

電動式鼓風噴霧機設計開發與碳排放之研究

張金元、張佳偉、洪榆宸

農業部臺中區農業改良場

摘要

因應 2040 農業淨零目標，本研究針對鼓風噴霧機開發全電動化設計之機款，提供果樹園區進行植物保護噴施作業應用之減碳農機，並以量化方法評估在等效作業條件下之碳排放表現與機具作業適用性，以改善傳統燃油農機具的高碳排放與高噪音，電動化農機提供農耕作業具體減排效益。本機採用行走、幫浦、鼓風三項作業功能獨立設置電動馬達驅動，分別配置 48V、176 Ah 鋰鐵電池組，電池可供應等效電量 8.448 kWh，底盤具備四輪驅動、四輪轉向功能。經試驗結果顯示電動化鼓風噴霧機有效續航 1 hr 51 min，每小時碳排放為 2.77 kgCO₂e/hr，對照常見使用之 CY215R 柴油引擎實測與估算得每小時碳排放約介於 4.98 至 14.94 kgCO₂e/hr，電動化與燃油農機碳排放減量 44.38% 至 81.46%，顯示電動化於田間作業階段可達到顯著之碳排減量效果。

關鍵詞：農業機械、電動化、鼓風噴霧、碳排放

緒論

氣候變遷之暖化趨勢推升世界各國對於淨零之承諾，臺灣農業提出「2040 農業淨零」目標，並以「減量、增匯、循環、綠趨勢」四大主軸推動轉型；從源頭減少碳排放的具體關鍵作法，其一係以推廣應用與發展電動化技術，以取代現有傳統燃油動力之農機具。其中，在果樹園區進行植物保護作業中的「鼓風噴霧機」，是農業中常用的機種之一，利用鼓風之風力吹送，加上噴霧機加壓噴出的霧化液體，形成一高效能的植物保護作業機械，利用鼓風機產生的強大氣流，將霧化後的藥液吹送至作物葉片上，因細霧及鼓風具有穿透葉片層並達葉背的效果，為常用且關鍵之農機設備；因燃油機具伴隨著高碳排放與高噪音，對農業操作者之健康與農業環境造成顯著的影響，因此發展電動化之省工作業農機具勢在必行。近年來電動化驅動技術與電池管理技術成熟，使得以「行走、噴霧與鼓風」三項高附載動力之農耕作業，得以由電動化技術驅動，完成全電動化鼓風噴霧機，提供產業應用，可成為具體的減碳作為。

材料與方法

一、電動農機之尺寸規格

本研究之試驗對象為自製全電動化鼓風式噴霧機，具備行走、鼓風與噴霧三項作業功能，進行機體尺寸、結構與材質量測。

二、電動農機之電動化規格

電動鼓風噴霧機之行走、鼓風與噴霧三種作業功能，電動化施作後之動力配置方式與規格。

三、電動機具行走物理性能

機具行走性能之行走速度，機具功能與轉彎最小半徑、水箱裝載容量規格，噴嘴型式、鼓風機規格，噴霧範圍。

四、碳排放估算

本電動機具之鋰鐵電池充電至滿電狀態，以顯示電量為基準，並於場域內進行連續作業，以果園鼓風、噴霧之輸出條件。機具測試至終止條件，當機具出現低電壓保護，或噴霧、鼓風與行走等功能無法維持正常輸出時，即停止並記錄時間。

結果與討論

一、電動鼓風噴霧機之規格尺寸

電動鼓風噴霧機之機體尺寸與結構：長 280 cm × 寬 125 cm × 高 138 cm；空車重量為 980 kg，車底盤最低之離地距離 16 cm。機具主體結構由 SUS304 不鏽鋼、強化鋼架結構經鍍鋅防鏽處理，兼顧耐蝕與結構強度。輪胎 21 × 900-10 PR；前後輪距 97.5 cm；軸距 105 cm。

二、機具之電動性能調查

研製完成之電動鼓風噴霧機，如圖 1，具有行走、鼓風與噴霧三種作業功能，電動化施作後之動力部分，行走馬達為 7.2 kWh，幫浦馬達 3 kWh，風扇馬達 3 kWh。電池採用四顆相同規格之鋰鐵電池，並以並聯方式組合，每顆電池容量為 44 Ah，並聯後之總容量為 44 Ah × 4 = 176 Ah，使用放電電壓 48V 計算總電量度數(kWh) = 電壓 × 總容量(Ah)/1000，總電量度數 = 48 V × 176 Ah / 1000 = 8.448 kWh。因此，當四顆電池以 48V 放電時，總電量為 8.448 kWh。

三、電動機具行走物理性能調查

機具行走性能於平地最高行走速度為 17 km/hr。具有四輪驅動、四輪轉向功能，最小轉彎半徑為左轉彎 1.91 m、右轉彎 1.93 m。水箱容量可裝載 310 L、500 L 等規格型式。噴嘴

為 15 只可旋轉式錐形噴頭(左、上、右側各 5 只)，噴頭可旋轉為孔徑 1.4 mm / 0.7 mm 兩種形式。鼓風機之風扇直徑為 55 cm，轉速 3,000 r.p.m，風速約為 20 m/sec，噴霧範圍經實測具有寬 9 m × 高 6 m。



圖 1、電動化施作之鼓風噴霧機

四、碳排放估算

(一) 電動化鼓風噴霧機之碳排放估算

電動農機慣常於農業場域使用，直接使用農業電力用電，提供農作物栽培及收穫後處理，機具經申請農業機械使用證，進行生產用途的電力，農業用戶可申請農業動力用電電費之減免，鼓勵農業生產減少燃油使用。本電動機具之鋰鐵電池充電至滿電狀態，以顯示電量為基準，並於平面道路上進行連續作業，以行走、鼓風、噴霧之輸出條件進行機具測試。

以農業用電排碳係數 0.606 kgCO_{2e}/kWh 估算⁽¹⁾，電池可用之電量為一次充滿所補充之電量，本鼓風噴霧機之電池電量為 8.448 kWh。

碳排放為 $E \times EF = 8.448 \times 0.606 = 5.12 \text{ kgCO}_2\text{e}$ 。

本機具經動力輸出試驗測試續航力，經試驗結果顯示，將鋰鐵電池充電至滿電狀態，電錶數值顯示 53.4 V、100%電量，行走、鼓風與噴霧均開啟，並於平面道路上進行連續作業，以慣型行走、鼓風、噴霧之輸出條件進行機具測試。經試驗結果顯示，有效連續作業總行駛時間為 1 hr 51 min，行進速度約介於 6 km 至 6.5 km，總行駛里程為 11.58 km，錶數值顯示

49 V、8 %電量，計算碳排放如下：

有效連續作業時間(續航力)：1 hr 51 min \approx 1.85 hr

機具電池一次滿充的碳排：5.12 kgCO_{2e}

每小時碳排放 = 碳排/每小時 = 5.12 / 1.85 = 2.77 kgCO_{2e}/hr

上述計算係以最佳化之充電情況進行估算，實際上電動化農機因壽命、充電效力、充電之電壓等因素而改變。本機係以充電最佳之狀態下，經估算碳排放為 2.77 kgCO_{2e}/hr。爾後經機具使用後，電池的壽命與電器傳輸消耗的情況下，可持續研究相關數據。

(二) 燃油式鼓風噴霧機之碳排放估算

農業作業所使用的鼓風噴霧機常以振裕牌 CY215R 型四衝程柴油引擎作為動力來源，引擎的額定持續輸出馬力為 18 kW，經顯示一般柴油引擎常用之制動比油耗(BSFC, Brake Specific Fuel Consumption)介於 0.21 – 0.26 kg / kWh 區間⁽²⁾，並以柴油之密度 $\rho = 0.84$ kg / L⁽³⁾，換算每小時的耗油量 L/h = $P \times BSFC / \rho = 18 \times 0.21 / 0.84 = 4.5$ L/h。以制動比油耗 BSFC 方式估算油耗，以進行碳排放之比較。以 BSFC = 0.21 kg/kWh 的條件下，估算之耗油量為 4.5 L/h。耗油量再乘以柴油碳排係數 3.32 kgCO_{2e}/L，可得傳統燃油式鼓風噴霧機以額定持續輸出馬力為 18 kW 計算每小時碳排約為 14.94 kgCO_{2e}/hr。

此外，經過實測燃油式鼓風噴霧機之總行駛里程為 3.2 km，每小時之實際油耗油量為 1.4 L/h。與試驗過程以約 1/3 之引擎動力輸出，引擎之輸出馬力約為 6 kW 估算，則每小時之耗油量 L/h = $P \times BSFC / \rho = 6 \times 0.21 / 0.84 = 1.5$ L/h，數值相近。耗油量再乘以柴油碳排係數 3.32 kgCO_{2e}/L，可估算得傳統燃油式鼓風噴霧機以輸出馬力為 6 kW 計算每小時碳排約為 4.98 kgCO_{2e}/hr。

(三) 電動化與燃油農機之減碳效果

在相同的作業條件下評估碳排放，電動農機之碳排放為 2.77 kgCO_{2e}/hr，與燃油農機碳排放以全動力輸出為 14.94 kgCO_{2e}/hr，碳排放減少 12.17 kgCO_{2e}/hr，兩者減幅 81.46%；與燃油農機碳排放以 1/3 動力輸出為 4.98 kgCO_{2e}/hr，碳排放減少 2.21 kgCO_{2e}/hr，兩者減幅 44.38%。電動化農機具對於推動減排放具有顯著之效果，在田間作業階段可直接降低碳排放。

採用電動農機已可大幅減低碳排放，進一步的探討電動農機之碳排放，ISO 14068-1:2023 以「先減量、後中和」核心精神進行具體策略推動⁽⁴⁾。標準明確採用階層式(hierarchy)路徑，先優先執行 GHG 減量，再強化境內(主體邊界內)的移除，最後對剩餘碳足跡使用抵換(offsetting)，首要減少直接與間接排放與提升去除，再抵換剩餘碳足跡。「GHG 減量」即以具體行動降低溫室氣體(Greenhouse Gases)碳排放與其量化結果，著重在邊界內把排放源減少。本項電動鼓風噴霧機能應用於葡萄等果樹園區，如圖 2，以 ISO 14068-1:2023 精神「先減量、再去除、後抵換」，若能以自建之再生能源直接供電、於電網低碳時段充電，輔以減碳作為^(5,6,7)，將可在進一步達成減量。而去除(removals)為獲取大氣中 CO₂進行碳捕捉封存，可於葡

萄果園邊界內，導入生物炭入土、覆蓋作物與減少犁耕等作為，提升土壤有機碳等方法。最後，在由邊界外購碳權，以抵減剩餘的碳排放，針對無法再降低之碳排放，以符合品質準則之碳權進行抵換，將能系統性降低在葡萄果園作業之碳足跡，尤其在以外銷葡萄酒生產為主之果園，具有減碳效益之商機。



圖 2、電動式與燃油式鼓風噴霧機於葡萄酒莊果園應用

結 論

本研究設計開發具備行走、鼓風與噴霧三項功能獨立、電動化技術為核心的全電動式鼓風噴霧機，並以定量方法比對同作業功能的電動與燃油農機之碳排表現，結果顯示在維持等效功能之鼓風噴霧作業條件下，電動化農機具有顯著的环境減碳與操作效益，於葡萄果園場域落地應用，機體採用四輪驅動，並具備四輪轉向功能，最小轉彎半徑與動力均符合葡萄果園使用，噴霧有效覆蓋範圍亦可滿足葡萄棚架冠層穿透與葉背覆蓋之基本需求。

本電動鼓風噴霧機在行走安全、續航穩定與噴霧覆蓋均勻性均有符合栽培應用所需，並顯著降低碳排放與噪音，符合果園狹窄行列之應用情境。電動化施作之農機碳排放方面，具體降低 44.38 % 以上，於田間作業階段達成顯著減碳；同時，電動化與傳統燃油機型相較，顯著降低操作者暴露於高噪音、高溫、高廢氣之風險，大幅改善作業品質。未來，電動化農機隨著更大規模的場域導入使用，可望成為果樹園噴霧防治等減碳的具體貢獻，據此以支持農業部門邁向低碳、高效率、可擴散的淨零轉型。

誌 謝

本研究承蒙農業部科技計畫項下補助經費。試驗期間承蒙農業機械研究室同仁茆聰銘、李安心、劉志聰鼎力配合協助，方得以順利完成，謹此一併致謝。

參考文獻

1. CO₂ 產品碳足跡資訊網，<https://cfp-calculate.tw/cfpc/WebPage/Index.aspx>
2. X-Engineer. (n.d.). *Brake specific fuel consumption (BSFC)*. x-engineer.org. Retrieved August 29, 2025, <https://x-engineer.org/brake-specific-fuel-consumption-bsfc/>
3. 臺灣中油股份有限公司。柴油安全資料表。 <https://www.cpc.com.tw/cl.aspx?n=59>。
4. ISO 14068-1:2023， <https://www.iso.org/standard/43279.html>。
5. Ancient Peaks. 2024. *Electric Tractors: The Future of Farming at Ancient Peaks*. Retrieved August 27, 2025, from <https://ancientpeaks.com/>
6. International Organization for Standardization. (2023). *ISO 14068-1:2023 — Climate change management — Transition to net zero — Part 1: Carbon neutrality*. Retrieved August 27, 2025, from <https://www.iso.org/standard/43279.html>
7. Paired Power. (2023, September 5). *Solar-Powered EV Chargers Supporting California Vineyard* [Case study]. Retrieved August 27, 2025, from <https://pairedpower.com/>