

不同水耕栽培系統對‘桃園 4 號’草莓母株生長與走莖 苗生產之影響

Effect of Hydroponics Systems on the Plant Growth and Runner Plant Production in Strawberry ‘Taoyuan No.4’

鄔家琪¹ 黃主諭² 李皓華²

by

Chia-Chyi Wu¹, Zhu Yu Huang², and Hao Hua Li²

附加關鍵字：湛水式水耕、霧耕、植物工廠、種苗繁殖、根長

Additional index words: Deep Flow Technique, Aeroponics, Plant Factory, Seedling Propagation, Root Length

摘要：以植物工廠生產草莓苗，可不受自然天候影響，同時可調節草莓產期。一般植物工廠多為水耕栽培，而利用霧耕栽培相較於湛水式水耕，可達到節水目的，因此本試驗擬比較兩種水耕系統對草莓種苗生產之影響。以生長一致草莓‘桃園 4 號’走莖苗為試驗材料，於日夜長 16/8 h、日夜溫 25/18℃、光強度 140 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 環控室內，養液 EC 值 1.6 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 、pH 值 5.5-6.5，霧耕噴霧週期為 5/10 分鐘(開/關)，探討湛水式水耕及霧耕二種栽培系統對‘桃園 4 號’草莓母株生長與走莖苗生產之影響。試驗結果以霧耕栽培之草莓母株葉片寬度、莖冠直徑、葉綠素含量、根部活性等生長指標均高於湛水式水耕，其累積的走莖生成數與走莖苗數分別為湛水式的 126%與 122%，而所需電費及養液消耗量為湛水式水耕的 76%及 62%。湛水式水耕苗葉長、葉寬與莖冠直徑均較霧耕苗大，但這兩種水耕系統所產出三種不同根長(S: 2-2.9 cm; M:3-3.9 cm; L:5-5.9 cm)走莖苗，則均以 L 根長苗株有較高地上部與地下部鮮乾重。移至相同環境栽培 1 個月後，不同水耕系統生產之種苗間無明顯生長差異，但均以 L 根長之走莖苗具有最高的壯苗指數，表示其生長潛力最高，有利後續栽培利用。

前 言

草莓(*Fragaria ×ananassa* Duchesne)是薔薇科多年生草本植物，果實具有芬芳的氣味且富含多種維生素等營養與抗氧化物成分而廣受消費大眾喜愛。欲種植高品質的草莓需要有健壯的幼苗，由於栽培種草莓是維州草莓(*F. virginiana* Duchesne)及智利草莓(*F. chiloensis* Mill)雜交而成的八倍體，以種子繁殖會與親本產生極大的差異，故多以無性繁殖法生產草莓苗。目前草莓栽培多以走莖繁殖草莓種苗，草莓走莖為一特化莖，在植株營養生長時期生成，向下生成不定根後成一苗株(劉, 2011)。臺灣草莓育苗時間約在

¹. 國立宜蘭大學園藝系副教授 (通訊作者) 與 2. 大學部學生。Associate Professor (corresponding author) and undergraduate students. Department of Horticulture, National Ilan University, Yilan, Taiwan. Email: angwu@niu.edu.tw

³. 本文於民國一百零七年十月十一日收到。民國一百零八年一月二十九日接受刊登。Received for publication: 11 Nov., 2018. Accepted for publication: 29, Jan., 2019.

產季結束後開始，隨著溫度上升及日照時間增長，草莓植株可生成走莖，當植株營養生長越旺盛時，會有越多的走莖及走莖苗生成且生物量會逐漸增加(Smeets, 1979; Durner et al., 1984)。但此時也開始進入夏季，臺灣地區氣候轉為高溫多雨，病蟲害開始孳生且不易控制，例如炭疽病常潛伏於草莓苗株，導致農民定植後苗株死亡，2014 年草莓栽培補植率達 25 % (何等, 2015)，造成成本增加。而依據田間栽培植株密度推估臺灣草莓種苗需求量達 2,400 萬株以上。目前利用穴植管和盆苗生產草莓種苗約 980 萬株，約只佔總需苗量之 40% (張等, 2016)，遠不足以提供所需。草莓‘桃園 4 號’(‘Taoyuan No.4’)，商品名「紅冠」，植株特性為生長生育旺盛、早生、植型直立、果實硬度中等、大果數多及產量高等優良性狀，適合作為觀光草莓園栽培品種(羅等, 2012)。

近年來由於氣候變遷造成氣候的不穩定性，例如極端高低溫、降水量暴增及颱風等對植株生長之不利因子，對露天栽培作物造成栽培管理上的困難。若是風調雨順大量生產時又有農作物產值暴跌之情形，利用完全環控之植物工廠有機會解決此一問題。植物工廠為在完全人工環境中，全年無休地生產作物，通常以無土栽培控制作物養分及水分(許, 2011)。設施內由於空間限制，多採用立體式層架栽培使單位面積產量提升(陳, 2011)。草莓適合利用植物工廠進行產期調節栽培，但首先需要穩定供應適合植物工廠栽培不帶介質的種苗。同時以植物工廠進行草莓苗生產，由於可以與外界隔絕，並提供作物最適環境，生產高品質之走莖苗，有利後續栽培利用。水耕栽培為無土栽培的一種，現行水耕栽培多為湛水式水耕(Deep flow technique, DFT)栽培，而湛水式水耕會因為栽培時間的延長，導致養液水體溶氧量下降的問題(Chun and Takakura, 1994)。霧耕是一種將養液加壓霧化噴灑於植物根部的栽培方式，植株根部會暴露於潮濕的環境中，可以解決湛水式水耕溶氧量下降的缺點，且可以達到節省養液及電費之目的(蔡, 2013)。因此本研究擬以湛水式水耕及霧耕作為栽培方式，探討兩種栽培方式對‘桃園 4 號’草莓母株生長之影響，評估其走莖及走莖苗生產能力及走莖苗生長潛力。

材料與方法

一、植物材料

挑選大小與生長勢一致，四片展開葉，莖冠直徑 9.9 mm 之草莓(*Fragaria ×ananassa*) ‘桃園 4 號’(‘Taoyuan No.4’) 水耕苗作為本試驗母株材料。

二、栽培環境與試驗方法

草莓植株以 $3 \times 3 \times 2.5 \text{ cm}^3$ 之正立方體海棉固定，以塑膠容器作為支撐，二種系統均植於 $109 \times 54 \times 10.5 \text{ cm}^3$ 水耕栽培槽，槽上放置珍珠發泡板並配置 4 株草莓母株，每一層架 4 層栽培槽，每種水耕處理兩層架共 32 株。湛水式水耕以沉水馬達(AZOO-2500, 郇港科技股份有限公司, 臺灣)，功率為 33 W，進行養液循環。霧耕(Aeroponics)使用微霧噴霧馬達(AQUAPRO-A12, 上億國際實業有限公司, 臺灣) 噴霧量為 $1.2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ，功率為 75 W，將養液以水霧形式噴灑於相同水耕栽培槽中，噴霧週期設定為 5/10 分鐘(開/關)。試驗於環控生長箱內以明/暗期環境溫度 25/18°C 及光照 16 小時，採用燈管式冷白色 LED 燈(新世紀光電公司、海立爾公司, 臺灣)作為光源，並以光照計主機(LI-250A Li-Cor Inc., USA)搭配光量子感應器(LI-190 Li-Cor Inc., USA)調整栽培區域平均光合作用有效光量 $140 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。兩種水耕栽培系統均使用山崎氏草莓養液配方，養液電導度(Electrical conductivity, EC)維持在 $1.6 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ，pH 值保持在 5.5-6.5，每週定期調整，試驗共進行 8 週。

草莓母株所生成之走莖苗以 $18 \times 11.8 \times 6 \text{ cm}^3$ 之無蓋塑膠容器承接作為走莖苗假植，假植水體為自來水。依走莖苗根長是否能接觸養液分為三個時期，分別是 S：2-3 cm (根部剛伸出海綿，未能接觸到養液面)、M：3.1-3.9 cm (根部剛接觸到養液面)、L：5-5.9 cm (根部已有半數浸泡在養液中)，將苗移植至另一生長箱，進行走莖苗培育。草莓走莖苗以 $3 \times 3 \times 2.5 \text{ cm}^3$ 之正立方體海棉固定，以塑膠容器作為

支撐，植於 $109 \times 54 \times 10.5 \text{ cm}^3$ 栽培槽，槽上放置珍珠發泡板並配置適當孔距，每層放置不同根長之草莓走莖苗 22 株，每一層架共 3 層，不同水耕栽培系統所生成之草莓走莖苗分別放置於不同層架，生長箱內明/暗期環境溫度 $25/20^\circ\text{C}$ 及光照 12 小時，採用燈管式冷白色 LED 燈(海立爾公司，台灣)作為光源，並以光照計主機(LI-250A Li-Cor Inc., USA)搭配光量子感應器(LI-190 Li-Cor Inc., USA)調整栽培區域平均光合作用有效光量 $140 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。使用湛水式水耕作為栽培方式，養液電導度維持在 $1.2 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ，pH 值保持在 5.5-6.5，每週定期調整，栽培 4 週。

三、生長測量與分析方法

草莓母株試驗八週計算其葉片數，測量植株由內向外第三片展開葉片長度(以直尺測量葉柄基部至中間小葉頂端之長度，單位為 cm)、葉片寬度(以直尺測量三片小葉最寬之長度，單位為 cm)、葉綠素(SPAD)讀值(以 SPAD-502, Konica Minolta, Japan 測定)、莖冠直徑(以電子式游標卡尺測量植株莖冠基部，單位為 mm)、統計所有參試母株走莖及走莖苗生成數。二系統三種不同根長之走莖苗移植到另一生長箱中，試驗四週後計算葉片數，測量葉片長度、葉片寬度、莖冠直徑、根長(以直尺測量至根尖長度，單位為 cm)及葉綠素(SPAD)讀值(以 SPAD-502, Konica Minolta, Japan 測定)，以電子天平量測其地上部與地下部鮮重，並以 70°C 72 小時烘乾後秤其乾重，計算壯苗指數。

母株及走莖苗試驗期間每週監測 EC 值(以手持式電導度計，CON200, Clean L'EAU Instrument, Taiwan 測量)及 pH 值(以手持式酸鹼度計 pH-220, Lutron Electronic LTD., USA 測量)，水位調整前後皆測定作為調整養液的依據。

1. 葉綠素含量：修改自 Winternans and DeMots (1965)，將植株由內向外第三片展開葉，秤取 0.5 g 鮮重後，以 2 mL 磷酸鈉緩衝液(sodium phosphate buffer, 50 mM, pH 6.8)將其研磨成均質，吸取 40 μL 之萃取液加入 960 μL 的絕對酒精混合均勻後，在 4°C 黑暗下靜置 30 分鐘。以 1000 g 離心 15 分鐘。取其上清液在分光光度計(Thermo Electron, BioMate 3, Japan)波長為 649 nm 及 665 nm 下測定其吸光值後計算葉綠素含量。

葉綠素含量(Chlorophyll content, $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) = $(6.1 \times A_{665} + 20.04 \times A_{649}) \times 50 \div 1000 \div 0.5$ 。

2. 根部 TTC 活性測定：參考 Steponkus and Lanphear (1967)之方法。取根尖 2 cm 處之根系，將其切成 1 cm 的長度，秤取 0.1 g，以磷酸鉀緩衝溶液(Potassium phosphate buffer, pH 7.4)配置 0.6% 2,3,5-Triphenyl Tetrazolium Chloride (TTC)溶劑，真空抽氣 30 秒後置於 30°C 黑暗下 18 小時，倒去 TTC 溶劑，使用 5 mL 二次水清洗三次，95% 酒精定量至 5 mL，以 85°C 水浴 10 分鐘，冷卻後以 95% 酒精定量至 10 mL 再取 1 mL 抽取液，以分光光度計(Thermo Electron, BioMate 3, Japan)測定波長 488 nm 下其吸收值。根部 TTC 活性($\text{OD}\cdot\text{g}^{-1}$) = $A_{488} \div 0.1 (\text{FW})$ 。
3. 壯苗指數：參考洪等(2013)計算方式：莖冠直徑/莖冠長度 $\times$ 地上部乾重。
4. 馬達電費計算：以臺灣電力公司所公告之夏季電價計算。計算方式：每日每種馬達用電度數 $\times$ 56 日 $\times$ 1.63 元。

四、統計分析

試驗以完全隨機設計，草莓母株結果以 SAS 9.4 (Statistical Analysis System 9.4) 軟體進行樣本 T 檢定(Independent t-test)比較其 5%之差異顯著性，每種處理五重複；草莓走莖苗結果以 SAS 9.4 (Statistical Analysis System 9.4)軟體進行複因子分析(factorial experiment)比較其差異顯著性，每種處理三重複。

結 果

為比較不同水耕系統對草莓母株生長與種苗繁殖，以湛水式水耕與霧耕栽培‘桃園 4 號’草莓母株八週後，霧耕栽培組葉片長度與葉片寬度分別為 16.84 cm 及 12.94 cm，與湛水式水耕栽培組葉片長度與葉片寬度 17.34 cm 及 11.66 cm 相較之下未達顯著差異，二種水耕栽培下植株葉片葉綠素 SPAD 讀值也未達顯著差異(表 1)。不同水耕系統對草莓母株生長影響比較顯著的是葉片數、莖冠直徑、葉綠素含量與根部 TTC 活性，湛水式水耕栽培下草莓植株平均葉片數 14.30 片明顯高於霧耕處理組 12.60 片；但霧耕處理組莖冠直徑為 12.10 mm 明顯高於湛水式水耕處理組 11.03 mm (表 1)。霧耕處理組葉綠素含量 $1.13 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 較湛水式水耕處理組 $0.87 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 高，且達顯著差異(表 2)。尤其是根部 TTC 活性，霧耕處理組 $8.05 \text{ OD}\cdot\text{g}^{-1}$ 極顯著高於湛水式水耕組 $6.07 \text{ OD}\cdot\text{g}^{-1}$ (表 2)。

以霧耕栽培‘桃園 4 號’草莓八週後所有參試植株其走莖累積數 197 條，平均每株 6.2 條，累積走莖苗數 573 株，平均每株 17.9 株；而湛水式水耕所有母株累積的走莖數只有 156 條，平均每株 4.9 條，走莖苗累積數為 469 株，平均每株 14.7 株。霧耕處理組累積的走莖數及走莖苗數分別為湛水式水耕處理的 126% 及 122% (圖 1)。二種水耕系統栽培八週所耗費電力、電費與耗水量如表 3，湛水式水耕每日每馬達需 0.792 KW h 電力，八週需 72.3 元電費，霧耕栽培每日每馬達只需 0.264 KW h 電力，八週只需 54.8 元電費，霧耕處理所需電費為湛水式水耕的 76%。此外湛水式水耕每層架養液使用量為 387.81 L，霧耕栽培每層架養液使用量為 240.47 L，霧耕處理所需液體量為湛水式水耕的 62% (表 3)。

表 1. ‘桃園 4 號’草莓母株於不同水耕栽培系統 8 週葉片數、葉片長度、葉片寬度、莖冠直徑與葉綠素 SPAD 讀值
Table 1. Effect of hydroponics systems on leaf number, leaf length, leaf width, crown diameter, and SPAD value of strawberry ‘Taoyuan No.4’ stock plant

Hydroponics	Leaf number $\cdot\text{plant}^{-1}$	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	rown diameter (mm)	SPAD value
DFT	14.30	17.34	11.66	11.03	40.34
Aero.	12.60	16.84	12.94	12.10	41.02
p-value	*	N.S.	N.S.	*	N.S.

Hydroponics = DFT : Deep flow technique; Aero. : Aeroponics

***, **, *: Means significant at $p \leq 0.001, 0.01$ or 0.05 respectively between DFT and Aero. treatment by *t*-test. N.S. : Non-significant at *p*-value. (n=5)

The experiment was conducted for 8 weeks.

表 2. ‘桃園 4 號’草莓母株於不同水耕栽培系統 8 週後葉綠素含量及根部活性

Table 2. Effect of hydroponics systems on chlorophyll content and activity of root of strawberry ‘Taoyuan No.4’ stock plant

Hydroponics	Chlorophyll contents ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Activity of root ($\text{OD}\cdot\text{g}^{-1}$)
DFT	0.87	6.07
Aero.	1.13	8.05
p-value	*	***

Hydroponics = DFT : Deep flow technique; Aero. : Aeroponics

***, **, *: Means significant at $p \leq 0.001, 0.01$ or 0.05 respectively between DFT and Aero. treatment by *t*-test. N.S. : Non-significant at *p*-value. (n=5)

The experiment was conducted for 8 weeks.

表 3. 不同水耕栽培系統每日馬達機械運轉時數、用電度數、試驗 8 週總電費、每層架養液使用量

Table 3. The pumping running time、electricity consumption、electricity cost and one shelf total nutrient solution of strawberry ‘Taoyuan No.4’ in different hydroponics systems

Hydroponics	Pumping running time ($\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$)	Electricity consumption ($\text{KW h}\cdot\text{d}^{-1}$)	Electricity cost (NT/8 weeks)	Total nutrient solution (L/shelf)
DFT	24	0.792	72.3	387.81
Aero.	8	0.264	54.8	240.47

Hydroponics = DFT : Deep flow technique; Aero. : Aeroponics

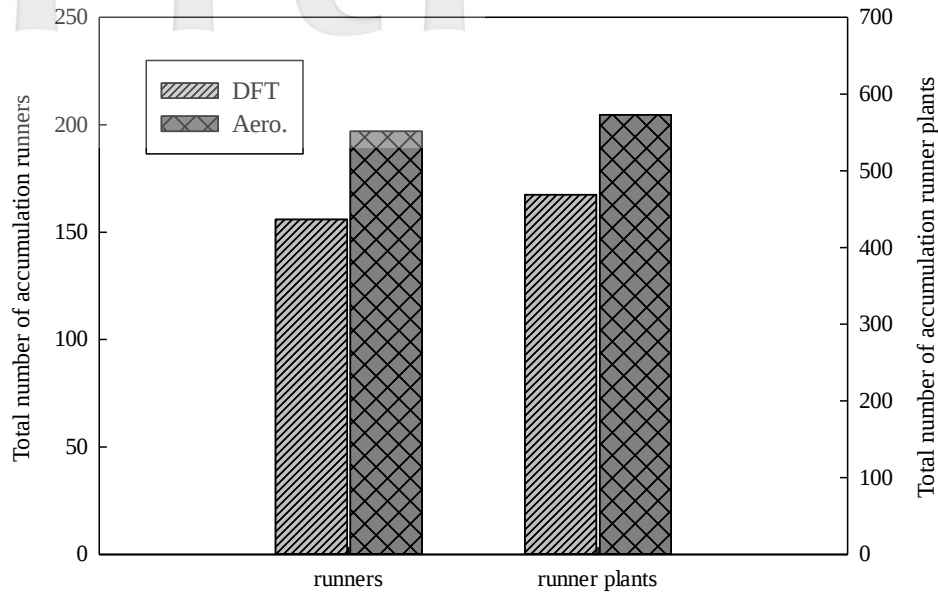


圖 1. ‘桃園4號’草莓母株於不同水耕栽培系統栽培 8 週後總累積走莖生成數及走莖苗生成數(n=32)
 Fig. 1. The total number of accumulation runners and runner plants produced by strawberry ‘Taoyuan No.4’ stock plants in different hydroponics systems for eight weeks. (n=32)

調查兩種不同水耕栽培系統下所生成之三種根長走莖苗，發現兩種不同水耕栽培系統明顯影響走莖苗葉長、葉寬、莖冠直徑，但對走莖苗地上部與地下部鮮乾重沒有明顯差異。不同根長處理明顯影響走莖苗葉長、葉寬、地上部與地下部鮮乾重與壯苗指數。其中以根長 L 之走莖苗在葉片數、葉長、葉寬、莖冠直徑、地上部鮮乾重、地下部鮮乾重、壯苗指數具有最高值(表 4、表 5)，尤其以湛水式水耕根長 L (DFT-L)之走莖苗其葉片數、葉寬、莖冠直徑、SPAD 讀值、地上部鮮乾重、地下部鮮乾重及壯苗指數均為六種處理中最高(表 4、表 5)。

將不同水耕栽培系統及根長所產出之‘桃園 4 號’草莓走莖苗以相同湛水式水耕栽培一個月後，調查走莖苗後續生長情形，發現由霧耕產出之走莖苗植株外部型態與湛水式相差無幾，走莖苗葉長、葉寬、葉綠素 SPAD 讀值、莖冠直徑、地上部與地下部鮮乾重、壯苗指數、葉綠素含量與根部活性在不同水耕系統間均無顯著差異，但是明顯影響走莖苗莖冠直徑與根長(表 6、表 7、表 8)。走莖苗根部長度以霧耕產出之走莖苗較湛水式水耕產出之走莖苗長(表 6)。但是不同根長走莖苗即使栽培一個月後仍顯著影響生物量，均以根長 L 的走莖苗有最高地上部與地下部鮮乾重(表 7)。經一個月栽培後走莖苗莖冠直徑與壯苗指數均以 DFT-L 最高(表 7)。六種處理走莖苗之葉綠素含量與根部 TTC 活性並無顯著差異(表 8)。

表 4. 不同水耕栽培系統與根長所產出之‘桃園 4 號’草莓走莖苗葉片數、葉片長度、葉片寬度、莖冠直徑及葉綠素 SPAD 讀值

Table 4. The leaf number, leaf length, leaf width, crown diameter, and SPAD value of strawberry runner plant ‘Taoyuan No.4’

factor	Leaf number·plant ⁻¹	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Crown diameter (mm)	SPAD value
Hydroponics (H)					
DFT	2.66	13.74a	9.45a	6.74a	40.94
Aero.	2.77	10.61b	6.78b	5.41b	38.72
Root length (R)					
S	2.33	11.28b	7.37b	5.52	39.62
M	2.66	11.76b	7.85b	6.02	40.05
L	3.17	13.48a	9.13a	6.70	54.83
Significance Analysis					
Main factor					
Hydroponics (H)	N.S.	***	***	**	N.S.
Root length (R)	N.S.	**	**	N.S.	N.S.
Interaction					
H × R	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.

Hydroponics = DFT : Deep flow technique; Aero. : Aeroponics

Significance of interaction between H and R is given : N.S. : not significant; *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001

The runner plants were produced by different hydroponics systems and root length.

表 5. 不同水耕栽培系統與根長所產出之‘桃園 4 號’草莓走莖苗地上部鮮重、地下部鮮重、地上部乾重、地下部乾重及壯苗指數

Table 5. The shoot fresh weight, root fresh weight, shoot dry weight, root dry weight, and healthy index of strawberry runner plant ‘Taoyuan No.4’

factor	Shoot Fresh Weight (g)	Root Fresh Weight (g)	Shoot Dry Weight (g)	Root Dry Weight (g)	Healthy index
Hydroponics (H)					
DFT	3.48	1.13	0.53	0.12	0.61
Aero.	2.95	0.94	0.47	0.1	0.62
Root length (R)					
S	2.69c	0.79b	0.36b	0.08b	0.41c
M	3.12b	0.86b	0.48b	0.11b	0.62b
L	3.84a	1.45a	0.66a	0.14a	0.83a
Significance Analysis					
Main factor					
Hydroponics (H)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Root length (R)	*	***	**	**	***
Interaction					
H × R	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Hydroponics = DFT : Deep flow technique; Aero. : Aeroponics

Significance of interaction between H and R is given: N.S. : not significant; *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001

Healthy index = Crown diameter / Crown length × Shoot dry weight

The runner plants were produced by different hydroponics systems and root length.

表 6. 不同水耕栽培系統及根長所產出之‘桃園 4 號’草莓走莖苗栽培 1 個月後葉片數、葉片長度、葉片寬度、莖冠直徑、SPAD 讀值及根部長度

Table 6. The leaf number, leaf length, leaf width, crown diameter, SPAD value and root length of strawberry runner plants ‘Taoyuan No.4’

factor	Leaf number·plant ⁻¹	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Crown diameter (mm)	SPAD value	Root length (cm)
Hydroponics (H)						
DFT	6.22	16.19	12.00	9.04a	41.13	12.42b
Aero.	7.33	16.55	12.49	8.00b	39.57	15.72a
Root length (R)						
S	5.50c	13.99b	10.32c	7.00c	39.11	13.25b
M	7.00b	17.57a	12.10b	8.63b	40.27	13.35b
L	7.84a	17.57a	14.32a	9.94a	41.68	15.62a
Significance Analysis						
Main factor						
Hydroponics (H)	N.S.	N.S.	N.S.	*	N.S.	***
Root length (R)	*	**	***	***	N.S.	***
Interaction						
H × R	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	**

Hydroponics = DFT: Deep flow technique; Aero.: Aeroponics

Significance of interaction between H and R is given: N.S.: not significant; *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001

The runner plants were produced by different hydroponics systems and root length.

The experiment was conducted for 4 weeks.

表 7. 不同水耕栽培系統及根長所產出之‘桃園 4 號’草莓走莖苗栽培 1 個月後地上部鮮重、地下部鮮重、地上部乾重、地下部乾重及壯苗指數之影響

Table 7. The shoot fresh weight, root fresh weight, shoot dry weight, root dry weight, and healthy index of strawberry runner plant ‘Taoyuan No.4’

factor	Shoot Fresh Weight (g)	Root Fresh Weight (g)	Shoot Dry Weight (g)	Root Dry Weight (g)	Healthy index
Hydroponics (H)					
DFT	7.29	3.80	1.15	0.29	0.89
Aero.	7.23	3.48	1.09	0.24	0.78
Root length (R)					
S	4.25c	2.11b	0.71c	0.18b	0.57c
M	7.48b	4.03a	1.11b	0.25b	0.87b
L	10.07a	4.78a	1.55a	0.37a	1.07a
Significance Analysis					
Main factor					
Hydroponics (H)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Root length (R)	***	***	***	***	*
Interaction					
H × R	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Hydroponics = DFT: Deep flow technique; Aero.: Aeroponics

Significance of interaction between H and R is given: N.S.: not significant; *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001

Healthy index = Crown diameter / Crown length × Shoot dry weight

The runner plants were produced by different hydroponics systems and root length.

The experiment was conducted for 4 weeks.

表 8. 不同水耕栽培系統與根長所產出之‘桃園 4 號’草莓走莖苗栽培 1 個月後葉綠素含量及根部 TTC 活性
 Table 8. The chlorophyll content and activity of root of strawberry runner plant ‘Taoyuan No.4’

factor	Chlorophyll contents (mg·g ⁻¹)	Activity of root (OD·g ⁻¹)
Hydroponics (H)		
DFT	0.87	4.35
Aero.	1.00	4.43
Root length (R)		
S	0.85	4.67
M	1.03	4.32
L	0.92	4.20
Significance Analysis		
Main factor		
Hydroponics (H)	N.S.	N.S.
Root length (R)	N.S.	N.S.
Interaction		
H × R	N.S.	N.S.

Hydroponics = DFT: Deep flow technique; Aero. : Aeroponics

Significance of interaction between H and R is given: N.S. : not significant; *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001

The runner plants were produced by different hydroponics systems and root length.

The experiment was conducted for 4 weeks.

討 論

草莓植株生長勢可由植株外部型態評估，例如葉柄長度、葉面積、莖冠直徑及走莖數作為參考依據(Aspuria et al., 1992; Aspuria and Fujime, 1995; Konsin et al., 2001)。葉面積為反映植株生長發育狀態的重要指標，以葉片長度乘葉片寬度與破壞性葉面積測定所得到的回歸方程式之相關係數大於 0.97，顯示以葉片長度及葉片寬度為評估葉面積的可行方法(陳等, 2009)。而一般具有較大的葉面積，代表植株具有越佳的捕獲光線能力，葉片可以行光合作用的面積亦提升，對於植株生長與繁殖有所助益。本試驗中調查草莓母株葉片長度及葉片寬度評估葉面積，經過統計分析後，在葉片長度及葉片寬度兩項指標中，兩種水耕栽培系統之間未達顯著差異(表 1)，代表兩種水耕栽培系統對草莓母株葉面積具有相似之效果，也顯示霧耕栽培所培育出之母株葉面積可與湛水式水耕栽培相當。草莓莖冠是一種變態莖，為草莓植株葉片、根部、走莖、花序生成之重要器官，亦是草莓儲存碳水化合物與養分的器官(Macias et al., 2002)，較大的莖冠直徑有較佳的走莖生產能力(Jahn and Dana, 1970)。試驗中霧耕處理下母株莖冠直徑較湛水式水耕處理大且達顯著差異，同時霧耕處理組累積總走莖數及走莖苗生成數分別為湛水式水耕處理的 126% 及 122% (圖 1)，顯示以霧耕進行‘桃園 4 號’草莓走莖繁殖較湛水式水耕具有較高的繁殖效率。謝(2017)提及以霧耕進行‘豐香’、‘香水’草莓苗生產相較於湛水式水耕具較多走莖生成，結果亦與本試驗相同。

三苯基氯化四唑(triphenyl tetrazolium chloride, TTC)還原活性染色生物檢定法，被認為是測定細胞活性的可靠方法，常應用於種子或植物體正常功能之指標(Bačkor and Fahselt 2005; Gibon et al., 1997; Upadhyaya and Caldwell, 1993)。「桃園 4 號」草莓母株在不同水耕栽培系統下，霧耕處理之母株根部 TTC 活性均較湛水式水耕高，且達極顯著差異(表 2)。宋與李(2004)認為植物根系對地上部生長發育的影響，不僅取決於根系生長量、吸收面積及空間分布，尚取決於根系活力。而 TTC 還原能力與呼吸作用有關，為根系活力的重要指標。本試驗中霧耕栽培下母株根部 TTC 活性較高，表示其根部細胞之呼吸作用較旺盛，活力較高，導致霧耕處理下之母株具有較多的走莖及走莖苗生成，同時也顯示草莓根部可能需氧

量較高。因此若以水耕系統進行草莓種苗繁殖，可能以霧耕系統較合適。此外本試驗中霧耕所需之電費與總養液使用量均較湛水式水耕栽培低(表 3)，確實較湛水式水耕可以節省 24%能源與 34%水資源。印證蔡(2013)提及以霧耕栽培可以節省能源及養液消耗。壯苗指數可以做為苗株品質之評估，而幼苗的健壯程度會影響後續栽培利用重要因素之一(Crawford *et al.*, 2000; Faby, 1997)，一般可由株高、莖粗、葉面積、葉色、地上部或地下部鮮乾重等外部型態作為壯苗指標(司等, 1993; 張, 1995; Dreesen and Langhans, 1992)。由於水耕苗需要完全仰賴根部吸收養液，因此本試驗以走莖苗根部能否接觸栽培養液與接觸養液多寡設定三種根部長度，以評估適合出苗的苗株大小。結果試驗中壯苗指數以湛水式水耕產出最大根長之走莖苗(DFT-L)具有最高之壯苗指數；而以霧耕產出之走莖苗植株外部型態較小。走莖苗透過走莖與母株相連以共享養分，而養分主要由母株運送至走莖苗，用以維持走莖苗生長，且走莖間養分得以互相流通，進而影響走莖苗之生物量及營養生長(Alpert, 1996; Andriolo *et al.*, 2014)。本試驗中，霧耕處理下‘桃園 4 號’草莓母株 8 週平均每株走莖及走莖苗生成數分別為 6.2 條及 17.9 株，高於湛水式水耕的平均走莖 4.9 條及走莖苗數 14.7 株，而二種水耕系統養液 EC 值均維持在 $1.6 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ，但因霧耕處理下母株需供應較多走莖苗，因此可能使得走莖苗生物量較低。但是走莖苗經過 1 個月相同環境栽培後，二種水耕系統所產出的苗株生長已無明顯差別，即霧耕走莖苗生長趨近於湛水式水耕所產出之走莖苗，表示植株生長速度較快、生長勢較強，其中又以較大根部尺寸之苗株生長較為顯著。Jahn and Dana (1970) 提到莖冠直徑與葉原體數為正相關。本試驗中根部尺寸為 L 的走莖苗具有較大的莖冠直徑(表 7)，代表植株內所蓄積的養分較多，有利於葉片生成，對於後續栽培利用有顯著的幫助。

結 論

以水耕進行‘桃園 4 號’草莓植株栽培與繁殖 8 週，母株生長、走莖生成數及走莖苗累積數均以霧耕栽培較湛水式水耕佳，同時節省能源與水資源。雖然霧耕所產出之走莖苗植株外部型態較湛水式水耕小，但根部活力佳、生長迅速，栽培一個月後就與湛水式水耕苗相近。較長根長之走莖苗具有較高的壯苗指數與種苗品質。因此以霧耕，噴霧週期：5/10 min (開/ 關)進行‘桃園 4 號’草莓走莖苗生產，走莖苗根長 5 cm 以上可有較好種苗品質以利後續栽培利用。

參考文獻

1. 司亞平、何偉明、張殿奎. 1993. 番茄穴盤育苗營養面積選擇試驗初報. 中國蔬菜 1: 29-32.
Si, Y.P., W.M. He, and D.K. Chang. 1993. Preliminary report on the selection of nutrient area of tomato plug seedlings. China Vegetables 1: 29-32.
2. 何超然、丁昭伶. 2015. 臺灣草莓進出口及育苗產業概況與政策. 苗栗區農業專訊. 70:12-14.
He, C.H. and J.L. Ding. 2015. Import and export, seedling industry overview and policy of Taiwan strawberry. Miaoli District Agr. Research Ext. Sta.70:12-14.
3. 宋海星、李生秀. 2004. 水、氮供應和土壤空間所引起的根系生理特性變化. 植物營養與肥料學報 10:6-11.
Song, H.X. and S.X. Li. 2004. Changes of root physiological characteristics resulting from supply of water, nitrogen and root-growing space in soil. Plant Nutrition and Fertilizer Science 10:6-11.
4. 洪明谷、宋好. 2013. 光強度對‘瑞喜’結球白菜種苗生長之影響. 興大園藝 38: 27-38.

- Hong, M.G. and Y. Sung. 2013. The effect of light intensity of artificial light on the growth and quality of Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. spp. *pekinensis* Lour. Rupr.) seedlings. *Horticulture NCHU* 38:27-38.
5. 張義弘. 1995. 種苗之異質性與自動化育苗、移植. *種苗科技專訊* 11: 3-6
Chang, Y.H. 1995. Seedling heterogeneity and automated seedling, transplant. *Seed Science and Technique* 11:3-6.
 6. 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.
Chang, T.L., Y.J. Lee, and H.G. Chang. 2016. Introduction to the production of healthy strawberry seedlings in an efficient environment. *Agriculture Policy & Review* 287:82.
 7. 許碩庭. 2011. 光環境與氮肥處理對設施內草莓種苗繁殖之研究. 國立宜蘭大學園藝學研究所碩士學位論文.
Hsu, S.T. 2011. Study of light source and nitrogen treatment on strawberry (*Fragaria xananassa* Duch.) seedlings propagation under protected culture. MS Thesis of Dept. Hort., National Ilan University.
 8. 陳世銘、方煒、羅筱鳳、曹幸之、張耀乾、廖國基、顏炳郎、蔡兆胤. 2011. 臺灣植物工廠現況與發展策略之分析. *農業機械學刊* 20: 95-106.
Chen, S.M., W. Fang, H.F. Lo, S.J. Tsao, Y.C. Chang, K.C. Liao, P.L. Yen, and C.Y. Tsai. 2011. Current status and development strategies of plant factory in Taiwan. *J. Agri. Machinery* 20:95-106.
 9. 陳秀娟、陳衛平、糜林、高志紅、李金鳳、章鎮、渠慎春. 2009. 南方草莓葉面積計算方法的研究. *中國農業通報* 25:190-193.
Chen, X.J., W.P. Chen, L. Mi, Z.H. Gao, J.F. Li, Z. Chang, and S.C. Qu. 2009. On regressive estimation for leaf area of strawberry. *Chinese Agri. Sci. Bull.* 25:190-193.
 10. 劉校春. 2011. 草莓栽培技術. 五洲出版有限公司. 新北市. 臺灣.
Liou, S.C. 2011. Cultivation techniques of strawberry. Wuchow Press. New Taipei City. Taiwan.
 11. 蔡尚光. 2013. 植物工廠 (三版). 淑馨出版社. 新北. 臺灣.
Tsai, S.G. 2013. Plant factory. Shushin Press. New Taipei City. Taiwan.
 12. 謝政穎. 2017. 水耕草莓走莖苗繁殖系統建立. 國立宜蘭大學園藝學研究所碩士學位論文.
Hsieh, C.Y. 2017. Establishment of hydroponics strawberry runner plants propagation system. MS Thesis of Dept. Hort., National Ilan University.
 13. 羅國偉、李窓明、張志展. 2012. 草莓新品種桃園 4 號之育成. 桃園區農業改良場研究彙報 72:1-10.
Lo, G.W., C.M. Lee, and Z.Z. Chang. Release of strawberry new cultivar Taoyuan No.4. Taoyuan District Agri. Research Ext. Sta. 72:1-10.
 13. Alpert, P. 1996. Nutrient sharing in natural clonal fragments of *Fragaria chiloensis*. *J. Ecol.* 84:395-406.
 15. Andriolo, J.L., D.I. Janisch, M. Dal Picio, O.J. Schmitt, and M.A. Lerner. 2014. Nitrogen accumulation and monitoring by strawberry stock plants for runner tips production. *Hortic. Bras.* 32:273-279.
 16. Aspuria, J.R. and Y. Fujime. 1995. Eco-physiological studies in the analysis of dormancy in strawberry. *Acta Hort.* 395:97-104.
 17. Aspuria, J.R., Y. Fujime, N. Okuda, H. Suzuki, and Y. Yoshida. 1992. Correlation between environment factors and number of days from nursery stage to dormancy in strawberry. *Acta Hort.* 319:341-346.

18. Bačkor, M. and D. Fahselt. 2005. Tetrazolium reduction as an indicator of environmental stress in lichens and isolated bionts. *Environ. Exp. Bot.* 53:125-133.
19. Crawford, T.D., D.G. Himelrick, J.L. Sibley, and J.A. Pitts. 2000. Effect of runner plantlet size on performance of strawberry plug plants. *Small Fruits Review* 1:15-21.
20. Chun, C. and T. Takakuta. 1994. Rate of root respiration of lettuce under various dissolved oxygen concentrations in hydroponics. *Environ. Control in Biology* 32:125-135.
21. Dreesen, D.R. and R.W. Langhans. 1992. Temperature effects on growth impatiens plug seedling in controlled environment. *J. Amer. Soc. Hort.* 117:209-215.
22. Durner, E.F., J.A. Barden, D.G. Himelrick, and E.B. Poling. 1984. Photoperiod and temperature effects on the flower and runner development in day-neutral, June bearing and everbearing strawberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109:396-400.
- 23 Faby, R. 1997. The productivity of graded Elsanta frigo plants from different origins. *Acta Hort.* 439:449-455.
24. Gibon, Y., M.A. Bessieres, and F. Larher. 1997. Is glycine betaine a non-compatible solute in higher plants that do not accumulate it? *Plant, Cell and Environment* 20: 329-340.
25. Jahn, O.L. and M.N. Dana. 1970. Crown and inflorescence development in the strawberry, *Fragaria ×ananassa*. *Amer. J. Bot.* 57: 605-612.
26. 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.* 76:77-82.
27. Macias, R.L., E. Quero, and M.G. Lopez. 2002. Carbohydrate differences in strawberry crowns and fruit (*Fragaria ×ananassa*) during plant development. *J. Agric. Food Chem.* 50 : 3317-3321.
28. Smeets, L. 1979. Effects of temperature and day-length on flower initiation and runner formation in two everbearing strawberry cultivars. *Scientia Hort.* 12:19-26.
29. Steponkus, P.L. and F.O. Lanphear. 1967. Refinement of the triphenyl tetrazolium chloride method of determining cold injury. *Plant Physiology* 42:1423-1426.
30. Upadhyaya, A. and C.R. Caldwell. 1993. Applicability of the triphenyl tetrazolium chloride reduction viability assay to the measurement of oxidative damage to cucumber cotyledons by bisulfite. *Environ. Experi. Bot.* 33:357-365.
31. Winternans, J.F.G.M. and A. DeMots. 1965. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their pheophytins in ethanol. *Biochem Biophys. Acta.* 109:448-453.

Abstract

The production of strawberry runner and runner plant in plant factory could avoid environmental stress and extend growing season. Although the deep flow technique (DFT) in hydroponics is widely used in plant factory, the aeroponic growth system can save more water and energy. The objective of this study was to compare the effects and performance on the strawberry propagation of runner plant between a DFT hydroponic system and an aeroponic system. The plants of strawberry ‘Taoyuan No.4’ with four developed leaves were grown for eight weeks in these two growth systems in an environmental control chamber. The ambient environment was maintained at day/night temperature 25/18°C, photoperiod 16 hours, light intensity

140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, EC value of nutritional solution 1.6 mS cm^{-1} , pH 5.5-6.5. The spraying period in root zone in aeroponic treatment was 5 min ON/10 min OFF. The results of an eight-week cultivation show that the leaf width, crown diameter, SPAD value, chlorophyll content, and root activity of the plants grown in aeroponic system were higher than those grown in DFT. The number of accumulated runners and runner plants in aeraponics were more than those in DFT by 26% and 22%, respectively. Compared with DFT, the aeraponics growth system for strawberry could save 24% of electricity cost and 38% of total nutrient solution. However, the runner plants produced in DFT had longer leaf length, leaf width, and larger crown diameter than those in aeraponics. All of the runner plants can be categorized into three sizes by their root length: S (2-2.9 cm), M (3-3.9 cm), L (5-5.9 cm). The runner plants with L-size root had the highest shoot and root fresh and dry weight in these two growth system. All runner plants were then transplanted in a DFT system for one-month sequential cultivation. There were no differences in the plant growth between the aeraponics and DFT system. The runner plants with L-size root had the highest healthy index in both hydroponics systems. It is suggested that the strawberry propagation in aeraponics could provide more runner plants and runner plant selection of L-size root for the sequential cultivation is recommended.