

比較高壓靜電場不同強度及時間處理對不同品種 砧木茄子種子之影響

陳怡菁¹ 楊純明^{2,3,4} 邱凱瑩^{5,*}

摘要

陳怡菁、楊純明、邱凱瑩。2023。比較高壓靜電場不同強度及時間處理對不同品種砧木茄子種子之影響。台灣農業研究 72(3):237–254。

嫁接無性繁殖除了砧木與接穗之間的融合親合性議題之外，目前台灣在地茄子種苗產業關注的課題，尚包括如何改善砧木型種子在 15°C 低溫下出現的發芽行為差異性，裨益於種苗生長之管理。據此，本研究選用 2 種砧木型茄子 'A105' 與 'A108' 品種種子，探討在 15°C 低溫環境下品種間發芽行為差異，包括發芽百分比、平均發芽時間、吸水率、滲漏電導度及種子內部可溶性蛋白質含量等性狀，以及利用高壓靜電場 (high-voltage electrostatic field; HVEF) 處理後造成之改變與改善效果。根據試驗結果，發現兩茄子品種在上述各性狀表現上存在品種間差異，以 HVEF 處理將可以改變種子發芽性狀。其中，種子經過 HVEF 0.5 kV cm⁻¹ 處理 600 s 後，'A105' 品種之種子發芽百分比由 94.67% 增至 100%，平均發芽時間以 10.0 kV cm⁻¹ 處理 600 s 後，由 7.86 d 顯著縮短至 6.48 d，吸水速率在浸潤 72 h 後出現第二波快速吸水現象，而滲漏電導度值在 0.5 kV cm⁻¹ 處理 60–600 s 後，明顯高於對照組 (control check; CK)；種子內部可溶性蛋白質含量顯示出 CK 含量低於處理組，而且經過電場處理後可以在第 1 日即快速誘導可溶性蛋白質含量的增加到最大值。'A108' 品種種子發芽百分比經 1.0 kV cm⁻¹ 60 s 處理，則由 44.67% 大幅提升至 93.33%，平均發芽時間由 11.92 d 明顯縮短至 10.82 d，吸水速率在浸潤後 12 h 達到吸水飽和，直到 120 h 出現第二波快速吸水現象，而滲漏電導度則無論 CK 或處理組，其滲漏電導度值概在浸潤後的 6–8 h 最高，隨後開始下降。以 0.5 kV cm⁻¹ 與 1.0 kV cm⁻¹ 處理，滲漏電導度值皆低於 CK，增加 HVEF 的強度並未顯著提高滲漏電導度值。種子內部可溶性蛋白質含量在 CK 第 0–3 日之數值皆低於處理組，直至第 5 日才有明顯的提升。另經由掃描式電子顯微鏡 (scanning electron microscope; SEM) 呈現兩品種在種皮厚度與顯微構造上之差異，'A105' 種子種皮顯微組織較為寬鬆，可以看到明顯裂縫，而 'A108' 種子種皮顯微組織則相對較為緊密，裂縫微小。以 HVEF 0.5 kV 600 s 強度處理後，兩品種的種皮開始出現構造上的改變，'A105' 種子種皮表面破洞明顯加劇，而 'A108' 的種子種皮表面雖有種皮破裂，但沒有 'A105' 的破洞顯著。綜合試驗結果，推測種子種皮厚薄與組織結構不同可能係造成參試 2 種茄子品種種子發芽性狀不一致的原因，間接影響種子的生理作用與發芽行為。然而原本 'A108' 品種種子發芽表現不佳的情形，經過適當的 HVEF 處理後可以有效提高種子發芽百分比、吸水率及滲漏電導度，縮短平均發芽時間，並促使種子內部可溶性蛋白質含量被提前誘導，從而改善種子的發芽表現。

關鍵詞：茄子種子、發芽百分比、平均發芽時間、滲漏電導度、高壓靜電場。

收件日期：2023 年 2 月 7 日；接受日期：2023 年 4 月 29 日。

* 通訊作者：cky@mdu.edu.tw

¹ 明道大學智慧暨精緻農業學系計畫專任助理。台灣 彰化縣。

² 明道大學智慧暨精緻農業學系客座教授。台灣 彰化縣。

³ 明道大學智慧暨精緻農業學系講座教授。台灣 彰化縣。

⁴ 明道大學智慧農業研究中心主任。台灣 彰化縣。

⁵ 明道大學智慧暨精緻農業學系教授。台灣 彰化縣。

前言

茄子 (*Solanum melongena* L.) 係茄科 (Solanaceae) 茄屬 (*Solanum*) 之一年或二年生草本植物，亦稱長茄、矮茄或圓茄等，分布範圍廣泛 (Xiao 2018)。茄子果實富含碳水化合物、蛋白質及一些礦物質 (如鈣、鎂及磷)，熱量則較低 (約 25 kcal 100 g⁻¹) (Aly *et al.* 2019)。全球的茄子年產量超過 5,000 萬公噸，是繼馬鈴薯、番茄、胡椒及煙草之後全球第 5 大茄科重要經濟作物 (Aly *et al.* 2019)。近年來由於民眾重視健康飲食，使得包含茄子在內的蔬菜消費量大增，世界各國對蔬菜種子的需求量與日俱增。除了要求優良品質與活力的種子，亦需要發育強健的苗株，因此突顯出合適種子處理技術的重要性 (Medeiros *et al.* 2015)。

茄子係喜溫性植物，為台灣夏秋季重要蔬菜之一。在低於 15°C 的逆境條件下，常出現發芽與出苗緩慢、發芽不整齊及成苗率降低的現象，也會降低種子儲存物質的水分吸收與啟動速度導致發芽過程延遲，並降低幼苗生長或甚至常導致畸形幼苗的發生 (Marcos Filho 2015)。目前穴盤育苗業者要求發芽率的一致性、發芽百分比在 95% 以上，因此對於有效的種子處理以提高種子發芽表現的需求更為殷切。又由農業部 2020 年農業統計年報顯示，台灣茄子栽植面積達 1,323 ha、生產量為 35,344 Mg，每公頃面積產量為 26.7 Mg (https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp)。因此，為期推動茄子產業的持續發展，開發能夠提升茄子種子發芽率與種苗活力的種子處理技術，殊有其需要與必要。

萌發是種子生命週期中的重要過程，經過一系列複雜的生理與生化現象，受到種子活力、溫度及時間的影響 (Xu 2019)。種子萌發初期，種子內的儲藏蛋白質、澱粉及脂質等營養，藉由浸 (吸) 潤作用 (imbibition) 進行水解，除了產生各種酶 (酵素)，澱粉或蔗糖水解為葡萄糖等單糖，脂質亦可水解轉換為單糖，蛋白質則水解成胺基酸後又重新組成新蛋白質。在物質轉換過程中，呼吸作用增加、胚細胞增生且體積逐漸增大，最終突破種皮完成發芽階段 (Taiz & Zeiger 2002; Luo *et al.*

2017)。種子發芽過程一般可概分為 3 個階段，在階段 1，水合作用啟動，乾燥種子在適當的溫度與濕度條件下開始吸收水分，種子吸水是一種非生命的物理過程，在細胞水合後，生理活性被誘導；在階段 2，種子保持穩定的含水量，代謝活性增加，觸發生化過程。在此階段結束前，發芽是可逆的，因在滲調後乾燥的種子於儲存期間仍然存活，隨後可在有利的環境條件下重新開始發芽；至階段 3，種子在合適條件下胚根突破種皮形成幼根，胚軸伸長促使胚芽伸出土面，完成發芽過程的 3 個階段 (Singh *et al.* 2020)。經過特殊處理的種子，則可在短時間內吸收水分開始生長，提前完成發芽過程。在種子成熟乾燥與貯藏過程中，細胞膜的結構被維持在凝膠相；當重新水合時，則轉變成為液晶相。在相變過程中，吸水種子的種皮會有一些膜的損害，導致溶質從細胞內滲漏出來，也因此降低種子內抑制物質的濃度從而促進種子萌發 (Bewley *et al.* 2013; Singh *et al.* 2020)。

在種子的特殊處理中，高壓靜電場處理 (high-voltage electrostatic field; HVEF) 是一種較為新型的物理技術，生物效應明顯、對環境友善，具有裝置簡單與操作方便等特點。HVEF 處理已廣泛應用於農業生產技術，被發現能夠促進植物生長，並可提高若干植物抗逆境與促進癒傷組織的形成 (Hu *et al.* 2017; Xu *et al.* 2019)。種子活力是評價種子品質的重要指標，活力高的種子具有顯著的生長優勢與高產潛力，係現代農業高效高產的首要條件。種子經過 HVEF 處理後，不僅改變種子細胞膜的通透性、增加細胞內酶的活性、加速細胞有絲分裂及胚根發育，亦促進細胞代謝並顯著提高種子活力 (Yan *et al.* 2017)。HVEF 處理亦可透過蛋白質結構修飾，激活各種酶的活性來增強種子的發芽 (Chiu 2022)，也可能提高膜的通透性及種子內部的自由基，導致膜通透性的增加，以提前打破種子休眠並促進種子代謝 (Wu *et al.* 2005)。由此顯示，HVEF 處理對於細胞膜的通透性會有一定程度的影響 (Xiao 2018)，值得進一步研究探討其在不同蔬菜種子的應用性。

因此，本試驗將以砧木型茄子種子為材料，選擇具有不同種子發芽行為與種皮構造的 2 個品種，經以不同強度與時間的 HVEF 處理後，置於 15°C 低溫環境來探討種子萌發情形與處理效果，並究明種子內部多項生理與生化反應之改變。希望藉由提供試驗結果，俾於未來利用於提高其種子發芽百分比與縮短發芽所需時間，改善砧木型種子在低溫環境下出現的發芽行為差異性。

材料與方法

本試驗使用砧木型茄子 'A105' 與 'A108' 品種之種子 (瑞成種苗有限公司，台灣台中市)，以內層聚乙烯 (polyethylene; PE) 夾鏈袋與外層牛皮紙袋保存，放置於 4°C 冰箱待用。試驗調查項目如下：

發芽試驗

將種子分為處理組與對照組 (CK)，每組 50 粒種子，3 重複。採紙間法實施發芽試驗時，以濾紙為發芽介質，將種子置於 2 層濾紙 (Advantec 定性濾紙，1 號，90 mm；Advantec, Tokyo, Japan) 上，其上再覆蓋 1 層濾紙，加入適量的逆滲透 (reverse osmosis; RO) 水後置於 15°C 之恆溫生長箱中進行浸潤發芽，檢測以下種子各項發芽性狀：

- (1) 發芽百分比 (germination percentage; GP)，在 14 d 內逐日調查發芽期間發芽種子總數 (X) 占發芽處理種子總數 (N) 之百分比 (%)，公式： $GP = (X/N) \times 100\%$ 。
- (2) 平均發芽時間 (mean germination time; MGT)，以 Ellis & Roberts (1980) 之公式計算，單位為日 (d)： $MGT = \sum fd/N$ 。其中，f：播種後第 d 天發芽種子數，d：播種後之天數，N：發芽處理之種子總數。
- (3) 吸水率 (water absorption)，各組另取 20 粒種子，3 重複，秤其原始重量後，以濾紙作為浸潤介質進行浸潤。經過不同時間下取出，秤其每段時間的種子重量，扣除浸潤前的種子重量估算單位時間內的吸水含量 (g)，並將不同時間之水分含量變化繪製成曲線圖。

- (4) 滲漏電導度 (leakage electrical conductivity)，各組將 20 粒種子置於離心管中加入 20 mL 的 RO 水，在 25°C 浸水，3 重複。經過不同時間以電導度計 (Horiba LAQUA DS-71, The Labware House, New Plymouth, New Zealand) 讀取其電導度值 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)，據以估算單位時間內的滲透電導度值。

可溶性蛋白質 (soluble protein) 含量測定

參考 Bradford (1976) 之方法，取 5 粒種子以 2 mL 磷酸鈉緩衝液 (sodium phosphate buffer, 50 mM, pH 6.8) 研磨均質，在 4°C 下以 10,000 rpm，離心 20 min。取 20 μL 之上清液注入試管，加入 5 mL 蛋白質染劑 (dye sodium)，震盪均勻後靜置約 10 min，以分光光度計 (T60 spectrophotometer, PG Instruments, Lutterworth, UK) 測定 595 nm 之吸光值。標準曲線之製作，係取小牛血清蛋白 (bovine serum albumin; BSA) (Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA) 1 mg 溶於 1 mL RO 水作為標準樣品，再於試管中各分別添加 10、30、50 及 70 μL 之不同量標準樣品，然後讀取位於 595 nm 之吸光值繪製。

掃描式電子顯微鏡 (scanning electron microscope; SEM) 檢查

取 CK 與處理組的茄子種子 2-3 粒，以手術刀片 (可替換) 切割，並使用雙面膠帶附貼於鋁柱上，再使用 Technics Hummer V SEM Sputter 濺射鍍膜機 (Anatech Electronics, Garfield, NJ, USA) 為製備的樣品鍍上 30 nm 的金膜。在 30 kV 下，以 HITACHI S-3400N 掃描式電子顯微鏡 (Hitachi Hi-Tech Corporation, Hitachi, Tokyo, Japan) 對塗層茄子種子樣品進行掃描、檢查及拍照。

高壓靜電場 (HVEF) 處理

從冰箱取出預先準備之試驗種子，利用 HVEF (SM2004-12PIR HVEF，友聲電子有限公司，台灣高雄市) 進行電場處理，每處理 3 重複，每重複 50 粒種子，另以未做任何處理為 CK。處理組分為 0.5、1.0、5.0 及 10.0 kV cm^{-1} 等 4 種不同強度，每個強度又分為 0、60、

300 及 600 s 等 4 種不同處理時間組合。將經過 HVEF 處理後之茄子種子以前述紙間法 (下 2 上 1) 鋪放濾紙後加入 RO 水, 再放置 15°C 恆溫生長箱中進行各項觀察與調查並逐一記錄。

統計分析

試驗數據使用統計分析軟體 Minitab 19.0 Statistical Software (Minitab, State College, PA, USA) 進行統計分析。發芽試驗之操作實用性評估, 則分別先進行變方分析, 若處理之間差異顯著, 再以 Fisher's Least Significant Difference (LSD) 檢測法比較處理間平均值之差異, 分別有處理強度之間與處理時間之間的比較。科學統計繪圖軟體 SigmaPlot 14.0 版 (Systat Software, San Jose, CA, USA) 使用於統計繪圖, 統計顯著性以 $P < 0.05$ 為標準。

結果

茄子品種 'A105' 與 'A108' 種子發芽性狀及種皮組織顯微構造差異之比較

以紙間法浸潤發芽 14 d 後, 由發芽百分比結果, 發現 'A105' 品種未經處理之 CK 為 94.67%, 而 'A108' 品種 CK 則為 44.67%, 顯示兩品種發芽百分比存在顯著差異 (圖 1A)。在平均發芽時間結果, 'A105' 為 7.86 d, 'A108' 則為 11.92 d, 品種間有很大差別 (圖 1B)。在吸水速率上, 雖然兩品種之吸水速率趨勢類似, 但是 'A105' 曲線較高於 'A108' 曲線 (圖 1C)。至於種子浸水後的滲漏電導度值, 可以明顯看出兩個品種的滲漏趨勢有很大的不同, 'A105' 品種在浸潤後溶質快速滲漏, 直到 12 h 後滲漏率才緩慢降低; 而 'A108' 品種的溶質則是非常緩慢的滲漏, 而且上升幅

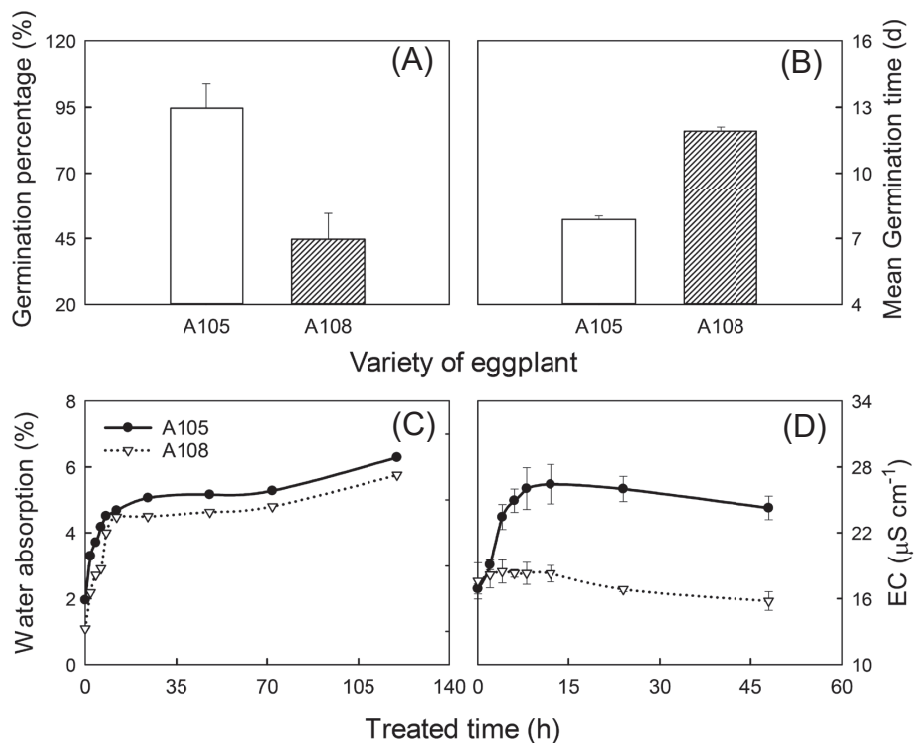


圖 1. 'A105' 與 'A108' 茄子種子之發芽性狀差異。(A) 發芽百分比; (B) 平均發芽時間; (C) 種子浸潤後吸水速率; (D) 種子浸潤後滲漏電導度值。

Fig. 1. Differences in germination traits of eggplant seeds of varieties 'A105' and 'A108'. (A) Germination percentage; (B) mean germination time; (C) water absorption after seed imbibition; and (D) leakage electrical conductivity after seed imbibition.

度不大，至浸水後 4 h 就開始有下降趨勢(圖 1D)。由此 4 項發芽性狀參數可佐證，此兩茄子品種有顯著種子發芽行為之差異。因此，為促進選用茄子品種種子之發芽，本試驗乃以不同強度與時間組合之 HVEF 處理，探討對於參試兩茄子品種種子發芽行為造成之效果。

在種子種皮結構上，透過掃描式電子顯微鏡(scanning electron microscope; SEM)放大 40× 與 70× 的照片顯示，此兩茄子品種‘A105’與‘A108’之種子縱切面或種皮表面皆呈現細密組織結構(圖 2A 與圖 2B)。其中，‘A105’品種之種皮較具規則的波浪結構(圖 2A 與圖 2C)，而‘A108’品種之種皮則較不具規則(圖 2B 與圖 2D)，波浪間的空隙較為緊密。續由種子縱切面 350× 的 SEM 照片顯示，‘A105’品種 CK 種子的種皮厚度(圖 2E)小於‘A108’品種對照組種子的種皮厚度(圖 2F)。浸潤後，‘A105’種子種皮組織有較為緊實的構造(圖 2G)，‘A108’種子種皮組織則較為鬆散(圖 2H)。

以掃描式電子顯微鏡對兩參試茄子品種種皮進行 150× 與 700× 的拍照(圖 3)，顯示‘A105’(圖 3A 與圖 3C)種皮顯微組織較為寬鬆且具明顯裂縫(cracks)；‘A108’(圖 3B、圖 3D)種皮顯微組織則相對較為緊密但裂縫微小。經過 HVEF 0.5 kV 600 s 處理後，兩品種的種皮開始出現構造上的改變，‘A105’的種子種皮表面破洞明顯加劇(圖 3E 與圖 3G)，而‘A108’的種子種皮表面雖有種皮破裂，但沒有‘A105’的破洞顯著(圖 3F 與圖 3H)。

茄子品種‘A105’與‘A108’種子 HVEF 處理效應差異之比較

除種子種皮構造所出現顯微組織外觀形態的變化，經過不同強度與時間之 HVEF 處理後，也影響茄子種子的發芽行為。雖然置於 15°C 恆溫生長箱中 14 d，HVEF 處理促使‘A105’種子發芽百分比從 CK 的 94.67% 酌增至 100%，然未有統計上顯著差異；在 0.5 kV cm⁻¹ 60 s 處理下，‘A108’種子發芽百分比則從 44.67% 大幅升高至 93.33%，惟將 HVEF 處理強度增加至 5.0 kV cm⁻¹ 與 10.0 kV cm⁻¹，並未能再提高種子發芽百分比(圖 4)。

‘A105’與‘A108’種子置於 15°C 恆溫生長

箱經過 14 d 後，CK 之平均發芽時間分別為 7.86 d 與 11.92 d(圖 5)。「A105」種子平均發芽時間在 0.5 kV cm⁻¹ 處理下未有顯著改變，然而當電場強度增加至 5.0 kV cm⁻¹ 與 10.0 kV cm⁻¹ 60 s 處理後，分別顯著縮短平均發芽時間至 6.50 d 與 6.48 d，係具有最短平均發芽時間之兩處理組合。「A108」種子在 0.5 kV cm⁻¹ 與 1.0 kV cm⁻¹ 處理下，種子平均發芽時間已呈現顯著減少(由 11.92 d 縮短至 10.82 d)，而當電場強度提高至 5.0 kV cm⁻¹ 與 10.0 kV cm⁻¹ 處理則未再減少平均發芽時間。由此可知。相較於‘A105’品種，‘A108’品種的種子發芽百分比比較低、平均發芽時間則較長(圖 4 與圖 5)。

‘A105’種子浸潤後之吸水速率快速上升，在浸潤 12 h 後達到飽和點(圖 6)。在施加 HVEF 1.0 kV cm⁻¹ 與 5.0 kV cm⁻¹ 處理後，可以明顯看到在第 5 日出現第二波快速吸水，然而隨著強度增至 10.0 kV cm⁻¹，吸水速率則有被抑制情形發生。「A108」種子在施加 HVEF 0.5 kV cm⁻¹ 與 10.0 kV cm⁻¹ 處理後，約在 8 h 時達到吸水飽和點，隨後之吸水漸緩直到第 5 日依然沒有太大的提升，而 1.0 kV cm⁻¹ 與 5.0 kV cm⁻¹ 處理亦有類似曲線變化，惟未見 HVEF 明顯處理效果。

茄子品種‘A105’與‘A108’種子經過 HVEF 處理對滲漏電導度影響之比較

‘A105’種子 CK 在 0 s 處理 0 h 起始點時，滲漏電導度值為 19.00 ± 3.65 μS cm⁻¹(圖 7)。經過 HVEF 0.5 kV cm⁻¹ 處理後，滲漏電導度值明顯上升，而在 1.0 kV cm⁻¹ 處理則相反；當強度增加至 5.0 kV cm⁻¹ 與 10.0 kV cm⁻¹ 時，滲漏電導度值與 CK 之間無顯著差異，僅 10.0 kV cm⁻¹ 60 s 處理時間滲漏電導度值仍然持續增加。「A108」種子 CK 在 0 s 處理 0 h 起始點時，滲漏電導度值為 17.63 ± 1.65 μS cm⁻¹。經 HVEF 0.5 kV cm⁻¹ 處理後，滲漏電導度值與 CK 之間無顯著差異，當強度增加至 1.0 kV cm⁻¹ 後，滲漏電解值則顯著降低。以上這些 HVEF 的處理結果，可能與前述兩品種種子的種皮組織結構，以及不同 HVEF 的強度與時間所處理造成的種皮構造改變與破裂有關，也因此導致滲漏電導度值的變化。

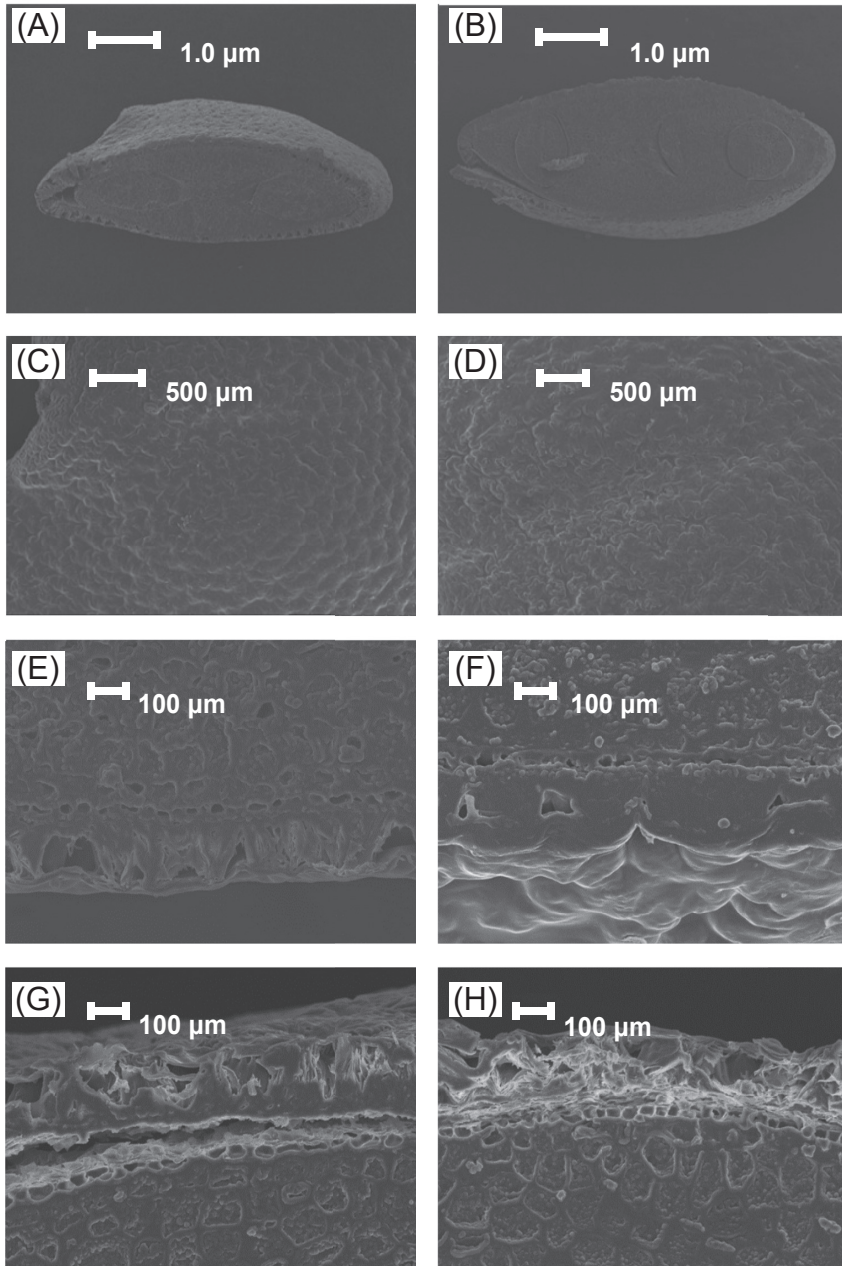


圖 2. 茄子品種 (A) 'A105' 與 (B) 'A108' 對照組種子之掃描式電子顯微鏡切面顯微組織照片 (15 kV, 40 \times) 與 (C) 'A105' 及 (D) 'A108' 對照組種子種皮之掃描式電子顯微鏡顯微組織照片 (15 kV, 70 \times) ; (E) 'A105' 與 (F) 'A108' 對照組種子之掃描式電子顯微鏡縱切面顯微組織照片 (15 kV, 350 \times) , 以及 (G) 'A105' 與 (H) 'A108' 浸潤處理種子之掃描式電子顯微鏡縱切面顯微組織照片 (15 kV, 350 \times) 。

Fig. 2. The SEM photographs (15 kV, 40 \times) of seed section for control check (CK) of eggplant varieties (A) 'A105' and (B) 'A108' and their SEM photographs (15 kV, 70 \times) of seed coat (C for 'A105' and D for 'A108'). The SEM photographs (15 kV, 350 \times) of longitudinal seed section for control check (CK) of eggplant varieties (E) 'A105' and (F) 'A108' and for those photographs (G for 'A105' and H for 'A108') taken after seed imbibition by scanning electron microscope (SEM).

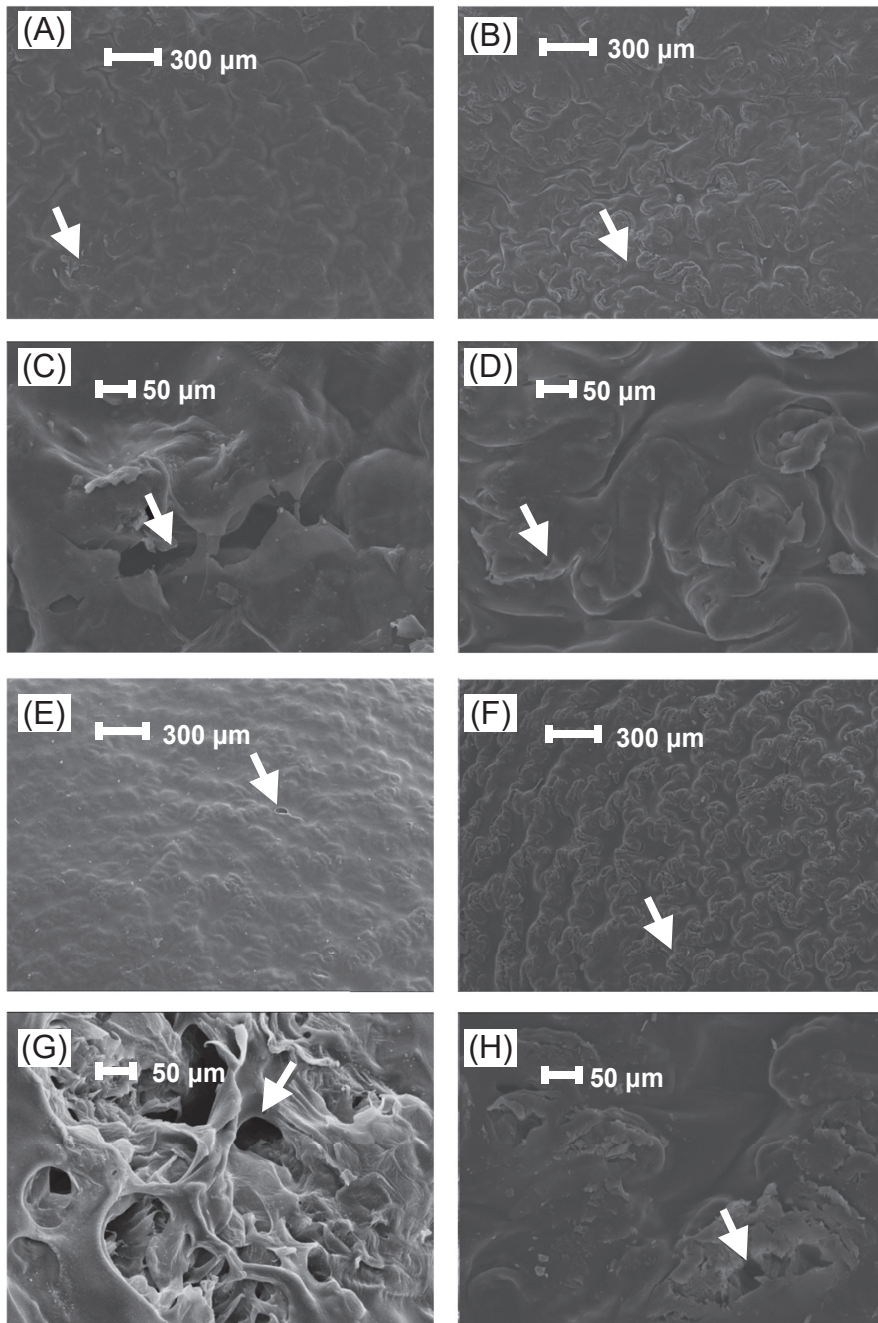


圖 3. 茄子品種種皮對照組掃描式電子顯微鏡顯微組織 (15 kV, 150×、700×) 之 (A、B) ‘A105’ 與 (E、F) ‘A108’ SEM 照片，與高壓靜電場 (HVEF) 0.5 kV cm^{-1} 600 s 處理種子種皮之掃描式電子顯微鏡顯微組織 (15 kV, 150×、700×) 之 (C、D) ‘A105’ 與 (G、H) ‘A108’ SEM 照片。白色箭頭處為種皮之破口。

Fig. 3. The SEM photographs (15 kV, 150×、700×) of seed coat for control check (CK) of eggplant varieties (A and B) ‘A105’ and (E and F) ‘A108’ and for those photographs (C and D for ‘A105’; G and H for ‘A108’) treated with high-voltage electrostatic field (HVEF) at the intensity of 0.5 kV cm^{-1} 600 s by scanning electron microscope (SEM). The white arrows are the cracks of the seed coat.

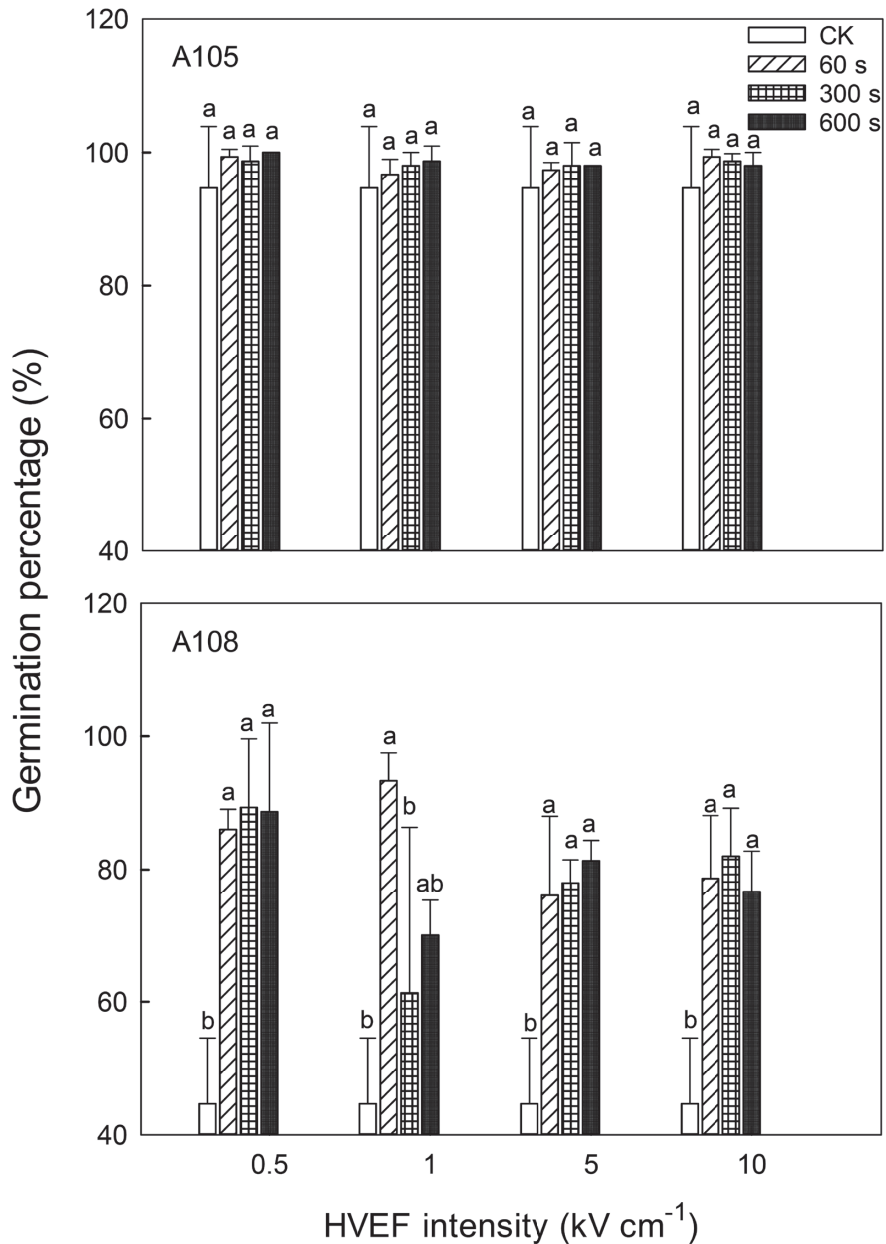


圖 4. 茄子品種 'A105' 與 'A108' 種子不同高壓靜電場 (HVEF) 強度 (0.5、1.0、5.0 及 10.0 kV cm^{-1})，及不同時間 (0、60、300 及 600 s) 處理下對種子發芽百分比之影響。各強度之不同處理時間之差異，以 Fisher's 最小顯著差異 (least significant difference; LSD) 比較。

Fig. 4. Effects of different high-voltage electrostatic field (HVEF) intensities (0.5, 1.0, 5.0 and 10.0 kV cm^{-1}) and time of treatments (0, 60, 300, and 600 s) on the germination percentage of eggplant varieties 'A105' and 'A108'. The difference between different treatment times of each intensity is compared with Fisher's least significant difference (LSD).

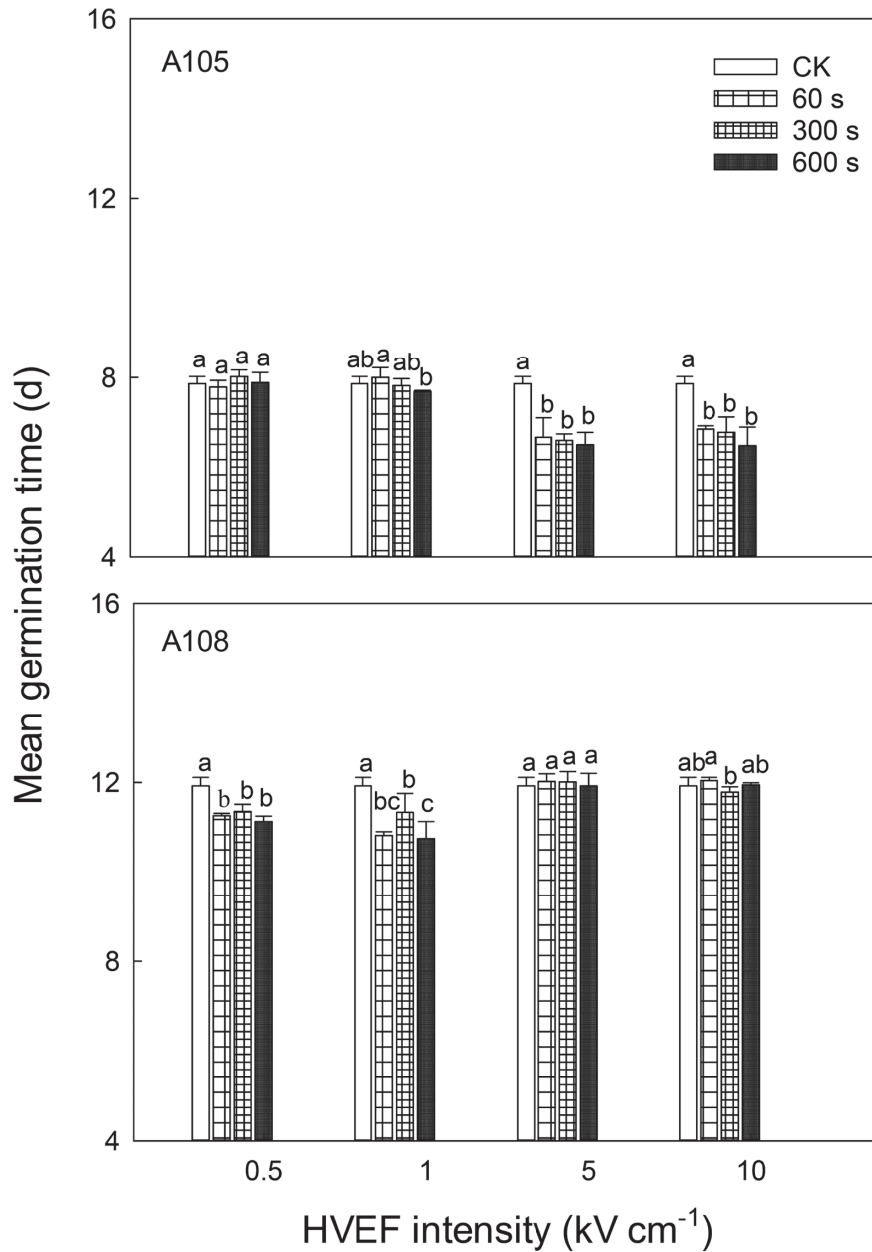


圖 5. 茄子品種 'A105' 與 'A108' 種子不同高壓靜電場 (HVEF) 強度 (0.5、1.0、5.0 及 10.0 kV cm⁻¹)，及不同時間 (0、60、300 及 600 s) 處理下對種子平均發芽時間之影響。各強度之不同處理時間之差異，以 Fisher's 最小顯著差異 (least significant difference; LSD) 比較。

Fig. 5. Effects of different high-voltage electrostatic field (HVEF) intensities (0.5, 1.0, 5.0 and 10.0 kV cm⁻¹) and time of treatments (0, 60, 300, and 600 s) on the mean germination time of eggplant varieties 'A105' and 'A108'. The difference between different treatment times of each intensity is compared with Fisher's least significant difference (LSD).

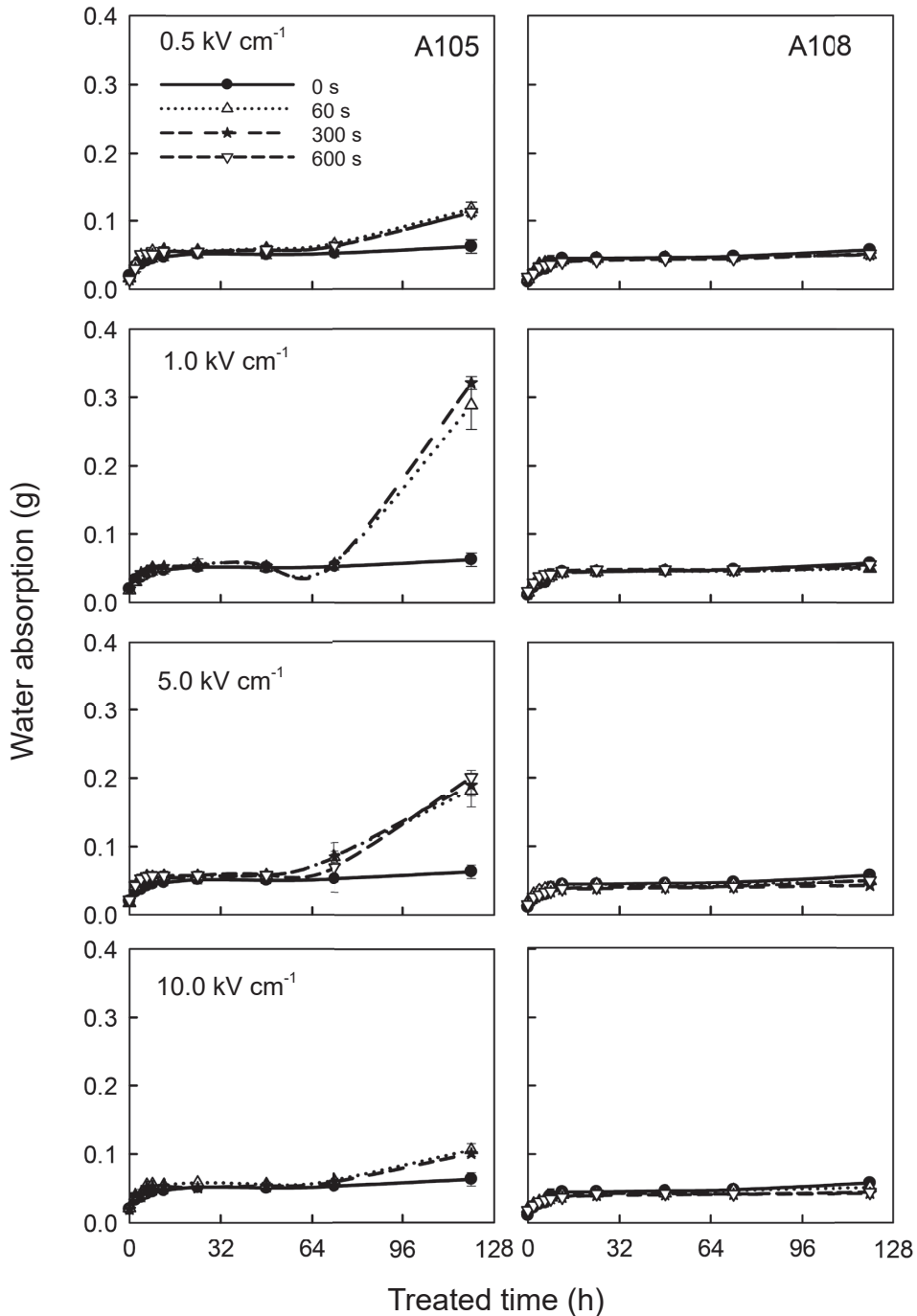


圖 6. 茄子品種 'A105' 與 'A108' 種子在不同高壓靜電場 (HVEF) 強度 (0.5、1.0、5.0 及 10.0 kV cm⁻¹)，及不同時間 (0、60、300 及 600 s) 處理下對種子吸水速率之影響。CK：對照組 (●)；處理組 60 s (△)、300 s (★) 及 600 s (▽)。

Fig. 6. Changes in water absorption with treated time of eggplant varieties 'A105' and 'A108' under different high-voltage electrostatic field (HVEF) intensities (0.5, 1.0, 5.0 and 10.0 kV cm⁻¹) and time of treatments (0, 60, 300, and 600 s). CK: control check (●); time of HVEF treatments: 60 s (△), 300 s (★), 600 s (▽).

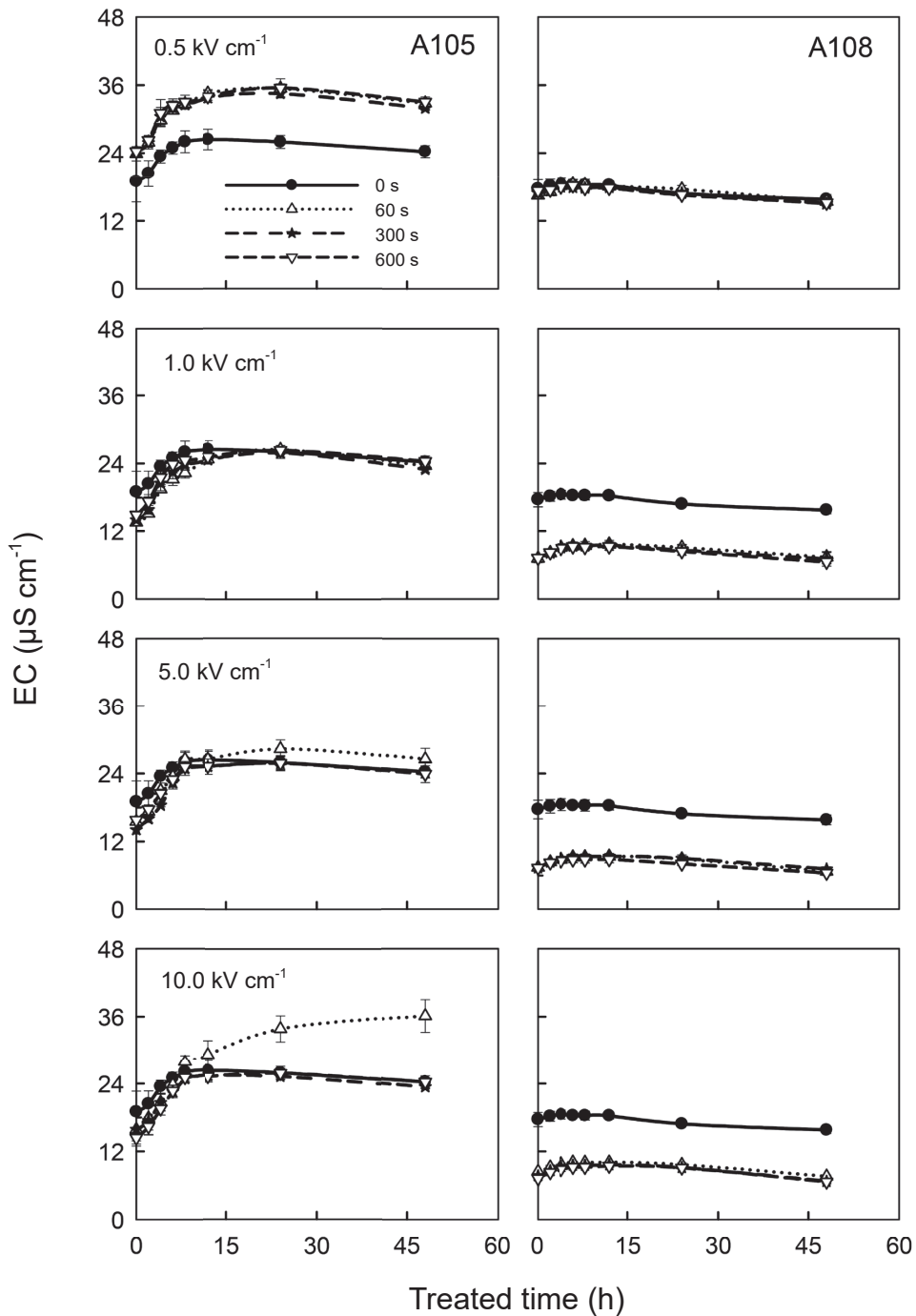


圖 7. 茄子品種 'A105' 與 'A108' 種子不同高壓靜電場 (HVEF) 強度 (0.5、1.0、5.0 及 10.0 kV cm⁻¹)，及不同時間 (0、60、300 及 600 s) 處理下對種子滲漏電導度之影響。CK：對照組 (●)；處理組 60 s (△)、300 s (★) 及 600 s (▽)。

Fig. 7. Changes in leakage electrical conductivity (EC) with treated time of eggplant varieties 'A105' and 'A108' under different high-voltage electrostatic field (HVEF) intensities (0.5, 1.0, 5.0 and 10.0 kV cm⁻¹) and time of treatments (0, 60, 300, and 600 s). CK: control check (●); time of HVEF treatments: 60 s (△), 300 s (★), 600 s (▽).

茄子品種 'A105' 與 'A108' 種子經過 HVEF 處理對可溶性蛋白質含量影響之比較

'A105' 與 'A108' 種子經過 HVEF 處理後，將種子浸潤於 RO 水中，依 0、1、3、5 及 7 d 等不同日數取出樣品量測可溶性蛋白質含量。結果顯示，'A105' 之 CK 種子明顯低於處理組種子，經過 HVEF 處理後將更加快速誘導種子內蛋白質含量的增加 (圖 8)。而 'A108' 種子內蛋白質曲線變化類似，CK 在第 0 日至第 3 日之測值皆低於處理組，直到第 5 日才有明顯的蛋白質含量上升，至第 7 日又迅速下降；惟經過 HVEF 處理後，第 1 日即見到蛋白質含量的增加，且隨著強度的增加蛋白質含量也隨之提升。比較兩品種種子內可溶性蛋白質曲線變化，發現相對於 'A105' 種子，'A108' 種子內可溶性蛋白質含量在第 5 日後才快速的被誘導增加。

討論

如何提升種子發芽率、出苗一致及有效地縮短平均發芽時間，一直是專家學者們努力研究的課題。新的物理技術，包括超音波、鐳射、磁場、微波及 HVEF 等，因操作方便、效率高及成本低等優點，受到普遍歡迎與利用 (Ma *et al.* 2020)。本試驗經以 HVEF 處理砧木型茄子品種 'A105' 與 'A108' 種子後，發現 HVEF 將影響種子發芽行為並改變種子種皮外觀組織顯微結構，顯示此一技術可延用至茄子，而部分相關生理與形態機制之改變如下述。

茄子品種 'A105' 與 'A108' 種子發芽性狀及種皮組織顯微構造差異之比較

在不同種子類型的發芽過程中，使用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 之顯微照片判識是一種很好的方法，可以顯示不同物種種子顯微結構的多樣性，並可透過觀察來瞭解有關不同種子類型形態進化與處理後變化的問題 (Weitbrecht *et al.* 2011)。本試驗在 'A105' 與 'A108' 種子試驗結果發現到，兩參試茄子品種之間存在發芽行為的顯著性差異，包括多項

種子發芽性狀與種皮顯微構造上差異在內。透過 SEM 照片觀察，Ahmed & Fadl (2016) 提到茄科種子的外觀形態具有多樣變化，其中種皮的紋路與顯微細節在不同品種之間有很大差別。基本上 SEM 照片下觀察到 3 類不同的種子表面紋路，分為不規則的皺紋、網狀起伏不一及表面光滑；而且種子形狀通常為卵形或腎形，種子顏色介於黃色至棕色之間，種子質地一般都很粗糙。本試驗根據 SEM 照片形態觀察，發現與文獻所示的結構多有相似之處，'A105' 與 'A108' 兩茄子品種種子之種皮有波浪狀光滑的表面，而且 'A108' 品種種子的種皮有形態、波浪大小不一致的網狀圖案。由此推測，SEM 照片顯微構造上的不同，可能是造成兩個不同品種之間發芽行為明顯差異的主要原因之一。

茄子品種 'A105' 與 'A108' 種子 HVEF 處理效應差異之比較

由 Stolarik *et al.* (2015) 的試驗結果顯示，豌豆種子經 HVEF 處理後出現表面結構與種皮的改變，增加種子對水的吸收與滲透。本試驗利用 HVEF 處理 'A105' 與 'A108' 品種之種子後，相較於未處理的 CK，由 SEM 照片顯示經 HVEF 處理之種子種皮產生明顯的裂縫。其中，'A105' 品種在 HVEF 0.5 kV cm^{-1} 強度處理下，種皮呈現明顯寬鬆且規則的波浪狀，也出現顯而易見的種皮裂縫；而 'A108' 品種的 CK 種皮則有較為緊密的波浪紋路，但是經 HVEF $10.0 \text{ kVcm}^{-1} 60 \text{ s}$ 強度處理後，種皮形成明顯波浪狀壁與纖維狀裝飾物，且出現分散的裂縫。由此顯示，此兩品種種皮存在組織結構差異，經 HVEF 處理後雖有類似形態上的改變，品種間的差異依然存在。

本試驗又發現經 HVEF 處理後，種子發芽百分比的高低關鍵在於電場強度與處理時間，通常在低強度、長時間或是高強度、短時間下處理均發現有很好的效果，類似於 Aksenov *et al.* (2021) 之研究結果。茄子品種 'A105' 種子經 HVEF $0.5 \text{ kV cm}^{-1} 600 \text{ s}$ 處理後，發芽百分比可達到 100%；而品種 'A108' 種子以 $1.0 \text{ kV cm}^{-1} 60 \text{ s}$ 處理下，發芽百分比可提升至 93.33%，相較於 CK 增加了 48.66%。由以

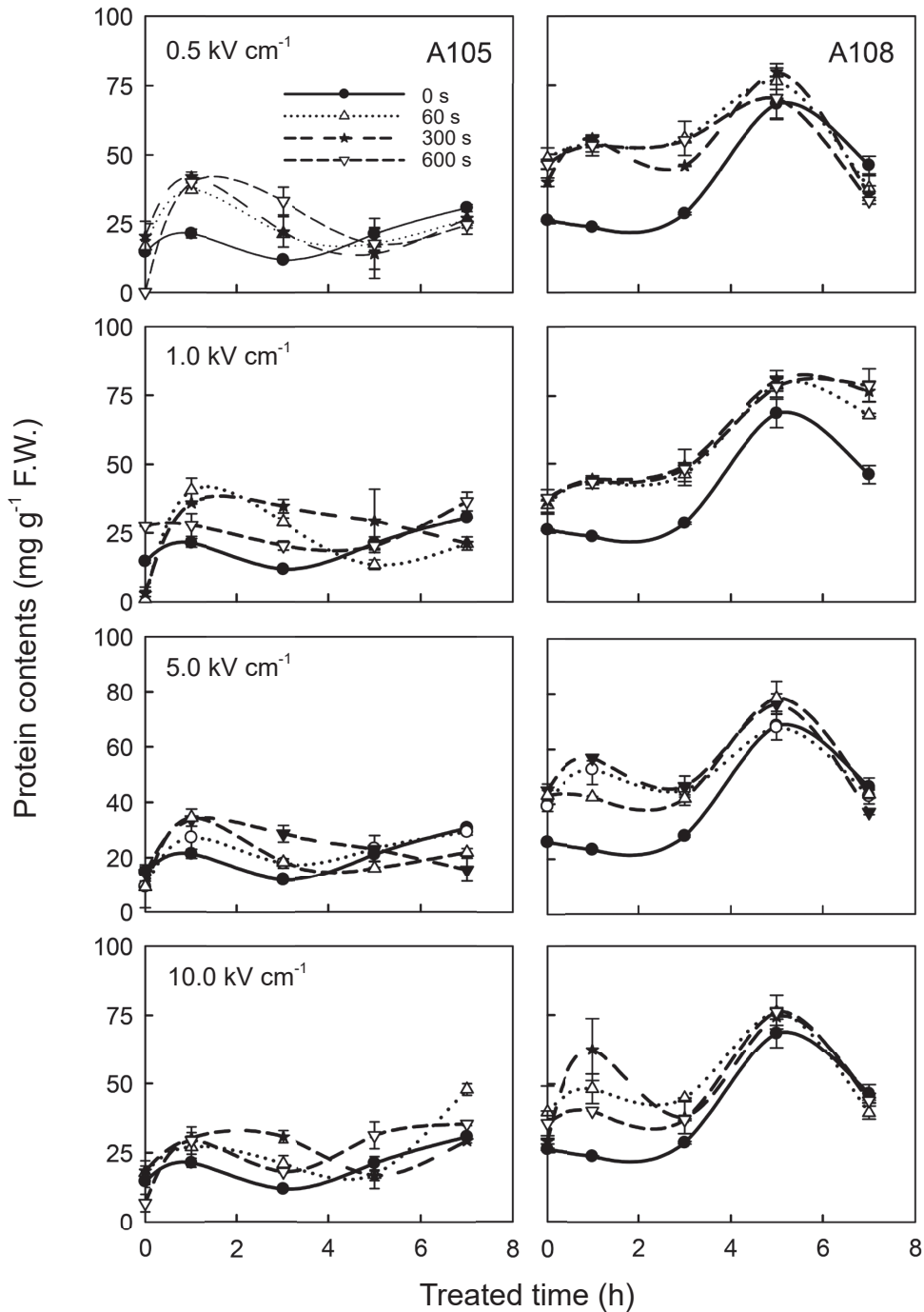


圖 8. 茄子品種 'A105' 與 'A108' 種子不同高壓靜電場 (HVEF) 強度 (0.5、1.0、5.0 及 10.0 kV cm⁻¹)，及不同時間 (0、60、300 及 600 s) 處理下對種子可溶性蛋白質含量之影響。CK：對照組 (●)；處理組 60 s (△)、300 s (★) 及 600 s (▽)。

Fig. 8. Changes in soluble protein content with treated time of eggplant varieties 'A105' and 'A108' under different high-voltage electrostatic field (HVEF) intensities (0.5, 1.0, 5.0 and 10.0 kV cm⁻¹) and time of treatments (0, 60, 300, and 600 s). CK: control check (●); time of HVEF treatments: 60 s (△), 300 s (★), 600 s (▽).

上結果可知，兩個品種在 HVEF 不同強度及時間處理下的效果也有所不同，Aksenov *et al.* (2021) 在高強度短時間或是低強度長時間下出現的處理結果，本試驗也有類似現象，但是不同茄子品種之最佳處理強度及處理時間有所不同。

此外，Meyer *et al.* (2007) 指出種子吸水有 3 階段，第一階段為乾種子快速吸水期；第二階段，隨種子浸潤吸水漸達飽和，吸水維持穩定而新陳代謝重新啟動，並誘導酶活性與蛋白質的合成；第三階段乃種子發芽後期，胚根細胞伸長與分裂後代謝基因的誘導，使得種子再次快速吸水而伸出種皮。Chiu (2022) 報告亦指出，花生種子 CK 第二階段吸水期為 36 h，經 HVEF 處理後 16 h 就有快速吸水之表現，而且有最高的吸水率，故推測 HVEF 處理可能會改變花生種子的親水能力，並提高其吸水率。本試驗經 HVEF 處理結果顯示，‘A105’ 茄子品種的種子在浸潤 72 h 後，出現第二波快速吸水現象，在 1.0 kV cm^{-1} 600 s 與 5.0 kV cm^{-1} 600 s 強度處理下，則有最大的吸水速率。‘A108’ 茄子品種的種子經過 HVEF 處理，在浸潤後 12 h 達到吸水飽和，24 h 後吸水速率未再有明顯變動，直到 120 h 才出現第二波快速吸水現象，但吸水波動幅度小於第一波。

由掃描式電子顯微鏡的 SEM 照片顯示，‘A105’ 與 ‘A108’ 茄子種子吸水表現的差異，可能由種皮的不同厚度與結構所造成，‘A105’ 品種之種皮較薄，經過 HVEF 處理後種皮即出現明顯裂縫情形，可能因此促使種子浸潤後可快速吸水；反之，‘A108’ 品種的 SEM 照片顯示具有較厚而細密的種皮，在 HVEF 處理下種皮破裂程度較低，可能因此導致種子較不易吸水，吸水速率相對較為緩慢。

茄子品種 ‘A105’ 與 ‘A108’ 種子經過 HVEF 處理對滲漏電導度影響之比較

由本試驗結果發現，茄子 ‘A105’ 品種的種子經過 HVEF 0.5 kV cm^{-1} 60–600 s 處理後，滲漏電導度值明顯高於 CK；隨著 HVEF 強度增加至 5.0 kV cm^{-1} 與 10.0 kV cm^{-1} 時，處理組之滲漏電導度值與 CK 差異不大，惟處理 60 s 的種子具有明顯較高的滲漏電導度值。在

‘A108’ 品種的種子，無論 CK 或處理組，其滲漏電導度值概在浸潤後的 6–8 h 最高，隨後開始下降。以 0.5 kV cm^{-1} 與 1.0 kV cm^{-1} 處理，滲漏電導度值皆低於 CK，繼續增加 HVEF 的強度並未顯著提高滲漏電導度值。根據以上結果，在 HVEF 低強度與較短時間下，可以快速誘導溶質的大量滲漏，而隨著強度的增加與時間的延長，溶質的滲漏則相對被抑制。此現象與前人推論相符，適當的 HVEF 強度與時間處理雖可打破種子表皮細胞的細胞膜，促進種子快速吸水，然種子於萌發過程可快速修補細胞膜，而導致滲漏電導度值明顯下降。此外，據 Mitra *et al.* (2014) 指出細胞膜完整性的喪失也會導致滲漏電導度值的增加，因此不同物種種子在浸潤後，可能會有不同的細胞膜改變，有待進一步探討其原因。

茄子品種 ‘A105’ 與 ‘A108’ 種子經過 HVEF 處理對可溶性蛋白質含量影響之比較

本試驗 HVEF 係由導電電極之間的直流電勢差所引起的一種特殊情況，在暴露過程中電場的方向與大小不會改變 (Mamlić *et al.* 2021)。Aoki *et al.* (2006) 與 Scofield *et al.* (2007) 發現種子在發芽過程將會增加澱粉酶活性，以加速澱粉水解，並因此提高還原糖含量。在種子可溶性蛋白質含量部分，本試驗茄子 ‘A105’ 品種之種子經 HVEF 處理後，在浸潤 0、1、3、5 及 7 d 等不同日數後，取出樣品進行可溶性蛋白質分析，顯示出 CK 之含量低於處理組，而且經 HVEF 處理後可在第 1 日快速誘導可溶性蛋白質含量的增加到最大值，隨後就開始下降，直至第 5 日才有第二波的上升趨勢。由 ‘A108’ 品種之種子可溶性蛋白質變化曲線可知，CK 在第 0 日至第 3 日之數值皆低於處理組，直至第 5 日才有明顯可溶性蛋白質含量的提升，第 7 日則又迅速下降。然而，經過 HVEF 處理後，可溶性蛋白質含量在第 1 日即明顯增加，且隨強度的增加，可溶性蛋白質含量也隨之提升，第 3 日又有第 2 波的上升，至第 5 日才又下降，顯見 HVEF 處理具有誘導種子內可溶性蛋白質的效果。由此可見，HVEF 對於參試兩茄子品種皆有提前誘導種子內可溶性蛋白質的效果，

而此一結果可能有助於誘導發芽相關酵素的形成、活力的升高及水分的吸收，進而形成第2波的促進結果與發芽百分比的增加。這些種子可溶性蛋白質的變化，亦反應種子內部儲藏物質與滲漏率的改變，從種子貯藏的角度言之可視為種子品質的下降，但是可以促進種子發芽，而種子如未能及時發芽，則其發芽潛力將下降。

結論

本文據此試驗結果推測，種子種皮厚薄與組織結構上的不同，可能是造成參試2種茄子品種種子發芽性狀不一致的原因，間接影響種子的生理作用與發芽行為。兩品種種子種皮的厚度彰顯出種皮構造上的差異，從外觀組織顯微構造的SEM照片，可看出‘A105’品種種子確實較‘A108’品種薄且種皮較鬆散，因此‘A105’品種較‘A108’品種有較高的發芽百分比與較短的平均發芽時間。‘A105’品種之吸水率也有明顯快速吸水期之表現，‘A108’品種之吸水率則緩慢上升。再者，‘A105’品種之可溶性蛋白質含量也被快速誘導，在第1日即有快速上升之表現，而‘A108’品種之可溶性蛋白質含量直至第5日才被大量誘導。綜合本試驗調查結果，顯示茄子種子品種間確實存在生理代謝與組織結構上的不同，且在發芽性狀上可看到明顯的差異性，而經過HVEF處理後，兩品種種子的處理效應不完全相同。據此，為期提高茄子種子之發芽表現，確有必要採取可行的方法/技術來促進種子發芽機制，以獲得較高發芽百分比與較整齊一致的種子發芽，以協助茄子種苗產業發展需求，而本試驗證明HVEF是一種可行的技術。

誌謝

本篇報告摘自第一作者陳怡菁碩士論文之一部分，論文試驗與撰寫期間承蒙明道大學智慧暨精緻農業學系邱凱瑩教授細心指導，特以誌謝。論文試驗資料分析及本篇報告之改寫獲楊純明客座教授/講座教授之啟發、督促及改正，提升報告論述邏輯使更為清晰明確，謹致由衷謝忱。

引用文獻

- Ahmed, S. M. and M. A. Fadl. 2016. Genetic relatedness among *Solanum* L. species assayed by seed morphology and isozyme markers. *Pak. J. Bot.* 48:2011–2016.
- Aksenov, M. P., N. Y. Petrov, T. V. Daeva, A. I. Belyaev, and A. M. Pugacheva. 2021. Sunflower yields increase by pre-sowing seed treatment in the electric field. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 786:012001. doi:10.1088/1755-1315/786/1/012001
- Aly, A. M., N. Eliwa, and M. H. AbdEl-Megid. 2019. Stimulating effect of gamma radiation on some active compounds in eggplant fruits. *Egypt. J. Rad. Sci. Applic.* 32:61–73. doi:10.21608/ejrsa.2019.10024.1066
- Aoki, N., G. N. Scofield, X. D. Wang, C. E. Offler, J. W. Patrick, and R. T. Furbank. 2006. Pathway of sugar transport in germinating wheat seeds. *Plant Physiol.* 141:1255–1263. doi:10.1104/pp.106.082719
- Bewley, J. D., K. J. Bradford, H. W. M. Hilhorst, and H. Nonogaki. 2013. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. 3rd ed. Springer. New York, NY. 392 pp. doi:10.1007/978-1-4614-4693-4
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72:248–254. doi:10.1006/abio.1976.9999
- Chiu, K. Y. 2022. The changes in GABA, GAD and DAO activities, and microbial safety of soaking- and high voltage electric field-treated adzuki bean sprouts. *Agriculture* 12:469. doi:10.3390/agriculture12040469
- Ellis, R. H. and E. H. Roberts. 1980. Improved equations for the prediction of seed longevity. *Ann. Bot.* 45:13–30. doi:10.1093/oxfordjournals.aob.a085797
- Hu, J. F., Z. W. Zhang, H. L. Du, J. Z. Chen, and H. J. Wang. 2017. Effect of high voltage electric field on enzyme activity of sorghum seeds during the germination period. *J. Henan Agric. Sci.* 46(11):30–34. (in Chinese with English abstract) doi:10.15933/j.cnki.1004-3268.2017.11.006
- Luo, S., H. Hu, L. Zhang, H. Zhou, and P. Li. 2017. Sugars in postharvest lotus seeds were modified by 6-benzylaminopurine treatment through altering related enzymes involved in starch-sucrose metabolism. *Sci. Hortic.* 221:73–82. doi:10.1016/j.scienta.2017.03.044
- Ma, H., Z. Bian, and S. Wang. 2020. Effects of different treatments on the germination, enzyme activity, and nutrient content of buckwheat. *Food Sci. Technol. Res.* 26:319–328. doi:10.3136/fstr.26.319

- Mamlić, Z. J., Z. T. Nikolić, G. S. Mamlić, G. D. Tamindžić, S. L. Vasiljević, S. M. Katanski, and A. L. Uhlarik. 2021. The influence of electric voltage on the germination of leguminous seeds. *J. Agric. Sci. (Belgrade)* 66:309–319. doi:10.2298/JAS2104309M
- Marcos Filho, J. 2015. *Seed Physiology of Cultivated Plants*. 2nd ed. Abrates, Londrina. 660 pp.
- Medeiros, M. A., S. B. Torres, M. Negreiros, and J. A. Madalena. 2015. Hidrocondicionamento e armazenamento de sementes de melão. *Semin. Ciênc. Agrár.* 36:57–66. (in Portuguese) doi:10.5433/1679-0359.2015v36n1p57
- Meyer, C. J., E. Steudle, and C. A. Peterson. 2007. Patterns and kinetics of water uptake by soybean seeds. *J. Exp. Bot.* 58:717–732. doi:10.1093/jxb/erl244
- Mitra, A., K. J. Flynn, J. M. Burkholder, T. Berge, A. Calbet, J. A. Raven, E. Granéli, P. M. Glibert, P. J. Hansen, D. K. Stoecker, F. Thingstad, U. Tillmann, S. Våge, S. Wilken, and M. V. Zubkov. 2014. The role of mixotrophic protists in the biological carbon pump. *Biogeosciences* 11:995–1005. doi:10.5194/bg-11-995-2014
- Scofield, G. N., N. Aoki, T. Hirose, M. Takano, C. L. D. Jenkins, and R. T. Furbank. 2007. The role of the sucrose transporter, OsSUT1, in germination and early seedling growth and development of rice plants. *J. Exp. Bot.* 58:483–495. doi:10.1093/jxb/erl217
- Singh, P., A. Chatterjee, V. Bhatia, and S. Prakash. 2020. Application of laser biospeckle analysis for assessment of seed priming treatments. *Comput. Electron. Agric.* 169:105212. doi:10.1016/j.compag.2020.105212
- Stolárik, T., M. Henselová, M. Martinka, O. Novák, A. Zahoranová, and M. Černák. 2015. Effect of low-temperature plasma on the structure of seeds, growth and metabolism of endogenous phytohormones in pea (*Pisum sativum* L.). *Plasma Chem. Plasma Process.* 35:659–676. doi:10.1007/s11090-015-9627-8
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. *Plant Physiology*. 3rd ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA. 690 pp. doi:10.1093/aob/mcg079
- Weitbrecht, K., K. Müller, and G. Leubner-Metzger. 2011. First off the mark: Early seed germination. *J. Exp. Bot.* 62:3289–3309. doi:10.1093/jxb/err030
- Wu, H. H., W. M. Sun, and H. Y. Chang. 2005. Effects of high voltage electrostatic field on biogical effect of plant. *Heilongjiang Agric. Sci.* 2:44–46. (in Chinese with English abstract)
- Xiao, D. 2018. Study on pretreatment technology for eggplant seeds. Master Thesis. Northeast Agricultural University. Harbin, China. 68 pp. (in Chinese with English abstract)
- Xu, W., Z. Song, X. Luan, C. Ding, Z. Cao, and X. Ma. 2019. Biological effects of high-voltage electric field treatment of naked oat seeds. *Appl. Sci.* 9:3829. doi:10.3390/app9183829
- Yan, Y., S. Zhou, Z. Song, F. Li, C. Zhang, X. Zhang, and H. Song. 2017. Effects of frequency and voltage of high voltage pulsed electric field on improving vigor of aged cotton seed. *Transac. Chinese Soc. Agric. Engineer.* 33(13):310–314.

Effects of Different Intensities and Time Treatments of High-Voltage Electrostatic Field on the Seed Germination of Varied Varieties of Rootstock Eggplant

Yi-Jing Chen¹, Chwen-Ming Yang^{2,3,4}, and Kai-Ying Chiu^{5,*}

Abstract

Chen, Y. J., C. M. Yang, and K. Y. Chiu. 2023. Effects of different intensities and time treatments of high-voltage electrostatic field on the seed germination of varied varieties of rootstock eggplant. *J. Taiwan Agric. Res.* 72(3):237–254.

The purpose of this study was to investigate the differences in germination behavior of rootstock-type eggplant varieties 'A105' and 'A108' at 15°C, including germination percentage, mean germination time, water absorption, leakage electrical conductivity and soluble protein content inside the seeds, as well as changes caused by high-voltage electrostatic field (HVEF) treatments. The results showed that there were differences between the two eggplant varieties in the above-mentioned traits, and the treatments with HVEF changed the germination behavior of the seeds. After seeds were treated with HVEF at 0.5 kV cm⁻¹ for 600 s, the germination percentage of the 'A105' variety increased from 94.67% to 100%, and the mean germination time was significantly shortened from 7.86 d to 6.48 d after being treated with 10.0 kV cm⁻¹ for 600 s. The water absorption showed a second wave of rapid water absorption after 72 h of imbibition. The leakage electrical conductivity value was significantly higher than that of the control check (CK) after treatment at 0.5 kV cm⁻¹ for 60–600 s. The soluble protein content in the seeds of CK was lower than that of the HVEF treated seeds, indicating that HVEF treatments could rapidly induce the increase of the soluble protein content to the maximum on the first day. The germination percentage of variety 'A108' was greatly increased from 44.67% to 93.33% after being treated at 1.0 kV cm⁻¹ for 60 s. The mean germination time was significantly shortened from 11.92 d to 10.82 d. The water absorption reached saturation 12 h after imbibition, and the second wave of rapid water absorption occurred until 120 h. Regardless of CK or treated seeds, the leakage electrical conductivity was the highest at 6–8 h after imbibition, and then began to decrease. With 0.5 kV cm⁻¹ and 1.0 kV cm⁻¹ treatments, the leakage electrical conductivities were lower than those of CK. Increasing the strength of HVEF did not significantly increase the conductivity. The soluble protein content in the seeds of CK was lower than that of the treated seeds from Day 0 to Day 3, and did not increase significantly until Day 5. Photographs taken by scanning electron microscope (SEM) revealed the differences in the thickness and microstructure of the seed coat of the two varieties. The microstructure of the seed coat of variety 'A105' was relatively loose with obvious cracks, while the seed coat of 'A108' was relatively dense with small cracks. Based on the experimental results, it is tempting to speculate that the differences in seed coat thickness and tissue microstructure may contribute to the inconsistent germination traits of the tested eggplant varieties, which indirectly affect the physiological processes and germination behavior of the seeds. In the case of inferior seed germination performance such as eggplant variety 'A108', using an appropriate HVEF treatment, it could effectively increase germination percentage, water absorption and leakage electrical conductivity, shorten the mean germination

Received: February 7, 2023; Accepted: April 29, 2023.

* Corresponding author, e-mail: cky@mdu.edu.tw

¹ Project Assistant, Department of Smart and Quality Agriculture, MingDao University, Changhua County, Taiwan, ROC.

² Visiting Professor, Department of Smart and Quality Agriculture, MingDao University, Changhua County, Taiwan, ROC.

³ Chair Professor, Department of Smart and Quality Agriculture, MingDao University, Changhua County, Taiwan, ROC.

⁴ Director, Smart Farming Research Center, MingDao University, Changhua County, Taiwan, ROC.

⁵ Professor, Department of Smart and Quality Agriculture, MingDao University, Changhua County, Taiwan, ROC.

time, and promote the early induction of soluble protein content in the seed, and then greatly improves the germination performance of the seeds.

Key words: Eggplant seed, Germination percentage, Mean germination time, Leakage conductivity, High-voltage electrostatic field.