

噴霧週期對霧耕草莓生長與走莖繁殖之影響

鄔家琪^{1*} 謝政穎¹ 張明毅²

¹國立宜蘭大學園藝學系

²國立宜蘭大學生物機電工程學系

摘要

霧耕是以養液加壓霧化後噴於植物根部供給養液進行作物栽培方式，可解決水耕水體溶氧不足的問題，同時較為節省資源。因此本研究擬探討噴霧週期對於霧耕栽培‘豐香’與‘香水’草莓生長與走莖繁殖的影響，並評估其適合之噴霧週期。噴霧週期設定為 1 (0.33/0.67)、5 (1.67/3.33)、15 (5/10)、30 (10/20)、1h (20/40)、2h (20/100) 和 3h (20/160) (開/關，分鐘) 作為處理組，以湛水式水耕栽培作為對照組。處理 8 週後所有噴霧處理組草莓根部長度皆顯著比對照組短，但霧耕‘香水’草莓母株在噴霧週期低於 1 小時的處理組根部活性皆高於對照組，霧耕‘豐香’草莓母株根部活性則在所有霧耕週期處理下皆高於對照組。在 5 (1.67/3.33) 與 15 (5/10) 噴霧週期下無論‘豐香’還是‘香水’草莓母株皆有較佳的生長與較多的走莖生成，累積走莖數為對照組的 1.16 - 1.28 倍。同時又可維持較多數量的走莖苗生物量，並減少 24% 以上電費與 72.5% 用水量。因此以 5 (1.67/3.33) 或 15 (5/10) 噴霧週期對於‘豐香’與‘香水’草莓的生長與走莖繁殖較為適合。

關鍵詞：草莓、水耕、霧耕、噴霧週期、走莖繁殖

*通訊作者。E-mail: angwu@niu.edu.tw

Effect of Spraying Period on the Growth and Runner Propagation of Aeroponically Grown Strawberry

Chia Chyi Wu^{1*} Cheng Ying Hsieh¹ Ming Yih Chang²

¹Department of Horticulture, National Ilan University

²Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan University

Abstract

Aeroponics is a kind of plant cultivating method with spraying nutrient-rich solution in the root-zone environment. This approach provides easy manipulation of gaseous environment around the roots and solve oxygen deficient problem and also save resources. The objective of this study was to investigate that the effects of the spraying period of nutrient solution on the growth and runner propagation of the strawberry 'Toyonoka' and 'Aroma'. There were seven treatments with various spraying periods conducted in this study: 1 (0.33/0.67), 5 (1.67/3.33), 15 (5/10), 30 (10/20), 1h (20/40), 2h (20/100), and 3h (20/160) (on/off, min). The control group was the plants grown hydroponically with deep flow technique. The results showed that the root length of control group were longer than all the treatment groups. However, root activity of 'Aroma' in the treatments of period less than 1 hour was higher than those in control group. The 'Toyonoka' root activity in all aeroponical treatments was higher than control groups. The 5 (1.67/3.33) and 15 (5/10) treatments groups of 'Toyonoka' and 'Aroma' strawberry stocks plant had better growth and more runners number than the other groups. The accumulation runner numbers of 5 (1.67/3.33) and 15 (5/10) treatments groups relative to CK were 116-128%. Both strawberry stocks plants in 5 (1.67/3.33) and 15 (5/10) treatments could also maintain the more biomass of runner plants and save 24% electricity cost and 72.5% total water consumption. Thus, this study suggested that more suitable treatments of spraying period for the growth and runner propagation of the strawberry 'Toyonoka' and 'Aroma' were 5 (1.67/3.33) and 15 (5/10).

Keywords: strawberry, hydroponics, aeroponics, spraying period, runner propagation

*Corresponding author. E-mail: angwu@niu.edu.tw

壹、前言

依據田間栽培植株密度推估台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)。台灣草莓育苗適期通常自 5-10 月，此時環境高溫溼熱，而傳統田間育苗模式受走莖分布影響不但植株容易密度過高，同時因開放式育苗環境控制不易，常造成病蟲害管理困難，所生產之種苗植株細弱、根系不良，定植本田後幼苗成活率低下，管理成本相對提高。雖然育苗方式已朝高架化穴植管或盆苗育苗方向發展，但仍屬開放空間育苗，依然無法解決水源、介質及環境傳播病蟲害等問題。利用組織培養技術培養生產無病毒種苗雖已廣泛應用於草莓健康種苗母本的生產，然而草莓組織培養之原原種具有類似幼年期性，必須在隔離保護良好環境下培育二至三季，其生產的子苗才能穩定供應量產栽培利用(張等, 2016)。近年來種苗生產環境受極端氣候影響愈遽，因此種苗改良繁殖場建議發展保護隔離設施來生產健康種苗，而利用可調控環境設備來進行作物繁殖與栽培已經成為一新興趨勢，尤其適合於種苗的繁殖與生產。因為大部分種苗體積小、可利用多層架栽培，節省栽培空間，增加單位面積產量，同時導入設施內水耕系統可解決土壤病蟲害之傳播(謝, 2017)。

水耕栽培中湛水式(Deep flow technique, DFT)與養液薄膜式(Nutrient film technique, NFT)栽培下，常隨著栽培時間的增加使得水中溶氧量持續下降導致溶氧量不足的問題(Chun and Takakura, 1994)，業界栽培多用其他的設備來提升溶氧量，因此增加額外成本。而霧耕栽培法是以養液加壓霧化後噴於植物根部供給養液進行作物栽培，使根部暴露在高氧且潮濕的密閉空間中對於植物根部活性較佳，可直接解決普遍水耕水體溶氧不足的問題，且相較其他水耕法更能夠節省水分，但也因較節省水分使得供給量必須要控制得極為精準，故使用霧耕栽培對於噴霧週期相對要求嚴格。霧耕可對植物生長有更好的控制，並且可減少疾病傳播、人員工作時間、縮短作物種植時間與採收時間(Clawson *et al.*, 2000)。因此本研究擬以不同噴霧週期探討適合草莓生長與走莖生成的霧耕條件。

貳、材料與方法

一、植物材料

草莓(*Fragaria ×ananassa* Duch.)栽培種‘豐香’(‘Toyonoka’)與‘香水’(‘Aroma’), ‘豐香’品種以 T 表示，‘香水’品種代號為 A，採用水耕栽培系統所生產之走莖苗，挑

選大小與生長勢一致，三至四片完整展開葉，作為試驗用。

二、栽培環境與試驗方法

實驗於環控生長箱使用霧耕方式栽培草莓‘香水’和‘豐香’品種，使用微霧噴霧馬達（AQUAPRO-A12，上億國際實業有限公司）噴霧量為 $1.2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ，並設定管線與噴頭分佈，將養液以水霧的形式噴於密閉式的栽培槽中，多餘的養液回流至儲藏槽，栽培養液參考山崎氏養液配方，各處理營養液電導度值（Electrical conductivity, EC）維持在 $1.6 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ，pH 值保持在 5.5-6.5，分別觀察記錄各個霧耕週期中‘豐香’和‘香水’草莓生長與走莖生成。實驗的噴霧週期設定為 1（0.33/0.67）、5（1.67/3.33）、15（5/10）、30（10/20）、1h（20/40）、2h（20/100）和 3h（20/160）（開/關，分鐘）作為處理組，簡稱 1、5、15、30、1h、2h 和 3h 週期，即 1、5、15、30 分鐘週期內皆為 1/3 時間噴霧，2/3 時間停止噴霧，1h、2h、3h 週期內則是以固定噴霧時間 20 min 其餘時間停止噴霧，以湛水式栽培作為對照組。草莓母株以 $3 \times 3 \times 2.5 \text{ cm}^3$ 之正立方體海棉固定，用塑膠容器作為支撐，於栽培槽上放置珍珠發泡板並配置適當孔距，每處理 7 株草莓，實驗共 8 週。草莓走莖生長 3 週後置入管式水耕走莖苗育苗系統，栽培 1 週後取下走莖苗進行觀察與分析。

三、測定項目及分析

- (一) 草莓母株調查：(1) 葉片數 (2) 莖冠直徑 (3) 根長 (4) 葉綠素讀值 (SPAD value) (5) 根部活性 (6) 走莖生成累積數 (7) 葉片長度 (8) 葉片寬度。
- (二) 走莖苗調查：(1) 根部長度 (2) 莖冠直徑 (3) 地上部鮮乾重 (4) 地下部鮮乾重 (5) 葉片長度 (6) 葉片寬度 (7) SPAD 讀值 (8) 葉綠素含量 (9) 蛋白質含量 (10) 葉片數。

四、測量方式：

- (一) 葉長：測量植株新葉往外數第 3 片展開葉，從葉柄基部至中間小葉頂端之長度，單位為 cm。
- (二) 葉寬：測量植株新葉往外數第 3 片展開葉，三片小葉最寬之長度，單位為 cm。
- (三) SPAD 值：以葉綠素計（SPAD-502, Konica Minolta, Japan）測定。
- (四) 莖冠直徑：以電子游標卡尺測量母株基部與走莖苗基部之莖冠大小（走莖苗為移入管式水耕栽培系統後 1 週後取下測量），單位為 cm。
- (五) EC 值：使用手持式電導度計（CM-14P, TOA Electronic LTD., USA）測量，將水位

調整前後皆有測定做為調整養液的參考依據，單位為 $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

- (六) pH 值：使用手持式酸鹼度計 (PH-220, LutronElectronic LTD., USA) 測量，水位調整前後皆有測定做為調整養液的參考依據。
- (七) 鮮重：先分地上部與地下部，再以電子天平測量克數 (g)。
- (八) 乾重：以 75°C 烘乾地上部與地下部，電子天平分別測量克數 (g)。
- (九) 葉綠素含量：參考 Wintermans and DeMots (1965) 的方法修改而得。先秤取新鮮葉片 0.5 g，以 2 ml 磷酸鈉緩衝溶液 (Sodium phosphate buffer, 50 mM, pH 6.8) 將葉片研磨成均質。取 40 μl 均勻的萃取液加入 960 μl 的絕對酒精 (100%) 混合均勻，置於 4°C 黑暗 30 分鐘。於離心機 (Denville 260D, USA)，再使用分光光度計 (Thermo Electron, BioMate 3, USA) 測定上清液在波長 649 nm 及 665 nm 下其吸光值。樣品中葉綠素含量 (Chlorophyll content, $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) = $(6.1 \times A_{665} + 20.04 \times A_{649}) \times 50 \div 1000 \div 0.5$
- (十) 可溶性蛋白質含量：參考 Bradford (1976) 之方法。先秤去取新鮮葉片 0.5 g，以 2 ml 磷酸鹽緩衝溶液 (Sodium phosphate buffer, 50 mM, pH 6.8) 將葉片研磨成均質。在 4°C 下以 10000 rpm 離心 20 分鐘。取 20 μl 之上清液，再加入 5 ml 蛋白質染劑 (Dye solution)，震盪均勻後靜置約 10 分鐘。再使用分光光度計 (Thermo Electron, BioMate 3, USA) 測定上清液在波長 595 nm 下其吸光值。可溶性蛋白質含量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) = $A_{595} \div 0.01 \times 1 \times 100 \div 0.5 \div 1000$
- (十一) TTC 根部活性測定 (Steponkus and Lanphear, 1967)：取根尖前端 2 cm 處之根系，切成 1 cm 長度，秤取根部鮮重 1 g，以磷酸鉀緩衝溶液 (Potassium phosphate buffer, 50 mM, pH 7.4) 配置 0.6% TTC 溶劑 (2,3,5-Triphenyl Tetrazolium Chloride)，真空抽氣 30 秒後放置 30°C 黑暗下 18 小時。倒去 TTC 溶劑使用 5 ml 二次蒸餾水清洗三次，加入 5 ml 98% 酒精以 85°C 水浴 10 分鐘，冷卻後，以 95% 酒精定量至 10 ml 取 1 ml 抽取液，再使用分光光度計 (Thermo Electron, BioMate 3, USA) 測定波長 488 nm 下其吸光值。TTC 根部活性 ($\text{OD} \cdot \text{g}^{-1}$) = $A_{488} \div 0.1$ (FW)。

五、統計分析

試驗以完全隨機設計，結果以 SAS 9.4 (Statistical Analysis System 9.4) 軟體進行最小顯著差異分析 (Least Significance Difference Test) 比較其 5% 之差異顯著性。試驗結果以軟體 SigmaPlot 12.5 進行繪圖。

參、結果與討論

一、不同噴霧週期對草莓母株生長之影響

水耕栽培最直接影響的部位即是草莓植株根部，於參試兩品種草莓根部長度中發現仍以澆水式對照組根部最長，而所有噴霧處理組根部長度皆顯著短於對照組，表示不同水耕方式明顯影響草莓根部伸長。而比較不同噴霧週期下，兩品種草莓都是以實驗第 8 週噴霧週期 1h (20/40 min) 下有較長的根長 15.38 cm (T1h) 與 16.23 cm (A1h) (圖 1、2)，這可能是連續噴霧 20 分鐘總量 24 L 的養液在栽培槽中形成逕流，導致根長隨著養液逕流伸長所致。而在根部活性中發現，大部份霧耕處理下植株根部活性皆高於澆水式對照組，正好與根部長度生長趨勢相反。‘香水’母株根部活性在噴霧週期 ≤ 1 小時的處理下皆高於對照組，而‘豐香’母株根部活性，除了 T30 噴霧處理與對照組無顯著差異外，其餘霧耕週期處理皆高於對照組 (表 1)。**‘香水’**草莓根部活性在 A2h 與 A3h 噴霧週期處理下，似乎因停止噴霧時間長達 100 與 160 分鐘，導致根部長度與活性均較低 (圖 2、表 1)，但**‘豐香’**草莓根部活性在噴霧週期 T2h 與 T3h 下仍有較高的活性，且在噴霧週期處理中根長相對較長 (表 1、圖 1)，同時**‘豐香’**草莓在 T2h 和 T3h 噴霧處理下根部分支相對較多 (資料未顯示)，推測因噴霧間隔時間較長可能使得根部分支增加來擴大吸收水分與養分的面積而維持較高活性。但整體而言各噴霧處理根長受限於栽培槽內部高度而限制根部生長，其中又以**‘香水’**草莓根部較為敏感。Peterson 和 Armand (1988) 報告中，黃瓜以噴霧時間較短的週期即每 10 分鐘噴 7 秒對其根部有良好的分支與根毛形成，使植物更容易獲得養分。王等 (2004) 報告中提到由於根系多根毛較細小，有利於養分的吸收。宋和李 (2003) 在限制玉米根部生長空間研究中發現空間大小嚴重影響根部長度的變化，降低了吸收總面積，但增加根部活躍吸收面積，並提高根部活性的還原強度，都說明根部會主動在耐受程度內依環境的不同而有所調整以減少傷害發生。

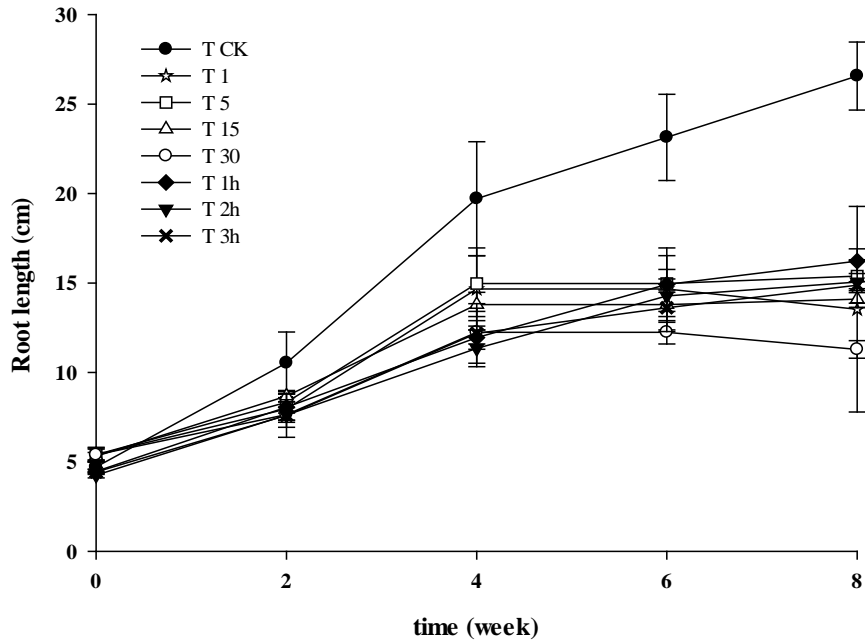


圖 1. 噴霧週期對草莓‘豐香’母株根部長度之影響。

Fig. 1. Effect of spraying periods on the root length of strawberry ‘Toyonoka’ stock plant. CK: Deep flow technique, 1: 0.33/0.67, 5: 1.67/0.33, 15: 5/10, 30: 10/20, 1h: 20/40, 2h: 20/100, 3h: 20/160 (on/off min).

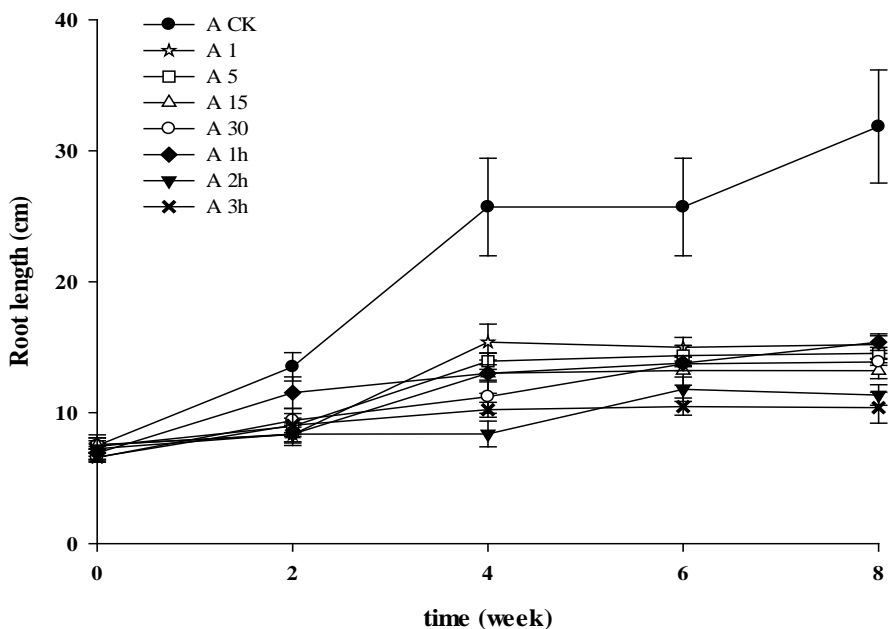


圖 2. 噴霧週期對草莓‘香水’母株根部長度之影響。

Fig. 2. Effect of spraying periods on the root length of strawberry ‘Aroma’ stock plant. CK: Deep flow technique, 1: 0.33/0.67, 5: 1.67/0.33, 15: 5/10, 30: 10/20, 1h: 20/40, 2h: 20/100, 3h: 20/160 (on/off min).

表 1. 噴霧週期八週對草莓母株根部活性之影響

Table 1. Effect of spraying period on the root activity of strawberry stock plant for 8 weeks

處理 Treatment ^x	‘豐香’ 草莓根部活性 Activity of Toyonoka's Root (OD · g ⁻¹)	‘香水’ 草莓根部活性 Activity of Aroma's Root (OD · g ⁻¹)
CK	2.12 d	3.18 c
1	3.07 bc	4.02 ab
5	3.09 c	4.35 ab
15	3.54 ab	3.84 bc
30	2.23 d	3.16 c
1h	3.15 abc	4.58 a
2h	3.24 abc	2.23 d
3h	3.55 a	2.24 d

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by LSD test.

^xTreatment: CK: Deep flow technique, 1: 0.33/0.67, 5: 1.67/0.33, 15: 5/10, 30: 10/20, 1h: 20/40, 2h: 20/100, 3h: 20/160 (on/off, min).

不同噴霧週期對‘豐香’和‘香水’草莓母株生長之影響，發現‘豐香’草莓走莖生成數以 T5 與 T15 噴霧處理較多，分別為對照組的 1.18 與 1.21 倍（圖 3）。「香水」草莓則以噴霧 A5 與 A15 噴霧處理有較多的走莖生成數，分別為對照組的 1.28 倍與 1.16 倍（圖 4）。「豐香」草莓葉片數以 T1h 噴霧處理組顯著最多（表 2）；「香水」草莓則是以 A15、A30、A1h 等噴霧處理有較多的葉片數（表 3）。Jahn 和 Dana（1970）提到草莓葉片數與莖冠直徑有正相關。在本試驗中「香水」草莓 A1、A5、A15、A30 處理組莖冠直徑與葉片數皆有較佳的表現，但「豐香」草莓只有在澆水式對照組才有此趨勢（表 2）。「豐香」草莓植株葉綠素（SPAD）讀值以 T1 最高，T3h 最低，其他處理則無顯著差異；「香水」草莓植株 SPAD 讀值在 A1h 最高，A2h 與 A3h 噴霧週期下最低（表 2、表 3）。葉片未經破壞可使用葉綠素計或可攜帶式色差儀進行葉綠素含量估算（Monje and Bruce, 1992; Sibley *et al.*, 1996）。Thompson 等（1969）調查葡萄葉片發現在生長環境較差的狀況下生長期葉片葉綠素含量會大幅降低，且 Knudson 等（1977）報告中也提到植物受到逆境時葉綠素含量會降低，成為生理狀況的指標之一，並且可判斷出營養失衡現象。或許均顯示參試二品種草莓在超過 1 小時的噴霧週期中可能會因養分供應不足而導致葉綠素含量下降。「豐香」草莓莖冠直徑以 T30 最大，其次為 T15 與對照組；「香水」草莓莖冠直徑以 A5 與 A15 顯著大於其他各處理，此外 A1 與 A30 處理下莖冠直徑也顯著大於對照組，分別為對照組的 1.5、1.48、1.41、1.38 倍（表 2、表 3）。Jahn 和 Dana（1970）提

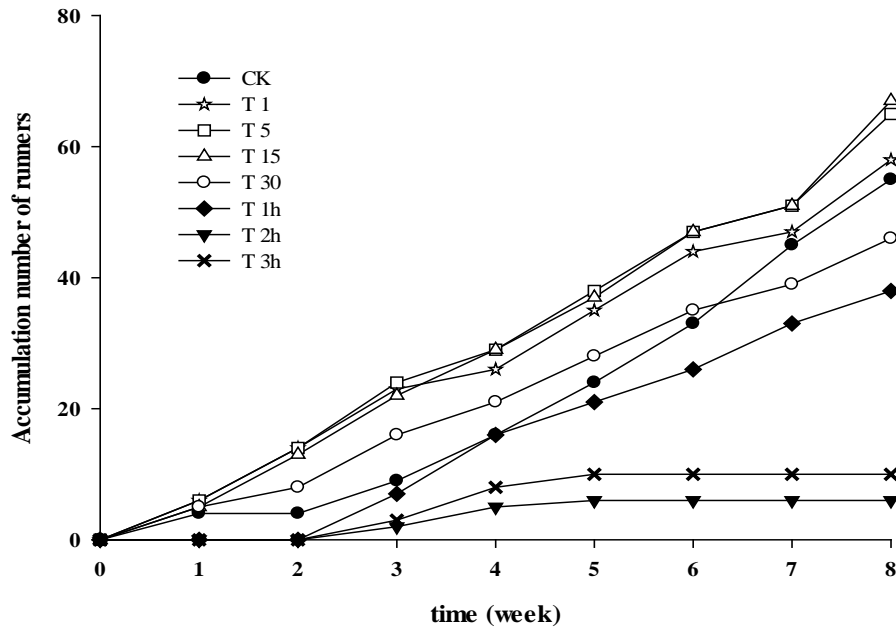


圖 3. 噴霧週期對草莓‘豐香’母株走莖生成累積數之影響

Fig. 3. Effect of spraying periods on the accumulation runner numbers of strawberry ‘Toyonoka’ stock plant.

CK: Deep flow technique, 1: 0.33/0.67, 5: 1.67/0.33, 15: 5/10, 30: 10/20, 1h: 20/40, 2h: 20/100, 3h: 20/160 (on/off min).

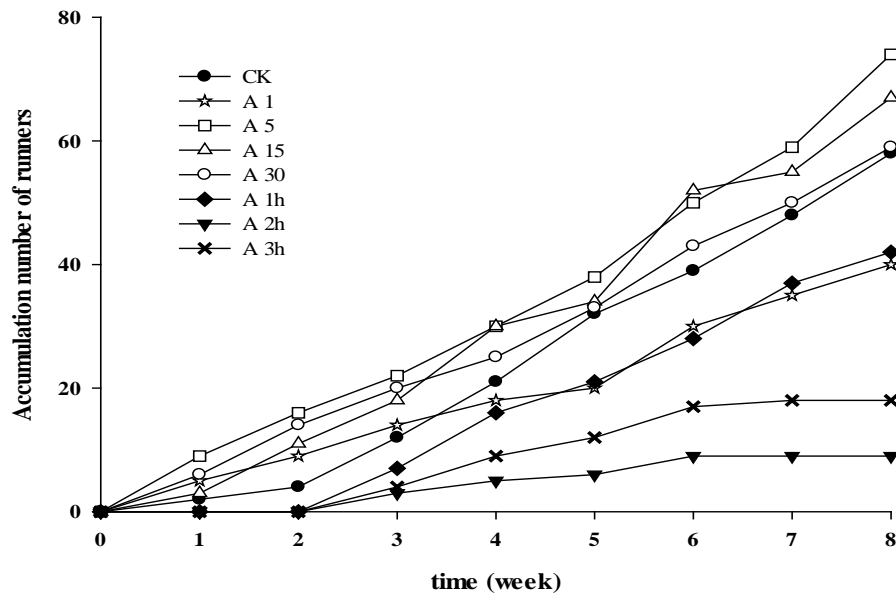


圖 4. 噴霧週期對草莓‘香水’母株走莖生成累積數之影響

Fig. 4. Effect of spraying periods on the accumulation runner numbers of strawberry ‘Aroma’ stock plant.

CK: Deep flow technique, 1: 0.33/0.67, 5: 1.67/0.33, 15: 5/10, 30: 10/20, 1h: 20/40, 2h: 20/100, 3h: 20/160 (on/off min).

到具有較大的莖冠直徑的草莓則有較強的走莖生成能力。本實驗確實在‘香水’草莓莖冠直徑較大的 A5、A15、T15 處理組走莖生成數較多，不過‘豐香’草莓 T30 雖有較大的莖冠直徑，走莖生成數卻無顯著較多，且 T5 處理組走莖苗生成較多，但莖冠直徑也無明顯較大（表 2、表 3、圖 3、圖 4）。顯示不同草莓品種走莖生成表現並不相同。較多之走莖與走莖苗生成可能是由於母株較高之生物量、葉面積、光合作用與澱粉含量所造成（Savini *et al.*, 2008）。或許‘豐香’草莓不全將莖冠貯藏養分用於走莖生成。‘香水’草莓葉片長度以 A15 處理顯著較其他處理長，而在 A2h 與 A3h 噴霧處理下葉片長度較短，‘豐香’草莓葉片長度以對照組最長，噴霧處理中葉長以 T15 與 T30 較長。‘香水’草莓葉片寬度以對照組、A1h 與 A2h 較寬，但 A2h 因葉片數較少生長速率較慢，雖有較寬的葉片，但相對也較為老化，‘香水’草莓 A3h 與‘豐香’草莓 T3h 都有類似葉片較寬的現象（表 2、3）。

表 2. 不同噴霧週期對‘豐香’草莓母株葉片數、SPAD 讀值、莖冠直徑、葉長、葉寬之影響

Table 2. Effect spraying periods on the leaf number, SPAD value, crown diameter, leaf length and leaf width of strawberry ‘Toyonoka’ stock plants
Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by LSD test.

處理 Treatment ^x	葉數 Leaf number plant ⁻¹	葉綠素讀值 SPAD value	莖冠直徑 Crown diameter (cm)	葉長 Leaf length (cm)	葉寬 Leaf width (cm)
CK	8.0 b	43.2 bc	1.2 b	14.7 a	10.8 ab
T1	5.8 cd	47.0 a	0.9 d	12.4 d	9.1 cd
T5	6.2 c	44.8 ab	1.0 c	13.4 c	10.3 abc
T15	6.2 c	44.2 bc	1.2 b	14.6 ab	10.8 ab
T30	5.6 c	43.2 bc	1.3 a	14.0 abc	9.5 bcd
T1h	9.8 a	44.8 ab	1.0 d	13.6 bc	9.9 abc
T2h	5.6 cd	44.8 ab	0.7 e	11.4 d	8.3 d
T3h	5.2 d	42.2 c	0.7 e	11.9 d	11.1 a

^xTreatment: CK: Deep flow technique, 1: 0.33/0.67, 5: 1.67/0.33, 15: 5/10, 30: 10/20, 1h: 20/40, 2h: 20/100, 3h: 20/160 (on/off, min).

表 3. 不同噴霧週期對‘香水’草莓母株葉片數、SPAD 讀值、莖冠直徑、葉長、葉寬之影響

Table 3. Effect of spraying periods on the leaf number, SPAD value, crown diameter, leaf length and leaf width of strawberry ‘Aroma’ stock plants

處理 Treatment ^x	葉數 Leaf number plant ⁻¹	葉綠素讀值 SPAD value	莖冠直徑 Crown diameter (cm)	葉長 Leaf length (cm)	葉寬 Leaf width (cm)
CK	9.8 b	47.2 c	1.1 c	14.9 b	11.0 a
A1	9.6 b	50.4 ab	1.6 b	13.7 d	8.9 d
A5	10.2 b	48.8 bc	1.7 a	14.8 bc	8.8 d
A15	11.2 ab	50.0 ab	1.6 a	15.7 a	9.9 bc
A30	11.0 ab	49.0 bc	1.5 b	14.0 cd	9.5 cd
A1h	12.6 a	50.8 a	1.0 d	13.4 de	10.3 abc
A2h	6.8 c	44.4 d	0.8 e	12.7 ef	10.6 ab
A3h	5.0 c	44.6 d	0.8 e	12.0 f	9.5 cd

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by LSD test.

^xTreatment: CK: Deep flow technique, 1: 0.33/0.67, 5: 1.67/0.33, 15: 5/10, 30: 10/20, 1h: 20/40, 2h: 20/100, 3h: 20/160 (on/off, min).

二、不同噴霧處理對草莓走莖苗生長之影響

各個噴霧週期下‘豐香’草莓走莖苗生長情形如表 4，莖冠直徑在所有處理中以對照組最粗，噴霧處理中則是以 T5 與 T15 較粗，葉片長度與葉片寬度同樣以對照組最佳，而在噴霧處理中以 T15 葉長最長。草莓走莖苗皆假植於管式水耕育苗系統中，所有處理皆在一週內可達到的出苗標準 3.5 公分，但 T1h、T2h、T3h 噴霧處理之走莖苗根長顯著短於其他處理。‘豐香’草莓走莖苗葉綠素含量以對照組最高，但與小於 1 小時之 T1、T5、T15 噴霧週期的處理無顯著差異；蛋白質含量以 T15、T2h 和 T3h 含量最高，但 T2h 與 T3h 母株似乎因為噴霧停止時間較長，而生長狀況較差，使母株感受到逆境而增加植株體中的蛋白質，並且在相連的走莖苗中測量出較高的蛋白質含量。‘香水’草莓走莖苗生長情形如表 5，走莖苗莖冠直徑以 A15 噴霧處理最粗，並且 A15 處理組走莖苗有較多的葉片數，同時有較大的葉片長度、葉片寬度與根部長度，與對照組無顯著差異。葉綠素含量在 A15 處理組與對照組含量最高，蛋白質含量則在噴霧處理中 A2h 與 A3h 有較高的含量，但 A2h 與 A3h 母株也如同‘豐香’草莓因為停止噴霧時間較長而生長較差，所生產出的走莖苗葉數最少，葉片長度、葉片寬度與根部長度最短，莖冠直徑也最小，生長不佳（表 5）。Andriolo 等（2014）提出走莖兩端植株可相互輸送必需物質與養

分，維持植株的生長。走莖與母株在相連的情況下，因資源共享而顯著影響走莖生物量與營養生長，並且主要以母株轉移至幼苗中 (Alpert, 1996)。本實驗在走莖苗假植發根期間均與母株相連，養分來源大部分都來自母株，‘豐香’草莓走莖苗地上部鮮重、地上部乾重、地下部乾重，‘香水’草莓走莖苗地上部與地下部鮮乾重皆以湛水式對照組較佳 (表 6、表 7)。而噴霧處理之間‘豐香’草莓走莖苗以 T15 處理組最重，且 T15 處理組母株生長與走莖生成數也相對較佳。‘香水’草莓噴霧處理間以 A5 處理組地下部鮮乾重最重，而 A15 處理組則有較重的地上部鮮重 (表 7)。顯然種苗的品質深受育苗母株營養狀況影響 (李, 1995 ; Pertuze *et al.*, 2006)。

雖然無論哪個草莓參試品種都以湛水式水耕栽培有較壯的走莖苗，但若以種苗繁殖數量與生物量評估，在 5 (1.67/3.33) 與 15 (5/10) 噴霧週期下‘豐香’與‘香水’皆有較多的走莖生成，同時又可維持較多數量的走莖苗生物量。並從表 8 中得知每日馬達運轉時間、耗電量、電費及水分使用量，霧耕栽培下較湛水式水耕系統省 24% 以上的電費 72.5% 的用水量，此與蔡 (2013) 提到噴霧水耕能夠節省能源及養液的消耗是一致的。

表 4. 不同噴霧週期對栽培一週後 ‘豐香’ 草莓走莖苗葉片數、SPAD 讀值、莖冠直徑、葉長、葉寬、根長、葉綠素含量和蛋白質含量之影響

Table 4. Effect of spraying periods on the leaf number, SPAD value, crown diameter, leaf length, leaf width, root length, chlorophyll content and protein content of strawberry ‘Toyonoka’ runner plants after grown 1 week

處理 Treatment ^x	葉數 Leaf number plant ⁻¹	葉綠素值 SPAD value	莖冠直徑 Crown diameter (cm)	葉長 Leaf length (cm)	葉寬 Leaf width (cm)	根長 Root length (cm)	葉綠素含量 Chlorophyll content (mg g ⁻¹)	蛋白質含量 Protein contents (mg g ⁻¹)
CK	3.0 a	41.5 a	0.620 a	11.6 a	7.06 a	7.46 a	0.63 a	5.73 ab
T1	3.0 a	37.7 b	0.542 c	9.0 c	5.20 d	7.24 a	0.56 ab	5.67 abc
T5	3.0 a	41.8 a	0.594 ab	9.4 c	6.56 b	6.86 abc	0.55 ab	5.77 ab
T15	3.0 a	37.8 b	0.578 b	11.5 a	6.56 b	7.12 a	0.58 ab	5.92 a
T30	3.0 a	36.6 b	0.528 c	8.9 c	5.44 dc	6.98 ab	0.54 ab	5.33 c
T1h	3.0 a	35.3 b	0.544 c	10.4 b	7.08 a	5.78 d	0.53 b	5.40 bc
T2h	2.6 b	37.4 b	0.516 c	7.5 d	5.74 c	6.00 cd	0.53 b	5.91 a
T3h	2.6 b	37.8 b	0.516 c	7.5 d	5.78 c	6.20 cd	0.51 b	5.86 a

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by LSD test.

^xTreatment : CK: Deep flow technique, 1: 0.33/0.67, 5: 1.67/0.33, 15: 5/10, 30: 10/20, 1h: 20/40, 2h: 20/100, 3h: 20/160 (on/off, min)

表 5. 不同噴霧週期對栽培一週後 ‘香水’ 草莓走莖苗葉片數、SPAD 讀值、莖冠直徑、葉長、葉寬、根長、葉綠素含量和蛋白質含量之影響

Table 5. Effect of spraying periods on the leaf number, SPAD value, crown diameter, leaf length, leaf width, root length, chlorophyll content and protein content of strawberry ‘Aroma’ runner plants after grown 1 week

處理 Treatment ^x	葉數 Leaf number plant ⁻¹	葉綠素值 SPAD value	莖冠直徑 Crown diameter (cm)	葉長 Leaf length (cm)	葉寬 Leaf width (cm)	根長 Root length (cm)	葉綠素含量 Chlorophyll content (mg g ⁻¹)	蛋白質含量 Protein content (mg g ⁻¹)
CK	3.20 a	41.90 a	0.63 a	11.80 ab	8.62 a	6.08 a	0.63 a	6.27 a
A1	3.20 a	37.60 bdc	0.58 b	11.20 bc	8.32 a	5.56 b	0.58 abc	5.60 bcd
A5	3.00 ab	36.60 dce	0.58 b	10.90 c	8.38 a	5.38 b	0.60 ab	5.73 bc
A15	3.40 a	39.20 abc	0.64 a	12.00 a	8.92 a	5.62 ab	0.63 a	5.67 bcd
A30	3.40 a	40.00 ab	0.60 ab	11.20 bc	8.60 a	5.72 ab	0.56 abc	5.23 d
A1h	3.00 ab	37.00 cd	0.51 c	11.30 bc	7.56 b	5.28 b	0.53 abc	5.47 cd
A2h	3.00 ab	35.40 de	0.48 dc	10.80 c	7.32 b	5.46 b	0.50 bc	5.83 abc
A3h	2.60 b	34.00 e	0.45 c	9.30 d	7.28 b	4.68 c	0.49 c	6.03 ab

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by LSD test.

^xTreatment : CK: Deep flow technique, 1: 0.33/0.67, 5: 1.67/0.33, 15: 5/10, 30: 10/20, 1h: 20/40, 2h: 20/100, 3h: 20/160 (on/off, min).

表 6. 噴霧週期對栽培一週後之‘豐香’草莓走莖苗地上部與地下部鮮乾重之影響
 Table 6. Effect of spraying periods on the shoot fresh weight, root fresh weight, shoot dry weight and root dry weight of strawberry ‘Toyonoka’ runner plants after grown 1 week

處理 Treatment ^x	地上部鮮重 Shoot Fresh Weight (g)	地下部鮮重 Root Fresh Weight (g)	地上部乾重 Shoot Dry Weight (g)	地下部乾重 Root Dry Weight (g)
CK	2.91 a	1.10 bc	0.91 a	0.37 a
T1	1.89 bc	1.66 ab	0.46 c	0.27 b
T5	1.94 bc	1.61 abc	0.46 c	0.26 bc
T15	1.98 bc	1.71 a	0.51 c	0.39 a
T30	2.05 b	1.23 abc	0.49 c	0.26 bc
T1h	1.96 bc	1.62 abc	0.48 c	0.25 bc
T2h	2.05 b	1.59 abc	0.73 b	0.25 bc
T3h	1.83 c	1.02 c	0.49 c	0.23 c

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by LSD test.

^xTreatment : CK: Deep flow technique, 1: 0.33/0.67, 5: 1.67/0.33, 15: 5/10, 30: 10/20, 1h: 20/40, 2h: 20/100, 3h: 20/160 (on/off, min).

表 7. 噴霧週期對栽培一週後之‘香水’草莓走莖苗地上部與地下部鮮乾重之影響
 Table 7. Effect of spraying periods on the shoot fresh weight, root fresh weight, shoot dry weight and root dry weight of strawberry ‘Aroma’ runner plants after grown 1 week

處理 Treatment ^x	地上部鮮重 Shoot Fresh Weight (g)	地下部鮮重 Root Fresh Weight (g)	地上部乾重 Shoot Dry Weight (g)	地下部乾重 Root Dry Weight (g)
CK	3.40 a	1.69 a	1.13 a	0.26 ab
A1	2.27 de	1.19 c	0.62 cd	0.23 cb
A5	2.20 de	1.75 a	0.83 b	0.27 a
A15	2.69 b	1.24 c	0.65 c	0.25 bc
A30	2.47 c	1.15 c	0.59 d	0.24 bcd
A1h	2.31 cd	1.43 b	0.57 de	0.23 de
A2h	2.09 e	0.86 d	0.52 e	0.20 f
A3h	1.87 f	1.26 c	0.44 f	0.21 ef

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by LSD test.

^xTreatment : CK: Deep flow technique, 1: 0.33/0.67, 5: 1.67/0.33, 15: 5/10, 30: 10/20, 1h: 20/40, 2h: 20/100, 3h: 20/160 (on/off, min).

表 8. 湛水式水耕與噴霧週期處理之馬達運轉時數、每日耗電量及 8 週電費及水分總使用量

Table 8. Pump running time, electricity consumption, electricity cost and total water consumption under DFT and aeroponic culture system for 8 weeks

栽培系統 Culture system treatment	馬達運轉時 數 Pump running time (h)	每日耗電量 Electricity consumption (KWh/day)	8 週電費 Electricity cost (NT/8 weeks)	水分總使用量 Total water consumption (L)	
湛水式 DFT	CK	24.00	0.8	292.2	240.0
霧耕週期 Aeroponic spray period ^x	1	8.00	0.6	221.4	57.5
	5	8.00	0.6	221.4	57.5
	15	8.00	0.6	221.4	57.5
	30	8.00	0.6	221.4	57.5
	1h	8.00	0.6	221.4	66.3
	2h	4.00	0.3	110.7	66.3
	3h	2.67	0.2	73.8	66.3

CK: Deep flow technique (DFT)

^x Aeroponic spray period: 1: 0.33/0.67, 5: 1.67/0.33, 15: 5/10, 30: 10/20, 1h: 20/40, 2h: 20/100, 3h: 20/160 (on/off, min).

肆、結論

以間歇性噴霧的供水方式來進行草莓的栽培與走莖繁殖，參試‘豐香’與‘香水’兩品種草莓都適合利用霧耕進行栽培與繁殖，同時減少水費與電費的支出。雖然實驗結果顯示使用霧耕栽培之母株與走莖苗生長並沒有比湛水式對照組佳，但是霧耕可產出較多走莖，同時具有較高的根部活性。在霧耕處理中以 A5、A15、T5、T15 處理下之草莓母株生長較佳，且能比對照組有更多的走莖生成，同時走莖苗生長與對照組較為相近，故以霧耕栽培草莓生長和走莖苗繁殖生產推薦以 5（1.67/3.33 min）與 15（5/10 min）噴霧週期來進行較為合適。

參考文獻

- 李窓明。1995。台灣草莓種苗繁殖與育種研究。蔬菜育種研討會專刊，pp.97-122。桃園區農業改良場編印。桃園。
- 王立德、廖紅、王秀榮、嚴小龍。2004。植物根毛的發生、發育及養分吸收。植物學通

- 報 21 : 649-659。
- 宋海星、李生秀。2003。玉米生長空間對根系吸收特性的影響。中國農業科學 36 : 899-904。
- 蔡尚光。2013。植物工廠。三版，pp. 146-148。淑馨出版社，新北市。
- 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。
- 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。宜蘭。
- Alpert, P. 1996. Nutrient sharing in natural clonal fragments of *Fragaria chiloensis*. J. Ecology 84: 395-406.
- 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. Horti. Bras. 32: 273-279.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method of the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of proteindye binding. Anal. Biochem. 72: 248-254.
- Chun, C. and T. Takakuta. 1994. Rate of root respiration of lettuce under various dissolved oxygen concentrations in hydroponics. Environ. Control in Biol. 32: 125-135.
- Clawson, J. M., A. Hoehn, L. S. Stodieck, P. Todd, and R. J. Stoner. 2000. Re-examining aeroponics for spaceflight plant growth. 30th International Conference on Environmental Systems. Toulouse, France.
- Jahn, O. L. and M. N. Dana. 1970. Crown and inflorescence development in the strawberry, *Fragaria ×ananassa*. Amer. J. Bot. 57: 605-612.
- Knudson, L. L., T. W. Tibbitts, and G. E. Edwards. 1977. Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. Plant Physiol. 60: 606-608.
- Monje, O. A. and B. Bugbee. 1992. Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: a comparison of two types of meters. Hort. Sci. 27: 69-71.
- Pertuze, R., M. Barrueto, V. Diaz, and M. Gambardella. 2006. Evaluation of strawberry nursery management techniques to improve quality of plants. Acta Hort. 708: 245-248.
- Peterson, L. A. and A. R. Krueger. 1988. An intermittent aeroponics system. Crop Sci. 28: 712-713.
- Savini, G., V. Giorgi, E. Scarano, and D. Neri. 2008. Strawberry plant relationship through the stolon. Physiol. Planta 134: 421-429.

- Sibley, J. L., D. J. Eakes, C. H. Gilliam, G. J. Keever, W. A. Dozier, and D. G. Himelrick. 1996. Foliar SPAD-502 meter values, nitrogen levels, and extractable chlorophyll for red maple selections. Hort. Sci. 31: 468-470.
- Steponkus, P. L. and F. O. Lanphear. 1967. Refinement of the triphenyl tetrazolium chloride method of determining cold injury. Plant Physiol. 42: 1423-1426.
- Thompson, R. H. 1969. Sexual reproduction in *Chaetosphaeridium globosum* (Nordst.) Klebahn (Chlorophyceae) and description of a species new to science. J. Phycol. 5: 285-290.
- Wintermans, J. G. F. M., and A. DeMots. 1965. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their pheophytins in ethanol. Biochem. Biophys. Acta. 109: 448-453.

107年 8月 15日 投稿
107年 10月 18日 接受