

果樹人工授粉技術之發展與應用概況

張雅玲（副研究員）

前言

授粉 (pollination) 是指作物花粉從花藥轉移到柱頭完成受精的過程。自然授粉可以分為生物和非生物，分別以昆蟲和風進行花粉傳遞。超過 75% 的作物依賴昆蟲授粉，然而農藥濫用、空氣污染、氣候條件改變、寄生蟲危害、棲息地喪失及單一生態環境等因素，導致授粉昆蟲種類和豐富度減少，進而降低果實產量。此外智慧農業的發展，先進環控農業 (controlled environmental agriculture, CEA) 設施面積持續增加，具有人工光源和相對獨立的微氣候，可調控植物生長，但卻也無法採行自然授粉，因此人工授粉有其必要性。

人工授粉 (artificial pollination) 是一種輔助授粉技術，主要透過手工、使用機械及振動裝置等方式取代自然授粉，於作物開花期間協助完成授粉。其中人工振動裝置以振動花朵使得花粉掉落柱頭，進而完成受精，因此只能於應用於自花授粉作物（如番茄）。手工及機械授粉時需要預先備置花粉，花粉的使用方式可分為乾施及濕施兩種，乾施時加入石松子粉、小麥粉、滑石粉等惰性粉劑稀釋，以減少花粉施用量。濕施則將花粉懸浮於液體介質中，透過噴霧方式將花粉均勻地噴灑在花朵上，液體介質通常包括水、糖、硼酸等，其作用是保護花粉、促進花粉萌發和花粉管生長。

人工授粉方法

一、手工授粉 - 人工成本高、耗時、效率低，但著果率高

此法利用棉籤、毛筆或小刷子等工具以手工方式完成授粉，由於操作者可將花粉粒直接塗抹於柱頭上，因此授粉成功率高且著果率佳，幾個世紀以來普遍應用於果樹生產及育種上。然而這種方法需要足夠的勞力才能夠在柱頭可有效接受花粉期間完成授粉工作，且授粉過程中操作者需要爬上果樹進行授粉，增加危險性並延長工作時間。

大規模的農業生產上，季節性手工授粉工作需要增加額外的勞動力，導致人事成本上升，因而農場經營者尋求更具成本效益和更高效率的替代物，這促使人工授粉型態轉變。

二、機械授粉 - 人工成本低、效率高

由於手工授粉需要高勞動力，因此延伸出創新的機械授粉技術，如使用花粉吹風機、除塵器和噴霧器等機器替代手工授粉，減少人類勞動力和對昆蟲授粉的依賴。液體噴霧授粉 (liquid spray pollination, LSP) 屬於機械授粉之一，此方法快速簡單，使用現有的噴霧器、新改良的噴霧器，亦可使用背負式手動噴霧器進行授粉操作。液體噴霧授粉是使用花粉懸浮液，透過噴施方式快速將花粉噴施於柱頭，目前已廣泛應用於獼猴桃、梨、開心果及椰棗等果實生產，以提高果實的著果率、產量及品質。

無人機 (unmanned aerial vehicle, UAV)

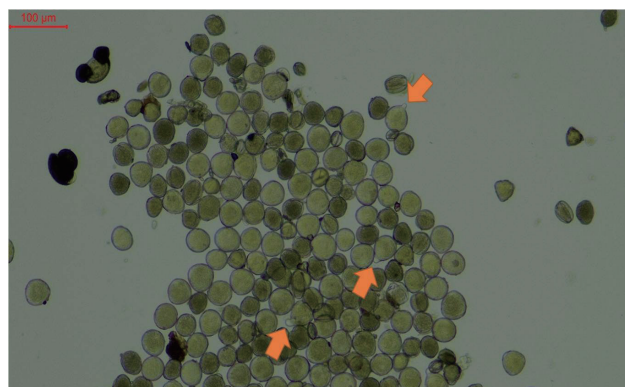
具有在任何地形上起飛和噴霧功能的優勢，可作為噴霧授粉之載具，攜帶花粉並釋放到作物上，或模仿蜜蜂或其他傳粉者的動作，在短時間內完成大面積農地之授粉工作，且已被證實可應用於獼猴桃、蘋果、梨以及溫室番茄生產。無人機之噴霧效能與飛行高度、速度梯度、噴嘴霧化顆粒大小、噴霧體積和飛行軌跡等因素密切相關，應用技術時需要考慮作物類別及開花習性。無人機後續衍生發展為人工傳粉器，於無人機機腹使用膠帶附著垂直排列的馬毛，馬毛包裹具粘性的離子液體凝膠 (ionic liquid gels, ILGs)，其可仿生蜜蜂在花朵之間移動，將花粉顆粒吸附於馬毛上，花粉粒被吸附後，無人機飛到另一朵花的雌蕊上完成授粉。

前述機械授粉在操作過程中，雖然已盡量將花粉噴施於柱頭上，但仍有花粉散落在柱頭之外而造成浪費。授粉機器人在辨識單個花朵、自主操作能力和仿生策略等方面具有優勢，有效減少花粉之浪費及人力之負擔。授粉機器人使用 RGB-D 相機進行花朵開花程度之檢測，LiDAR 感測器用於設定與目標花朵之距離，衛星導航系統 (global navigation satellite system, GNSS) 定位引導運動速度與方向，進而判定需要授粉之目標花朵位置及行進方向。使用具有圖像辨識、物體檢測和影像分類能力的卷積神經網路 (convolutional neural network, CNN) 視覺系統，可高度識別和精準地將花粉應用於單個花朵。授粉機器人可採用靜電噴霧器，朝向帶負電柱頭噴灑帶正電花粉懸浮液，提高授粉精準度。

本場高接梨人工噴霧授粉研究概況

梨具有自交不親和性的特性，需藉由昆蟲或人工等方式協助授粉以提高受粉率，才能使果實外觀圓潤飽滿且品質佳。臺灣高接

梨產業亦面臨人力短缺，且近年開花期遭遇氣候逆境頻率增加。有鑑於此，本場參考日本人工噴霧授粉作法，花粉液中除了花粉及蔗糖成分，添加硼、鎂、鈣及鉀等營養元素，有助維持花粉活性並順利萌發花粉管。花粉遇濕後 30 分鐘即有花粉管產生（圖一），因此開花期如遇高溫乾旱，噴施花粉液可縮短柱頭等待花粉沾附時間；連續降雨時可配合氣象預報，掌握短暫停雨時間噴施花粉液，可增加梨花授粉機率。施作之器具可利用田間現有的噴藥管線、電動噴藥機（圖二），甚至傳統背負式手動噴藥機進行授粉，本場試驗人工噴霧授粉處理僅需要手工授粉四分之一或更少的工作時間，且果形端正飽滿（圖三）。



圖一、花粉遇濕後 30 分鐘後花粉管萌發（箭頭處）。



圖二、利用電動噴霧機快速完成高接梨人工噴霧授粉。



圖三、利用人工噴霧授粉果形圓潤飽滿。

人工授粉之效益與挑戰

一、成本與效益

人工授粉技術不僅解決自然授粉不足的問題，也為果樹產業帶來顯著的經濟效益，雖然初期導入機械授粉設備需要較高的投資，但長期來看人工授粉顯著降低勞動成本。以本場試驗高接梨人工授粉為例，噴霧授粉僅需手工授粉四分之一甚至更少的時間，大幅減少了季節性勞力需求和相關的人事開支，解決於農村勞動力老化與短缺問題，並維持產業永續發展。

透過人工授粉即使在惡劣天氣條件下或天然授粉昆蟲不足時，仍能確保穩定的著果率，降低了因氣候或生物因素造成的產量波動，穩定與提升果實生產量。充足且均勻的授粉有助於果實發育完整、減少畸形果、提升果實大小、甜度和風味，進而提高市場售價和整體經濟價值。

二、挑戰與限制

儘管人工授粉技術效益顯著，但在實際推廣與應用過程中仍面臨多重挑戰，其中如何維持花粉活性是人工授粉成敗的關鍵，花

粉採集時間、乾燥、篩選和保存方式因果樹種類而有所差異，稍有不慎便會導致花粉失去活性，影響授粉效果。

不同果樹品種的花朵開放與柱頭可授粉時間，以及花粉萌發時最佳溫度和濕度範圍各不相同，精準判斷最佳授粉時機仰賴栽培者之經驗與科技輔助。此外，機械授粉容易受到外界環境氣候影響，例如強風可能導致花粉散失，而連續陰雨則會影響花粉在柱頭上的附著與萌發，這些都是需克服的自然限制。

先進的授粉機器人或無人機系統的購置成本較高，對小型農戶而言是沉重負擔，操作高科技設備需要具備專業知識和技術培訓，這也為機械授粉的普及帶來挑戰。然而採用機械噴霧或無人機施用，仍難以避免部分花粉未能精準落於柱頭而造成浪費，未來研究上仍需持續優化設備，提升花粉傳輸效率，以降低花粉之損耗。

結語

目前人工授粉技術已實際運用於多種果樹生產中，以彌補自然授粉之不足。雖然多篇研究報告中機械授粉之著果率略低於昆蟲授粉及人工手工授粉，但人工成本高漲，從農人口老齡化之下等因素考量之下，機械授粉仍為高效便捷的人工輔助授粉工具，其中授粉無人機及自主機器人為未來研究之重點，透過整合新型感測技術，提昇機械之自主行動決策能力和操控性能，可因應不同的作物及栽培環境條件，達到精確授粉之目標，穩定果樹的生產與品質。