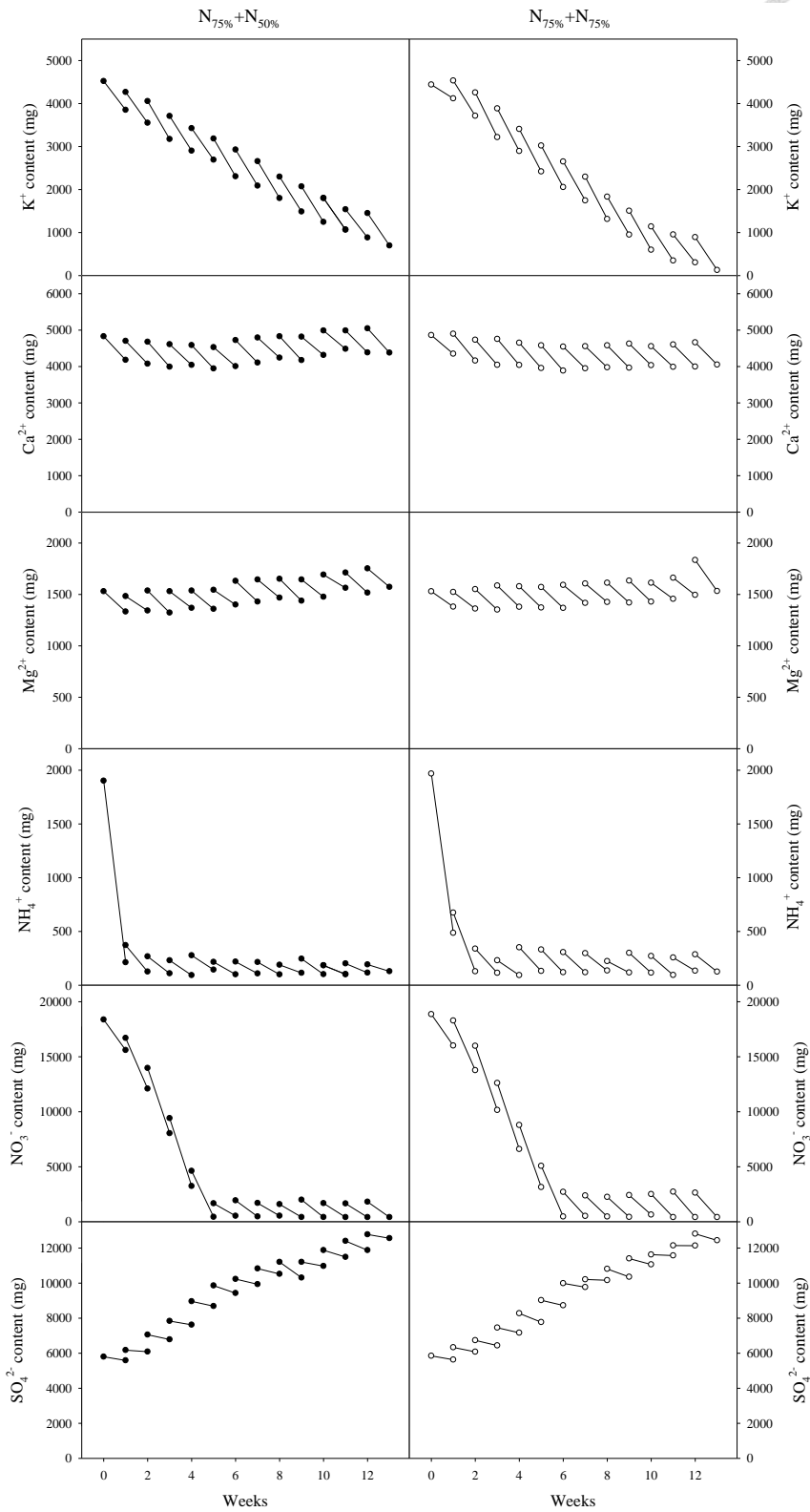
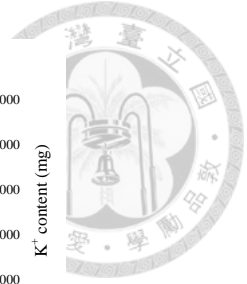


圖 25. ‘長柄’草莓栽培於 N_{75%}+N_{50%}與 N_{75%}+N_{75%}養液下花芽誘導及發育期間養液離子的含量變化

Fig. 25. The ion content of nutrient solution N_{75%}+N_{50%} and N_{75%}+N_{75%} during inflorescences induction and development period. The selected plants were ‘Changbin’. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks (week 0 to week 9) for inflorescences induction.

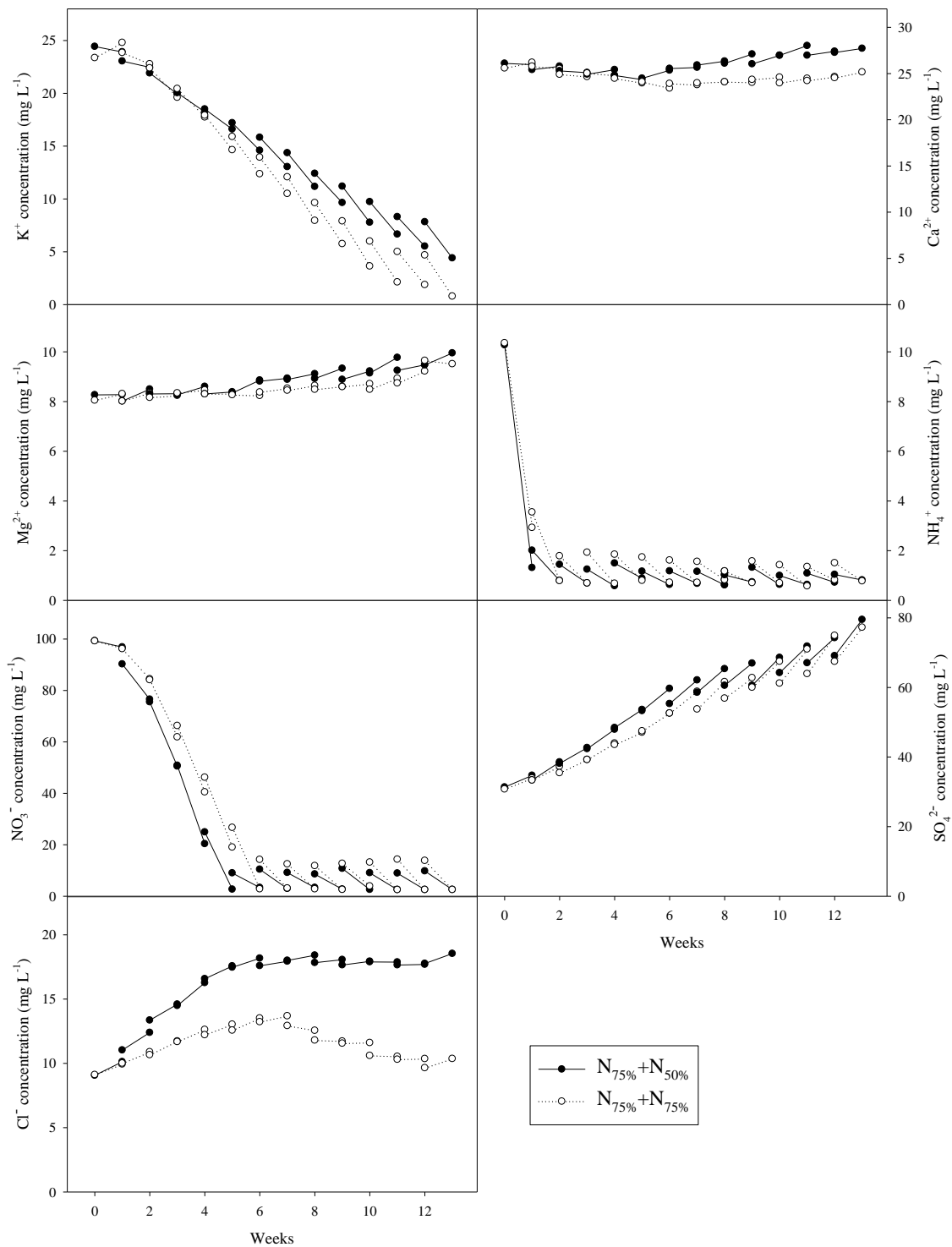


圖 26. ‘長柄’草莓栽培於 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 與 $N_{75\%}+N_{75\%}$ 養液下花芽誘導及發育期間養液離子的濃度變化

Fig. 26. The ion concentration of nutrient solution $N_{75\%}+N_{50\%}$ and $N_{75\%}+N_{75\%}$ during inflorescences induction and development period. The selected plants were ‘Changbin’. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks (week 0 to week 9) for inflorescences induction.

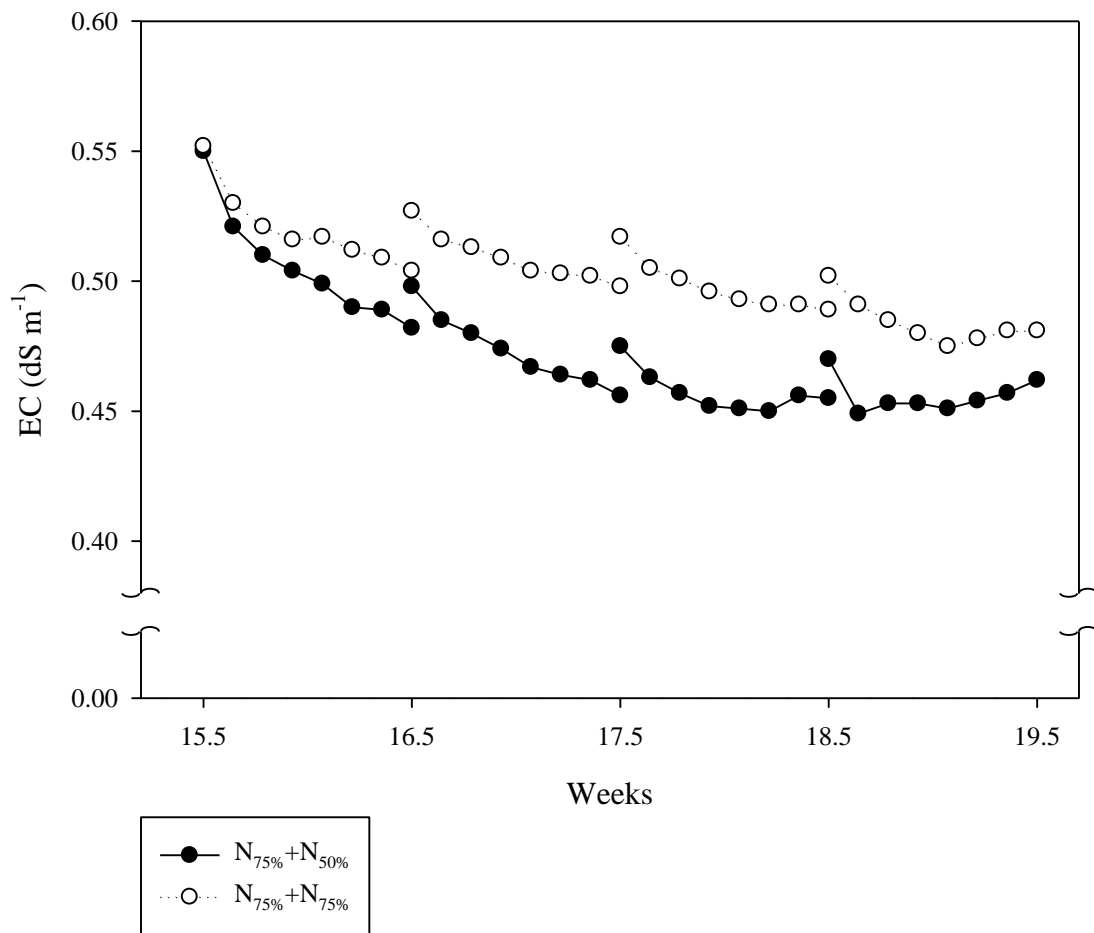


圖 27. ‘長柄’草莓在循環式減氮系統果實發育期間 EC 值之變化，其中循環式減氮系統分為 N_{75%}+N_{50%}與 N_{75%}+N_{75%}。

Fig. 27. The EC variation of nitrogen-reduced recirculated hydroponic system N_{75%}+N_{50%} and N_{75%}+N_{75%} during fruits development period. The selected plants were ‘Changbin’. The experiment was conducted from 8 Nov. 2017 to 24 Mar. 2018.

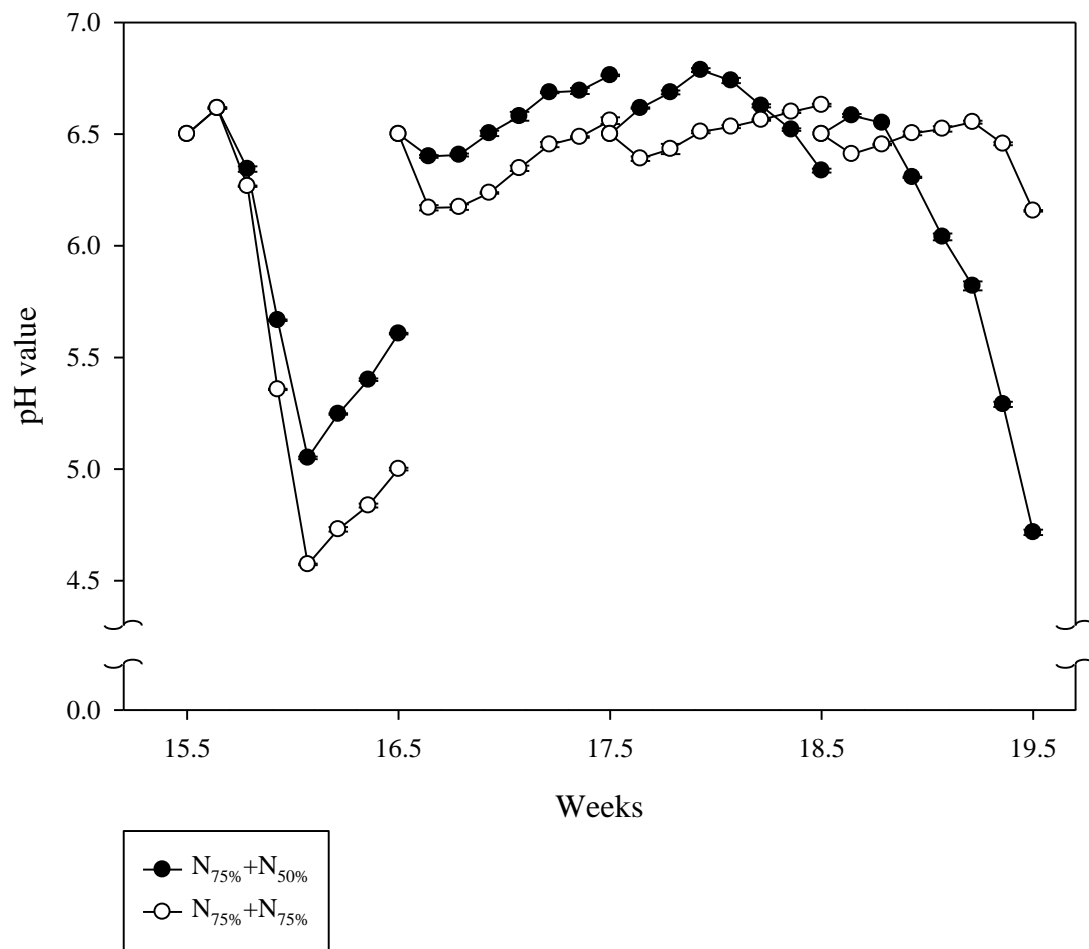


圖 28. ‘長柄’草莓在循環式減氮系統果實發育期間 pH 值的變化，其中循環式減氮系統分為 $N_{75\%}+N_{50\%}$ 與 $N_{75\%}+N_{75\%}$

Fig. 28. The pH variation of nitrogen-reduced recirculated hydroponic system $N_{75\%}+N_{50\%}$ and $N_{75\%}+N_{75\%}$ during fruits development period. The selected plants were ‘Changbin’. The experiment was conducted from 8 Nov. 2017 to 24 Mar. 2018.

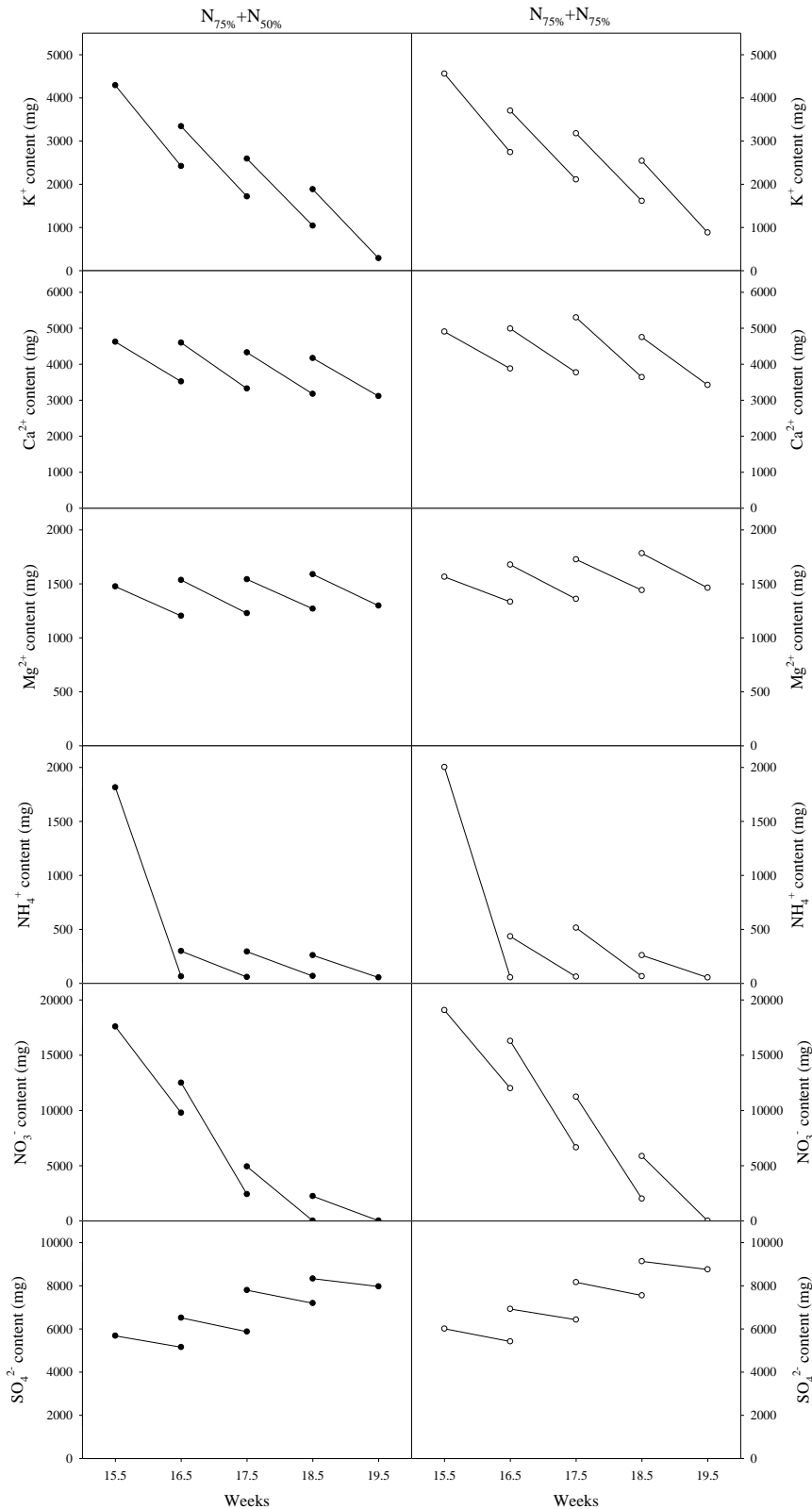
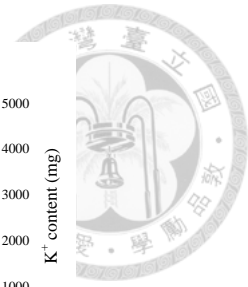


圖 29. ‘長柄’草莓栽培於 N_{75%}+N_{50%}與 N_{75%}+N_{75%}養液下果實發育期間養液離子的含量變化

Fig. 29. The ion content of nutrient solution N_{75%}+N_{50%} and N_{75%}+N_{75%} during fruit development period. The selected plants were ‘Changbin’. The experiment was conducted from 11 Nov. 2017 to 24 Mar. 2018.

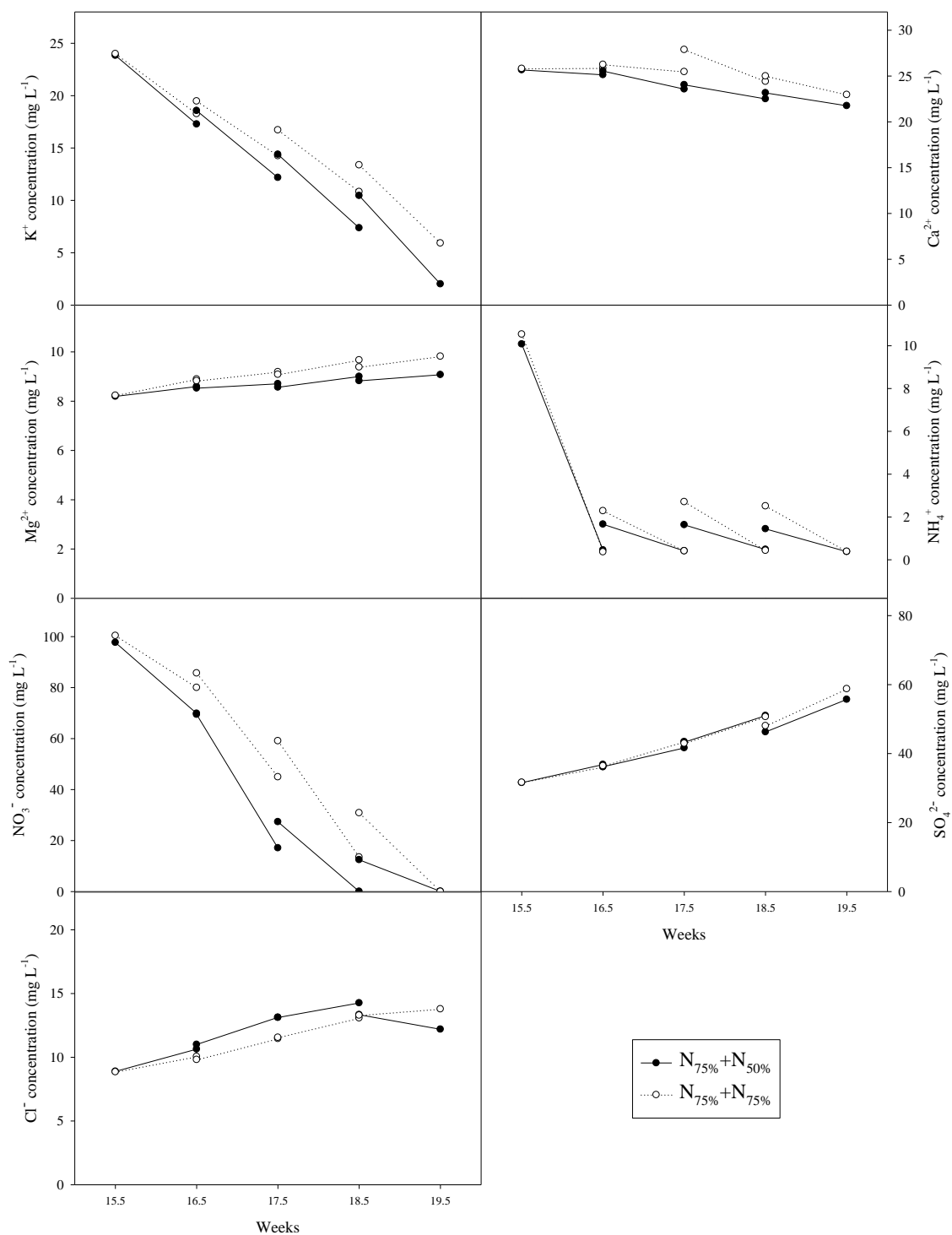


圖 30. ‘長柄’草莓栽培於 N_{75%}+N_{50%}與 N_{75%}+N_{75%}養液下果實發育期間養液離子的濃度變化

Fig. 30. The ion concentration of nutrient solution N_{75%}+N_{50%} and N_{75%}+N_{75%} during fruit development period. The selected plants were ‘Changbin’. The experiment was conducted from 11 Nov. 2017 to 24 Mar. 2018.



圖 31. 試驗開始時 (A) 初次與 (B) 再誘導‘長柄’草莓之生長情形。試驗結束時 (C) 初次與 (D) (E) 再誘導‘長柄’草莓之生長情形。

Fig. 31. The growth of strawberry ‘Changbin’ (A) primary and (B) re-induced plants at the onset of experiment. (C) primary and (D) (E) re-induced plants at the end of experiment.

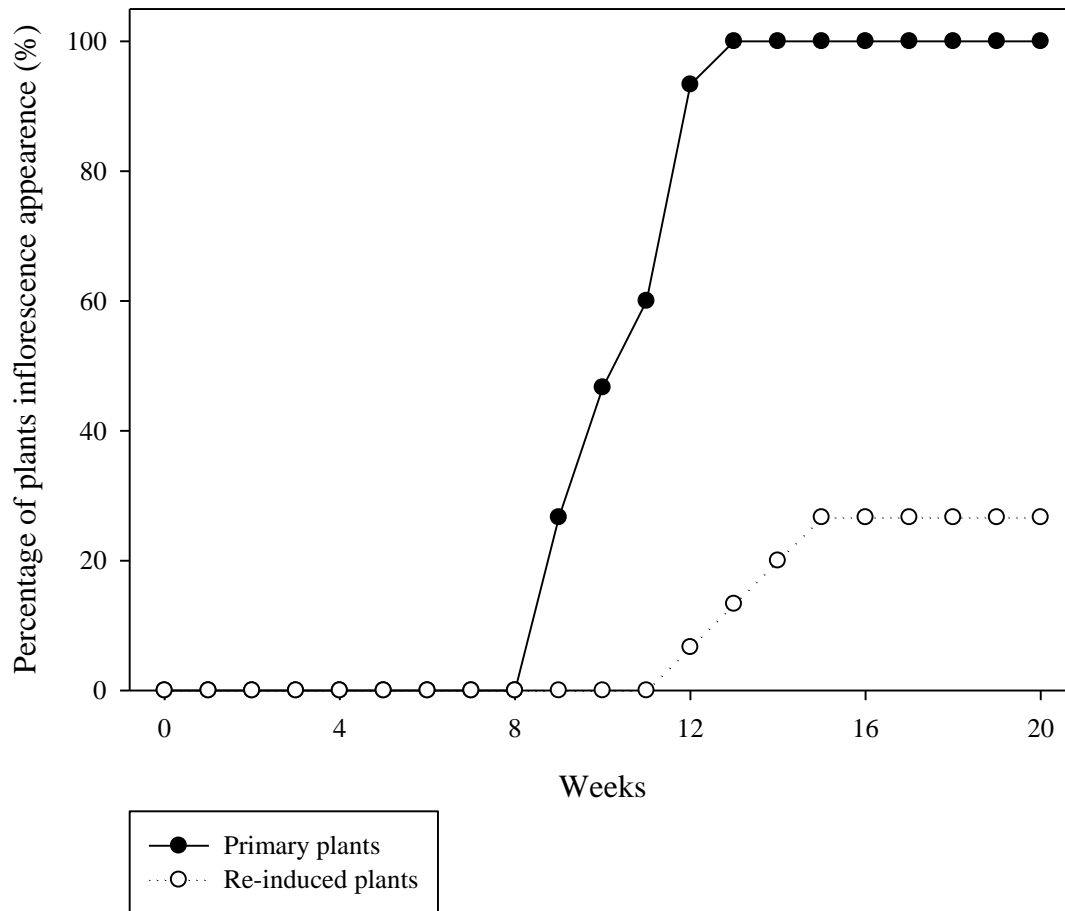


圖 32. 初次與再誘導之‘長柄’草莓之花序形成差異

Fig. 32. The differences between primary and re-induced plants of ‘Changbin’ strawberry on inflorescences formation. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks for inflorescences induction (week 0 to week 9).

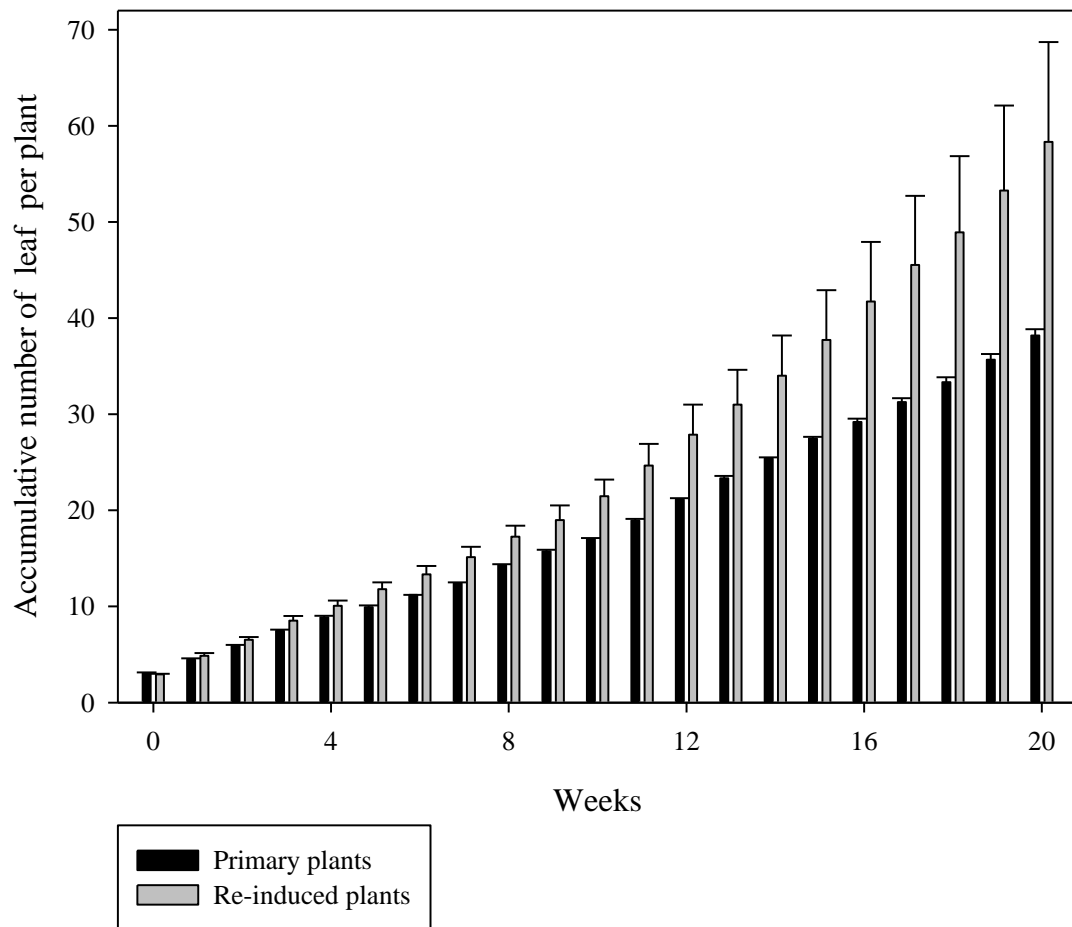


圖 33. 初次與再誘導之‘長柄’草莓在花序誘導與果實發育期間之累計葉片數
 Fig. 33. The accumulative number of leaves of strawberry ‘Changbin’ primary and re-induced plants during inflorescences induction and development period. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks for inflorescences induction (week 0 to week 9).

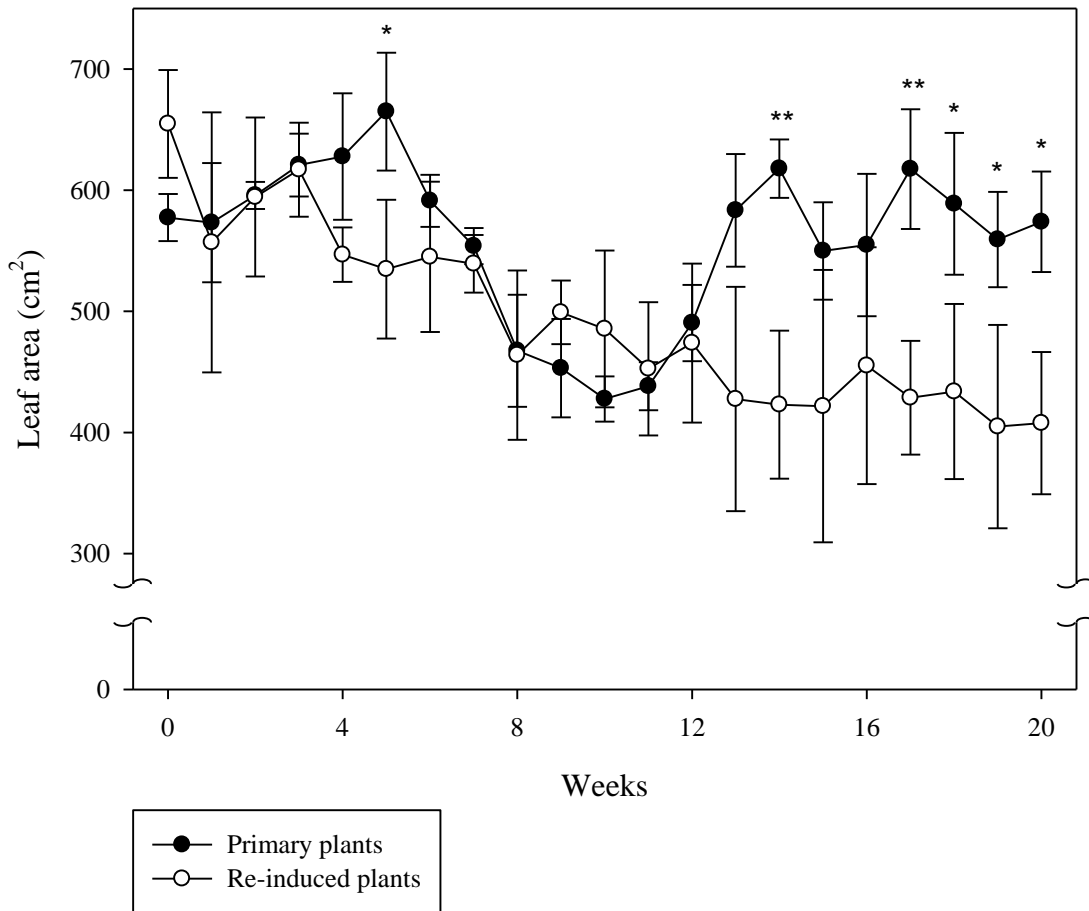


圖 34. 初次與再誘導之‘長柄’草莓在花序誘導與果實發育期間之葉面積變化
 Fig. 34. The leaf area of strawberry ‘Changbin’ primary and re-induced plants during inflorescences induction and development period. *,** Significant at $P < 0.05$ and 0.01 by Student’s t test, respectively. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks for inflorescences induction (week 0 to week 9).

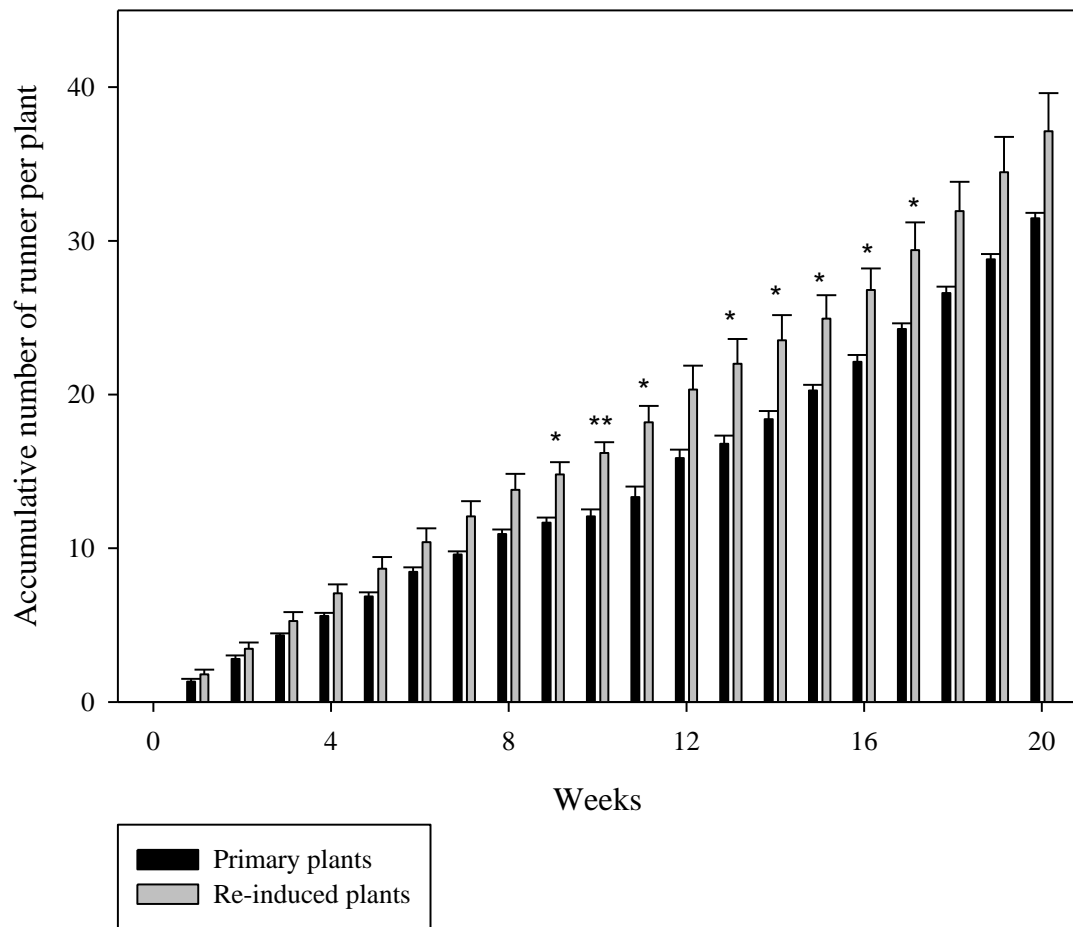


圖 35. 初次與再誘導之‘長柄’草莓在花序誘導與果實發育期間之累積走莖數
 Fig. 35. The accumulative number of runners of strawberry ‘Changbin’ primary and re-induced plants during inflorescences induction and development period. *,** Significant at $P < 0.05$ and 0.01 by Student’s t test, respectively. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks for inflorescences induction (week 0 to week 9).

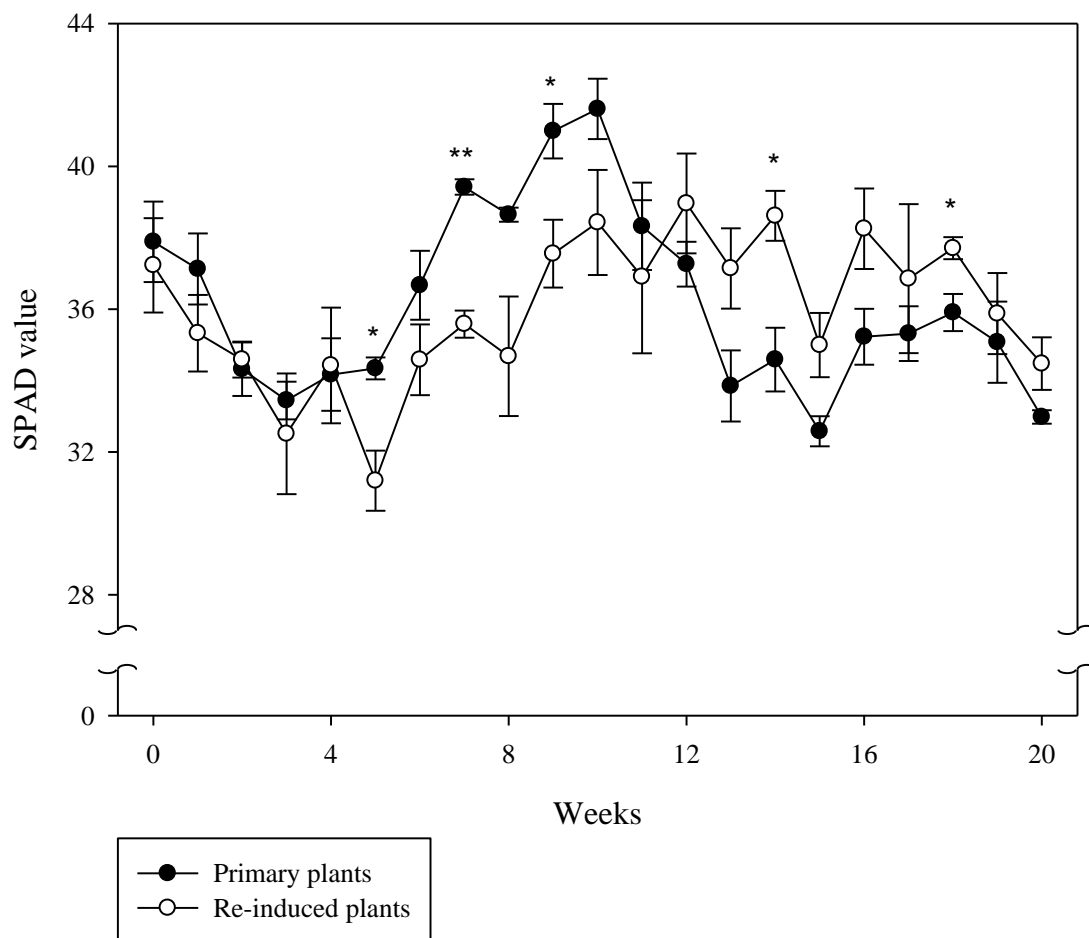


圖 36. 初次與再誘導之‘長柄’草莓在花序誘導與果實發育期間之最新展開葉 SPAD 值

Fig. 36. The SPAD of the latest fully expanded leaf of strawberry ‘Changbin’ primary and re-induced plants during inflorescences induction and development period. *, ** Significant at $P < 0.05$ and 0.01 by Student’s t test, respectively. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks for inflorescences induction (week 0 to week 9).

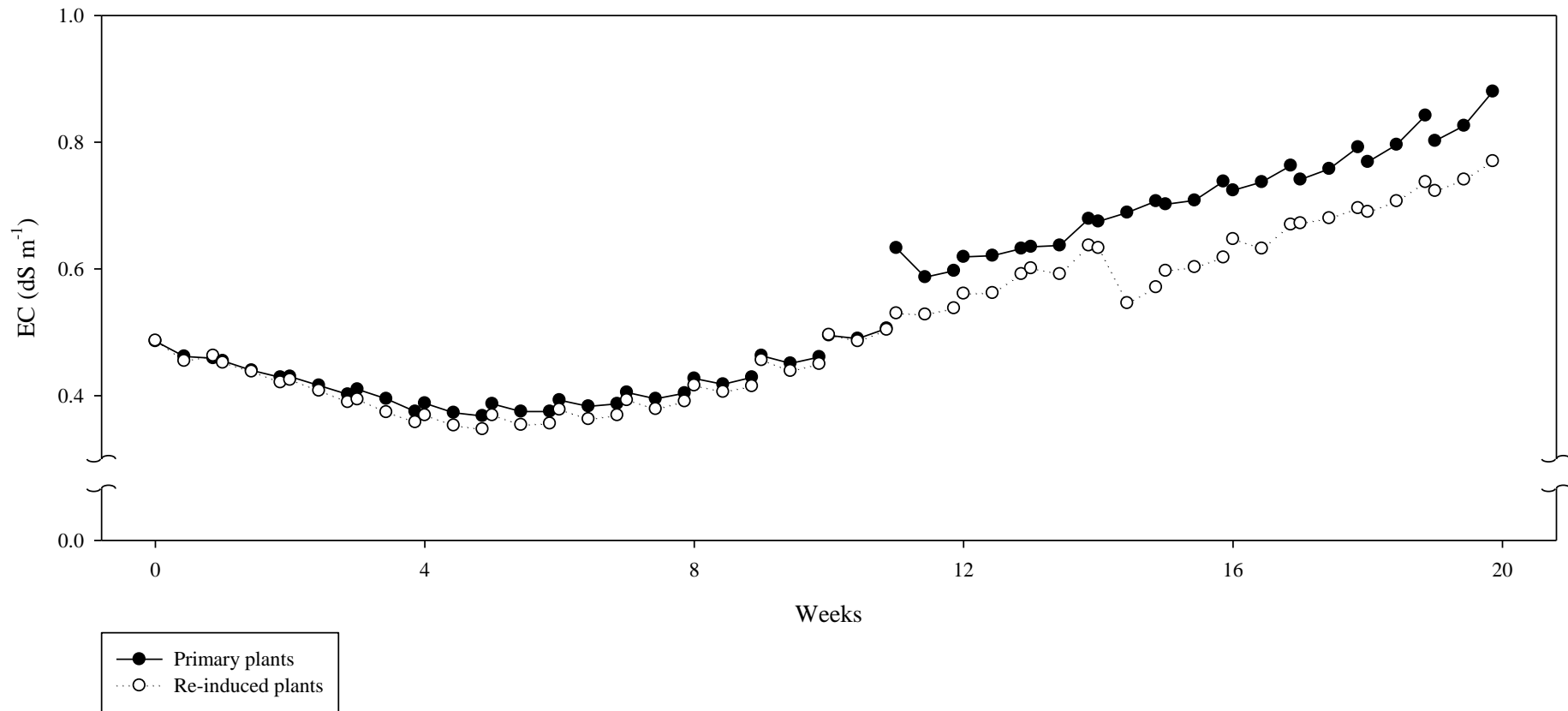


圖 37. 初次與再誘導之‘長柄’草莓花芽誘導與果實發育期間養液 EC 值的變化

Fig. 37. The EC variation of hydroponic solution of strawberry ‘Changbin’ primary and re-induced plants during inflorescences induction and development period. The experiment was conducted from 10 Apr. 2018 to 28 Aug. 2018. The solution was refreshed on the 11th and 14th week in primary and re-induced plants, respectively.

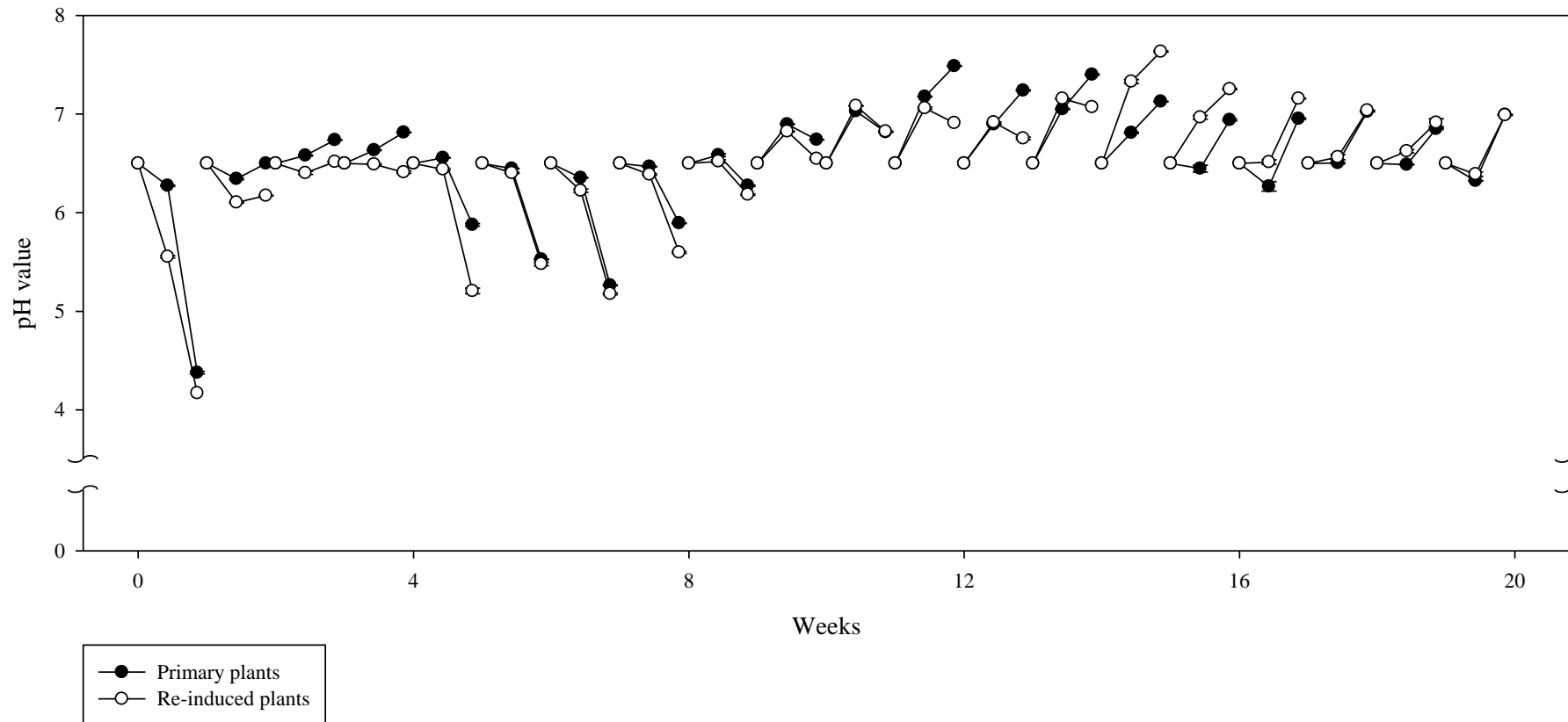


圖 38. 初次與再誘導之‘長柄’草莓花芽誘導與果實發育期間 pH 值的變化

Fig. 38. The pH variation of hydroponic solution of strawberry ‘Changbin’ primary and re-induced plants during inflorescences induction and development period. The experiment was conducted from 10 Apr. 2018 to 28 Aug. 2018. The solution was refreshed on the 11th and 14th week in primary and re-induced plants, respectively.

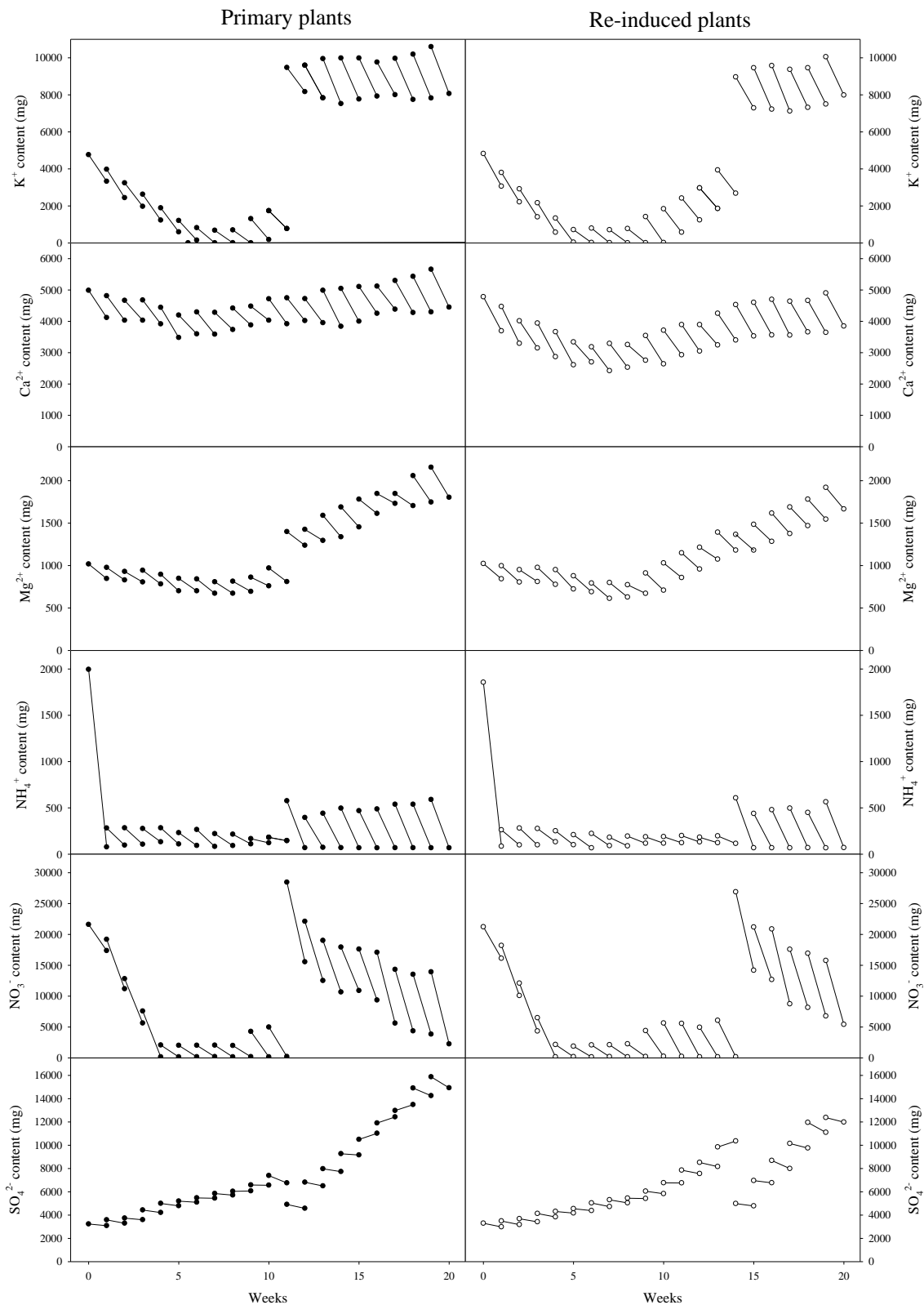


圖 39. 初次與再誘導之‘長柄’草莓花芽誘導與果實發育期間養液離子的含量變化
 Fig. 39. The ion content of hydroponic solution of strawberry ‘Changbin’ primary and re-induced plants during inflorescences induction and development period. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks (week 0 to week 9) for inflorescences induction.

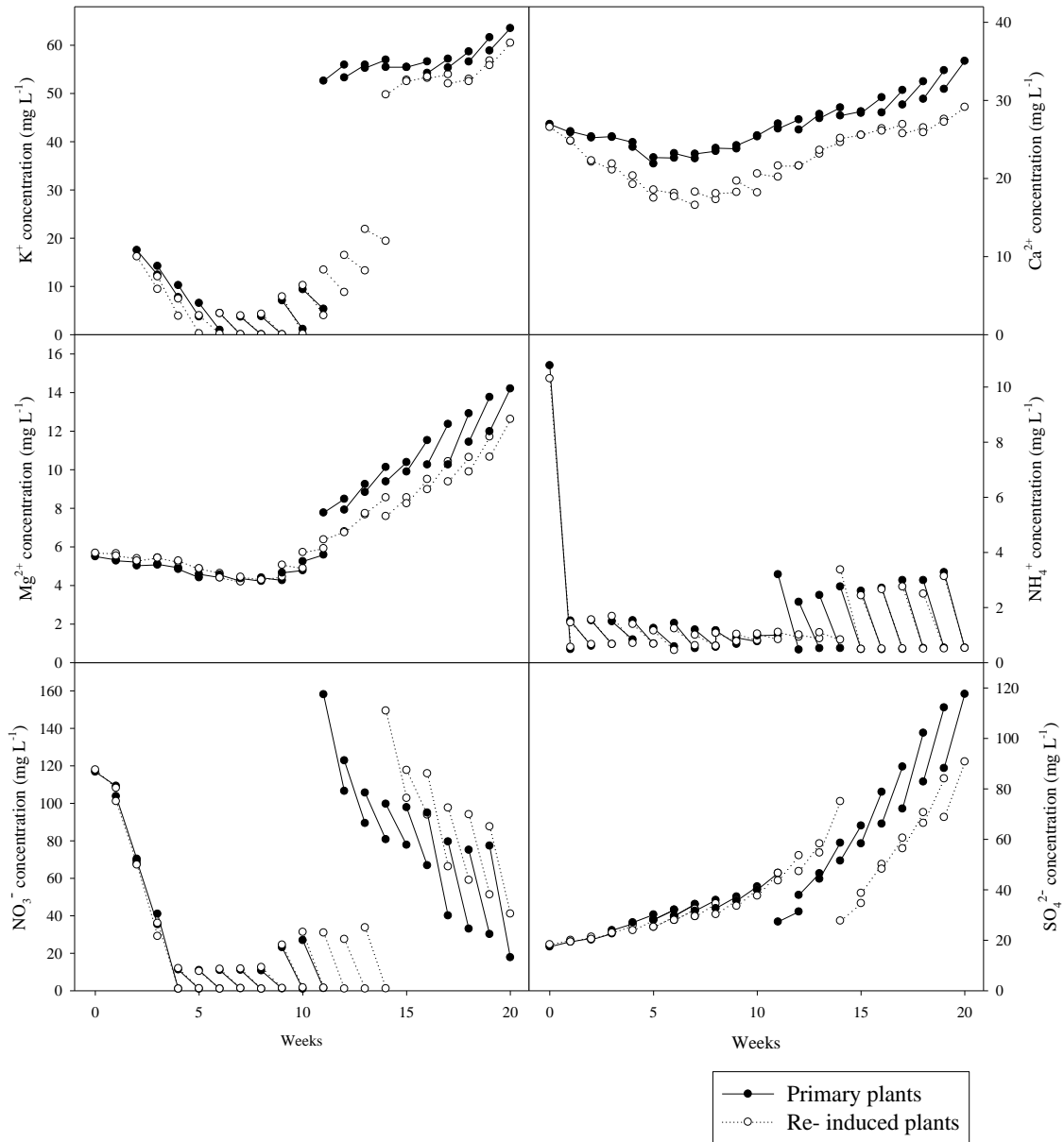
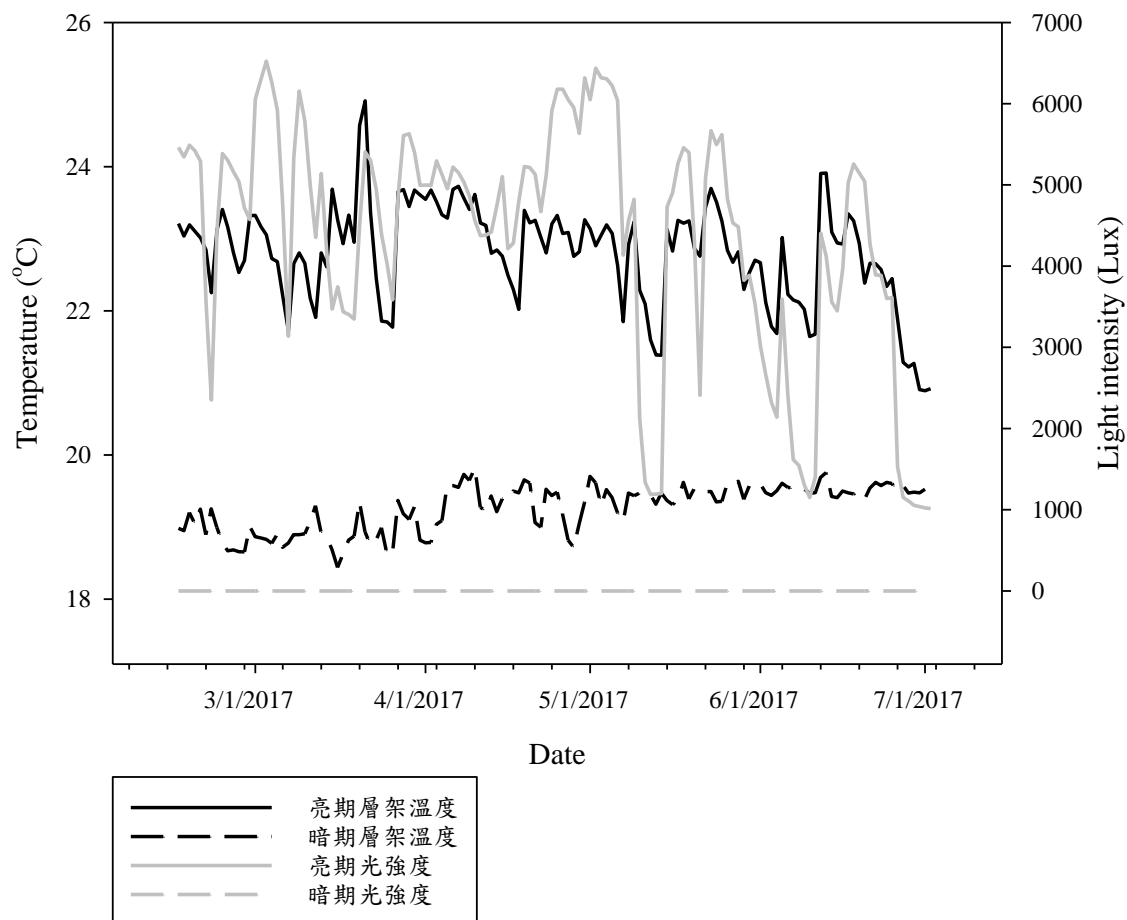
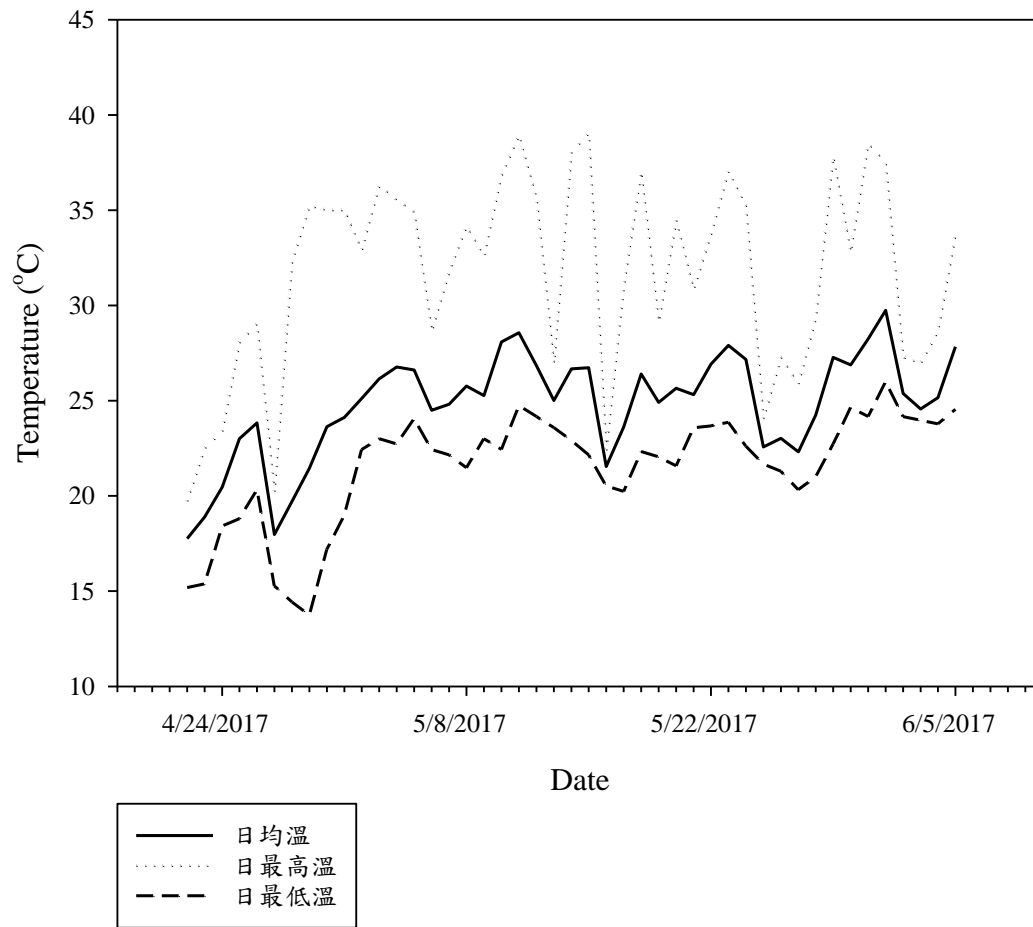
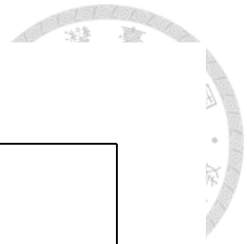


圖 40. 初次與再誘導之‘長柄’草莓花芽誘導與果實發育期間養液離子的濃度變化
 Fig. 40. The ion concentration of hydroponic solution of strawberry ‘Changbin’ primary and re-induced plants during inflorescences induction and development period. Plants were grown under cool temperature and short day for 9 weeks (week 0 to week 9) for inflorescences induction.

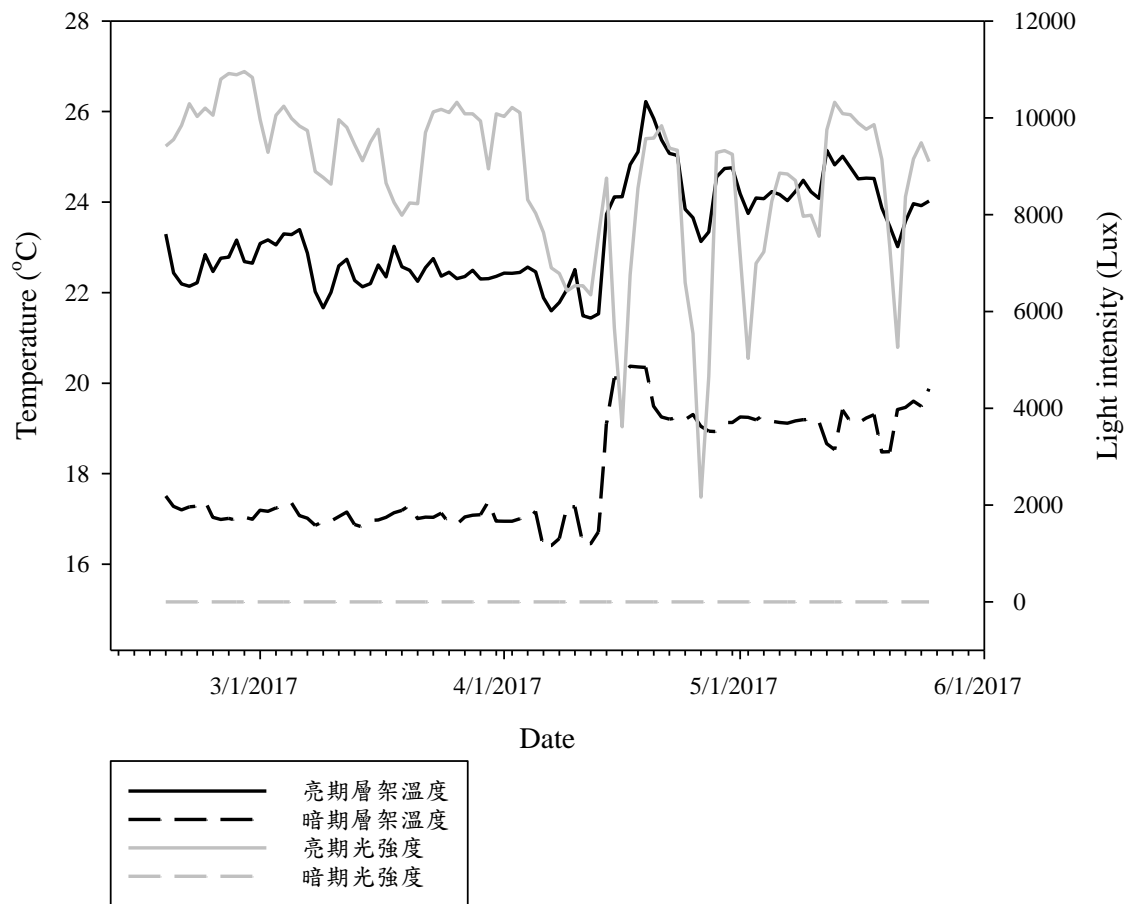


附圖 1. 走莖苗生產試驗期間之日夜溫變化

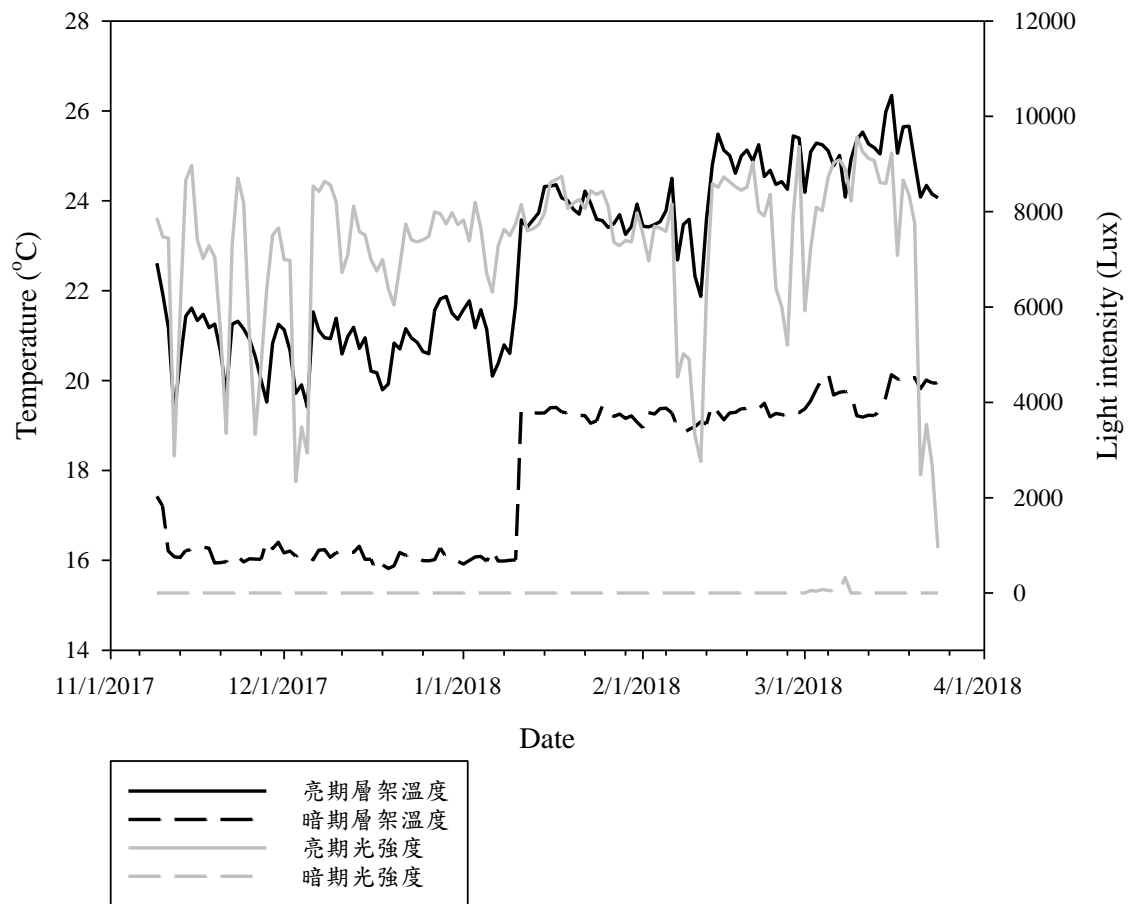
Appendix Fig. 1. Variation of day and night temperature during the daughter plants production experiment.



附圖 2. 子株生長評估試驗於溫室的日夜溫變化
Appendix Fig. 2. Variation of temperature during the period of evaluation of daughter plants growth experiment in greenhouse.

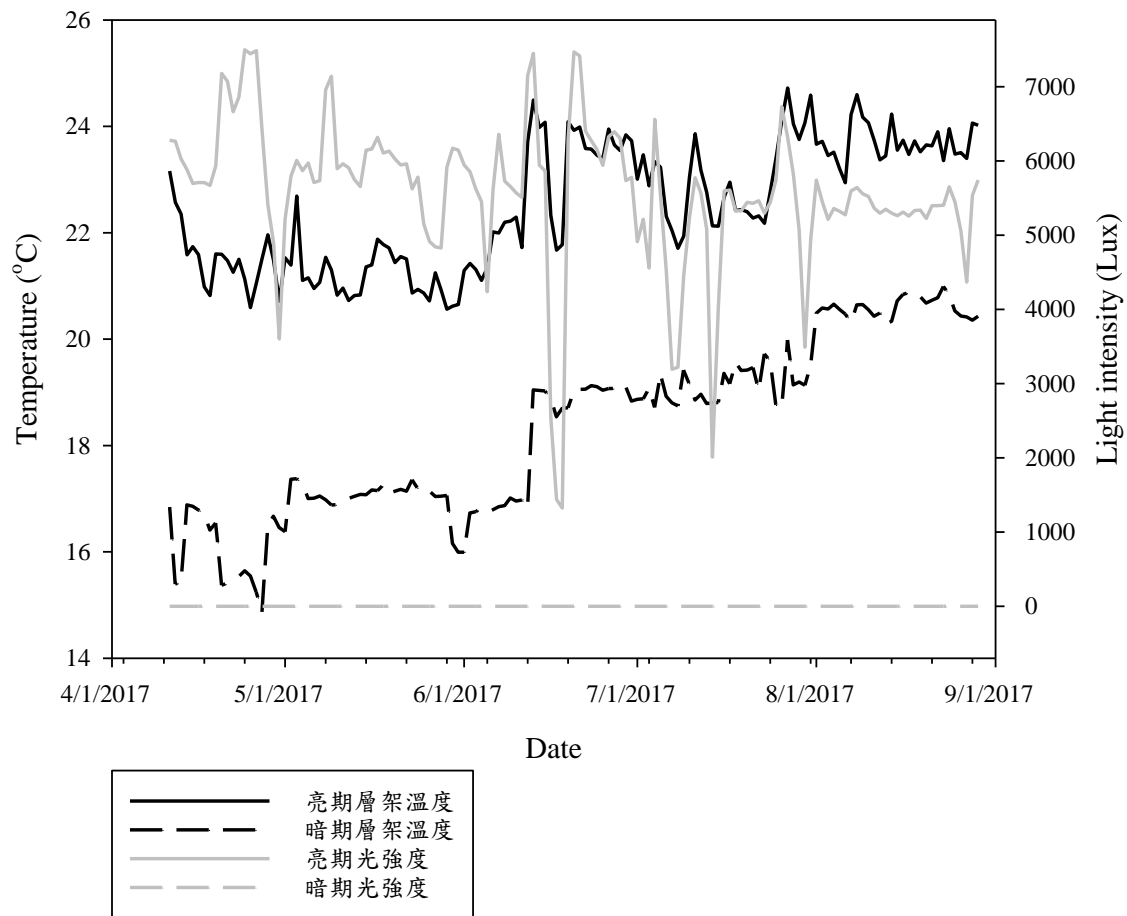


附圖 3. Enshi 養液對‘桃園一號’與‘長柄’草莓開花影響之試驗期間日夜溫變化
 Appendix Fig. 3. Variation of day and night temperature during the period of the experiment of effect of Enshi solution between ‘Taoyuan No. 1’ and ‘Changbin’ strawberry on inflorescences induction.



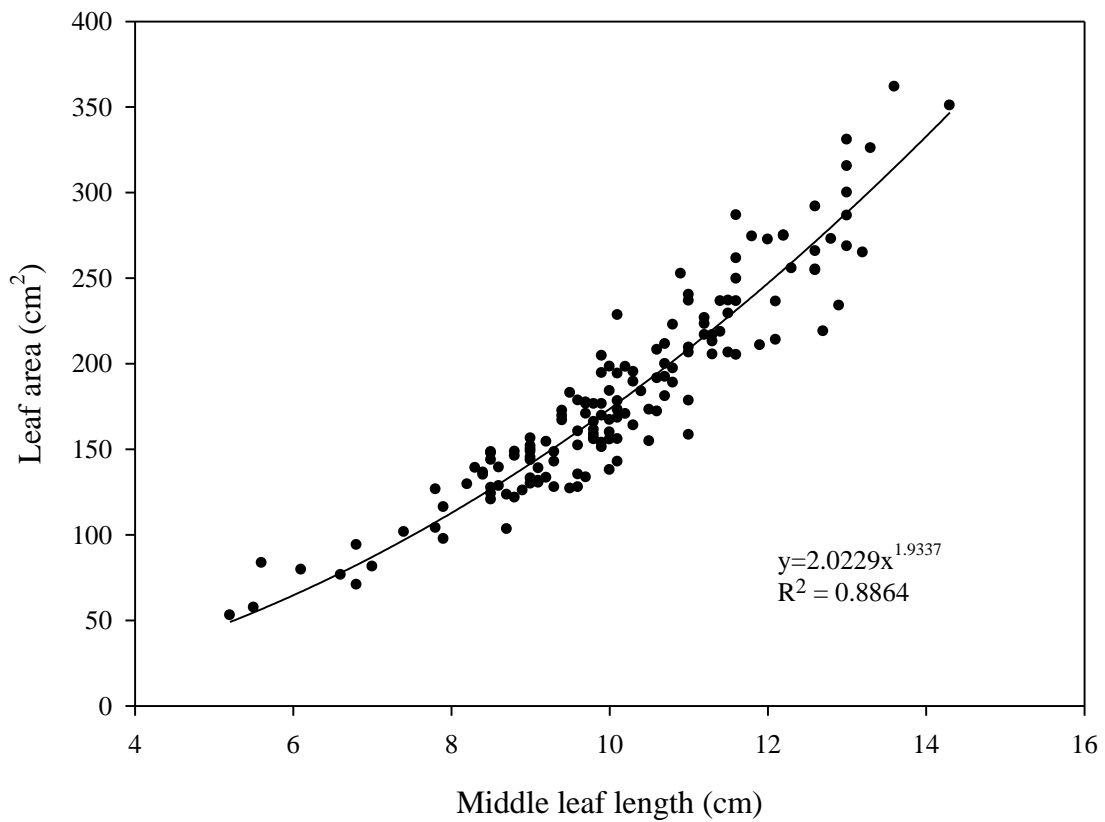
附圖 4. 減氮循環式養液對花芽分化之影響試驗期間之日夜溫變化

Appendix Fig. 4. Variation of day and night temperature during the period of the experiment of effect of nitrogen reduced-recirculated hydroponic system on inflorescences induction.

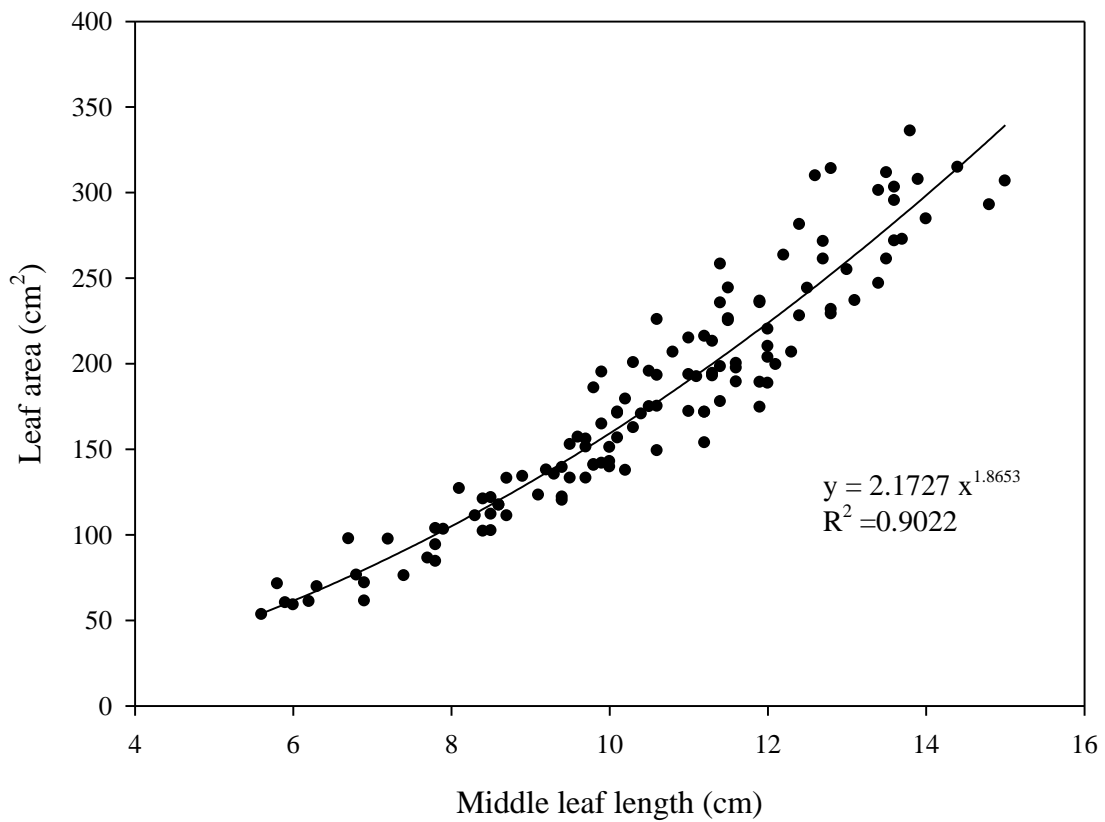


附圖 5. 再誘導試驗期間之日夜溫變化

Appendix Fig. 5. Variation of day and night temperature during the period of re-induction experiment.



附圖 6. '桃園一號'草莓葉片中軸長度與葉面積間之關係
 Appendix Fig. 6. The relationship between middle length of leaf and the actual leaf area of 'Taoyuan No.1' strawberry (n=152).

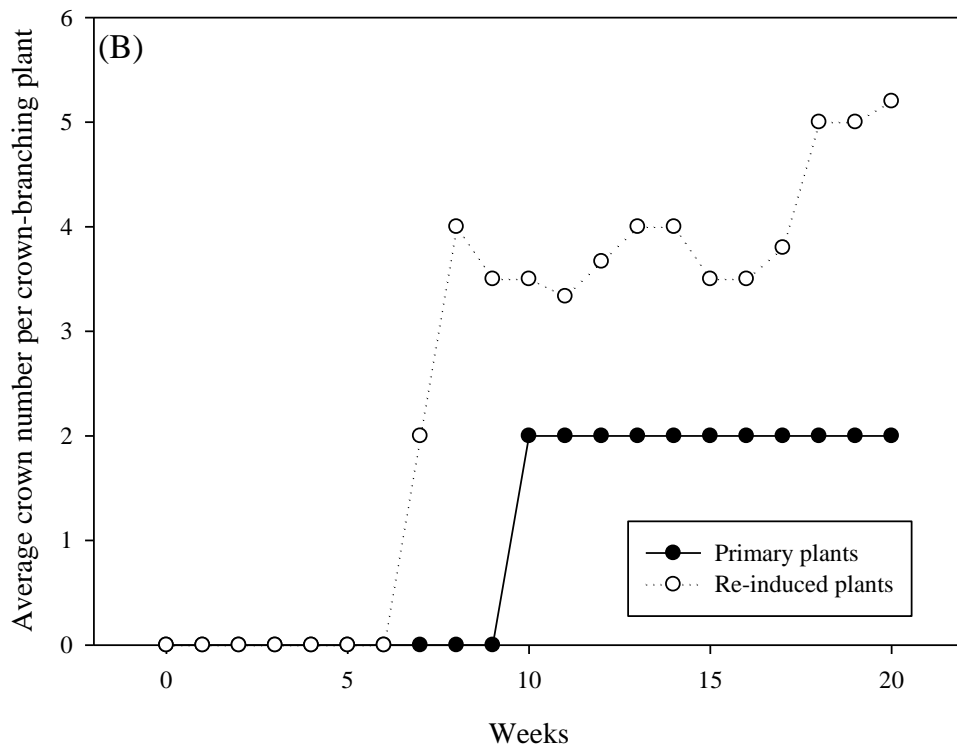
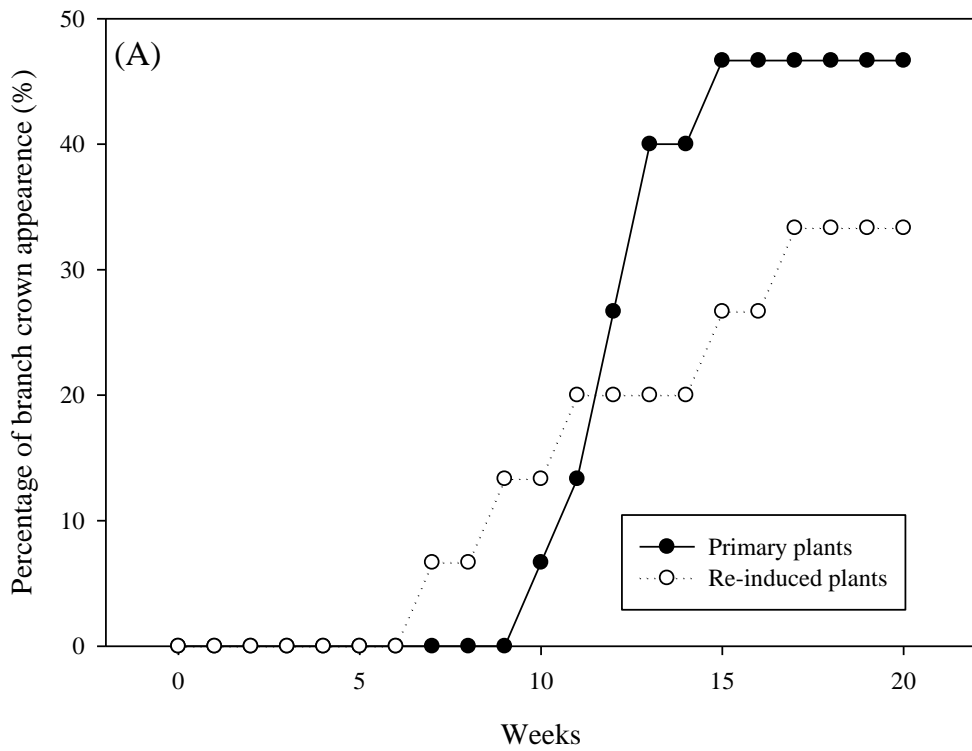
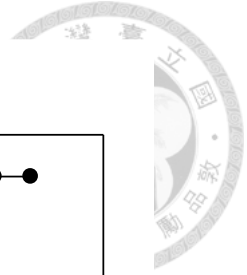


附圖 7. '長柄'草莓葉片中軸長度與葉面積間之關係

Appendix Fig. 7. The relationship between middle length of leaf and the actual leaf area of 'Changbin' strawberry (n=122).



附圖 8. 再誘導試驗中，初次誘導植株之頂燒狀況，影像擷取為栽培第 18 週
Appendix Fig. 8. Tipburn on the primary plants in the re-induced experiment. The photos were taken on the 18th week after the onset of experiment.



附圖 9. 初次及再誘導植株具側冠莖植株 (A) 比例及 (B) 冠莖數目的歷時變化
Appendix Fig. 9. The (A) percentage of branch crown appearance and (B) average crown number per crown-branching plant of primary and re-induced plants.

參考文獻

- 古在豐樹. 2009. 方煒譯. 太陽光型植物工廠. 財團法人豐年社. 臺北.
- 池田英男、大沢孝也. 1983. 水耕培養液中の NO_3^- と NH_4^+ の濃度並びに比率がその菜の生育, 葉中 N 成分及び培養液の pH に及ぼす影響. 園芸學會雜誌 52(2):159-166.
- 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.
- 沈再發. 2009. 培養液組成之理論和實際 (中). 台灣. 農業試驗所技術服務 79:37-41.
- 沈再發. 2009. 培養液組成之理論和實際 (下). 台灣. 農業試驗所技術服務 80:37-42.
- 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. 臺灣蔬果產業演進四十年專集. 臺灣省農業試驗所. 臺中.
- 李窓明. 1996. 草莓穴植管育苗新技術介紹. 桃園區農業專訊 15:16-17
- 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.
- 李昱輝、呂理燦. 2004. 草莓病害管理, p. 109-116. 果菜健康管理研討會專集. 行政院農委會農業藥物毒物試驗所. 臺中.
- 洪瑜玆. 2013. 植物工廠水耕生產走莖苗. 臺灣大學園藝暨景觀學系碩士論文. 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.
- 高德錚. 1991. 動態浮根式水耕系統之開發與利用. 台中區農業改良場. 特刊第 27 號.
- 張定霖、李裕娟、張宏光. 2016. 高效隔離環境之草莓健康種苗生產簡介. 農政與農情 287:82-85.
- 張訓堯. 2009. 草莓無病毒苗繁殖體系. 苗栗區農業專訊 48:19-21.
- 張訓堯、張廣森. 2013. 草莓健康種苗重要性及管理. 苗栗區農業專訊 61:3-5.
- 張廣森. 2004. 草莓健康管理. 果菜健康管理研討會專集. 行政院農委會農業藥物

毒物試驗所編印. p. 71-82. 臺中.

陳若瑛. 2016. 植物工場內草莓水耕栽培. 臺灣大學園藝暨景觀學系碩士論文. 臺北.

森利樹. 1998. 花芽形成期の温度がイチゴ果実のそう果数と果重に及ぼす影響. 園芸學會雜誌 67(3):396-399.

蔡敏嘉、曾煥東. 1992. 草莓採收成熟度與包裝儲運之改進. 桃園區農業改良場研究報告第 9 號 37-51.

鄭宇翔. 2014. 植物工廠內栽培'桃園一號'草莓之研究. 臺灣大學園藝暨景觀學系碩士論文. 臺北.

鍾珮哲、彭淑貞. 2013. 草莓育苗期重要病害管理. 苗栗區農業專訓 61:9-10.

鍾珮哲、黃勝泉、蔡正賢、吳添益、張訓堯、張素貞、吳登楨. 2014. 草莓健康管理生產體系之研究. 102 年度重點作物健康管理生產體系及關鍵技術之研發成果研討會論文集 46-57.

Asao, T., H. Kitazawa, T. Ban, M.H.R. Pramanik, and K. Tokumasa. 2008.

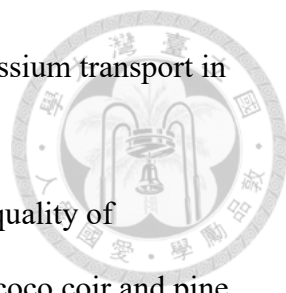
Electrodegradation of root exudates to mitigate autotoxicity in hydroponically grown strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) plants. HortScience 43:2034-2038.

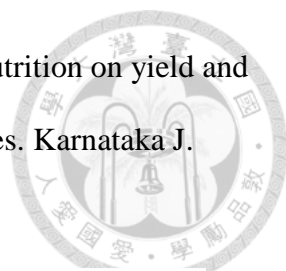
Bish, E.B., D.J. Cantliffe, and C.K. Chandler. 2002. Temperature conditioning and container size affect early season fruit yield of strawberry plug plants in a winter, annual hill production system. HortScience 37:762-764.


Bradfield, E. and C. Guttridge. 1984. Effects of night-time humidity and nutrient solution concentration on the calcium content of tomato fruit. Scientia Hort. 22:207-217.

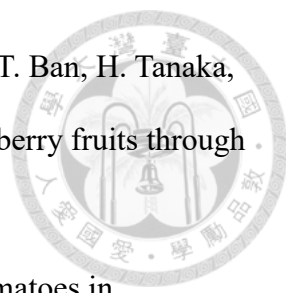
Bradford, E., J.F. Hancock, and R.M. Warner. 2010. Interactions of temperature and photoperiod determine expression of repeat flowering in strawberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 135:102-107.

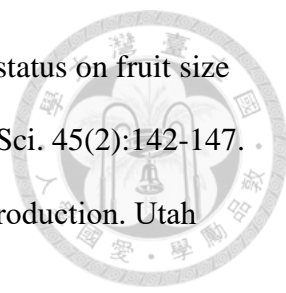
Breen, P. and L. Martin. 1981. Vegetative and reproductive growth responses of three strawberry cultivars to nitrogen. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106(3):266-272.

- 
- Britto, D.T. and H.J. Kronzucker. 2008. Cellular mechanisms of potassium transport in plants. *Physiol. Plant.* 133(4):637-650.
- Cantliffe, D.J., J.Z. Castellanos, and A.V. Paranjpe. 2007. Yield and quality of greenhouse-grown strawberries as affected by nitrogen level in coco coir and pine bark media. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 120:157-161.
- Cárdenas-Navarro, R., L. López-Pérez, P. Lobit, R. Ruiz-Corro, and V.C. Castellanos-Morales. 2006. Effects of nitrogen source on growth and development of strawberry plants. *J. plant nutr.* 29(9):1699-1707.
- Dana, M.N. 1980. The strawberry plant and its environment, p. 32-44 In: N. F. Childers (eds.). *The strawberry: Cultivars to Marketing.* Hort. Publications, Fla.
- Darrow, G.M. 1966. *The strawberry: History, Breeding and physiology.* 1st ed. The New England Institute for Medical Research, N.Y.
- Dijkstra, J. 1989. The use of cold stored waiting-bed plants for a late harvest. *Acta Hort.* 265:207-214.
- Durner, E.F., E.B. Poling, and J.L. Maas. 2002. Recent advances in strawberry plug transplant technology. *HortTechnology* 12(4):545-550.
- Ehret, D., B. Alsanus, W. Wohanka, J. Menzies, and R. Utkhede. 2001. Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture. *Agron.* 21(4):323-339.
- Esna-Ashari, M., and M. Gholami. 2010. The effect of increased chloride (Cl⁻) content in nutrient solution on yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) fruits. *J. Fruit and Ornamental Plant Res.* 18(1):37-44.
- Freeman, J.A. and H.S. Pepin. 1971. Influence of plant size, date of digging and duration of cold storage on the growth of strawberry plants. *Can. J. Plant Sci.* 512:267-274.

- 
- Ganeshamurthy, A.N., G.C. Satisha, and P. Patil. 2011. Potassium nutrition on yield and quality of fruit crops with special emphasis on banana and grapes. *Karnataka J. Agri. Sci.* 24(1):29-38.
- Gaudreau, L., J. Charbonneau, L.P. Vézina, and A. Gosselin. 1994. Photoperiod and photosynthetic photon flux influence growth and quality of greenhouse-grown lettuce. *HortScience* 29(11):1285-1289.
- Gellatta, G.J. and R.S. Bringhurst. 1990. Strawberry management, p. 83-156 In: G.J. Gellatta and D.G. Himelrick (eds.). *Small fruit crop Mgt.* Prentice Hall, NJ.
- Hancock, J.F. 1999. Cultural systems, p. 111-129. In: J.F. Hancock (eds.). *Strawberries.* CABI Pub., Wallingfer, UK.
- Hancock, J.F., T.M. Sjulii., and G.A. Lobos. 2008. *Strawberries*, p. 393-437. In: J.F. Hancock (eds.). *Temperate Fruit Crop Breeding.* Springer, Dordrecht, Netherland.
- Heide, O.M. 1977. Photoperiod and temperature interactions in growth and flowering of strawberry. *Physiol. Plant.* 40:21-26.
- Ikeda, H. and T. Osawa. 1983. Effects of ratios of NO₃ to NH₄ and concentrations of each N source in the nutrient solution on growth and leaf N constituents of vegetable crops and solution pH. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 52(2):159-166.
- Jahn, O.L. and M.N. Dana. 1970. Crown and inflorescence development in strawberry, *Fragaria ananassa.* *Amer. J. Bot.* 57:605–612.
- Gunes, A., M. Alpaslan, and A. Inal. 1998. Critical nutrient concentrations and antagonistic and synergistic relationships among the nutrients of NFT-grown young tomato plants. *J. plant nutr.* 21(10): 2035-2047.
- Khanizadeh, S., M. Lareau, and D. Buszard. 1992. Effect of flower thinning on strawberry fruit weight and its relationship to achene number. II Intl. Strawberry Symp. 348:351-356.

- 
- Kim, S.K., M.S. Jeong, S.W. Park, M.J. Kim, H.Y. Na, and C. Chun. 2010. Improvement of runner plant production by increasing photosynthetic photon flux during strawberry transplant propagation in a closed transplant production system. Korean J. Hort. Sci. & Technol. 28:535-539.
- Kinet, J., R.M. Sachs, and G. Bernier. 1985. Control by light, p. 64-88. In: J. Bernier, J. Kinet and R.M. Sachs (eds.). The physiology of flowering. CRC Press, Fla., USA.
- Kitazawa, H., T. Asao, T. Ban, M.H.R. Pramanik, and T. Hosoki. 2005. Autotoxicity of root exudates from strawberry in hydroponic culture. J. Hort. Sci. & Biotechnol. 80:677-680.
- 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 ×ananassa* Duch.). J. Hort. Sci. Biotechnol. 76:77-82.
- Lieten, F. 1998. Recent advances in strawberry plug transplant technology, p. 383-388. In: XXV International Horticultural Congress.
- Lieten, P., B. Evenhuis, and G. Baruzzi. 2005. Cold storage of strawberry plants. Intl. J. Fruit Sci. 5:75-82.
- Lineberry, R.A., L. Burkart, and E.R. Collins. 1944. Fertilizer requirements on new land in North Carolina. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 45:283-292.
- López-galarza, S., J.V. Maroto, A. San Bautista, and J. Alagarda. 1997. Performance of waiting-bed strawberry plants with different number of crowns in winter plantings. In: III International Strawberry Symp. 439:439-443.
- Mason, G.F. and C.G. Guttridge. 1974. The role of calcium, boron and some divalent ions in leaf tipburn of strawberry. Scientia Hort. 2(3):299-308.
- Marschner, P. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. USA.

- 
- Mondal, M.F., M. Asaduzzaman, M. Ueno, M. Kawaguchi, S. Yano, T. Ban, H. Tanaka, and T. Asao. 2017. Reduction of potassium (K) content in strawberry fruits through KNO₃ management of hydroponics. *The Hort. J.* 86(1):26-36.
- Nederhoff, E. and C. Stanghellini. 2010. Water Use Efficiency of Tomatoes in Greenhouses and Hydroponics. *Practical Hydroponics and Greenhouses* 115:52-59.
- Nestby, R., F. Lieten, D. Pivot, C.R. Lacroix, and M. Tagliavini. 2005. Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs: a review. *Intl. J. Fruit Sci.* 5(1):139-156.
- 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., K. Kanahama, M. Bodson, and M. Verhoyen. 2000. Effect of temperature and photoperiod on the development of inflorescences in everbearing strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) plants. *Acta Hort.* 514:261-267.
- Nitsch, J.P. 1950. Growth and morphogenesis of the strawberry as related to auxin. *Amer. J. Botany* 37(3):211-215.
- Palencia, P., F. Martinez, E. Ribeiro, M. Pestana, F. Gama, T. Saavedra, A. de Varennes, and P. Correia. 2010. Relationship between tipburn and leaf mineral composition in strawberry. *Scientia Hort.* 126:242-246.
- Park, S.W., Y. Kwack, and C. Chun. 2017. Growth of runner plants grown in a plant factory as affected by light intensity and container volume. *Hort. Sci. Technol.* 35(4): 439-445.
- Richharia, A., K. Shah, and R.S. Dubey. 1997. Nitrate reductase from rice seedlings: partial purification, characterization and the effects on in situ and in vitro NaCl salinity. *Plant Physiol.* 15:316-322.

- 
- Rindom, A. and P. Hansen. 1995. Effects of fruit numbers and plant status on fruit size in the strawberry. *Acta Agriculturae Scandinavica B-Plant Soil Sci.* 45(2):142-147.
- Rowley, D., B.L. Black, and D. Drost. 2010. Strawberry plug plant production. Utah Sta. Univ. Ext. Bul.
- Saure, M. 1998. Causes of the tipburn disorder in leaves of vegetables. *Scientia Hort.* 76:131-147.
- Saito, Y., M. Imagawa, K. Yabe, N. Bantog, K. Yamada, and S. Yamaki. 2008. Stimulation of rooting by exposing cuttings of runner plants to low temperatures to allow the raising of strawberry seedlings during summer. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 77:180-185.
- Sakamoto, M., M. Uenishi, K. Miyamoto, and T. Suzuki. 2016. Effect of root-zone temperature on the growth and fruit quality of hydroponically grown strawberry plants. *J. Agri. Sci.* 8(5):122-131.
- Smeets, L. 1955. Runner formation on strawberry plants in autumn and winter. *Euphytica* 4:53-57.
- Sønsteby, A. and O.M. Heide. 2007. Long-day control of flowering in everbearing strawberries. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 82:875-884.
- Sønsteby, A., N. Opstad, U. Myrheim, and O.M. Heide. 2009. Interaction of short day and timing of nitrogen fertilization on growth and flowering of 'Korona' strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Scientia Hort.* 123(2):204-209.
- Steinkellner S, R. Mhammerler, and H. Vierheilig. 2008. Effects of membrane filtering of tomato root exudates on conidial germination of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *J. Phytopathol.* 156:489-492.
- Tabatabaei, S.J., L.S. Fatemi, and E. Fallahi. 2006. Effect of ammonium: nitrate ratio on yield, calcium concentration, and photosynthesis rate in strawberry. *J. Plant Nutr.*

29:1273-1285.

Taiz, L. and E. Zeiger. 2010. *Plant physiology*. 4th. Sinauer Associates, Sunderland, U.K.



Takeda, F., S.C. Hokanson, and J.M. Enns. 2004. Influence of daughter plant weight and position on strawberry transplant production and field performance in annual plasticulture. *HortScience* 39(7):1592-1595.

Treder, W., K. Klamkowski, and A. Tryngiel-Gac. 2006. Investigations on greenhouse hydroponic system for production of strawberry potted plantlets. *Acta Hort.* 761:115-119.

Ullio, L. 2010. Strawberry fertiliser guide. *Primefacts* 941:1-9.

Ulrich, A., M.A.E. Mostafa, and W.W. Allen. 1980. Strawberry deficiency symptoms: A visual and plant analysis guide to fertilization. *Agr. Expt. Sta., Univ. C.A. Bul.* p. 30-31.

Valleau, W.D. 1918. Sterility in the strawberry. *J. Agri. Res.* 12(10):614-669.

Waechter-Kristensen, B., S. Caspersen, S. Adalsteinsson, P. Sundin, and P. Jensen. 1999. Organic compounds and micro-organisms in closed hydroponic culture: occurrence and effects on plant growth and mineral nutrition. *Acta Hort.* 481:197-204.

Yamasaki, A., T. Yoneyama, F. Tanaka, K. Tanaka, and N. Nakashima. 2002. Tracer studies on the allocation of carbon and nitrogen during flower induction of strawberry plants as affected by the nitrogen level. *Acta Hort.* 567:349-352.

Yamasaki, A. and T. Yano. 2008. Effect of supplemental application of fertilizers on flower bud initiation and development of strawberry - possible role of nitrogen. In: *VI Intl. Strawberry Symp.* 842:765-768.