

有益微生物加值技術應用於作物耐逆性之提升

陳俊位、郭建志、曾宥紘

農業部臺中區農業改良場

chencwol@tcdares.gov.tw

摘要

近年全球暖化及氣候變遷，導致農損問題加劇，植物逆境主要包括乾旱、寒冷、高溫、澇害、鹽鹼、病蟲害和環境污染等。逆境可以影響植物水分、光合作用、呼吸、代謝等過程，並導致病蟲害大發生，造成農產嚴重損失。臺中區農業改良場長期投入微生物功能性應用與產業需求研發，落實研發成果商品化及產業化，近年篩選多種有益功能性微生物菌株，依據不同栽培施用目的，開發多元微生物製劑產品，包括生物性堆肥、生物性液肥、羽毛分解菌、微生物肥料及微生物農藥等。為加值相關研發製劑產品價值與市場競爭力，透過微生物研究實際導入作物耐候性提升之應用，除篩選具潛力之菌株、開發適當商品外，並建立微生物提升作物逆境能力之驗證流程，提供候選菌株及產品之效能驗證，在菌株原有之功能上(如防治病蟲害/微生物肥料)，再賦予產品抗逆境能力的功能，藉由加值技術提升產品在市場的競爭力。耐候能力篩選平臺以生物刺激素檢測、耐逆境調控基因篩選(高溫、乾旱、淹水)、生物膜檢測及表型體分析耐寒能力四種為主，本場菌株進入平臺篩選有16株。其中在生物刺激素檢測上鏈黴菌 TCSF7-6 菌株具有多種CDPs(屬環二肽合成酶)。耐逆境調控基因篩選在耐高溫上有：鏈黴菌TCSS01及液化澱粉芽孢桿菌Tcb43，耐乾旱：液化澱粉芽孢桿菌Tcba05，耐淹水：TCSF7-6 及木黴菌TCT168。生物膜檢測在白菜根系生物膜：地衣芽孢桿菌 TCLigB/ Tcba05 (改良配方)/ TCSF7-6 (改良配方)，耐乾旱：Tcba05 (改良配方)/ TCSF7-6 (改良配方)，表型體分析平臺耐寒能力：木黴菌TCT-P003 及 TCLigB。相關菌株進行田間確效試驗，應用在夏季設施葉菜類栽培上，可克服高溫與靈雨等逆境因子，提升單位面積產量25~30%。此外，耐逆境平臺篩選上，木黴菌系列菌株在耐淹水及提升作物耐寒能力上的效果顯著，應用在夏季花椰菜、絲瓜、苦瓜栽培上，可克服夏季高溫、豪雨淹水及土壤鹽基累積等環境逆境，讓作物開花正常。而在小番茄栽培上，冬天可抵抗低溫逆境，夏季可抗設施內高溫逆境，維持作物正常生長。相關技術除增加現有產品價值與應用面外，對提升現有品種在逆境下的調適能力並能穩定生產，助益極大，未來大面積推廣將可減少農業災損及農民損失。

關鍵字：微生物製劑、有益微生物、逆境、木黴菌、芽孢桿菌



前 言

近年來，由於全球暖化及氣候變遷，使得降雨的時間、空間的分布嚴重不均，乾旱地區增加或長時間缺水、沿海地區暴雨季節淹水，造成土壤鹽化問題也日趨嚴重，使農作物與動物生產的不穩定性增加。在「臺灣版氣候變遷報告」中特別預警未來臺灣的夏季恐拉長、冬天將消失，我國將因氣候變遷受全方面衝擊，農業將首當其衝，農損問題勢必加劇。據農業部統計，近15年因天災造成農業損失平均每年124億元（其中2016年災損更高達383.4億元）。現階段園藝作物克服環境逆境之方式多以優勢品種或利用設施等對策提供作物栽培保護，然而育成一適應性佳之優勢品種需耗時5-10年的時間，無法有效減緩極端氣候所帶來之損害。而設施的應用並非每一農戶皆有能力負擔，且許多作物亦難以藉由設施達到避害之效果，且後續需擔心氣溫上升後高溫障礙及設施內病蟲害等問題。對植物生存與生長不利的不良環境稱逆境(stress)，主要包括乾旱、寒冷、高溫、澇害、鹽鹼、病蟲害和環境污染等。逆境是各種環境因素對植物生長和生存不利的總稱，逆境可以影響植物水分、光合作用、呼吸、代謝等過程，並導致病蟲害大發生，造成農產嚴重損失。為此，如何減輕農作物受這些環境逆境之影響，使農作物生產供貨能維持穩定，避免產生供需失調、物價上漲之嚴重民生與社會問題，為目前研究之當務之急，其中以提升作物抗逆境能力的微生物製劑及其代謝產物最具發展潛力。

微生物製劑傳統使用的功能包含有幾大項：(1)促進植物生長，如菌根菌、固氮菌及根圈有益微生物菌群等；(2)病蟲害生物防治，如蘇力菌、木黴菌及枯草桿菌等；(3)改

善作物生長環境，如溶磷菌、加速腐植酸合成及提高土壤團粒結構之特定微生物。另外尚有產生植物賀爾蒙、誘發植物抗病反應、減低土壤鹽害、誘使其它有益微生物產生等功能的微生物群。不同微生物經研究投入已開發成微生物肥料與生物農藥等產品，然因近年來極端氣候發生頻繁，已嚴重影響作物生長，應用微生物以提升作物抗逆境的能力的產品開發也逐漸被重視及研究，抗逆境微生物與植生刺激素成為微生物製劑市場的新角色！目前已知微生物可應用於減緩作物根系生長逆境，作用於根圈功能包含生產植物激素如IAA、促進作物對養分吸收如磷(溶磷)、鉀(溶鉀)、鐵(載鐵物質)，生成ACC脫氨酶以減少植物逆境下生成之乙烯量，減緩乙烯抑制植物根系生長等作用。

近年來生物刺激素(Bio-stimulants)在提升作物抗逆境能力上的發展與產品開發上蓬勃發展，生物刺激素是：一種包含某些成分或微生物物質，可以提高作物的生長與發育，施用於植物或根圈附近，可以促進植物的生理代謝、增強和提升營養物質的吸收與利用率、改善植物抵抗逆境的能力及提高產量與品質(歐洲生物刺激素產業協會(European Bio-stimulants Industry Council, EBIC) 2012年定義)，生物刺激素依照有效成分可區分成腐植質、有機酸、海藻、多糖類、胺基酸、胜肽類、礦物質肥料、維他命、微生物(活菌)及植物/微生物的提取物(植物萃取無機物/幾丁質/蒸散劑/微生物成分)，依定義而言包括微生物及其代謝產物，具可增加作物產量、品質、與耐候能力。此外，生物刺激素的種類中近年來逐漸重視可進入植物體內與植物建立互利共生關係而不具病原性的植物內共生菌，因其具有高度物種多樣性且普遍存在於各種植物之中，通常單一植物個體內之內共生菌種類繁多，可囊括數個屬。先前研究

報告已指出內共生細菌對宿主適應環境之貢獻，如：內共生菌(*Solanum* sp.) 具有抗細菌、抗真菌的能力；有些內共生菌則會分泌植物激素如：吲哚乙酸、吉貝素，可促進宿主植物生長；有些則分泌(ACC)可控制植物乙烯分泌量而促進植物生長。

市面上目前已有許多項微生物製劑產品，宣稱具有提升作物耐逆境之能力，然利用微生物製劑進行根部澆灌後，其使用成效往往受限於栽培介質中之有效菌數量。除此之外，不同植物、植物生長的環境與其相關的微生物和大型生物影響下，也可能導致微生物應用之效果無法達到預期，亦或無法了解施用後其微生物之適存性及對自然環境生態之影響。微生物研究實際導入作物耐候性提升之應用，目前除田間測試外，缺乏適當的學理基礎佐證與標準化的驗證流程。本報告將介紹本場近年來在提升作物耐逆境能力的菌株篩選，結合中興大學與農科院智慧化篩選平臺與驗證能量，探究有益微生物對環境逆境如淹水、低溫、高溫及乾旱等逆境調適的關鍵因子，並建立智慧化篩選平臺與田間確效驗證場域，加速開發增加作物對環境逆境緩解與調適能力的加值型微生物製劑，在新的抗逆境作物品種選育出來之前，運用所開發的微生物製劑能提升現有品種在逆境下的調適能力並能穩定生產，減少農業災損及農民之損失。

內 容

一、微生物菌株耐候能力、平臺驗證與田間測試 加值抗逆境能力

臺中區農業改良場長期投入微生物功能性應用與產業需求研發，落實研發成果商品化及產業化，近年篩選多種有益功能性微生物菌株，依據不同栽培施用目的，開發多元微生物製劑產品，包括生物性堆肥、生物性

液肥、羽毛分解菌、微生物肥料及微生物農藥等，提供農友導入於有機、友善及慣行環境栽培模式中使用。而功能性微生物菌株亦可以輪流施用於農作物，給予作物於生長期至收穫期間不同的保護與協助，以達到最佳的效益。為加值相關研發製劑產品價值與市場競爭力，本場110-113年執行「農業用微生物產業固本與加值應用技術研發-發展農業用微生物產業加值應用技術增加作物對環境逆境的緩解能力」計畫，透過微生物研究實際導入作物耐候性提升之應用，除篩選具潛力之菌株、開發適當商品外，並建立微生物提升作物逆境能力之驗證流程，提供候選菌株及產品之效能驗證，在菌株原有之功能上(如防治病蟲害/微生物肥料)，再賦予產品抗逆境能力的功能，藉由加值技術提升產品在市場的競爭力。

(一) 測試功能性微生物菌株介紹

篩選應用於夏季設施葉菜類作物栽培之微生物菌種共有4種，分別為木黴菌(*Trichoderma asperelloides*)TCT768、液化澱粉芽孢桿菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)Tcba05、產脲節桿菌(*Arthrobacter ureafaciens*)TC4-1C及地衣芽孢桿菌(*Bacillus licheniformis*)TCLigB。其中木黴菌TCT768特性為可與作物根系共生，幫助根系吸收利用養分與促進環境中有機資材分解，並有提升作物耐淹水與高溫逆境等功能；液化澱粉芽孢桿菌Tcba05菌株，具有多種分解酵素特性，並對於多種土壤傳播性病原菌具有抑制生長之能力，預先施用可降低其病害發生。該菌株已完成微生物農藥商品化，產品為菌力寶一號(可溼性粉劑)及二號(水懸劑)。產脲節桿菌TC4-1C菌株則具溶磷及耐鹽能力，可利用多種高氮資材，例如羽毛、菜籽粕、雞糞及牛糞作為繁殖所需碳氮源，TC4-1C菌株培養於含1%臺肥即溶肥料5號或6號環境中，經培養



4天可完全分解羽毛，可應用於生產高磷鉀且富含胺基酸之液體肥料。地衣芽孢桿菌 TCLigB 菌株為本土且具溶磷與生成 IAA 能力，屬於生物安全菌種，該菌株另具分解木質素與纖維素潛力，可與多種資材複合開發各種固態菌劑或含菌肥料，另經試驗有提高葉菜作物耐淹水潛力及提高木瓜抗寒潛力。

(二) 微生物提升作物耐逆境能力測試與驗證平臺

為確定臺中場與其他場試所篩選的微生物菌株具有提升作物抗逆境能力，並藉由學理驗證闡明其作用機制，110年起在「農業用微生物產業固本與加值應用技術研發」統籌計畫項下本場負責「發展農業用微生物加值應用技術增加作物對環境逆境的緩解能力」子項計畫，統合各試驗場所與大專院校在微生物製劑之研發與驗證能量，運用功能性微生物發展耐候農業，以提升植物耐候能力，穩定糧食生產。針對四個逆境情境：1.耐淹水：搶救葉菜類能耐淹水72小時，2.耐低溫：緩和熱帶果樹在15°C夜溫下能耐凍8小時，3.耐高溫：支撐設施作物在50°C日溫下熬6小時，及4.耐乾旱：紓解蔬果類作物乾旱缺水-14bar撐3天。運用微生物提升作物抗這些逆境的能力。

目前委託中興大學與農科院建置四個耐逆境能力測試平臺，分別為1.)「微生物植生刺激素於作物耐逆境能力提升平臺測試工作」，篩選目標微生物生產代謝之生物刺激素應用於植物栽培逆境(淹水)分析。2.)「微

生物誘導作物相關耐逆境調控基因之篩選平臺測試工作」，利用阿拉伯芥篩選平臺，選出適用提升耐逆境(淹水與乾旱)之農用微生物。3.)「微生物生物膜對作物耐逆境能力提升之評估平臺測試工作」，微生物生物膜生成量與作物耐逆境(乾旱、淹水)提升之關聯性評估。4.)「作物於逆境表現下之表型體篩選平臺測試工作」，作物於逆境(低溫)表現下之表型體篩選平臺測試。110-112年間測試各農改場提供菌株34株，本場提供已測試的菌株有15株(表一)。其中在生物刺激素檢測上鏈黴菌 TCSF7-6 菌株具有多種CDPs(屬環二肽合成酶)。耐逆境調控基因篩選在耐高溫上有：鏈黴菌 TCSS01及液化澱粉芽孢桿菌 Tcb43，耐乾旱：液化澱粉芽孢桿菌 Tcba05，耐淹水：TCSF7-6 及木黴菌 TCT168。生物膜檢測在白菜根系生物膜：地衣芽孢桿菌 TCLigB/ Tcba05 (改良配方)/ TCSF7-6 (改良配方)，耐乾旱：Tcba05 (改良配方)/ TCSF7-6 (改良配方)，表型體分析平臺耐寒能力：木黴菌 TCT-P003 及 TCLigB(表二)。上述菌株是本場目前在篩選平臺上在各逆境條件測試上表現最佳菌株，其他菌株亦有相同抗逆境能力，不同培養基配方會改變各抗逆境能力。相關菌株在本場田間淹水逆境確效驗證場域評估，藉由學理驗證與田間確效試驗，讓有益微生物除病蟲害防治與肥料應用效益外，並有提升作物抗/耐逆境能力，讓產品在未來上市後能有強的市場競爭力。

表1. 耐候微生物菌株機制分析平臺_臺中場供試清單

Table 1. Weather-resistant microbial strain mechanism analysis platform_TCDARES test list

菌株代號	生物刺激素檢測	耐逆境調控 基因篩選	生物膜檢測	表型體分析(木瓜寒害)
TCLigB	◎	◎	◎	◎
CL3	◎	◎		
Tcba05	◎	◎	◎	
Tcb43	◎	◎		◎
TCSF7-6	◎	◎	◎	◎
TCSS01		◎	◎	
TCT-P001	◎	◎		◎
TCT-P003				◎
TCT-P004		◎		
TCB102-B7				◎
TCT168	◎	◎		
TCT568				◎
TCT668				◎
TCT768				◎
TCT968				◎

表2. 各場具耐候潛力之微生物菌株

Table 2. Microbial strains with weather resistance potential in each station

耐候機制平臺	耐候潛力菌株*
生物刺激素檢測	34株供試菌株均無產生PQQ能力，而多種鏈黴菌如KHY26 / TCSF7-6 菌株具有多種CDPs (屬環二肽合成酶)
耐逆境調控基因	耐高溫：MLBv173 / MLBS8-8/ TDBSI01 /KHH13 /KHT3 /TCSS01/Tcb43 耐乾旱：MLBv173 / MLBS8-8/ TDBSI01 /KHH13/ KHT3/ Tcba05 耐淹水：KHT3/ TCSF7-6 / TCT168
生物膜檢測	白菜葉表生物膜：MLBa15-4 白菜根系生物膜：TCLigB/ Tcba05 (改良配方)/ TCSF7-6 (改良配方) 耐乾旱：Tcba05 (改良配方)/ TCSF7-6 (改良配方)
表型體分析平臺	耐寒：TCT-P003 / TCLigB

* 耐候潛力菌株供應改良場編號：MLB- (苗改場)、TD- (臺東場)、KH- (高雄場)及TC- (臺中場)



(三) 功能性抗逆微生物製劑於夏季設施葉菜類栽培之應用

臺灣夏季氣候高溫多濕，葉菜類作物若採露天栽培，容易受豪雨淹水、高溫及病蟲害因素影響產量與品質。利用設施環境作為夏季葉菜類作物栽培，雖可降低強風豪雨侵襲，提供葉菜類作物穩定生長環境。但近年氣候多變，夏季設施葉菜類栽培仍會受到環境逆境之影響，導入功能性微生物製劑為克服極端氣候的新選擇。於耐候微生物菌株機制分析平臺中得知，供試菌株木黴菌TCT768耐淹水、液化澱粉芽孢桿菌Tcba05耐乾旱、地衣芽孢桿菌TCLigB及Tcba05生物膜形成能力佳，可幫助作物抗夏季環境逆境。產脲節桿菌TC4-1C及TCT768分解有機質能力強。依據之前試驗以可穩定提升20%以上產量、增加植體內25%維他命C含量及降低20%亞硝

酸鹽含量等為篩選條件，設計出2種組合(A與B)，其中A組合處理為：播種後立即澆灌液化澱粉芽孢桿菌Tcba05，之後每隔7天依序澆灌木黴菌TCT768、產脲節桿菌TC4-1C與液化澱粉芽孢桿菌Tcba05，共計澆灌3次，有助於葉菜類種子發芽率提升、苗立枯病防治、加速土壤有機質豆粕類分解及生育期間病害預防等協同作用，單位面積產量相較對照組可增25~30%。B組合則是播種後立即澆灌地衣芽孢桿菌TCLigB，之後每隔7天均澆灌液化澱粉芽孢桿菌Tcba05(商品名：菌力寶二號)，分析其植體之維他命C含量可增加25%以上，有助於提高對環境逆境之耐受性，亞硝酸鹽含量可降低20%以上，此外產量亦可提升20%。為夏季設施葉菜類在高溫與雷雨逆境下的微生物製劑施用最佳組合模式(表三)。

表3. 設施葉菜類不同功能性微生物最佳施用組合與效益*

Table 3. Optimal application combinations and benefits of different functional microorganisms for greenhouse leafy vegetables*

A	種子播種後澆灌 Tcba05_250X	第一次(7天) TCT768_100X	第二次(14天) TC4-1C_250X	第三次(21天) Tcba05_250x	效益
功效	提升發芽率	蔬菜苗立枯病防治	促進豆粕類有機質分解	蔬菜病害保護	提升單位面積產量25~30%
B	種子播種後澆灌 TCLigB_250X	第一次(7天) Tcba05_250X	第二次(14天) Tcba05_250X	第三次(21天) Tcba05_250X	效益
功效	提升發芽率及緩解環境逆境	蔬菜病害預防緩解逆境	蔬菜病害預防緩解逆境	蔬菜病害預防緩解逆境	增加維他命C含量25% 降低亞硝酸鹽含量20% 產量提升20%

* 耐淹水：木黴菌TCT768、耐乾旱：液化澱粉芽孢桿菌Tcba05、生物膜形成能力：地衣芽孢桿菌TCLigB及Tcba05、分解有機質能力：產脲節桿菌TC4-1C及TCT768。

二、單一菌種多功能性加值產品開發與田間作物抗逆境應用

市面上相關微生物製劑產品品項單一，相同性質產品多，其中又以枯草桿菌/液化澱粉芽孢桿菌為主，使用功能除生物農藥外，

概以溶磷/溶鉀菌等微生物肥料為主，如能開發多功能性加值產品，將可提升產品競爭力與市場銷售量。以本場多年來以木黴菌菌種結合農業剩餘物質開發多種產品為例，可使產品多樣化並具市場競爭力。各項技術產品

為1.)稻穀及相關種子汙染或剩餘物質開發成木黴菌固態菌種量產資材，可作為作物種苗接種劑、堆肥發酵接種劑及生物農藥量產製劑。2.)結合農業剩餘物質開發成生物性堆肥，利用木黴菌製劑分解能力強特性，將蔗渣、稻穀、動物糞便及菇類栽培後的剩餘物質開發成具肥效與能改善土壤質地的固態有機堆肥。3.)功能性微生物製劑之開發，利用木黴菌將過期奶粉、海草粉、矽藻土、魚雜/蝦蟹殼與製糖剩餘物質糖蜜等混合發酵，產製出具有促進植物生長、提升產量品質與增加作物抗環境逆境能力的液態功能性微生物製劑。其發酵過程產生的有機酸，海藻多糖類、胺基酸、胍肽類、礦物質成分、幾丁聚醣與微生物成分與現行生物刺激素規範成分相同。4.)天然素材植物保護製劑之開發，以漁業剩餘物質蝦蟹殼粉結合微生物發酵開發出天然

有機之幾丁聚醣合劑，具防治作物白粉病與露菌病之效果。添加天然矽藻土則有提升作物抗倒伏與病蟲害能力。矽藻土礦物質成分與幾丁聚醣屬生物刺激素成分，更有提升作物抗逆境能力效益。5.)將菇類剩餘物質開發成新型栽培介質，利用木黴菌製劑接種菇類剩餘物質，以簡易製程快速去化方式，將菇類剩餘物質開發成抑病介質與根系周界環境及溫度控制資材，減少作物根系病害危害與環境逆境對作物造成的影響(表四)。木黴菌相關菌種在之前研究即對諸多土壤病原菌有拮抗或防治效果，而在前所敘述耐逆境平臺篩選上，木黴菌系列菌株在耐淹水及提升作物耐寒能力上的效果顯著，除提供學理驗證資料外，也對現有產品田間應用效果顯著提供佐證與加值效益。

表4. 木黴菌多功能性加值產品開發與產品特性

Table 4. Development and product characteristics of *Trichoderma* multifunctional value-added products

技術名稱	使用物料	產品效果與用途
木黴菌固態菌種接種劑	稻穀、菇包木屑	效果：提升育苗存活率、抗淹水、抗乾旱、抗鹽害、提高磷肥吸收及減輕病蟲害 產品：堆肥分解劑、農業剩餘物質處理劑、飼料添加劑
生物性堆肥	稻桿、蔗渣、稻穀、米糠、粕類、動物糞便、蝦蟹蚵殼、魚鱗、動物內臟、血水與殘體	效果：具肥效、土壤改良、抗淹水、抗乾旱、抗鹽害、抗倒伏及提升植物病蟲害抗性 產品：有機質肥料等
功能性微生物製劑	乳清蛋白、海草粉、矽藻土、蝦蟹殼、糖蜜、魚骨粉、肉骨粉、菸草粕、蓖麻粕、苦茶粕……	效果：抗淹水、抗乾旱、抗鹽害、抗高低溫障礙、提升開花能力及提升植物病蟲害抗性 產品：生物肥料、飼料添加劑、除臭劑、水產養殖添加劑
天然素材植物保護製劑	甲殼素、矽藻土、海草粉、苦楝粕	效果：具肥效、抗淹水、抗乾旱、抗高低溫障礙、提升開花能力及防治病蟲害 產品：有機液肥、免登資材、生物刺激素
菇類剩餘物質多功能產品	菇包木屑 菇類下腳料	效果：具肥效、枝條分解、除臭、飼料添加、抗淹水、抗乾旱、抗高低溫障礙、提升開花能力及減輕病蟲害 產品：有機質肥料、農業剩餘物質處理劑、栽培介質與除臭墊料



(一) 功能性微生物製劑於夏季露天白花椰菜栽培之應用

全臺花椰菜栽培面積約1,616公頃，其中彰化縣埔鹽鄉種植547.95公頃，占全臺約34%，為花椰菜重要產區。近年因氣候變遷之夏季高溫、豪雨及連作障礙等問題，使花椰菜生長受阻、開花延遲、花朵發育異常或植株死亡，影響農友收益。為改善夏季栽培問題，克服花椰菜連作障礙，本場應用的克服措施有：1.)每分地撒施或整地拌施菇包剩餘物質接種木黴菌之土壤改良堆肥(菇浚鮑)500~750公斤，以克服土壤鹽基累積之連作障礙。2.)幼苗接種耐高溫木黴菌TCTr668，可增加環境逆境抵抗性，並使種植存活率由未接種之80%以下提升至近100%，減少農民補植成本。在豪雨期間，以木黴菌處理之植株死亡率低於1~5%，明顯優於未接種死亡率之50~70%以上。3.)夏季高溫會影響花椰菜花球發育與產量，利用新開

發之高磷酸鈣木黴菌液肥，可使花球正常發育，施用兩個月後產量增加3成以上，且花球碩大且飽滿，口感也更好。

本項克服夏季花椰菜栽培逆境技術，即綜合運用木黴菌育苗接種劑、菇包木屑類生物性堆肥及功能性微生物製劑等技術產品，如應用菇包木屑接種木黴菌TCT-768開發的土壤改良資材，在花椰菜苗種植前接種木黴菌TCTr-668，並以TCT-168魚骨粉配方及TCT-768矽藻土配方開發的高磷鈣液肥，於田間栽培施用，有效幫助花椰菜克服夏季高溫、豪雨淹水及土壤鹽基累積等環境逆境，而所選用的木黴菌相關菌種在之前研究即對蔬菜苗期立枯病菌(*Rhizoctonia solani*)有拮抗效果，而在前所敘述耐逆境平臺篩選上，木黴菌系列菌株也在耐淹水上的效果顯著，結合相關產品提升田間應用效果，除增加產量外，也能讓農民節省生產成本與增加收益。



圖1. 木黴菌功能性製劑在花椰菜耐淹水與克服夏季高溫逆境試驗

Figure 1. Trichoderma functional preparations in cauliflower waterlogging resistance and overcoming summer high temperature adversity test

(二) 夏季高溫與淹水逆境木黴菌製劑在絲瓜與苦瓜栽培之應用

瓜果類作物為國內夏季重要蔬菜，包括胡瓜、絲瓜、苦瓜、冬瓜及扁蒲等，這些作物由於採收期長，生產期間常因遭遇豪雨及颱風侵襲，極易發生萎凋病，嚴重影響農友收益。目前產地農民多採取嫁接苗來降低萎凋病發生，但因嫁接種苗成本高、雨季來臨時的根系淹水障礙與錯誤的施肥方式導致萎凋病的防治效果每況愈下。本場積極開發有機栽培可使用之微生物製劑。運用木黴菌與放線菌相關製劑產品在田間絲瓜與苦瓜栽培管理上，可降低90%以上的萎凋病受害率，並克服夏季高溫與淹水逆境。其在絲瓜上施用方法為：1.)田間基肥每分地先施用木黴菌堆肥發酵接種劑處理的菇包剩餘物質15~20包(25公斤裝)，2.)絲瓜苗種植前可採浸泡或澆灌方式接種木黴菌育苗接種劑，3.)種植後再

配合澆灌木黴菌液肥100~200倍，採收期澆灌與葉噴含甲殼素與矽藻土液肥配方100倍，可有效抑制絲瓜萎凋病之發生，克服目前萎凋病無藥可治的窘境。

如果在絲瓜基部再追加灑施菇類剩餘物質堆肥，或置放整包的菇類剩餘物質堆肥，更可保護絲瓜的根部不會受到萎凋病的危害，防治率可以達到近100%。此外，絲瓜生育期間葉面噴施所開發的甲殼素合劑，可有效防治白粉病及露菌病等病害，並減輕根系因下雨而產生的生理萎凋障礙；在這幾年颱風及豪雨的侵襲下，前述微生物製劑除有效保護絲瓜植株生長不受災害影響外，並讓絲瓜在夏季高溫逆境下得以正常開花、結果，對絲瓜產量及品質有極大助益，且可以克服萎凋病障礙讓農民原地能再重新種植絲瓜。

表5. 夏季絲瓜不同功能性微生物製劑最佳施用組合與效益*

Table 5. Optimal application combinations and benefits of different functional microbial preparations for loofah in summer*

處理方式	調查區	調查行數					
		1	2	3	總株數	死亡率	
處理組I 嫁接苗(雙依)搭配菇鮑澆基肥、追肥 (芽孢桿菌及木黴菌灌根及葉噴)	I	株數	16	16	16	48	0%
		死亡株數	0	0	0	0	
	II	株數	15	16	16	47	0%
		死亡株數	0	0	0	0	
處理組II 嫁接苗(雙依)搭配菇鮑澆基肥 (芽孢桿菌及木黴菌灌根及葉噴)	I	株數	14	14	15	43	0%
		死亡株數	0	0	0	0	
	II	株數	15	15	15	45	0%
		死亡株數	0	0	0	0	



處理方式	調查區	調查行數					
		1	2	3	總株數	死亡率	
處理組III 菇鮑浚 加微生物液肥	I	株數	13	13	13	39	8.97%
		死亡株數	0	2	1.5	3.5	
	II	株數	16	16	16	48	13.54%
		死亡株數	2	3.5	1	6.5	
對照組 一般慣行	I	株數	17	17	17	51	45.10%
		死亡株數	7	5	11	23	
	II	株數	17	17	17	51	41.18%
		死亡株數	8	6	7	21	

夏季雨水多，苦瓜根系不耐淹水，多數苦瓜田遭遇連續豪大雨後，苦瓜產量銳減。運用臺中場研發的木黴菌TCT768接種菇類剩餘物質開發出的新型有機堆肥，田間測試可抗淹水、乾旱、高低溫障礙等環境逆境並能提升植物開花能力，本場在田尾試驗區除苦瓜種植開始田間施用菇鮑浚堆肥外，因應豪雨，在苦瓜畦面的莖基部旁再置放一包菇鮑浚肥，誘引苦瓜新根生長到肥料袋內，除可減少淹水影響外，並能維持產量。經再配合苗期木黴菌接苗處與與木黴菌矽藻土液肥

的施用，可讓苦瓜克服豪雨後淹水逆境與夏季高溫熱障礙，恢復開花著果功能，達到結實纍纍及延長採收期等效益，田間評估可延長採收期2個月以上，每公頃產量增加3,000公斤以上。所選用的木黴菌相關菌種在之前研究即對多種土傳病原菌有拮抗效果，而在耐逆境平臺篩選上，木黴菌在提升作物耐淹水的能力極佳，結合相關產品提升田間應用效果，除克服極端氣候影響外，也能減輕土壤傳播性病原的危害，延長作物生長與採收期。



圖2. 利用木黴菌製劑可提升夏季苦瓜耐淹能力及增加產量

Figure 2. Using Trichoderma preparations can improve bitter melon's ability to withstand flooding in summer and increase its yield

(三) 木黴菌製劑在番茄冬季低溫及夏季高溫逆境克服之應用

低溫障礙克服：2016年的霸王級寒流造成的農業災損高達383.4億元以上，當時設施或露天的玉女小番茄也受損嚴重。近年來在茄科作物栽培上，因番茄嫁接茄子根砧有降低青枯病之效果，嫁接苗遂普遍被農民所採用，希望藉由嫁接技術的操作，來提高作物克服土傳病害的抗性，以克服連作障礙及提升產量與品質。但因所採用的茄子根砧特性，其在養分輸送常因嫁接親合性的問題而影響產量與品質，而冬季低溫障礙對茄子根砧影響上常使栽種的小果番茄生長與產量受阻，影響農友收益甚鉅，尤其以低溫寒流來襲時所導致植株整株葉片黃化等現象最為嚴重，而番茄嫁接苗在連續低溫情形下，因地溫太低（15°C 以下）導致根砧茄子根系上

的根毛僅能藉由運輸作用的水分吸收氮素及鉀離子，而鈣、鎂及其他微量元素則因與鉀離子產生拮抗無法吸收，但因地上部葉片受陽光照射仍持續進行光合作用，此時因根砧無法吸收二價與三價微量元素，植株遂竊取果實內的養分與鈣、鎂等微量元素，供應植株新梢與花序生長所需，因而導致番茄果實缺鈣裂果、糖度下降及轉色不良。如此時農友為加強果實品質施用過多鉀肥，則會使植株加速老化、抗病力下降、開花及著果率下降及加重落果及裂果情形發生。如遇到寒流來襲，過多的鉀鹽與氮素會在葉片的葉肉中形成冰霜結晶造成葉片壞疽狀的寒害徵狀。如在設施內水分太高的情形下，過多的鉀鹽會隨點泌作用從葉片的水孔排出，此時如遇寒流則鉀鹽與氮素會在葉片的邊緣中形成冰霜結晶造成葉緣水浸狀壞疽的寒害徵狀。二



種寒害情形皆會影響番茄植株生長，且因此時植株須大量的鈣、鎂及磷等元素與養分進行組織修護，而在根砧茄子根系無法作用的情形下，會導致大量葉片黃化與落果情形發生，造成農友重大的損失。

本場所研發的木黴菌產品，應用在設施蔬果的栽培上，已可有效克服實生苗連作障礙與嫁接苗的養分輸送及低溫障礙，生產出優質安全的農產品。在番茄的栽培上為：1.) 運用木黴菌生物性堆肥(大自然基肥)當土壤處理劑，每分地施用30包，配合整地作業先將堆肥打入土中。2.) 其後番茄種苗種植前先以木黴菌育苗接種劑100倍澆灌，可使種植之小番茄實生苗與嫁接苗每期作移植成活率皆達100%，可減少植株死亡率30~50%。3.) 搭配木黴菌有機液菌肥100倍之澆灌及葉噴並可減少裂果、延長採收期進而提升產量高達20%以上。4.) 冬季小果番茄搭配本場開

發的甲殼素合劑100倍葉面施用，除可抑制白粉病、葉黴病及粉蝨之危害，並可減輕嫁接番茄根砧冬季低溫所產生的生理障礙。在2016年初幾波強烈寒流來襲時甲殼素合劑的施用有效保護番茄植株與葉片未產生寒害現象，並克服其後的連續低溫影響。於早上8點左右施用甲殼素合劑100倍於葉片上，可在持續低溫影響根砧養分吸收的情形下，由葉面供給養分讓植株吸收維持正常的生長開花結果功能，因而讓農友栽種的小果番茄仍有正常的產量與品質，除使田間小果番茄成功抵禦幾波寒流、克服生育障礙與病蟲害外，同時延長採收期一個月及增加20%以上的產量。所選用的木黴菌在耐逆境平臺篩選上，即闡明木黴菌在提升作物耐寒能力上的效果顯著，對現有產品田間應用效果顯著提供佐證與加值效益。



圖3. 利用木黴菌製劑可提升冬季小番茄耐寒能力及增加產量

Figure 3. Using Trichoderma preparations can improve the cold tolerance of cherry tomatoes in winter and increase yield

夏季高溫障礙克服：番茄為臺灣主要茄果類作物，但因地理及環境氣候條件，夏季高溫多濕及病害的危害限制了夏季番茄的生產，造成夏季番茄嚴重短缺，導致供應不足，價格高漲，並使其產季集中於容易生長的冬季，致使冬季生產過剩產生價格下跌的產銷問題，影響農友種植意願。因此許多農民選擇在可調控環境的網室設施裡栽種番茄，得到穩定品質與產量；但是進入夏天，平地溫室空間密閉，散熱慢、溫度高，易導致番茄花朵的花柱，出現生長過長，阻礙授粉、不易著果。此外，番茄在過熱的環境裡，會關閉葉片的氣孔，使蒸散作用變弱，影響根莖吸收鈣，使其無法運輸至果實組織內，產生果實「黑屁股」的尻腐病，因此農民多將番茄移到較冷山區種植。此外，番茄連作障礙常發生於栽培專業區及溫網室栽培區，因大量使用化學肥料及農藥，使栽培地的土壤或介質鹽分累積超過其本身所能忍受的緩衝限度，導致鹽分累積，造成土壤或介質酸化，影響作物正常生理表現；而化學農藥的超量使用，除農藥殘留量外、也產生了抗藥性的病菌與害蟲，而使得番茄生長不良，品質欠佳，產量銳減，影響農民收益甚鉅。過去農友們為改善此問題，常以淋洗或灌溉洗鹽、換栽培土及高溫消毒等方式直接進行土壤或栽培介質改良，但這些方法除耗費人力、物力及金錢外，其實改善連作障礙的效果有限。

為改善夏季高溫障礙影響玉女小番茄生產問題，本場應用的克服措施有：1.)介質床拌施菇包剩餘物質接種木黴菌之補充性介質

(菇包木屑+椰纖，以1:10體積比與原有介質混拌)，以克服土壤鹽基累積之連作障礙與增加介質通氣性，降低夏季介質與根系周界溫度。2.)幼苗接種耐高溫木黴菌如TCT768/TCT168/TCT101等，可增加環境逆境抵抗力，並有幫助番茄根系發育與呼吸效果，能使種植存活率由未接種之80%以下提升至近100%，減少農民補植成本。3.)夏季高溫會影響小番茄花朵發育與授粉與產量，利用新開發之高磷酸鈣木黴菌液肥，可使花朵正常發育與授粉結果良好，可使番茄農民在設施內周年種植玉女小番茄。

本項克服夏季玉女小番茄栽培逆境技術，即綜合運用木黴菌育苗接種劑、菇包木屑類生物性堆肥、木黴菌粒狀肥及功能性微生物製劑等技術產品，如應用菇包木屑接種木黴菌TCT-768開發的介質補充調整資材，在番茄苗種植前接種木黴菌TCT-101育苗接種劑，並以木黴菌(TCT101、TCT168、TCT768、TCT968)、魚骨粉及矽藻土配方開發的新型高磷鈣液肥，於田間栽培施用，有效幫助玉女小番茄克服夏季高溫逆境，而所選用的木黴菌相關菌種在耐淹水上的效果顯著，結合相關資材產製的液肥，因其所用的資材有矽藻土、海草粉及蝦蟹殼粉發酵後產生的多種代謝物如有機酸、海藻多糖類、胺基酸、胜肽類、幾丁質、微生物(活菌)屬生物刺激素成分範疇，更有提升作物抗逆境能力效益。相關產品具有提升田間應用效果，除增加產量外，也能讓農民節省生產成本與增加收益。



圖4. 利用木黴菌製劑可提升夏季小番茄抗高溫逆境能力及穩定生產

Figure 4. Using Trichoderma preparations can improve the ability of cherry tomatoes to resist high temperatures and stabilize production in summer

結 語

近年來由於全球暖化及氣候變遷，使得降雨的時間、空間的分布嚴重不均，導致乾旱地區增加或長時間缺水、沿海地區暴雨季節淹水，造成土壤鹽化問題也日趨嚴重，使農作物與動物生產的不穩定性增加。以往因應氣候變遷，農業科研單位多由品種改良以及栽培/飼養等技術與設施加以克服，惟近年氣候變遷更形劇烈，以致災損難以有效降低、穩定生產更為困難。臺中場已選育開發出多種抗逆境之作物品種與微生物製劑，具有抗淹水、抗乾旱、抗高低溫障礙、提升開花能力及減輕病蟲害等功能。針對氣候變遷本場已開發之微生物製劑有木黴菌稻穀菌種接種劑、生物性堆肥、功能性微生物製劑、天然素材植物保護製劑及菇類剩餘物質開發的新型栽培介質等。上述所開發的產品所設

計的技術應用套組，係以綜合有害生物管理方法結合正確有機肥料與資材施用方式所建立的技術套組，並針對植物遭遇逆境時建立其處理方法，已可有效解決困擾農友多年的栽培問題，在水稻、蔬菜、果樹、花卉及特用作物上已有多種作物使用本技術。因應未來栽培環境的惡化、極端氣候的影響、耕作資源的枯竭與病蟲草害的猖獗，相關栽培所使用的加值化微生物製劑與提升作物耐候或抗逆境能力的新穎性應用技術，將是未來應該加強研究與田間應用的重點。

參考文獻

1. 陳俊位、鄧雅靜、曾德賜. 2009. 功能性微生物製劑在有機作物栽培病害管理上之應用. 有機農業產業發展研討會專輯 臺中區農業改良場特刊96: 447-181。
2. 陳俊位、蔡宜峰、鄧雅靜、曾德賜. 2012.

- 農業有益微生物研發與應用 國際有機農業產業發展研討會專刊 臺中區農業改良場特刊113:165-196.
3. 陳俊位、鄧雅靜、蔡宜峯. 2014. 木黴菌在作物病害防治的開發與應用 農業生物資產業發展研討會專刊 臺中區農業改良場特刊 121:87-115.
 4. 陳俊位. 2017. 微生物製劑在設施蔬菜栽培之應用實務 臺中區農業改良場 特刊 133:133-168。
 5. Akhtar, S. S., D. B. Amby, J. N. Hegelund, L. Fimognari, D.K.Großkinsky, J. C. Westergaard, and T. Roitsch. 2020. *Bacillus licheniformis* FMCH001 increases water use efficiency via growth stimulation in both normal and drought conditions. *Frontiers Plant Sci.* 11: 297.
 6. Altomare, C., W. A. Norvell, T. Björkman and G. E. Harman. 1999. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Appl. Env. Microbiol.* 65:2926-2933.
 7. Azad, K. and S. Kaminskyj. 2016. A fungal endophyte strategy for mitigating the effect of salt and drought stress on plant growth. *Symbiosis* 68: 73-78.
 8. Burges, H. D. 1998. Formulation of Microbial Biopesticides: Beneficial microorganisms, nematodes and seed treatments. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, Netherlands.
 9. Hendrix, P. F., Coleman, D. C. and Crossley, D. A., Jr. 1992. Using knowledge of soil nutrient cycling processes to design sustainable agriculture . *Integrating Sustainable Agriculture, Ecology, and Environmental Policy* 2:63-82.
 10. Munoz de Chavez, M., A. Chavez, V. Valles and J. A. Roldan. 1995. The nopal: a plant of manifold qualities. *World Rev. Nutr. Diet.* 77:109-134.
 11. Parray, J. A., A. N. Kamili, Z. A. Reshi, R. Hamid, and R. A. Qadri. 2013. Screening of beneficial properties of rhizobacteria isolated from Saffron (*Crocus sativus* L) rhizosphere. *AJMR*7(23):2905-2910.
 12. Shahzad, R. 2017. Inoculation of abscisic acid-producing endophytic bacteria enhances salinity stress tolerance in *Oryza sativa*. *Environ Exp Bot* 136: 68-77. 45.
 13. Shrivastava, P. and Kumar. 2015. R. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi J Biol Sci* 22: 123-131. 46.
 14. Sziderics, A. H., Rasche, F., Trognitz, F., Sessitsch, A. and Wilhelm, E. 2007. Bacterial endophytes contribute to abiotic stress adaptation in pepper plants (*Capsicum annum* L.). *Can J Microbiol* 53: 1195-1202.
 15. Theocharis, A., S. Bordiec, O. Fernandez, S. Paquis, S. Dhondt-Cordelier, F. Baillieul, and E. A. Barka. 2012. *Burkholderia phytofirmans* PsJN primes *Vitis vinifera* L. and confers a better tolerance to low non freezing temperatures. *MPMI* 25: 241-249.
 16. Zhou, R., X. Yu, K. H. Kjær, E. Rosenqvist, Carl-Otto Ottosen, and Z. Wu. 2015. Screening and validation of tomato genotypes under heat stress using Fv/Fm to reveal the physiological mechanism of heat tolerance. *Environmental Experimental Botany* 118: 1-11.



Beneficial Microbial Value-added Technology is Applied to Improve Crop Stress Tolerance

C W Chen

Taichung District Agricultural Research and Extension Station, MOA

chencwol@tcdares.gov.tw

Abstract

In recent years, global warming and climate change have led to the aggravation of agricultural damage. Plant adversities mainly include drought, cold, high temperature, frost, salinity, pests and diseases, and environmental pollution. Adversity can affect plant water, photosynthesis, respiration, metabolism and other processes, and lead to the outbreak of pests and diseases, resulting in serious agricultural losses. Taichung Agricultural Improvement Station has long invested in the research and development of microbial functional applications and industrial needs, and implemented the commercialization and industrialization of research and development results. In recent years, it has screened a variety of beneficial functional microbial strains and developed multi-microbial preparation products according to different cultivation and application purposes, including biological compost, biological liquid fertilizer, feather decomposing bacteria, microbial fertilizers and microbial pesticides. In order to increase the value of relevant R&D products and enhance their market competitiveness, we have introduced the application of improving crop weather resistance through microbial research. In addition to screening potential strains and developing appropriate products, we have also established a verification process for microorganisms to enhance crop stress resistance, provided performance verification for candidate strains and products, and given products the ability to resist stress in addition to the original functions of the strains (such as pest control/microbial fertilizers). We have enhanced the competitiveness of products in the market through value-added technology. The weather resistance screening platform is mainly based on four types: biostimulant detection, stress resistance regulation gene screening (high temperature, drought, flooding), biofilm detection, and phenotypic analysis of cold resistance. There are 16 strains in this field that have entered the platform for screening. Among them, in the biostimulant detection, the *Streptomyces* TCSF7-6 strain has a variety of CDPs (cyclodipeptide synthases). The stress tolerance regulatory gene screening has high temperature tolerance: *Streptomyces* TCSS01 and *Bacillus amylopectin* Tcb43, drought tolerance: *Bacillus amylopectin* Tcba05, flooding tolerance: TCSF7-6 and *Trichoderma* TCT168. Biofilm detection in cabbage root biofilm: *Bacillus licheniformis* TCLigB/ Tcba05 (improved formula)/ TCSF7-6 (improved formula), drought tolerance: Tcba05 (improved formula)/ TCSF7-6 (improved formula), phenotypic analysis platform cold

tolerance: *Trichoderma* TCT-P003 and TCLigB. The relevant strains were tested for field efficacy and applied to the cultivation of leafy vegetables in summer facilities. They can overcome adverse factors such as high temperature and heavy rain, and increase the yield per unit area by 25-30%. In addition, in the screening of adversity-resistant platforms, the *Trichoderma* series of strains have significant effects on flooding resistance and improving the cold resistance of crops. They are applied to the cultivation of cauliflower, loofah, and bitter melon in summer, and can overcome environmental adversities such as high temperature, heavy rain, flooding, and soil salt accumulation in summer, allowing crops to bloom normally. In the cultivation of cherry tomatoes, they can resist low temperature adversity in winter and high temperature adversity in facilities in summer, maintaining normal growth of crops. In addition to increasing the value and application of existing products, the relevant technologies are of great help in improving the adaptability of existing varieties under adverse conditions and enabling stable production. Large-scale promotion in the future will reduce agricultural disaster losses and farmers' losses.

Keywords: Microbial preparations, Beneficial microorganisms, Adversity, *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp.