

爪哇穗黴 *Cordyceps javanica* F084 水分散性粒劑對番茄銀葉粉蝨 *Bemisia tabaci* MEAM1 之感染效果初探

蕭伊婷¹、謝奉家¹、潘蕙如^{1*}

摘要

蕭伊婷、謝奉家、潘蕙如。2026。爪哇穗黴 *Cordyceps javanica* F084 水分散性粒劑對番茄銀葉粉蝨 *Bemisia tabaci* MEAM1 之感染效果初探。臺灣農藥科學 20 : 47-63。

番茄 (*Solanum lycopersicum*) 作為全球重要經濟作物，在多種氣候帶廣泛種植，尤其在臺灣市場中具有高經濟附加價值。然而，銀葉粉蝨 (*Bemisia tabaci* MEAM1) 對番茄產業帶來嚴重影響。此害蟲寄主範圍廣，且能傳播多種植物病毒，對農作物產量和品質造成重大損失。目前，銀葉粉蝨防治主要依賴化學藥劑，但抗藥性問題日益嚴重，又因食品安全及環境友善需求日益迫切，促使蟲生真菌在生物防治上的應用成為研究焦點。本研究針對蟲草科真菌 *Cordyceps javanica* (菌株編號 F084)，評估其在不同發酵方式與製劑處理下對銀葉粉蝨的感染效果。本研究發現，F084 可通過固態培養產生分生孢子，也可通過液態發酵獲得大量芽生孢子，適合不同的製劑應用。此外，本研究探討了不同非化學農藥資材、施用方式、靜置時間、環境溫度與相對濕度對 F084 感染效果的影響，結果顯示 F084 在 25°C、高濕環境下的感染效果最佳，且其水分散性粒劑 (water dispersible granules, WG) 雛型產品於 4°C 儲存下可穩定維持至少 8 個月。本研究結果顯示，F084 具有成為減少化學藥劑使用、提供作物安全性與永續性生物防治資材的潛力。

關鍵詞：爪哇穗黴、液態發酵、水分散性粒劑、銀葉粉蝨、蟲生真菌

接受日期：2026 年 1 月 22 日

* 通訊作者。E-mail: hrpan@acri.gov.tw

¹ 臺中市 農業部農業藥物試驗所

前言

番茄 (*Solanum lycopersicum*) 是世界上重要的經濟作物之一，其果實廣泛用於生鮮、加工食品，並且因富含營養成分如維生素和礦物質而廣受歡迎。全球每年種植面積約 5 百萬公頃，年產量達 1.71 億噸，主要生產國包括中國、印度和土耳其等⁽⁸⁾。番茄種植期間往往面臨多種病蟲害威脅，以病害為例，無論是細菌、真菌和卵菌或是病毒，皆有機會嚴重影響作物產量和品質⁽¹⁸⁾。

在蟲害方面，銀葉粉蝨 (*Bemisia tabaci*) 的寄主範圍廣泛，能夠感染超過 600 種植物，其刺吸式口器會吸取植物汁液，並傳播 geminiviruses、closteroviruses、carlaviruses、potyviruses、nepoviruses、luteoviruses 或 DNA-containing rod-shaped virus 植物病毒，受感染的植株葉片萎黃、果實發育受限，進而影響產量，由全球的調查數據顯示銀葉粉蝨的危害會對棉花、番茄及豆類等多種經濟作物造成嚴重的經濟損失⁽¹⁹⁾。銀葉粉蝨於 1989 年入侵臺灣後，迅速適應並繁殖，對番茄、瓜果及其他蔬菜作物造成了嚴重損害⁽¹⁾，除此之外，作為媒介昆蟲傳播番茄黃葉捲曲病毒 (Tomato yellow leaf curl virus, TYLCV) 減低了番茄的產量和品質，也加重生產者的防治負擔⁽²³⁾。

目前銀葉粉蝨的防治主要依賴化學藥

劑，但隨著化學農藥使用頻繁，銀葉粉蝨對多種殺蟲劑已產生抗藥性⁽⁹⁾；非化學農藥的防治方式則包括使用黃色黏板、施放捕食性天敵和寄生蜂、噴施油類物質以及微生物防治資材等等⁽²¹⁾。由於昆蟲對化學農藥的抗性增加及其對環境的影響，尋求替代的生物防治方法成為迫切需求⁽⁷⁾。

蟲生真菌 (entomopathogenic fungi) 在生物防治中扮演重要角色，尤其在銀葉粉蝨等刺吸式口器害蟲的防治上展現出獨特的優勢。此類真菌能通過接觸寄主外表感染，避免了口器進入的限制，使其對粉蝨類害蟲的防治具潛力⁽¹²⁾。*Cordyceps javanica* (Frieder and Bally) Kepler, B. Shrestha and Spatafora 2017，又名 *Isaria javanica* (Frieder and Bally) Samson and Hywel-Jones 2005、*Paecilomyces javanicus* (Frieder and Bally) A.H.S. Br. and G. Sm. 1957、*Spicaria javanica* Frieder. and Bally 1923⁽¹¹⁾，屬於蟲草科 (Cordycipitaceae)，廣泛存在於土壤和植物殘體等自然環境，該菌株已證實可有效感染銀葉粉蝨的若蟲及成蟲，而對蜜蜂等益蟲則不具感染性⁽³⁾。上述菌株孢子細微且輕，極易飄散，基於其高擴散能力，*C. javanica* 成為應用於病蟲害生物防治的重要候選菌株^(14, 24)。

雖然蟲生真菌具有環境友善以及寄主較專一的優點，但市面上具有有效許可證的蟲生真菌商品卻寥寥可數，分析原因發現，菌株或是現階段的製劑產品皆有儲架壽命不長或是施用於田間時的環境不利孢子發芽與寄生，導致防治效果不如預期，

也影響廠商技轉與農民施用意願⁽¹⁵⁾。

本研究旨在評估 *C. javanica* F084 於不同發酵方式和製劑處理對銀葉粉蝨的感染效果，並測試該微生物防治劑的最佳使用方式，期能提供農業界一種減少化學藥劑使用、提高作物安全性與永續性的生物防治方案。

材料與方法

一、供試菌株

本試驗菌株為 1996 年自南投縣鹿谷鄉一受感染的蛾類幼蟲體表分離而得，以馬鈴薯瓊脂培養基 (potato dextrose agar, PDA) 培養，產孢後的菌落外觀呈灰色。續利用全基因定序進行分析，將此蟲生真菌鑑定為爪哇穗黴 (*Cordyceps javanica*)，菌株代號 F084。F084 菌株可產生分生孢子 (conidia) 與芽生孢子 (blastospore)，經 PDA 平板培養基在 25°C、12 小時光照下培養可獲得分生孢子，而以液態發酵則能使菌株產生大量芽生孢子。

二、供試昆蟲

本實驗使用由農業藥物試驗所黃莉欣研究員實驗室長期飼養的銀葉粉蝨 (*Bemisia tabaci* MEAM1)，以番茄 (農友 301 品種) 作為寄主作物，試驗前以吸蟲管挑取成蟲，經過 24 h 使其交配產卵後，挑取卵粒至一新葉片等待發育為若蟲備用。

三、*Cordyceps javanica* F084 的分生孢子懸浮液濃度對銀葉粉蝨二齡若蟲的感染效果

將 F084 培養於 PDA，待其產孢後以 0.05% Tween 20 洗下孢子，用血球計數器計算數量 (依據前期試驗證實孢子發芽率為 100%，故可知活性孢子的濃度為 10^8 CFU/mL)，再以 0.05% Tween 20 稀釋調整懸浮液濃度為 10^7 、 10^6 、 10^5 、 10^4 和 10^3 CFU/mL，另以 0.05% Tween 20 作為對照組。接著將帶有二齡若蟲的番茄葉片，分別以半球玻璃噴霧器噴灑 1 mL 的孢子懸浮液，風乾後再置入水瓊脂培養基 (water agar, WA) 上，上蓋戳洞保持通風，另用濕棉花包住葉柄防止葉片水分喪失。最後置於 25°C、90% RH、光照 12 h 的定溫箱培養 7 d 並紀錄各處理的若蟲感染率。每處理 3 重複，本試驗執行 3 次。

孢子懸浮液的活性孢子濃度測量方法為，取 1 mL 混和液並加入 9 mL 無菌水，依序進行 10 倍序列稀釋。最後再以微量吸管取 100 μ L 之懸浮液，分別滴於 PDA 培養基上，再以滅菌之三角玻棒均勻塗佈至無餘液流動。置於於 25°C 定溫箱內培養 3-5 d 後觀察並計算菌數 (CFU/mL)。

四、低風險防治資材對 *Cordyceps javanica* F084 分生孢子發芽率影響

利用 96 孔盤，先分別添加 49 μ L 不同

種類和不同稀釋濃度的藥劑處理，在每個孔洞內分別滴入濃度為 2×10^6 CFU/mL 的 1 μ L 孢子懸浮液，混拌後靜置 2 h，再取出 10 μ L 混合液滴於 WA 上⁽²⁾，每處理共 4 滴，試驗完成後，於 30°C 生長箱培養 18 h 再以顯微鏡觀察孢子發芽狀況。

本次試驗使用低風險防治資材，並以推薦倍數作為其中一項測試濃度，再以該濃度的半量及倍量做為另外兩種測試濃度。藥劑種類和濃度分列如下：六和好橙績 (Orange Oil，主成分為柑桔精油，六和化工股份有限公司，植保製字第 00233 號，稀釋 500、1,000、1,500 倍)、清香苦楝油 (Neem Oil，良農現代化農業科技股份有限公司，稀釋 100、200、300 倍)、礦物油 (Mineral Oil，玉田地有限公司，稀釋 250、500、1,000 倍)、保護露 (主成分為葵花油，地球村生態有限公司，植保製字第 00330 號，稀釋 100、200、500 倍) 作為處理組，本試驗每處理 3 重複，另設置以無菌水 (distilled water) 之處理組作為對照組。

五、*Cordyceps javanica* F084 不同製劑處理對銀葉粉蝨二齡若蟲感染效果測試

將帶有二齡若蟲的番茄葉片，置於 WA 培養皿上，葉柄用濕棉花包裹，一個培養皿放置一葉片，並且於上蓋戳洞保持通風。本試驗的處理分別為：PDA 平板培養取得的孢子懸浮液、液態發酵製成的孢

子懸浮液、液態發酵後分別進行水分散性粒劑 (water dispersible granules, WG) 和微膠囊處理的製劑雛型產品。PDA 平板培養取得的孢子以 0.05% Tween 20 調配，其餘處理則利用無菌水，調整最終濃度為 2×10^6 CFU/mL。

利用玻璃半球噴霧器噴灑在每一葉片噴灑 1 mL 懸浮液處理，待葉片陰乾後再放置到 WA 上，於 25°C、90% RH、光照 12 h 定溫箱培養 7 d 後用解剖顯微鏡觀察銀葉粉蝨若蟲的感染率。本試驗執行 3 次，每處理 3 重複。

六、*Cordyceps javanica* F084 的 WG 雛型產品在不同溫度和相對濕度對銀葉粉蝨二齡若蟲的感染效果測試

秤取 F084 WG 雛型產品，放入 50 mL 無菌離心管，加入無菌水以試管震盪器充分震盪，並調整懸浮液濃度為 2×10^6 CFU/mL。供試昆蟲為 2 齡若蟲，利用半球玻璃噴霧器，噴灑 1 mL 菌液，待葉片陰乾後再放置到 WA 上，葉柄用濕棉花包裹，一個培養皿放置一葉片，並且於上蓋戳洞保持通風。分別培養在光照 12 h，溫度 20、25、30°C (固定 90% RH) 或是濕度 50、70、90% (固定 25°C) 的生長箱中，7 d 後用解剖顯微鏡觀察銀葉粉蝨若蟲的感染率。本試驗執行 3 次，每處理 3 重複。

七、*Cordyceps javanica* F084 的 WG 雛型產品施用前之靜置時間對孢子發芽率和銀葉粉蝨若蟲感染率的影響

(一) 不同時間對發芽率的影響

於 50 mL 離心管內，秤取 F084 WG 雛型產品，放入 50 mL 無菌離心管，加入無菌水以試管震盪器充分震盪，並分別靜置 0、30、60、90 及 120 min，調整懸浮液濃度至 1×10^6 CFU/mL，再以微量吸管吸取 10 μ L 至水瓊脂培養基上 (water agar, WA)，直接以解剖顯微鏡觀察孢子發芽率。

(二) 不同時間對銀葉粉蝨若蟲感染力的影響

依據上述方式配製不同浸置時間，濃度為 1×10^6 CFU/mL 的 F084 WG 雛形產品懸浮液，使用 Potter 噴霧塔 (Potter spray tower, Burkard Manufacturing Co Ltd) 將不同處理的懸浮液噴灑至含有若蟲的番茄葉片上，每次噴灑 5 mL 的孢子懸浮液。於 30°C、50% RH，光照：黑暗為 12：12 的環境進行實驗。每處理三重複。

八、*Cordyceps javanica* F084 的 WG 雛型產品連續在田間施用次數與感染率的關係

試驗田區位於彰化埔鹽地區的玉女番茄栽培溫室，採用不使用化學農藥的管理模式，而本試驗執行的時間為番茄的結果期。田間試驗採逢機完全區集設計 (Randomized complete block design, RCBD)，分別測試 F084 WG 雛型產品施用稀釋 100、稀釋 200 倍水溶液、噴灑柑桔精油，並以施用水和完全不做任何處理作為對照組。每週施藥 1 次，共 4 次，每施藥前及第 4 次施藥 1 週後皆於每小區隨機調查 20 片小葉，以解剖顯微鏡觀察與計算若蟲於田區的感染率。被感染之若蟲會呈現不透明、淡橘色型態，或是體表纏聚菌絲呈白色棉絮狀。感染率計算方式如下：感染率 (%) = (Σ 感染蟲數 / Σ 總若蟲數) $\times$ 100。

九、*Cordyceps javanica* F084 的 WG 雛型產品儲架效果

本試驗測試由液態發酵後加工為 WG 雛型產品，分別保存於室溫和 4°C 環境中的活性存續期。每月皆需測量一次。測量方法為，首先秤取 3 g 的樣品，放入 50 mL 無菌離心管中，再加入無菌水，使最終體積為 30 mL。接著以振盪器使其混和均勻，依序取 1 mL 混和液並加入 9 mL 無菌水進行 10 倍序列稀釋。最後再以微量吸管取 100 μ L 之懸浮液，分別滴於 PDA 培養基上，再以滅菌之三角玻棒均勻塗佈至無餘液流動。置於於 25°C 定溫箱內培養 3-5 d 後觀察並計算菌數 (CFU/g)。

十、統計分析

試驗數據利用 R 軟體 (version 4.4.1, R Core Team, 2024) 進行單因子變異數 (one way-analysis of variance, one way-ANOVA) 及杜凱確實差異檢定 (Tukey's Honestly Significant Difference Test，簡稱為 Tukey's HSD) 進行分析。

結果

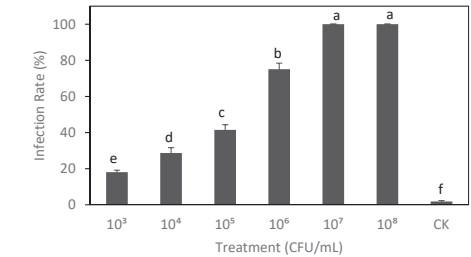
一、*Cordyceps javanica* F084 的分生孢子懸浮液濃度對銀葉粉蝨二齡若蟲的感染效果

試驗結果顯示， 10^3 、 10^4 、 10^5 、 10^6 、 10^7 和 10^8 CFU/mL 在施用 7 d 後對銀葉粉蝨二齡若蟲的平均感染率分別為，18.06、28.63、41.46、75.05、100 和 100%，而對照組的感染率為 1.82%，和對照組相比均有顯著差異，其中又以濃度 10^7 和 10^8 CFU/mL 的感染效果最佳，濃度 10^6 CFU/mL 的處理次之 (圖一)。

二、低風險防治資材對 *Cordyceps javanica* F084 分生孢子發芽率影響

將不同種類與稀釋濃度的處理和孢子懸浮液混拌靜置 2 h，再於 WA 培養 18 h 後，結果顯示，礦物油、清香苦楝油和保護露，於推薦的施用倍數或是濃縮一倍的

濃度皆不會影響 F084 的分生孢子發芽率，但是柑桔精油於稀釋 500、1,000 或 1,500 倍皆會降低 F084 的分生孢子發芽率，且和對照組相比具有顯著差異 (表一)，因此應避免 F084 與柑桔精油一同施用。



圖一、*Cordyceps javanica* F084 的分生孢子懸浮液濃度對銀葉粉蝨二齡若蟲的感染效果。

Fig. 1. Infection rates of conidial suspension concentration of *Cordyceps javanica* F084 on second-instar silverleaf whitefly nymphs.

表一、低風險防治資材對 *Cordyceps javanica* F084 分生孢子發芽率影響

Table 1. Effect of low-risk control materials on the germination rate of conidia of *Cordyceps javanica* F084

Treatment	Concentration	Germination rate of spores (%)
Distilled water		100.00 ± 0.00 a
Mineral oil	250x	99.71 ± 0.16 a
	500x	99.79 ± 0.13 a
	1000x	100.00 ± 0.00 a
Neem oil	100x	100.00 ± 0.00 a
	200x	100.00 ± 0.00a
	300x	100.00 ± 0.00 a
	500x	42.88 ± 0.73 c
Citrus oil	1000x	72.33 ± 1.72 c
	1500x	86.04 ± 1.73 b
	保護露	100.00 ± 0.00 a
保護露	200x	99.46 ± 0.26 a
	500x	100.00 ± 0.00 a

三、*Cordyceps javanica* F084 不同製劑處理對銀葉粉蝨二齡若蟲感染效果測試

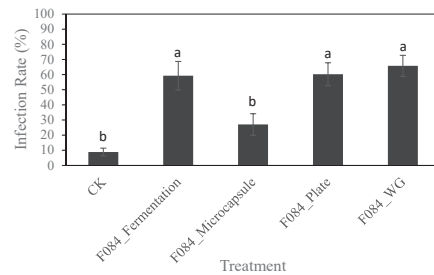
本試驗分別比較固態發酵 (PDA 培養基, F084_Plate)、液態發酵 (F084_Fermentation)、液態發酵液加工製成的水分散性粒劑 (water dispersible granules, F084_WG) 與微膠囊劑 (F084_Microcapsule) 對銀葉粉蝨二齡若蟲的感染效果, 並以 0.05% Tween 20 水溶液做為對照組 (CK)。結果顯示, 無論以固態發酵、液態發酵或是加工製成 WG, 於銀葉粉蝨二齡若蟲感染效果無差異, 約為 60% 左右; 但是若是加工製成微膠囊劑, 則會減低感染效果至 27.02%, 且和對照組相比無顯著差異 (圖二)。

四、*Cordyceps javanica* F084 的 WG 雛型產品在不同溫度和相對濕度對銀葉粉蝨二齡若蟲的感染效果測試

C. javanica F08 WG 雛型產品於 20、25、30°C (固定 90% RH) 對銀葉粉蝨二齡若蟲的感染效果分別為: 37.56、67.94 和 55.06% 於統計分析無差異, 但是相對於對照組 (5.86-7.73%) 皆具有顯著差異, 其中又以溫度 25°C 的感染效果最佳 (圖三 A); 另外在相對濕度測試部分, 50、70 和 90% RH (固定 25°C) 感染效果分別為: 46.08, 38.04 和 64.09%, 統計分析無顯著

差異, 但是 90% RH 表現最佳 (圖三 B)。由此試驗結果顯示, 環境的溫度和相對濕度會影響 F084 WG 雛型產品對銀葉粉蝨的感染效果, 故於田間應用時應注意環境條件, 以發揮防治功效。

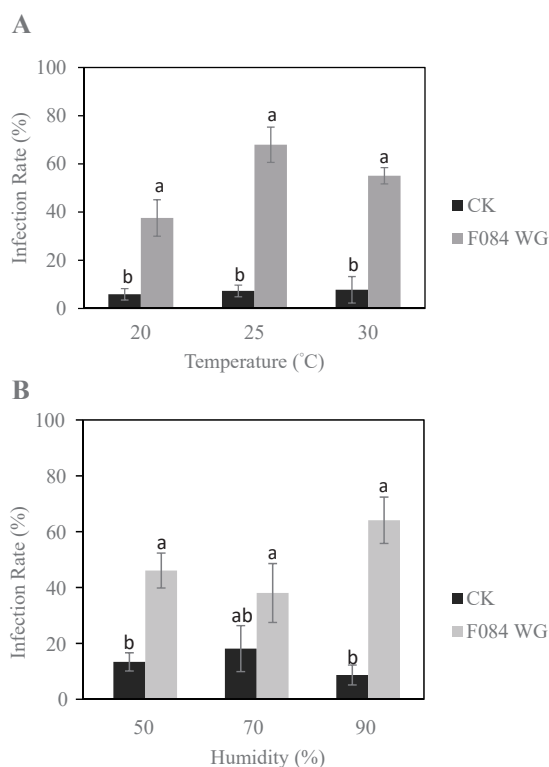
五、*Cordyceps javanica* F084 的 WG 雛型產品施用前之靜置時間對孢子發芽率和銀葉粉蝨若蟲感染率的影響



圖二、*Cordyceps javanica* F084 不同製劑處理對銀葉粉蝨二齡若蟲感染效果測試 (A)。

Fig. 2. Infection rates of different formulations of *Cordyceps javanica* F084 on second-instar silverleaf whitefly nymphs.

(A) 固態發酵 (F084_Plate): 以馬鈴薯煎汁培養基培養, 產生分生孢子 (conidia)、液態發酵 (F084_Fermentation): 液態培養大多產生芽生孢子 (blastospore)、水分散性粒劑 (F084_WG) 和微膠囊劑 (F084_Microcapsule) 皆由液態發酵液加工製成、對照組 (CK) 為 0.05% Tween 20 水溶液。



圖三、*Cordyceps javanica* F084 的水分散性粒劑 (water dispersible granules, WG) 製劑在不同溫度和相對濕度對銀葉粉蝨二齡若蟲的感染效果測試。A：90% RH 不同溫度的感染效果；B：25°C 不同相對濕度的感染效果。

Fig. 3. Infection rates of water dispersible granule formulation of *Cordyceps javanica* F084 on second-instar silverleaf whitefly nymphs under different temperatures and humidities: infection at different (A) temperatures and (B) humidity levels.

(一) 不同時間對發芽率的影響

將 F084 WG 雛型產品配製為濃度 1×10^6 CFU/mL 的懸浮液並靜置 0、30、60、90 以及 120 min 後滴加於水瓊脂培養基上 (water agar, WA)，直接以解剖顯微鏡觀察孢子發芽率。結果顯示，各處理的發芽率分別為 0、0、3.17、4.67 和 5.67%。該結果代表隨著孢子懸浮液靜置的時間越久，發芽率亦提升，且 60、90 和 120 min 的發芽率經統計無顯著差異 (圖四 A)。

(二) 不同時間對銀葉粉蝨若蟲感染力的影響

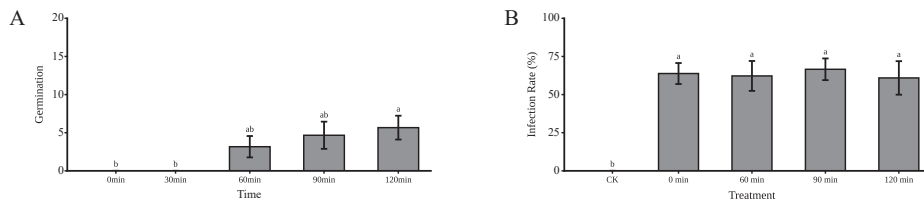
將 F084 WG 雛型產品配製為懸浮液並靜置 0、60、90 及 120 min 後施用於銀葉粉蝨若蟲上，其感染率分別為 63.8、62.2、66.6 及 60.9%。顯示若蟲感染率不會因為靜置時間的長短而有顯著性的差異。若因稀釋濃度較低，而使製劑的副料沾染於植株上，造成白色點狀影響農產品賣相，可透過靜置以取上清液施用 (圖四 B)。

六、*Cordyceps javanica* F084 的 WG 雛型產品連續在田間施用次數與若蟲感染率的關係

本試驗中，噴灑柑桔精油、水和完全不做任何處理的感染率皆為 0%，而施用 F084 WG 雛型產品施用稀釋 100 倍 (濃度為 4.82×10^6 CFU/mL) 和稀釋 200 倍水溶

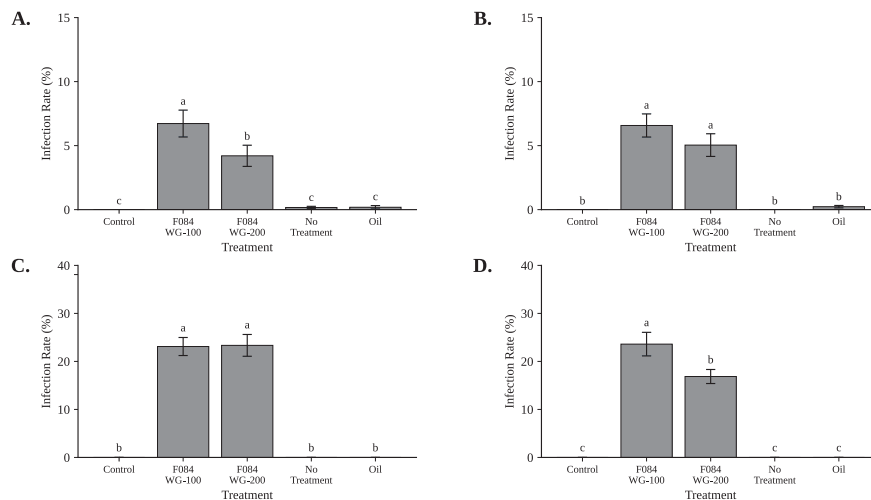
液 (濃度為 2.54×10^6 CFU/mL)，分別進行一週一次的施用，連續兩週後，其若蟲感染率皆小於 15%，然而施用三週後，感染

率提升至 23% 以上 (圖五)，因此建議若應用該雛形產品，需於田間連續施用三週以上的時間。



圖四、*Cordyceps javanica* F084 的水分散性粒劑 (water dispersible granules, WG) 雛型產品施用前之靜置時間對芽生孢子發芽率和銀葉粉蝨若蟲感染率的影響。A：不同時間對發芽率的影響；B：不同時間對銀葉粉蝨若蟲感染力的影響。

Fig. 4. Effect of pre-application of prototype water dispersible granule formulation of *Cordyceps javanica* F084 on spore germination rate and infection rate of silverleaf whitefly nymphs: effect of different treatment times on (A) germination rate and (B) infectivity.



圖五、*Cordyceps javanica* F084 的水分散性粒劑 (water dispersible granules, WG) 雛型產品連續在田間施用次數與感染率的關係。A：施用第一週後，B：施用第二週後，C：施用第三週後，D：施用第四週後的銀葉粉蝨若蟲感染率。

Fig. 5. Relationship between number of field applications of prototype water dispersible granule formulation of *Cordyceps javanica* F084 and infection rate of silverleaf whitefly nymphs. Infection rate following application in the (A) first week, (B) second week, (C) third week, and (D) fourth week.

七、*Cordyceps javanica* F084 的 WG 雛型產品儲架效果

F084 WG 雛形產品在 4°C 的環境中，其活菌數皆能維持在 10^8 CFU/g 至少 8 個月 (data not shown)，然而在 25°C 的環境中，於第二個月的濃度就降低至小於 10^6 CFU/g (圖六)，因此建議較佳的保存條件為 4°C 冷藏。

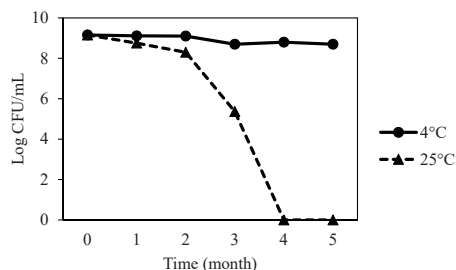
討論

Cordyceps javanica F084 的分生孢子懸浮液於濃度 10^7 和 10^8 CFU/mL 時對銀葉粉蝨二齡若蟲的感染效果最佳，而濃度 10^6 CFU/mL 的處理次之。另有研究指出 *Isaria javanica* 在濃度 5×10^7 conidia/mL 可造成 *Bemisia tabaci* 若蟲 62.4% 的死亡率⁽²²⁾，和本試驗的結果相近。

在蟲生真菌的應用研究中，分生孢子與芽生孢子各具優勢。分生孢子通常透過固體基質生產，利於製成穩定的乾粉劑型，適合儲存與田間施用；液態發酵則易於短時間內產生大量芽生孢子⁽⁴⁾。F084 透過固態培養 (PDA) 主要產生分生孢子，液態發酵則主要產生芽生孢子，且兩者在實驗室條件下對銀葉粉蝨二齡若蟲的感染效果 (約 60%) 並無顯著差異 (圖二)，此結果與其他蟲生真菌研究，例如：以白殭菌防治棉子象鼻蟲 (*Anthonomus grandis*) 與秋行軍蟲 (*Spodoptera frugiperda*) 的試驗結果顯

示，分生孢子和芽生孢子的防治效果亦是相當⁽¹⁰⁾；另有研究以 *Isaria fumosorosea* ARSEF3581 菌株防治柑橘木蝨 (*Diaphorina citri*)，提到無論是分生孢子或芽生孢子在濃度 10^7 propagules/mL (溫度 25°C) 均能於施用 6 d 後，造成柑橘木蝨的死亡⁽¹⁶⁾；Wu 等人 (2023) 以 2 年的棉花田間試驗測試 *C. javanica* 防治 *B. tabaci* 的效果，其認為儘管兩種孢子在田間對 *B. tabaci* 的防治效果無差異，但分生孢子在環境中的存活力通常優於芽生孢子，這或許能解釋為何市售真菌產品仍以分生孢子為主，因其通常更能抵抗高溫 and UV-B 等環境逆境⁽⁴⁾。

近年亦有研究指出，製劑技術對於提升蟲生真菌的穩定性與儲架壽命至關重要⁽²⁶⁾，Murillo-Alonso 等人 (2023) 將 *I. javanica* 孢子和不同的油劑配方混和，發現能夠讓菌株在室溫 (12-34 度) 保存 9 個



圖六、*Cordyceps javanica* F084 的水分散性粒劑 (water dispersible granules) 處理儲架效果。

Fig. 6. Effect of treatment with water dispersible granule formulation of *Cordyceps javanica* F084 on shelf life.

月後，依然能對番茄的 *B. tabaci* 有 43-56% 的死亡率，此試驗結果顯示油基配方能提供熱保護的效果，且配方的初始濕度對最終耐熱性與存放穩定性有重要影響⁽¹⁷⁾。本研究將 F084 液態發酵液製成水分散性粒劑 (WG) 罐型產品，在 4°C 下其活菌數可維持在 10^8 CFU/g 達 8 個月以上，與在比利時 (Belgium) 註冊的國外產品 PreFeRal® (*Isaria fumosorosea* strain Apopka 97) 的冷藏穩定性相似，顯示 WG 劑型有助於延長儲架壽命。然而，若加工製成微膠囊劑則顯著降低了感染效果，推測可能與使用的副料配方或製程影響孢子釋放有關，顯示製劑配方仍需持續優化。

與其他資材混合施用是實際應用時需考量的因素。雖然有研究指出 *C. javanica* 加入 3% JMS oil (礦物油) 的芽生孢子處理在部分試驗中顯示出較高的防治效果，但是若單獨施用菌株，防治效果皆不如預期⁽²⁷⁾。但本試驗發現柑桔精油顯著抑制了 F084 孢子的發芽率，這與 Wang 等人 (2012) 觀察到柑橘精油在高濃度下會抑制部分真菌生長的情況相似⁽²⁵⁾。因此，將 F084 與其他農用資材 (特別是油劑類) 混合使用前，需審慎評估其相容性，以免影響真菌活性。

此外亦有研究指出，環境條件，特別是溫度與相對濕度，會顯著影響 *Cordyceps spp.* 的防治效力，若孢子無法穩定固著於寄主或是葉片上，則造成防治效益不佳⁽²⁰⁾。F084 WG 罐型產品在 25°C 及 90% RH 條件下對銀葉粉蝨若蟲的感染率

最高。這與文獻指出，*C. javanica* 可於 20-30°C 的環境下生長，但不耐 35-40°C 以上高溫的結果一致^(24, 27)。高溫對真菌孢子不利，會降低其活性和感染性，如先前的報導表明，*C. javanica* Wf GA17 在 30°C 以上的毒力大大降低，在 $\geq 35^\circ\text{C}$ 時大多數分生孢子在短期內失去活力時間⁽²⁷⁾，爪哇擬青黴菌 (*Isaria javanica* WH-EP-1) 亦在 25°C 對銀葉粉蝨二齡若蟲有最佳的防治效果⁽³⁾。於相對溼度的試驗中，本試驗發現 90% RH 時造成的銀葉粉蝨若蟲感染率較高 (69.53%)，文獻資料也指出高相對濕度 (如 90-95% RH 以上) 同樣有利於 *Isaria spp.* 的感染。這些結果突顯了在田間應用時，需考量環境溫濕度條件，以最大化 F084 的感染潛力，但也暗示了在高溫或乾燥等不利條件下，其效果可能受限⁽⁶⁾。此外，在本試驗中對照組的若蟲感染率為 5.86-7.73%，略高於田間試驗的對照組感染率 (0%)，因此推測係於同一生長箱培養而造成的汙染所致。

將實驗成果轉化為田間應用是最終目標。本研究田間試驗結果顯示，以 1×10^6 CFU/mL 以上的濃度 (稀釋 100-200 倍) 連續施用 F084 WG 罐型產品三週後，銀葉粉蝨若蟲的感染率約為 23-25%。此感染率雖顯著高於對照組，但以實際防治角度而言可能偏低，且尚未能完全評估其對整體害蟲族群的抑制能力。未來研究將探討總蟲口數的密度變化趨勢，以更全面地評估防治效力。

此外，目前的 WG 罐型產品孢子濃度

約為 10^8 CFU/g，相較於市售產品 PreFeRal® (2×10^9 CFU/g) 明顯偏低。這導致田間施用時需使用較低的稀釋倍數 (100-200 倍)，可能因製劑中其他成分 (副料) 濃度相對較高而造成作物表面產生白色點狀殘留，影響農產品外觀。雖然試驗顯示將稀釋液靜置 1-2 h 後取上清液施用，對若蟲感染率無顯著影響，但此操作方式對於農民實際操作可能不便。因此，未來開發重點將提高 WG 產品的有效成分，並優化製劑配方，以提高田間稀釋濃度，進而提升銀葉粉蝨的感染率。

而在儲架活性方面，F084 之 WG 雛型產品和 PreFeRal® 相同，F084 WG 雛形產品在 4°C 的環境中，其活菌數皆能維持在 10^8 CFU/g 至少 8 個月，PreFeRal® 於冷藏的環境 (2-6°C) 也是至多穩定維持 6 個月。微生物製劑能夠於冷藏環境下保有活性⁽⁵⁾；芽生孢子比較適合保存於 4°C 以下的低溫環境，且製劑使用的添加物種類、水分含量等因子都是影響是否能長期保存的關鍵⁽¹¹⁾；*I. fumosorosea* SFP-198 的芽生孢子的耐熱性低於分生孢子，而玉米油的添加增強了耐熱性⁽¹³⁾。

總結來說，本研究證實本土分離之 *C. javanica* F084 菌株及其 WG 雛型產品對銀葉粉蝨具有感染潛力，且在冷藏條件下具備一定的儲架壽命。然而，田間感染率偏低、產品濃度規格不高，以及可能的操作不便性等問題仍待克服。未來若能進一步提高其在田間環境下的感染效力，並改善製劑配方與規格，F084 菌株將具有發展

成為永續農業中防治銀葉粉蝨之生物防治資材的潛力。

引用文獻

1. 林鳳琪、蘇宗宏、王清玲。1997。溫度對銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii* Bellows & Perring) 發育與繁殖之影響及其在聖誕紅上之發生。中華昆蟲 17: 66-79。
2. 段中漢、潘蕙如、王群中。2018。臺灣五種果樹炭疽病菌之鑑定、病原性及對殺菌劑之感受性。臺灣農藥科學 5: 91-111。
3. 潘蕙如、林立、呂柏寬。2019。爪哇擬青黴菌 (*Isaria javanica* WH-EP-1) 防治銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii* biotype B) 應用評估之研究。花蓮區農業改良場研究彙報 38: 89-104。
4. Bernardo, C. D. C., Pereira-Junior, R. A., Luz, C., Mascarin, G. M., and Kamp Fernandes, É. K. 2020. Differential susceptibility of blastospores and aerial conidia of entomopathogenic fungi to heat and UV-B stresses. Fungal Biol. 124: 714-722.
5. Blanford, S., Jenkins, N. E., Christian, R., Chan, B. H., Nardini, L., Osae, M., Koekemoer, L., Coetzee, M., Read, A. F., and Thomas, M. B. 2012. Storage and persistence of a candidate fungal biopesticide for use against adult malaria

- vectors. *Malar. J.* 11: 354.
6. Bohatá, A., Folorunso, E. A., Lencová, J., Osborne, L. S., and Mraz, J. 2024. Control of sweet potato whitefly (*Bemisia tabaci*) using entomopathogenic fungi under optimal and suboptimal relative humidity conditions. *Pest Manag. Sci.* 80: 1065-1075.
 7. Charnley, A. K., and Collins, S. A. 2007. Entomopathogenic fungi and their role in pest control, pp. 159-178. *In*: C. Kubicek & I. Druzhinina. [eds.], *Environmental and microbial relationships*. Springer, Berlin, Heidelberg. 350 pp.
 8. Food and Agriculture Organization Statistics (FAOSTAT). 2017. Production – Crops – Area harvested/ Production quantity – Tomatoes –2014. FAO Statistics online database, FAO, Rome, Italy.
 9. Horowitz, A. R., Ghanim, M., Roditakis, E., Nauen, R., and Ishaaya, I. 2020. Insecticide resistance and its management in *Bemisia tabaci* species. *J. Pest Sci.* 93: 893-910.
 10. Iwanicki, N. S. A., Lopes, E. C. M., de Lira, A. C., Poletto, T. B., Fonceca, L. Z., and Delalibera Júnior, I. 2023. Comparative analysis of *Beauveria bassiana* submerged conidia with blastospores: yield, growth kinetics, and virulence. *Biol. Control.* 185: 105314.
 11. Jackson, M. A., Erhan, S., and Poprawski, T. J. 2006. Influence of formulation additives on the desiccation tolerance and storage stability of blastospores of the entomopathogenic fungus *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes). *Biocontrol Sci. Techn.* 16: 61-75.
 12. Khan, S., Guo, L., Maimaiti, Y., Mijit, M., and Qiu, D. 2012. Entomopathogenic fungi as microbial biocontrol agent. *Mol. Plant Breed.* 3: 63-79.
 13. Kim, J. S., Je, Y. H., Skinner, M., and Parker, B. L. 2013. An oil-based formulation of *Isaria fumosorosea* blastospores for management of greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *Pest Manag. Sci.* 69: 576-581.
 14. Lee, Y. S., Han, J. H., Kang, B. R., and Kim, Y. C. 2019. Dibutyl succinate, produced by an insect-pathogenic fungus, *Isaria javanica* pf185, is a metabolite that controls of aphids and a fungal disease, anthracnose. *Pest Manag. Sci.* 75: 852-858.
 15. Maina, U. M., Galadima, I. B., Gambo, F. M., and Zakaria, D. 2018. A review on the use of entomopathogenic fungi in the management of insect pests of field crops. *J. Entomol. Zool. Stud.* 6: 27-32.
 16. Morales-Reyes, C., Mascarin, G. M., Jackson, M. A., Hall, D., Sánchez-Peña, S. R., and Arthurs, S. P. 2018. Comparison of

- aerial conidia and blastospores from two entomopathogenic fungi against *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) under laboratory and greenhouse conditions. *Biocontrol Sci. Techn.* 28: 737-749.
17. Murillo-Alonso, K. T., Salazar-Magallón, J. A., Olarte-Lozano, M. Peña-Chora, G., Hernández-Baltazar, E., Toriello, C., and Hernández-Velázquez, V. M. 2023. Evaluation of *Isaria javanica* (Hypocreales: Cordycipitaceae) oil dispersion formulations for the control of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Int. J. Trop. Insect Sci.* 43: 2179-2187.
18. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). 2017. Safety assessment of transgenic organisms in the environment, Volume 7: OECD consensus documents, harmonisation of regulatory oversight in biotechnology. OECD, Paris, France. 244 pp.
19. Oliveira, M. R. V., Henneberry, T. J., and Anderson, P. 2001. History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Prot.* 20: 709-723.
20. Pick, D. A., Avery, P. B., Qureshi, J. A., Arthurs, S. P., and Powell, C. A. 2021. Field persistence and pathogenicity of *Cordyceps fumosorosea* for management of *Diaphorina citri*. *Biocontrol Sci. Techn.* 32: 151-162.
21. Sani, I., Ismail, S. I., Abdullah, S., Jalinas, J., Jamian, S., and Saad, N. 2020. A review of the biology and control of whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), with special reference to biological control using entomopathogenic fungi. *Insects* 11: 619.
22. Santos, T. T. M., Quintela, E. D., Mascarín, G. M., and Santana, M. V. 2018. Enhanced mortality of *Bemisia tabaci* nymphs by *Isaria javanica* combined with sublethal doses of chemical insecticides. *J. Appl. Entomol.* 142: 598-609.
23. Schuster, D. J. 2003. Preference of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) for selected vegetable hosts relative to tomato. *J. Agric. Urban Entomol.* 20: 59-67.
24. Shah, R., Al-Sadi, A. M., Nasser Al-Sabahi, J., Al-Raeesi, A. A., Khamis Said Al-Rawahi, K., Saud Al-Rashdi, A., and Velazhahan, R. 2020. Efficacy of an Omani strain of *Cordyceps javanica* and its culture filtrate against whitefly (*Bemisia tabaci*) under laboratory conditions. *All Life* 13: 615-622.
25. Wang, H., Tao, N., Huang, S., and Liu, Y. 2012. Effect of Shatangju (*Citrus reticulata* Blanco) essential oil on spore germination and mycelium growth of *Penicillium digitatum* and *P. italicum*. *J. Essent. Oil Bear. Plants* 15: 715-723.
26. Wu, S., Toews, M. D., Behle, R. W.,

- Barman, A. K., Sparks, A. N., Simmons, A. M., and Shapiro-Ilan, D. I. 2023. Post-application field persistence and efficacy of *Cordyceps javanica* against *Bemisia tabaci*. J. Fungi (Basel). 9: 827.
27. Wu, S., Toews, M. D., Oliveira-Hofman, C., Behle, R. W., Simmons, A. M., and Shapiro-Ilan, D. I. 2020. Environmental tolerance of entomopathogenic fungi: A new strain of *Cordyceps javanica* isolated from a whitefly epizootic versus commercial fungal strains. Insects 11: 711.

Preliminary Study on Infection Efficacy of Water Dispersible Granule Formulation of *Cordyceps javanica* F084 against *Bemisia tabaci* MEAM1 on Tomato

Yi-Ting Xiao¹, Feng-Chia Hsieh¹, Hui-Ru Pan^{1*}

Abstract

Xiao, Y. T., Hsieh, F. C., and Pan, H. R. 2026. Preliminary study on infection efficacy of water dispersible granule formulation of *Cordyceps javanica* F084 against *Bemisia tabaci* MEAM1 on tomato. Taiwan Pestic. Sci. 20: 47-63.

As a major global economic crop, tomatoes (*Solanum lycopersicum*) are widely cultivated across various climate zones. In Taiwan, tomatoes possess significant economic value; however, the tomato industry faces severe challenges from the silverleaf whitefly (*Bemisia tabaci* MEAM1). This pest not only has a broad host range but also transmits numerous plant viruses, leading to substantial losses in crop yield and quality. Currently, the management of silverleaf whitefly primarily relies on chemical pesticides; unfortunately, resistance to these pesticides is escalating. With growing demands for food safety and environmentally friendly practices, the use of entomopathogenic fungi in biological control has thus become a research focus. This study therefore examined the efficacy of the entomopathogenic fungus *Cordyceps javanica* (strain F084) against silverleaf whitefly under different fermentation methods and formulation treatments. The results indicated that F084 produced conidia through solid-state cultivation and generated abundant blastospores via liquid fermentation, making it suitable for various formulation applications. Furthermore, an exploration of the impacts of different non-pesticide materials, application methods, resting times, environmental temperatures, and humidity levels on the

Accepted: January 22, 2026.

* Corresponding author, E-mail: hrpan@acri.gov.tw

¹ Agricultural Chemicals Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung

effectiveness of F084 revealed that F084 performed optimally at 25°C and high humidity and that its water dispersible granule prototype formulation remained viable for at least 8 months under 4°C storage. Overall, the study suggests that F084 has good potential as a sustainable biological control solution to reduce the use of chemical pesticides and enhance crop safety.

Key words: *Cordyceps javanica*, liquid fermentation, water dispersible granules, *Bemisia tabaci* MEAM1, entomopathogenic fungi