台灣農業研究 (J. Taiwan Agric. Res.) 75(2):307–321 (2026)
https://doi.org/10.6156/JTAR.202606_75(2).0010

研究報告

分離自杏鮑菇之青黴菌 (*Penicillium sumatraense*) 鑑定與藥劑防治評估

蔡承佑 [1]　余祥萱 [1]　呂昀陞 [2,3,*]

摘要

蔡承佑、余祥萱、呂昀陞。2026。分離自杏鮑菇之青黴菌 (*Penicillium sumatraense*) 鑑定與藥劑防治評估。台灣農業研究 75(2):307–321。

杏鮑菇 (*Pleurotus eryngii* (DC.) Quél.) 為臺灣重要商業栽培菇種，年平均產量近 2.6 萬公噸，產值約 20 億元，主要產區包含臺中市與彰化縣等地。2024 年於臺中新社區發現，杏鮑菇於出菇階段，太空包中菌絲出現褐化並產生大量褐色菇水，嚴重影響其子實體品質，且在太空包表面菌絲處可見青黴菌之徵狀。本研究對該菌進行分離，並將純化之菌株與杏鮑菇進行培養基對峙培養，結果顯示靠近分離菌株之杏鮑菇菌絲長度顯著受到影響，顯見此菌株可影響杏鮑菇菌絲之生長。進一步鏡檢分離菌株之特徵，確認該菌具有長度 155–203 μm、雙輪生 (biverticillate) 之帚狀分生孢子梗 (conidiophore)，其上著生 3–5 個梗基 (metulae)，每個梗基上接有 3–5 個壺狀 (ampulliform) 之產孢瓶梗 (phialide)；末端產孢，分生孢子為透明、橢圓形至圓形。根據形態特徵與內轉錄間隔區 (internal transcribed spacer; ITS) 序列親緣演化樹分析，將分離菌株鑑定為 *Penicillium sumatraense* Svilv. (菌株代號：TARI-PeP01)。菌絲生長溫度試驗結果則顯示，TARI-PeP01 可生長於 16–28℃，並於 28℃時具最大菌落直徑；溫度提升至 32℃時，其菌落長度則顯著降低。為利後續防治策略擬定，本研究亦進行藥劑篩選試驗，結果顯示稀釋 2,000 倍之 50% 撲克拉錳 (可濕性粉劑) 與稀釋 5,000 倍之 35% 撲克拉 (乳劑)，可分別抑制 32.16 與 24.43% TARI-PeP01 之菌落生長，兩藥劑又皆以稀釋 1,000 倍可顯著抑制菌絲生長，顯示該兩種藥劑具防治之潛力。本研究為臺灣首篇針對杏鮑菇之青黴菌進行鑑定與防治之報告，而所篩選出具防治潛力之藥劑，可作為後續防患此真菌之參考依據。未來除深入探討 *P. sumatraense* 對杏鮑菇之生理影響外，也將持續調查其他青黴菌對菇類產業之影響。

關鍵詞：青黴菌、杏鮑菇、撲克拉。

前言

杏鮑菇 (*Pleurotus eryngii* (DC.) Quél.) 為側耳科大型真菌，原產於南歐、地中海區域、中東與北非，其菌傘與菌柄質地肉質，富含高蛋白質、多醣及礦物質，且脂肪含量低 (Yan *et al*. 2002)，更具有多種健康功效，如免疫調節、降血壓、血脂與血糖、抗腫瘤及延緩骨質疏鬆等功能 (Lindequist *et al*. 2005)，因此被視為天然且具營養保健特性的食用菇。現今市售之杏鮑菇係由農業部農業試驗所 (簡稱農試所) 選育後，形成之商業品種，因此臺灣為最早種植與生產杏鮑菇的國家 (Peng *et al*. 2001)。目前杏鮑菇每年平均產量可達 2.6 萬公噸，產值約為 20 億元，係屬臺灣產量第 3 大之菇種，產地主要分布於臺中市霧峰區、新社區；彰化縣和美鎮、埔心鄉；以及南投縣魚池鄉等中部地區 (Chen *et al*. 2016)。

投稿日期：2025 年 8 月 14 日；接受日期：2025 年 12 月 15 日。
* 通訊作者：yunsheng@tari.gov.tw
[1] 農業部農業試驗所植物病理組助理研究員。臺灣 臺中市。
[2] 農業部農業試驗所植物病理組副研究員。臺灣 臺中市。
[3] 國立中興大學植物病理學系兼任助理教授。臺灣 臺中市。

杏鮑菇培育過程如受環境中病原菌感染或雜菌污染，會導致生長週期延長或產量下降等問題，故此兩者皆為杏鮑菇生產的重要限制因子 (Ruan *et al*. 2008)。杏鮑菇栽培期間已知可造成危害之病原菌包含病毒、細菌及真菌等，其中病毒 *P. eryngii* Spherical Virus (PeSV) 之寄生可造成杏鮑菇菌絲生長緩慢與子實體畸形 (Ro *et al*. 2007)；細菌病害則包含由 *Pseudomonas tolaasii* 造成之細菌性褐斑病 (González *et al*. 2009)、*Pantoea* sp. 引起之細菌性軟腐病 (Kim *et al*. 2007) 及 *Burkholderia gladioli* 引起之細菌性腐敗病 (Lin *et al*. 2010) 等；真菌病害則有由 *Cladobotryum varium*、*C. mycophilum* 引起之杏鮑菇白黴病 (Arima & Suyama 2000; Back *et al*. 2012)、*Gliocladium roseum* 引起之杏鮑菇褐斑病 (Chen & Huang 2004)、木黴菌屬 (*Trichoderma*) 等可造成菌絲傷害之病原 (Šašić Zorić *et al*. 2023)。此外競爭菇類菌絲之空間與營養的雜菌，如多數青黴菌屬 (*Penicillium*) 與黃麴黴菌 (*Aspergillus*) (Komon-Zelazowska *et al*. 2007)；以及造成其他污染之毛黴菌屬 (*Mucor*)、紅麵包黴屬 (*Neurospora*)、枝孢菌屬 (*Cladosporium*) 及擬莖點黴屬 (*Phomopsis*) 等 (Kim *et al*. 2013)。

木黴菌屬 (*Trichoderma*)、青黴菌屬 (*Penicillium*) 及黃麴黴菌屬 (*Aspergillus*) 等真菌均可污染菇類太空包，並於太空包上形成黃綠色至深綠色之徵狀，故常被通稱為綠黴病。此類菌主要影響菇類菌絲於太空包內之生長，嚴重時甚至導致無法出菇，為菇類產業重要的危害因子。其中青黴菌屬生存環境廣泛，自空氣、土壤、蔬果及食品，甚至是深海水域皆可分離獲得，部分物種更可造成柑橘與蘋果等食物腐壞 (Tzean *et al*. 1994; Visagie *et al*. 2014)，在栽培菇類時也是常見之雜菌。青黴菌之屬名拉丁文意義為 “brush”，係用來描述其分生孢子梗如掃帚狀的分支，本屬真菌過往因物種形態相近，且有性世代與無性世代學名繁多，導致重名與鑑定錯誤問題嚴重，因此 Houbraken *et al*. (2011) 導入分子證據將此屬分類重新建構，並分類至麴菌科 Aspergillaceae (包含 *Aspergillus*、*Penicilliopsis* 及 *Penicillium* 屬等)。目前為有效鑑定與釐清此些相近物種之親緣關係，需配合測試培養基之菌落特徵、菌體顯微形態特徵及菌絲適溫性等基本特性，並輔以多基因分子親緣分析 (multi-locus sequence analysis; MLSA)，可再將本屬細分為 2 個亞屬 (subgenus) *Aspergilloides* 與 *Penicillium* 以及亞屬之下的 25 個 section (Visagie *et al*. 2014)。

本研究於 2024 年在臺中市新社區杏鮑菇栽培場中，發現徵狀疑似為青黴菌之真菌可於開包出菇時之杏鮑菇菌絲表面纏據生長，並使菇包產生褐色菇水現象，嚴重影響杏鮑菇出菇能力，進而導致產量下降。因此本研究即針對受影響之杏鮑菇菌絲處，分離與純化該真菌，並進一步進行形態觀察、親緣分析鑑定、生長特性與防治藥劑之篩選，以作為未來防治此類真菌的參考依據。

材料與方法

供試菌株之分離與保存

以過火消毒之移植針挑取菌絲表面之青黴病徵兆，並放置於 potato dextrose agar (PDA; BD Difco, Franklin Lakes, NJ, USA) 培養基上培養，待菌絲生長後以移植針切取菌絲尖端純化更新 3 次，並將分離菌株編號為 TARI-PeP01。以 PDA 培養 7 日後以 5 mm 打孔器切取之 TARI-PeP01 菌絲邊緣，放置於無菌水中，保存於 24℃。杏鮑菇菌株為農試所菇類研究室保存之杏鮑菇 (*P. eryngii* strain TARI-PE01)。於試驗前，所有供試菌株先以 PDA 於 24℃下進行活化培養 7 日後備用。

青黴菌與杏鮑菇之對峙培養

試驗前先行製備青黴菌之孢子懸浮液，以 Visagie *et al*. (2014) 發表之方法進行修正。將 TARI-PeP01 更新於 malt extract agar (MEA) 培養基 (50 g malt extract (Oxoid, Basingstoke, UK)，1 mL trace elements stock solution (0.5 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$，0.1 g $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$，100 mL distilled water (D.W.))，20 g agar，1 L D.W.)，並以 24℃培養 7 日。再以 1 mL 含有 30% (v/v) glycerol、0.05% (v/v) tween 80 與

0.05% (w/v) agar 之無菌水，滴於培養好之 MEA 培養基，並洗下分生孢子，調整成濃度為 10^6 spore mL^{-1} 之孢子懸浮液。定量滴加 2 μL TARI-PeP01 孢子懸浮液於 PDA、MEA 及木屑培養基 (sawdust medium; SDM；85% (w/w) 雜木屑，15% (w/w) 米糠，含水量65%) 之一側 (距離培養基中心點 1.5 cm 處)，另一側則接種於 PDA 培養 7 日後之 5 mm TARI-PE01 菌絲塊。接種完畢後，培養皿均置於 24℃ 定溫箱中避光培養，於 7 日後，分別測量 TARI-PeP01 與 TARI-PE01 菌落大小直徑。每處理共 5 皿，本試驗進行 3 次重複。

青黴菌之形態鑑定與生長速度測定

菌落形態鑑定使用之培養基係依前人研究之方法進行 (Odds 1991; Tzean *et al*. 1994; Visagie *et al*. 2014; Andrade *et al*. 2021)。分別滴加 2 μL TARI-PeP01 孢子懸浮液 (10^6 spore mL^{-1}) 於高溫高壓滅菌之 PDA、MEA、Sabouraud's agar (SA) 培養基 (40 g glucose，10 g peptone，20 g agar，1 L D.W.)、Czapek yeast autolysate agar (CYA) 培養基 (10 mL Czapek concentrate：30 g $NaNO_3$、5 g KCl、5 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$、0.1 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$，100 mL D.W.)，30 g sucrose，5 g yeast extract (BD Difco, Franklin Lakes, NJ, USA)，1 g K_2HPO_4，1 mL trace elements stock solution，20 g agar，1 L D.W.)、Czapek yeast autolysate agar with sodium chloride (CYAS；CYA 添加 5% (w/v) NaCl)、dichloran 18% glycerol agar (DG18) 培養基 (31.6 g dichloran-glycerol-chloramphenicol-agar (Merck Millipore, Burlington, MA, USA)，1 mL trace elements stock solution，175 mL glycerol，20 g agar，1 L D.W.)、oatmeal agar (OA) 培養基 (30g oatmeal (flakes)，1 mL trace elements stock solution，20 g agar，1 L D.W.)、yeast extract sucrose agar (YES) 培養基 (150 g sucrose，20 g yeast extract，0.5 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$，1 mL trace elements stock solution，20 g agar，885 mL D.W.)、creatine sucrose agar (CREA) 培養基 (30 g sucrose，3 g creatine $\cdot H_2O$，1 g $K_3PO_4 \cdot 7H_2O$，0.5 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$，0.5 g KCl，0.01 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$，1 mL trace elements stock solution，0.05 g bromocresol purple，20 g agar，1 L D.W.) 共 9 種培養基，各培養基體積固定為 20 mL。接種完成後，為利保持通氣促進產孢，培養皿不以石臘膜密封，放置於 25℃定溫箱中避光培養，其中 CYA 培養基額外置於 30℃與 37℃中避光培養，於第 7 日記錄各培養基之青黴菌菌落正反面形態、顏色及質地等，並量測菌落直徑；此外為觀察本菌於培養基是否產生菌核或有性世代，將 OA 培養皿密封放置於 25℃定溫箱中培養 3 個月。本試驗每處理共 5 皿，並進行 3 次重複。

顯微形態觀察部分，以移植針刮取培養在 MEA 上生長 7–10 日之 TARI-PeP01 菌絲，並懸浮於 60% (v/v) 乳酸 (lactic acid) 水溶液中進行鏡檢觀察，可視情況使用 70% 酒精洗去多餘分生孢子。以具攝影功能之複式顯微鏡 (Axioskop 2, Carl Zeiss, Oberkochen, Germany) 記錄形態特徵並量測 100 個分生孢子 (conidia)、分生孢子梗 (conidiophore) 及壺狀產孢細胞 (phialides) 大小。

溫度對青黴菌生長之影響測定

為測試溫度對青黴菌菌絲生長之影響，分別滴加 2 μL TARI-PeP01 孢子懸浮液於 PDA、MEA 及 SDM 上，分別放置於 16℃、20℃、24℃、28℃及 32℃定溫箱中黑暗培養，於培養 7 日後測量其菌落直徑。每處理共 5 皿，本試驗進行 3 次重複。

青黴菌之核酸序列分析與親緣演化樹

為進一步進行分子鑑定，本研究刮取 MEA 上 TARI-PeP01 菌絲，以 Maelstrom Switch 8 Automated DNA/RNA Purification Platform (TANBEAD company, Taoyuan, Taiwan) 完成真菌總基因體 DNA (total genomic DNA; gDNA) 抽取，萃取之 gDNA 保存於 -20℃，以供後續實驗使用。將 gDNA 1 μL、dH_2O 22 μL、引子對各 1 μL：ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') 與 ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') (White *et al*. 1990)、2× Advanced Taq Master Mix Fast-Run™ (ProTECH, Taipei, Taiwan) 25 μL，總反應體積為 50 μL，混合均勻後，

置入自動溫度循環控制器 (ABI GeneAmp® PCR system 9700, Applied Biosystems, Foster City, CA, USA) 中，進行聚合酶鏈鎖反應 (polymerase chain reaction; PCR)，以增幅該菌之內轉錄間隔區 (internal transcribed spacer; ITS)。反應流程為 95℃反應 3 分鐘，35 次循環之 95℃反應 30 秒、58℃反應 30 秒、72℃反應 2 分鐘，接著 72℃反應 7 分鐘，降溫至 25℃反應 10 分鐘。經電泳確認 PCR 產物長度與完整性後，委由基龍米克斯生物科技股份有限公司 (Genomics Ltd., New Taipei, Taiwan) 進行定序，所獲得之序列再與 National Center for Biotechnology Information (NCBI) 網站上所登錄之資料庫進行 BLASTn 序列分析比對。

將菌株 TARI-PeP01 與 NCBI 資料庫中真菌序列資料進行演化樹分析。首先使用軟體 Bioedit V. 7.0.5.3 (Hall 2011) 對序列資料進行 ClustalW multiple alignment，完成後將序列資料以 MEGA XI (Tamura *et al*. 2021) 軟體進行演化樹分析，選擇最大似然法 (maximum likelihood method; ML) 方式，再以 bootstraps method 進行 1,000 次重複取樣檢驗，模式 (model) 選擇為 GTR + G + I (General Time Reversible model with a proportion of invariable sites and a gamma-shaped distribution of rates across sites)，呈現演化樹分析結果。此外並以 MrBayers V.3.2.7 (Ronquist & Huelsenbeck 2003) 選擇 Markov chain Monte Carlo (MCMC) 演算法進行 Bayesian concordance analysis (BCA)，同樣選擇使用 GTR + G + I 模式，MCMC 執行次數設定為 1,000,000 generations，演化樹分析以每 100 generations 取樣 1 次，檢核計算標準差 (average standard deviation of spilt frequencies) 小於 0.05。完成後捨棄前 25% 演化樹取樣結果，以 FigTree v1.4.4 軟體確認演化樹分析結果，記錄每個分支可能性 (posterior probilities; PP) 並標註於演化樹。

防治青黴菌之藥劑測試

由於目前杏鮑菇國內並無推薦藥劑，因此選用《植物保護手冊 —— 蔬菜篇》上唯一登記之香菇綠黴病菌防治參考藥劑 —— 腐絕，以及國外報導可防治柑橘青黴病 (*Penicillium digitatum*) 之撲克拉、撲克拉錳進行藥劑測試 (Zhang *et al*. 2021)。藥劑使用劑量依現行公告於《植物保護手冊 —— 蔬菜篇》中，參考使用於香菇綠黴病防治施用量作為基準進行稀釋倍數設計，分別稀釋 1,000、2,000 及 5,000 倍 (Fei & Wang 2007)。將濾紙圓片擺放於 PDA 四端點，並滴加 50 μL 稀釋之 41.8% 腐絕水懸劑、35% 撲克拉乳劑、50% 撲克拉錳可濕性粉劑及無菌水，再於 PDA 中心滴加 2 μL TARI-PeP01 之孢子懸浮液；另放置 5 mm TARI-PE01 菌絲塊於 PDA 培養基中心，同樣進行藥劑測試，以確認杏鮑菇之藥劑感受性。培養 7 日後，測量各菌落 4 個端點之菌絲半徑，並計算菌絲半徑抑制率，抑制率公式為：(a - b)/a × 100% (a 為水端點之菌絲半徑，b 為藥劑端點之菌絲半徑)。每處理共 5 皿，本試驗重複進行 3 次。

統計數據分析方法

本次將『溫度對青黴菌生長之影響測定』與『防治青黴菌之藥劑測試』試驗所得數據，以 R 4.5.1 版統計軟體進行分析，每次試驗之處理組 5 皿培養基作為試驗重複，平均後做為 1 次試驗之數據。再進行 3 次同樣試驗，並將 3 次試驗數據以單因子變異數分析法 (one-way analysis of variance; one-way ANOVA) 分析，並以杜凱確實差異檢定 (Tukey's honestly significant difference (HSD) test) 於 95% 信賴區間進行多重比較，評估各處理組間有無顯著差異，標註不同字母分群即表示具有顯著差異。

結果

青黴菌與杏鮑菇之對峙試驗

2024 年於臺中新社區發現杏鮑菇於出菇階段菌絲出現褐化並產生大量褐色菇水，嚴重影響其子實體發育與產量，且在開包菌絲表面處可見青黴病之徵兆 (圖 1A)。為瞭解杏鮑菇 TARI-PE01 與青黴菌菌株 TARI-PeP01 間的交互作用關係，將兩菌株同時置於 PDA、MEA 及 SDM 上進行對峙培養，結果顯示培養 7 日後，於 PDA 與 MEA 上可見，相較其他方向，

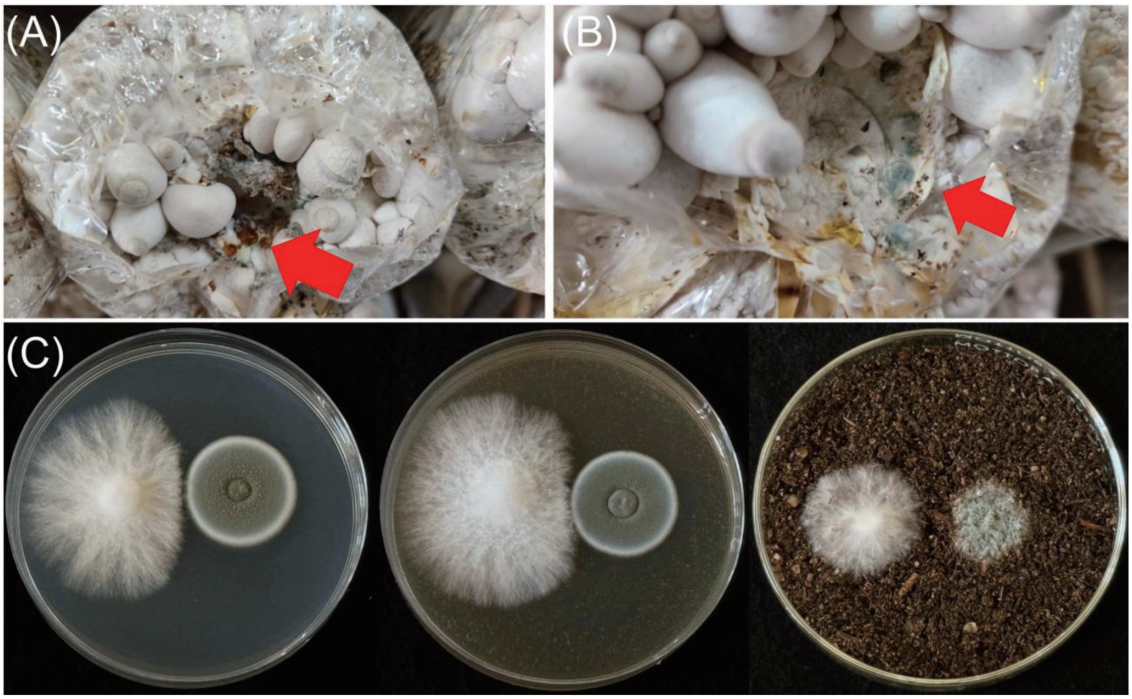


圖 1. 青黴菌 TARI-PeP01 於杏鮑菇菌絲之徵狀與杏鮑菇 TARI-PE01 之交互關係。(A) 受污染之杏鮑菇菌絲於出菇階段菌絲出現褐化，表面產生褐色菇水 (箭頭所指處)，嚴重影響其子實體產量；(B) 在開包菌絲處可見青黴菌之徵兆 (箭頭所指處)；(C) 由左至右分別為 potato dextrose agar (PDA)、malt extract agar (MEA) 及木屑培養基 (sawdust medium) 試驗結果，培養 7 日後，於 PDA 與 MEA 上之杏鮑菇菌絲生長受到抑制。

Fig. 1. Symptoms of green mold caused by TARI-PeP01 on king oyster mushroom and its interaction with *Pleurotus eryngii* strain TARI-PE01. (A) The brown mycelium and exudate (red arrows) were presented on contaminated king oyster mushroom during the development of fruiting bodies. The yield of mushroom was also affected. (B) *Penicillium* signs (red arrows) were observed on the mycelium. (C) From left to right, the images showed the dual culture results on potato dextrose agar (PDA), malt extract agar (MEA), and sawdust medium (SDM) after 7 d incubation. The mycelial growth of king oyster mushroom was affected on PDA and MEA.

接近 TARI-PeP01 菌落之杏鮑菇菌絲生長受到明顯影響；而於 SDM 則未觀察到明顯影響情形，兩者菌落亦無接觸 (圖 1B)。

青黴菌之鑑定

本研究分離之青黴菌 TARI-PeP01 鑑定係藉由顯微形態輔以分子生物學技術進行。菌落外觀形態鑑定共使用 9 種培養基進行觀察。培養 7 日後之結果顯示，TARI-PeP01 於 PDA 菌落生長大小平均為 28.6 ± 0.2 mm，菌落邊緣完整、白色，表面呈深灰綠色，皺褶不明顯，背面菌落中心部位顏色深褐色；培養於 SA 之菌落生長大小平均為 31.5 ± 0.4 mm，菌落邊緣完整，表面淺粉色，無皺褶，菌落背面無色素累積；培養於 MEA 之菌落生長大小平均為 26.8 ± 0.3 mm，菌落邊緣完整、白色，表面呈深灰綠色，皺褶不明顯，背面菌落呈深褐色；培養於 OA 之菌落生長大小平均為 24.1 ± 0.2 mm，菌落邊緣完整、白色，表面呈深灰綠色，皺褶不明顯，菌落背面不累積色素，將此培養皿密封放置 3 個月培養未觀察到菌核或有性世代；TARI-PeP01 於 YES 上菌落直徑最大，菌落大小平均為 41.3 ± 0.9 mm，表面呈灰綠色，邊緣完整、白色，皺褶明顯，背面可見黃色色素累積；DG18 屬於高滲透壓逆境培養基，常用於鑑定可在低水分環境生長的真菌，本菌株於 DG18 菌落大小平均為 30.4 ± 0.6 mm，表示此菌可在高滲透壓逆境

下生長；CREA 之菌落大小平均為 19.4 ± 0.3 mm，菌絲生長稀疏，培養基未轉為黃色，顯示此菌不產酸 (圖 2A)；CYA 之菌落大小平均為 34.1 ± 0.3 mm，菌落表面為灰綠色，邊緣完整、白色，偶有環紋狀皺褶，背面可累積少許粉色至黃色色素，CYAS 上之菌落大小平均為 33.8 ± 0.2 mm，菌落表面特徵與 CYA 接近，表面為灰綠色，邊緣白色較明顯，皺褶明顯且呈環狀或放射狀，背面不見黃色色素累積，經計算，CYA 與 CYAS 上之菌落大小比例為 0.94–1.07 (圖 2B)；在 30℃與 37℃下培養，於 CYA 未能觀察到菌絲生長 (圖 2C)。經鏡檢確認，該菌之分生孢子梗 (conidiophore) 為長度 155–203 μm，透明且多數表面無特殊突起，雙輪生 (biverticillate)，末端呈掃帚狀分支，偶有分支，其上著生 3–5 個顏色透明之梗基 (metulae)，長度 12.2–15.7 μm × 2.0–3.1 μm，每個梗基上接有 3–5 個壺狀 (ampulliform) 之產孢瓶梗 (phialide)，大小 8.1–10.3 μm × 2.2–3.6 μm，透明且末端產孢；分生孢子透明、橢圓形至圓形，大小 1.9–2.6 μm (圖 2D–H)。

將 TARI-PeP01 ITS 定序結果上傳 NCBI 資料庫 (accession number: PV523142)，並以此序列進行 BLASTn，結果顯示 TARI-PeP01 屬於青黴菌屬 (*Penicillium*) 且最相近物種為 *P. sumatraense* Svilv. (Identity: 100%)。為瞭解本菌與 Houbraken *et al*. (2011) 所鑑定同屬青黴菌屬 Section *Citrina* 物種間之親緣關係，因此選用此 section 菌株之 ITS 序列進行演化樹分析，結果顯示 TARI-PeP01 與同 section 之 Series *Sumatraensia* 真菌 (Wang *et al*. 2023) 可分在同一個演化支 (clade)，包含 *P. sumatraense*、*P. jenningsiae*、*P. cerradense*、*P. qii*、*P. vulgatum* 及 *P. rarum* (圖 3)。進一步比較親緣相近物種之形態特徵資料，結果顯示 TARI-PeP01 之菌落形態、菌落生長速度、產孢梗形式等與 *P. sumatraense* 最為接近 (表 1)，因此將所分離之菌株鑑定為 *P. sumatraense* Svilv.。

溫度對青黴菌生長之影響

為探討青黴菌於杏鮑菇栽培過程中之好發溫度，本研究測試不同培養溫度對 TARI-PeP01 在 3 種培養基 (PDA、MEA 及 SDM) 上菌落直徑之影響 (圖 4)。結果顯示，菌落直徑大小顯著受溫度影響，且 3 種培養基的反應有所不同。在 PDA 上，28℃與 24℃時之菌落直徑最大，皆超過 25 mm，但兩者間無顯著差異；20℃次之，菌落直徑約 23 mm；而 16℃之菌落直徑僅約 7 mm。在 MEA 中，菌落於 28℃之菌落直徑顯著高於其他溫度處理，而 16–24℃間，菌落仍可達 15 mm 以上。於 SDM 中，最佳生長溫度為 24–28℃，隨溫度下降，菌落直徑亦逐漸縮小；然 16℃之菌落直徑卻高於同溫條件下在 PDA 中之生長，顯示於 MEA 與 SDM 中，菌絲仍可在中低溫環境下生長。此外，在 3 種培養基中，於 32℃時均導致菌落直徑明顯下降，出現生長緩慢或未生長之情形。綜合結果可知，TARI-PeP01 菌株可於 16–28℃間生長，並以 28℃為最適生長溫度，然在 32℃下則生長受明顯抑制。

青黴菌防治藥劑之篩選

藥劑感受性試驗之結果顯示，培養 7 日後，青黴菌株 TARI-PeP01 菌落半徑不受腐絕影響，於稀釋 1,000 倍濃度下，其抑制率僅為 5.12 ± 1.71%；然其於含稀釋 2,000 倍之撲克拉與撲克拉錳之培養基上，菌落半徑剩 8.0 ± 0.41 與 6.75 ± 0.48 mm，抑制率分別為 28.98 ± 2.52% 與 32.16 ± 3.59%，與對照組 (11.25 ± 0.25 與 10.0 ± 0.71 mm) 具有顯著差異，且於其中 5,000 倍稀釋之撲克拉之培養基上，菌落半徑剩 8.5 ± 0.29 mm，同樣與對照組具有顯著差異。杏鮑菇 TARI-PE01 菌落半徑於腐絕 1,000–5,000 倍稀釋下，半徑減少 3.19–12.43%；於含稀釋 2,000 倍之撲克拉與撲克拉錳之藥劑處理下則有 22.5 ± 0.29 與 19.75 ± 0.85 mm，抑制率分別僅 8.97 ± 1.78% 與 12.27 ± 2.79%，對照組分別為生長 24.75 ± 0.63 與 22.5 ± 0.5 mm，顯示此兩種藥劑對杏鮑菇菌絲仍存在影響，但其影響較青黴菌低 (表 2)。綜上所述，顯示撲克拉與撲克拉錳對青黴菌具有明顯抑制之效力，故具有防治該菌之潛力。

討論

本研究自開包後杏鮑菇菌絲表面發現到青

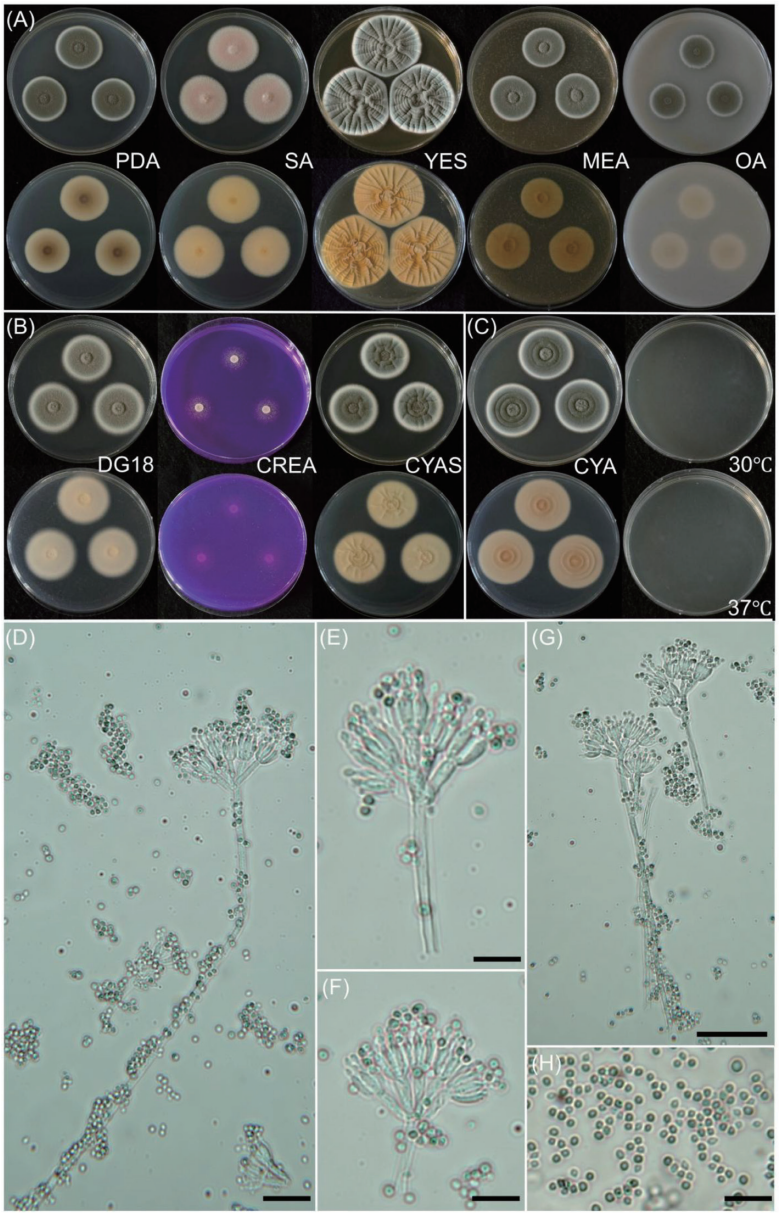


圖 2. *Penicillium sumatraense* strain TARI-PeP01 形態特徵。(A) 菌落形態特徵，由左至右分別為培養 7 日之 potato dextrose agar (PDA)、Sabouraud's agar (SA)、yeast extract sucrose agar (YES)、malt extract agar (MEA) 及 oatmeal agar (OA)；(B) 菌落形態特徵，由左至右分別為培養 7 日之 dichloran 18% glycerol agar (DG18)、creatine sucrose agar (CREA) 及 Czapek yeast autolysate agar with 5% sodium chloride (CYAS) (上行為培養基正面，下行為該反面)；(C) 於 25℃下 Czapek yeast autolysate agar (CYA) 培養 7 日後菌落形態特徵，以相同條件培養於 30℃與 37℃則無菌落生長；(D–G) 分生孢子梗；(H) 分生孢子。(Scale bar = 15 μm)

Fig. 2. The morphology of *Penicillium sumatraense* strain TARI-PeP01. (A) The colony morphology on different medium of 7 d culture under 25℃, the mediums were potato dextrose agar (PDA), Sabouraud's agar (SA), yeast extract sucrose agar (YES), malt extract agar (MEA) and oatmeal agar (OA); (B) dichloran 18% glycerol agar (DG18), creatine sucrose agar (CREA) and Czapek yeast autolysate agar with 5% sodium chloride (CYAS) (medium on first row were obverse, and second row were reverse); (C) The colony morphology on Czapek yeast autolysate agar (CYA) of 7 d culture under 25℃, 30℃ and 37℃. (D–G) Morphology of conidiophores and (H) conidia. (Scale bar = 15 μm)

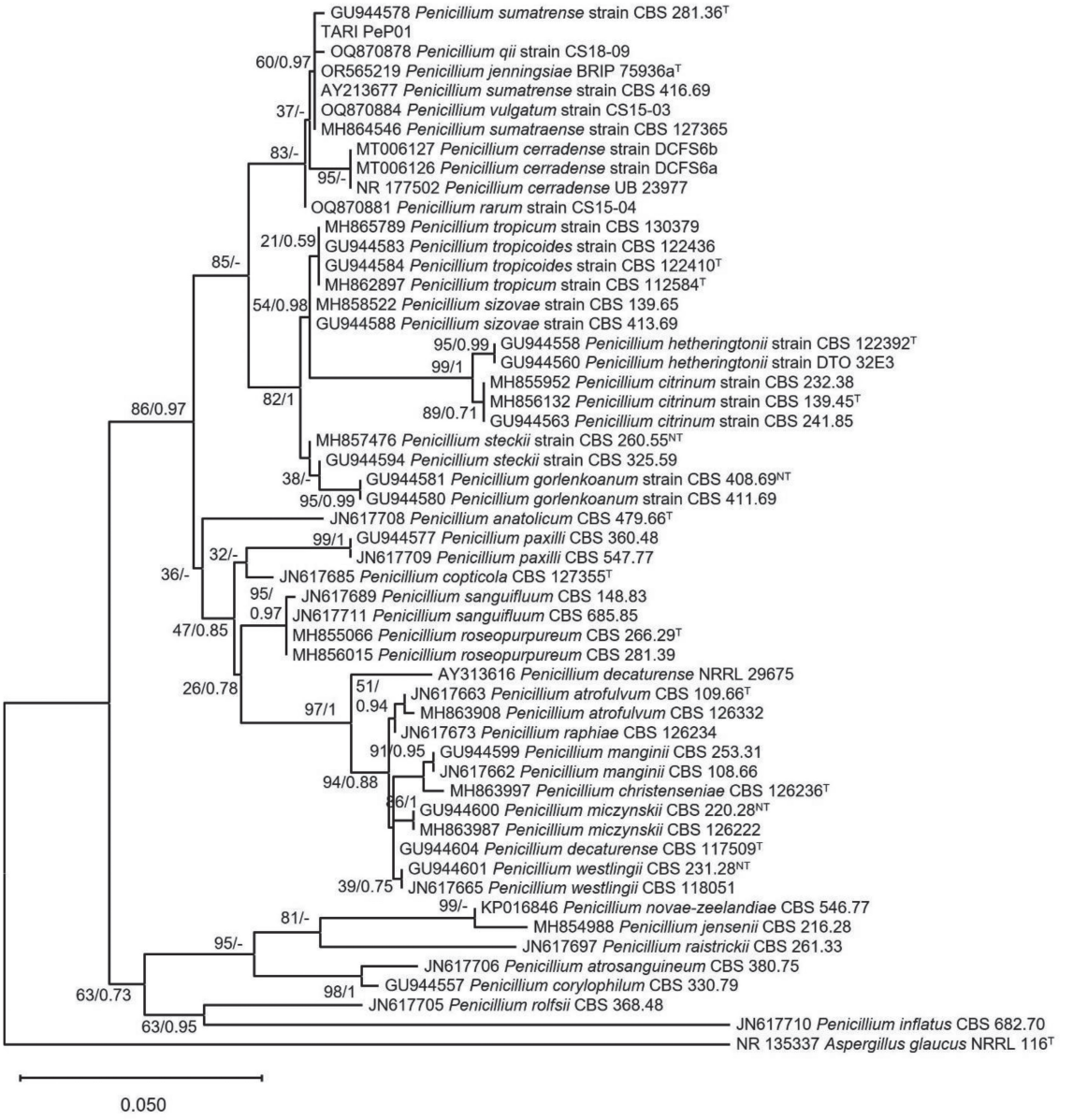


圖3. *Penicillium sumatraense* strain TARI-PeP01 之內轉錄間隔區 (internal transcribed spacer; ITS) 親緣演化樹。以 maximun likelihood (ML) 法與 Bayesian concordance analysis (BCA) 計算各菌株親緣關係，並標註分支之 bootstrap value/posterior probabilities，比例尺為核苷酸平均替代率 (nucleotide substitution per site)。T 表示 type strain；NT 表示 neotype strain。

Fig. 3. Phylogenetic analysis of *Penicillium sumatraense* strain TARI-PeP01 based on internal transcribed spacer (ITS) sequences. Molecular phylogenetic analysis performed using the maximum likelihood (ML) method and Bayesian concordance analysis (BCA). Bootstrap value (BP)/posterior probabilities (PP) were presented at the nodes. The bar indicated the number of nucleotide substitution per site. “T” means type strain; “NT” means neotype strain.

表 1. 青黴菌屬 Section *Citrina* 相近種之形態比較。

Table 1. Morphological comparison of related species in *Penicillium* section *Citrina*.

Characteristic	*P. vulgatum*	*P. rarum*	*P. qii*	*P. jenningsiae*	*P. cerradense*	*P. sumaternse*	TARI-PeP01
Conidophore							
Size (μm)	175–425	285–515	135–275	200–315	25–240	up to 200	155–203
Branching patterns	biverticillate	terverticillate, biverticillate or monoverticillate	biverticillate, occasionally terverticillate	biverticillate	monoverticillate, biverticillate present	biverticillate	biverticillate
Metulae							
Size (μm)	12–16 × 2.5–3.0	10–15 × 2.0–3.0	12–17 × 3.0–3.5	10.5–14 × 2.5–4.5	10–20 × 2.0–3.0	12–16 × 2.0–3.0	12.2–15.7 × 2.0–3.1
Phialide							
Size (μm)	7.0–9.0 × 2.0–2.5	7.5–8.5 × 2.0–3.0	7.5–9.0 × 2.5–3.5	7.0–9.5 × 2.0–2.5	5.0–8.0 × 2.0–3.0	8.0–10 × 2.0–3.5	8.1–10.3 × 2.2–3.6
Shape	ampuliform	ampuliform	ampuliform	ampuliform	ampuliform	ampuliform	ampuliform
Sclerotia	NA[z]	NA	NA	NA	+	-	-
Cleistothecia	NA	NA	NA	NA	-	-	-
Colony diameter[y]							
YES	42–43	32–42	37–38	42–43	NA	32–42	35–45
CYA	34–35	28–36	31–32	37–38	NA	33–42	32–35
MEA	23–24	17–23	19–20	29–30	15	27–36	25–28
DG18	NA	NA	NA	NA	NA	25–34	28–34
PDA	23–25	18–21	19–21	30–32	30	NA	27–30
SA	NA	ND	NA	NA	37	NA	29–33
CYA 37℃	-	-	-	-	NA	-	-
CREA	NA	NA	NA	NA	NA	15–23	18–21
Acid production[x]	NA	NA	NA	NA	NA	-	-
Color of reverse YES	buff to yellow brown	buff with brownish cracks	buff to yellow brown	buff to yellow brown	NA	yellow	yellow
Color of reverse CYA	buff to pale brown	buff to brownish	buff to orange brown	buff	NA	beige-brown	crème to yellow
Source	Wang *et al*. 2023	Wang *et al*. 2023	Wang *et al*. 2023	Wang *et al*. 2023	Andrade *et al*. 2021	Houbraken *et al*. 2011	This study

[z] NA: no analysis.

[y] Colony diameter after 7 d incubation under 25℃. YES: yeast extract sucrose agar; CYA: Czapek yeast autolysate agar; MEA: malt extract agar; DG18: dichloran 18% glycerol agar; PDA: potato dextrose agar; SA: Sabouraud's agar; CREA: creatine sucrose agar.

[x] Acid production reaction on CREA medium.

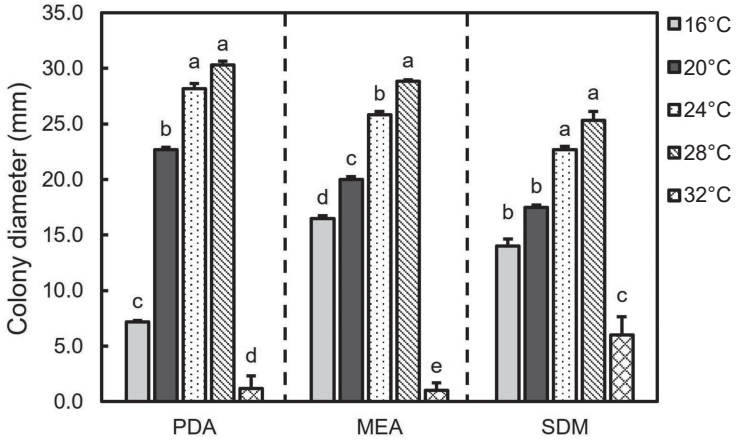


圖 4. 溫度對 TARI-PeP01 於不同培養基之生長影響。菌株 TARI-PeP01 培養於 potato dextrose agar (PDA)、malt extract agar (MEA) 及木屑培養基 (sawdust medium; SDM) 7 日之菌落直徑大小，28℃為 3 種培養基之最適生長溫度。各培養基之長條圖上方標註字母若相同表示以杜凱確實差異檢定 ($P < 0.05$) 認定不顯著。

Fig. 4. The effect of temperatures on mycelial growth of TARI-PeP01 in different media. The colony diameter of strain TARI-PeP01 after 7 d of cultivation on potato dextrose agar (PDA), malt extract agar (MEA), and sawdust medium (SDM). The optimal growth temperature on all three media was 28℃. Values on the bars of different medium followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's honestly significant difference (HSD) test at $P < 0.05$.

表 2. 以濾紙圓盤法測試 3 種藥劑對杏鮑菇與青黴菌菌落生長半徑與抑制率之影響。

Table 2. Using filter paper-disk method to investigate the effect of three fungicides with different dilution folds on colony radius and inhibition rate of *Pleurotus eryngii* TARI-PE01 and *Penicillium sumatraense* TARI-PeP01.

	Penicillium sumatraense strain TARI-PeP01		*Pleurotus eryngii* strain TARI-PE01	
Treatment	Colony radius (mm)	Inhibition rate (%)	Colony radius (mm)	Inhibition rate (%)
Thiabendazole				
CK[z]	14.50 ± 0.29 a	-	23.50 ± 0.96 ab[y]	-
5,000×	14.50 ± 0.29 a	0.00 ± 0.00 d	22.75 ± 0.95 abc	3.19 ± 1.08 b
2,000×	14.25 ± 0.48 a	1.79 ± 1.79 d	22.25 ± 0.75 abc	5.19 ± 1.89 b
1,000×	13.75 ± 0.25 a	5.12 ± 1.71 d	20.50 ± 0.87 bcd	12.43 ± 4.60 a
Prochloraz				
CK	11.25 ± 0.25 b	-	24.75 ± 0.63 a	-
5,000×	8.50 ± 0.29 cde	24.43 ± 2.15 c	23.50 ± 0.65 ab	4.97 ± 2.40 b
2,000×	8.00 ± 0.41 de	28.98 ± 2.52 bc	22.50 ± 0.29 abc	8.97 ± 1.78 ab
1,000×	7.00 ± 0.41 def	37.88 ± 2.62 ab	20.25 ± 0.25 bcd	17.94 ± 3.17 a
Prochloraz-Mn				
CK	10.00 ± 0.71 bc	-	22.50 ± 0.50 abc	-
5,000×	8.75 ± 0.48 cd	11.82 ± 4.61 d	21.75 ± 0.63 abcd	3.36 ± 1.13 b
2,000×	6.75 ± 0.48 ef	32.16 ± 3.59 abc	19.75 ± 0.85 cd	12.27 ± 2.79 ab
1,000×	5.75 ± 0.25 f	42.10 ± 2.00 a	18.50 ± 0.29 d	17.70 ± 1.53 a

[z] CK means water control.
[y] Data (means ± standard error) of single column with different letters are significantly different according to Tukey's honestly significant difference (HSD) test at $P < 0.05$.

黴菌之徵兆，並於樣本中發現菌絲受損與褐色菇水之產生，甚至影響其出菇產量與品質。過往之研究較少發現杏鮑菇有此種危害之發生，一般常見多是因細菌或木黴菌感染導致之病害 (Kim *et al*. 2007; González *et al*. 2009; Šašić Zorić *et al*. 2023)，而 Tian *et al*. (2017) 與 Liu *et al*. (2018) 自舞菇 (*Grifola frondosa*) 與繡球菌 (*Sparassis crispa*) 子實體分離出青黴菌，且其所造成的徵狀皆與本研究所觀察之情形相似，加上 Kim *et al*. (2020) 也指出青黴菌可抑制鴻喜菇之菌絲生長與原基體形成，因此推測青黴菌不僅可影響菇類菌絲，亦可對菇類子實體造成危害。本研究為首次發現青黴菌在杏鮑菇出菇過程中造成危害，惟過往對杏鮑菇栽培過程中青黴菌之研究多關注養菌期之危害，對於出菇期之影響研究甚少，因此值得進一步探討青黴菌株 TARI-PeP01 對杏鮑菇生長之影響，以瞭解其對杏鮑菇危害之機制。

根據 2025 年 Mycobank 資料庫統計顯示，青黴菌屬 (*Penicillium*) 中合法 (legitimate) 命名物種已累計有 1,239 個物種 (Mycobank n.d.)，因此尚需配合不同形態特徵、適溫性等生理生化特徵，並輔以多基因分子親緣分析，方能釐清相近物種的親緣關係。本文初步將分離菌株 TARI-PeP01 進行 ITS 序列分析，並將與其親緣演化樹關係相近的菌株進行顯微形態與生長特性資訊之比較 (表 1)，分離菌株之分生孢子梗屬於雙輪生 (biverticillate)，然而 *P*. *cerradense* 分生孢子梗形式多為單輪生 (monoverticillate)，TARI-PeP01 不僅孢子梗形式與其不符，且於 OA 上經 3 個月培養仍未能觀察到菌核產生，因此與 *P*. *cerradense* 具明顯之特徵區隔 (Andrade *et al*. 2021)。TARI-PeP01 分生孢子梗長度為 155–203 μm，與 *P*. *vulgatum* (175–425 μm) 及 *P*. *rarum* (285–515 μm) 不同，雖與 *P*. *vulgatum* 長度具有重疊範圍，然而本研究觀察到 TARI-PeP01 分生孢子梗最大僅至 203 μm，明顯與其不同 (Wang *et al*. 2023)；另比較菌落培養形態，其中於 MEA 培養 7 日後，TARI-PeP01 菌落大小為 25–28 mm，與 *P*. *qii* (19–20 mm) 具有差異；因此就菌落形態與顯微構造資料，TARI-PeP01 與 *P. sumatraense* 及 *P*. *jenningsiae* 兩菌較為相近，其中三菌於分生孢子梗長度、形式、菌落形態特徵相似，惟 *P*. *jenningsiae* 分生孢子梗較長 (200–315 μm)，且於 CYA 培養基的形態性狀，*P*. *jenningsiae* 培養 7 日後背面為淺黃色，而 *P. sumatraense* 與 TARI-PeP01 則為棕色至黃色，因此依據孢子梗形態、長度及不同培養基之菌落特徵等資訊顯示，TARI-PeP01 與 *P. sumatraense* 之形態較最為相符。雖然 Visagie *et al*. (2024) 曾藉由 RNA polymerase II second largest subunit (RPB2)、calmodulin (CaM) 及 β-tubulin (BenA) 進行 MLSA，其結果將 *P*. *cerradense*、*P*. *jenningsiae* 及 *P. sumatraense* 劃分至同一演化支 (clade)。然 *P*. *cerradense* 在形態特徵上與 *P*. *jenningsiae* 及 *P. sumatraense* 兩者差異較大，且 Visagie *et al*. (2024) 雖有進行 MLSA 分析，但無詳細形態觀察資料，因此無法確知其所述之 *P*. *cerradense* 與後兩物種間形態特徵差異。而 *P*. *jenningsiae* 與 *P. sumatraense* 之形態特徵雖較為相近 (表 1)，但 Wang *et al*. (2023) 等人研究報告中亦缺少 *P*. *jenningsiae* 部分菌落培養特性資料，例如於 CREA 是否產酸之特性等，因此無法進行比較，未來若獲得 *P*. *jenningsiae* 菌株，可再進行試驗瞭解。此外依據 Wang *et al*. (2023) 之 MLSA 結果顯示可將兩者區別，因此未來本研究將依其 MLSA 法進一步釐清本菌之分類地位。依照目前形態鑑定結果，初步判定 TARI-PeP01 為 *P. sumatraense*。由目前之結果與青黴菌之鑑定相關研究可發現，分子證據與形態觀察在青黴菌屬 (*Penicillium*) 鑑定上皆不可或缺。

P. sumatraense 為青黴菌屬 Section *Citrina* 之真菌，該 section 之青黴菌多分離自土壤，也可自室內環境與食物上分離而來 (Pitt & Hocking 2009)，其中 *P. sumatraense* 之標準菌株 (type strain) 即自土壤分離而來。另有文獻指出該菌可能為葡萄 (*Vitis vinifera*) 之內生菌，並且可生長於軟木塞上 (Serra *et al*. 2008; Houbraken *et al*. 2011)。而本研究樣本之採集地新社區亦為臺灣葡萄重要產區，因此推測該菌之傳播來源可能與該區葡萄園有關，惟尚待

進一步驗證。此外，為釐清青黴菌在杏鮑菇生產環境中之可能發生條件，本研究針對溫度與其菌絲生長影響進行試驗，以探討其最適生長溫度範圍與潛在優勢環境，作為後續害菌管理之參考。結果顯示，本菌於 28℃下生長速度最快，然而於 MEA 與 SDM 上，菌絲仍可於 16℃低溫生長，且速度達 2 mm d^{-1}，顯示所分離之青黴菌可在杏鮑菇出菇之栽培環境 (16℃) 下，可於杏鮑菇菌絲或老菌種處持續生長並影響杏鮑菇之子實體發育，因此若未能良善管理此真菌，將導致其傳播感染至其他太空包。

進一步探討化學藥劑對此青黴菌之防治效力，本研究透過藥劑感受性試驗，以評估不同藥劑與稀釋倍數對青黴菌菌絲生長之抑制效果。結果指出，目前菇類綠黴病唯一推薦藥劑── 腐絕 (FRAC1, B1)，無法抑制 TARI-PeP01 之菌絲生長 (表 2)，因此選擇前人研究用以防治柑橘青黴菌之撲克拉 (FRAC3, G1) 與撲克拉錳 (FRAC3, G3) 進行測試。其中 5,000 倍稀釋之 35% 撲克拉 (約等於 175 mg L^{-1}) 即可顯著抑制 TARI-PeP01 生長，並僅對杏鮑菇菌絲生長造成 4.97 ± 2.40% 之抑制。雖目前初步藥劑篩選試驗所得之 TARI-PeP01 抑制率僅 24.43 ± 2.15%，然而推測因藥劑擴散導致同培養皿內之對照組較腐絕處理組相比明顯受到抑制，因此有可能導致低估藥劑之效力，故未來擬進行藥劑平板試驗確認其半數有效濃度 (median effective concentration; EC_{50})。另根據 Hatvani (2008) 試驗結果顯示，施用 250 mg L^{-1} 撲克拉時，不影響側耳屬 (*Pleurotus* spp.) 菇類子實體生長，且進一步測定施用後之子實體藥劑殘留量，發現僅能偵測到其含有 0.095 mg L^{-1} 撲克拉之殘留，遠低於衛生福利部食品藥物管理署公告蕈菜類之撲克拉殘留容許量 0.5 mg L^{-1} (https://www.mohw.gov.tw/cp-16-72181-1.html)。而杏鮑菇因同為側耳屬之菇類，雖然本研究數據顯示在目前藥劑濃度均會對杏鮑菇菌絲產生傷害，但後續仍應持續測試，以篩選出藥劑最適施用濃度，同時避免藥害發生，並分析其藥劑殘留量，以確保民眾食用之安全性。目前撲克拉雖非國內核准使用於杏鮑菇之藥劑，但由前人研究與本研究之藥劑試驗結果顯示，撲克拉對側耳屬菇類生產過程中，所發生之青黴菌具有防治潛力，而撲克拉錳則由於尚未有施用於防治杏鮑菇病害的殘留資料報告，須待更多測試才可認定是否適合施用於杏鮑菇上。本研究目前之試驗結果，未來可作為政府單位評估核准使用撲克拉作為防治藥劑之參考。

一般農民在太空包菌絲生長階段觀察到青黴菌時，即會將之丟棄，因此目前關於菇類栽培時所發生之青黴菌鑑定研究相對較少，過往也多半僅鑑定至屬之層級 (Komon-Zelazowska *et al*. 2007; Šašić Zorić *et al*. 2023)，本研究為臺灣首次自杏鮑菇菌絲分離並鑑定青黴菌，所分離出之 *P. sumatraense*，也曾被報導可危害繡球菌 (*Sparassis crispa*) 子實體 (Liu *et al*. 2018)，顯示該菌對多種菇類生長具影響，因此未來值得進一步瞭解該菌對於國內其他菇類之發生情形。此外，本研究進一步發現目前香菇綠黴病唯一推薦之防治用藥── 腐絕，對其無防治效果。依據目前試驗結果可知，撲克拉雖可作為防治青黴菌之潛在化學資材，然而考量藥劑使用所帶來之環境風險與施藥限制，未來仍應積極開發非化學農藥防治資材，如植物性萃取物或二氧化氯，並導入其他物理性防治技術，作為栽培綜合管理策略，以提升杏鮑菇生產體系之永續性與食品安全性。

引用文獻

Andrade, K. C. R., R. A. Fernandes, D. B. Pinho, M. M. de Freitas, E. X. F. Filho, A. Pessoa, ... P. O. Magalhaes. 2021. Sequencing and characterization of an L-asparaginase gene from a new species of *Penicillium* section *Citrina* isolated from Cerrado. Sci. Rep. 11:17861. doi:10.1038/s41598-021-97316-1

Arima, S. and K. Suyama. 2000. New disease, Watakabibyo showing rot symptoms in *Pleurotus eryngii* caused by *Cladobotryum varium*. Mushroom Sci. Biotech. 8:13–20. (in Japanese with English abstract) doi:10.24465/apmsb.8.1_13

Back, C. G., C. Y. Lee, G. S. Seo, and H. Y. Jung. 2012. Characterization of species of *Cladobotryum* which cause cobweb disease in edible mushrooms grown in Korea. Mycobiology 40:189–194. doi:10.5941/

MYCO.2012.40.3.189

Chen, J. T. and J. W. Huang. 2004. Identification of *Gliocladium roseum*, the causal agent of brown spot of the king oyster mushroom *Pleurotus eryngii*. Plant Pathol. Bull. 13:17–26. (in Chinese with English abstract) doi:10.6649/PPB.200403_13(1).0003

Chen, T. M., Y. S. Lu, and H. D. Shih. 2016. Current status of mushroom production in Taiwan. p.13–27. *in*: Proceedings of the Symposium on Mushroom Biotechnology. October 28, 2016. Taichung, Taiwan. Taiwan Agric. Res. Inst. Pub. No. 197, Taichung, Taiwan. (in Chinese)

Fei, W. C. and Y. C. Wang. 2007. Plant Protection Manual (Vegetables). Agricultural Chemicals Research Institute. Taichung, Taiwan. 280 pp. (in Chinese)

González, A. J., G. González-Varela, and F. J. Gea. 2009. Brown blotch caused by *Pseudomonas tolaasii* on cultivated *Pleurotus eryngii* in Spain. Plant Dis. 93:667. doi:10.1094/PDIS-93-6-0667B

Hall, T. 2011. BioEdit: An important software for molecular biology. GERF Bull. Biosci. 2:60–61.

Hatvani, L. 2008. Mushroom pathogenic *Trichoderma* species: Occurrence, biodiversity, diagnosis, and extracellular enzyme production. Doctoral Dissertation. Department of Microbiology Faculty of Science and Informatics, University of Szeged. Szeged, Hungary. 108 pp.

Houbraken, J., J. C. Frisvad, and R. A. Samson. 2011. Taxonomy of *Penicillium* section *Citrina*. Stud. Mycol. 70:53–138. doi:10.3114/sim.2011.70.02

Kim, M. K., J. S. Ryu, Y. H. Lee, and H. D. Yun. 2007. First report of *Pantoea* sp. induced soft rot disease of *Pleurotus eryngii* in Korea. Plant Dis. 91:109. doi:10.1094/PD-91-0109A

Kim, M. K., S. A. Sim, A. Y. Kim, J. H. Kwon, and Y. H. Chang. 2020. Characterization of green mold contamination caused by *Penicillium brevicompactum* in *Hypsizygus marmoreus*. Kor. J. Mycol. 48:397–405. (in Korean with English abstract) doi:10.4489/KJM.20200039

Kim, S. W., S. Kim, H. J. Lee, J. W. Park, and H. S. Ro. 2013. Isolation of fungal pathogens to an edible mushroom, *Pleurotus eryngii*, and development of specific ITS primers. Mycobiology 41:252–255. doi:10.5941/MYCO.2013.41.4.252

Komon-Zelazowska, M., J. Bissett, D. Zafari, L. Hatvani, L. Manczinger, S. Woo ... I. S. Druzhinina. 2007. Genetically closely related but phenotypically divergent *Trichoderma* species cause green mold disease in oyster mushroom farms worldwide. Appl. Environ. Microbiol. 73:7415–7426. doi:10.1128/AEM.01059-07

Lin, Y. T., Y. S. Lu, Y. T. Chang, and W. L. Deng. 2010. Bacterial decay of king oyster mushroom caused by *Burkholderia gladioli*. Plant Pathol. Bull. 19:249–254. (in Chinese with English abstract) doi:10.6649/PPB.201012_19(4).0003

Lindequist, U., T. H. J. Niedermeyer, and W. D. Jülich. 2005. The pharmacological potential of mushrooms. Evid. Based Complement Alternat. Med. 2:285–299. doi:10.1093/ecam/neh107

Liu, J., X. Li, and J. Lu. 2018. First report of blue mold on *Sparassis crispa* caused by *Penicillium sumatraense* in China. Plant Dis. 102:2380. doi:10.1094/PDIS-12-17-1908-PDN

Mycobank. n.d. Simple searching on MycoBank. https://www.mycobank.org/Simple%20names%20search (visit on 8/10/2025)

Odds, F. C. 1991. Sabouraud('s) agar. J. Med. Vet. Mycol. 29:355–359. doi:10.1080/02681219180000581

Peng, J. T., M. C. Dai, Y. F. Tsai, M. H. Chen, and J. T. Chen. 2001. Selection and breeding of king oyster mushroom. Jour. Agric. Res. China 4:43–58. doi:10.29951/JARC.200112.0005

Pitt, J. I. and A. D. Hocking. 2009. Fungi and Food Spoilage. 3rd ed. Springer. New York, NY. 388 pp. doi:10.1007/978-0-387-92207-2

Ro, H. S., E. J. Kang, J. S. Yu, T. S. Lee, C. W. Lee, and H. S. Lee. 2007. Isolation and characterization of a novel mycovirus, PeSV, in *Pleurotus eryngii* and the development of a diagnostic system for it. Biotechnol. Lett. 29:129–135. doi:10.1007/s10529-006-9206-4

Ronquist, F. and J. P. Huelsenbeck. 2003. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. Bioinformatics 19:1572–1574. doi:10.1093/bioinformatics/btg180

Ruan, X. D., X. L. Zhang, and H. W. Zhang. 2008. Development and application of liquid strain in edible fungi. Liaoning Agric. Sci. 1:32–35. (in Chinese) doi:10.3969/j.issn.1002-1728.2008.01.010

Šašić Zorić, L., L. Janjušević, M. Djisalov, T. Knežić, J. Vunduk, I. Milenković, and I. Gadjanski. 2023. Molecular approaches for detection of *Trichoderma* green mold disease in edible mushroom production. Biology 12:299. doi:10.3390/biology12020299

Serra, R., S. Peterson, and A. Venâncio. 2008. Multilocus sequence identification of *Penicillium* species in cork bark during plank preparation for the manufacture of stoppers. Res. Microbiol. 159:178–186. doi:10.1016/j.resmic.2007.12.009

Tamura, K., G. Stecher, and S. Kumar. 2021. MEGA11: Molecular evolutionary genetics analysis version

11. Mol. Biol. Evol. 38:3022–3027. doi:10.1093/molbev/msab120

Tian, F. H., C. T. Li, and Y. Li. 2017. First report of *Penicillium brevicompactum* causing blue mold disease of *Grifola frondosa* in China. Plant Dis. 101:1549. doi:10.1094/PDIS-05-17-0756-PDN

Tzean, S. S., S. C. Chiu, J. L. Chen, S. H. Hseu, G. H. Lin., G. Y. Liou, ... W. H. Hsu. 1994. *Penicillium* and Related Teleomorphs From Taiwan. Food Industry Research and Development Institute. Hsinchu, Taiwan. 160 pp.

Visagie, C. M., J. Houbraken, J. C. Frisvad, S. B. Hong, C. H. W. Klaassen, G. Perrone, ... R. A. Samson. 2014. Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*. Stud. Mycol. 78:343–371. doi:10.1016/j.simyco.2014.09.001

Visagie, C. M., N. Yilmaz, S. Kocsubé, J. C. Frisvad, V. Hubka, R. A. Samson, and J. Houbraken. 2024. A review of recently introduced *Aspergillus*, *Penicillium*, *Talaromyces* and other Eurotiales species. Stud. Mycol. 107:1–66. doi:10.3114/sim.2024.107.01

Wang, X. C., Z. K. Zhang, and W. Y. Zhuang. 2023. Species diversity of *Penicillium* in Southwest China with discovery of forty-three new species. J. Fungi 9:1150. doi:10.3390/jof9121150

White, T. J., T. Bruns, S. Lee, and J. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. p. 315–322. *in*: PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications. (Innis, M. A., D. H. Gelfand, J. J. Sninsky, and T. J. White, eds.) Academic Press. San Diego, CA. 482 pp. doi:10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1

Yan, M. J., C. H. Jiang, and S. X. Tsai. 2002. Nutrient analysis of *Pleurotus eryngii*. Edible Fungi 24:11–12. (in Chinese)

Zhang, Y., B. Zhang, C. Luo, Y. Fu, and F. Zhu. 2021. Fungicidal actions and resistance mechanisms of prochloraz to *Penicillium digitatum*. Plant Dis. 105:408–415. doi:10.1094/PDIS-05-20-1128-RE

Identification and Fungicide Evaluation of *Penicillium sumatraense* from King Oyster Mushroom

Cheng-Yu Tsai[1], Shiang-Shiuan Yu[1], and Yun-Sheng Lu[2,3,*]

Abstract

Tsai, C. Y., S. S. Yu, and Y. S. Lu. 2026. Identification and fungicide evaluation of *Penicillium sumatraense* from king oyster mushroom. J. Taiwan Agric. Res. 75(2):307–321.

King oyster mushroom (*Pleurotus eryngii* (DC.) Quél.) is a commercially important cultivated mushroom in Taiwan with annual yield of 26,000 Mg and market value about 2 billion NTD. The major production areas include Taichung and Changhua. In 2024, abnormal symptoms were observed during the development of *P. eryngii* fruiting bodies in Xinshe, Taichung. An unidentified fungus caused mycelium of *P. eryngii* turn brown and produced brown exudate. The yield and quality were also affected. Signs of green mold were observed on the surface of *P. eryngii* mycelium. This study isolated a fungus (designated TARI-PeP01) from the signs and conducted dual culture assays with *P. eryngii* mycelium. Results showed that *P. eryngii* significantly reduced mycelial extension toward TARI-PeP01 on potato dextrose agar (PDA) and malt extract agar (MEA). It suggested that TARI-PeP01 had effect on mycelium of *P. eryngii*. Microscopic examination showed that conidiophores of TARI-PeP01 are 155–203 μm in length, biverticillate, and bear 3–5 metulaes per branch. Each metula carries 3–5 ampulliform phialides that produce transparent, oval to round conidia. Based on morphological characteristics and internal transcribed spacer (ITS) sequence-based phylogenetic analysis, TARI-PeP01 was identified as *Penicillium sumatraense* Svilv. Temperature assays on PDA, MEA and sawdust medium showed that TARI-PeP01 can grow at 16–28℃, with optimal growth at 28℃. However, mycelial growth was significantly inhibited at 32℃. A fungicide sensitivity assay was performed to develop potential control strategies. The results revealed that 50% prochloraz-manganese wettable powder (WP) with 2,000-fold dilution and 35% prochloraz emulsifiable concentrate (EC) with 5,000-fold dilution inhibited 32.16% and 24.43% mycelial growth of TARI-PeP01, respectively. These two fungicides with 1,000-fold dilution showed significant inhibitory effect on mycelial growth, suggesting their potential as control agents. This study is the first report of identification and control of *P. sumatraense* isolated from mycelium of king oyster mushroom. The selected fungicides provide promising options for this fungus management. Future work will focus on the physiological effects of *P. sumatraense* on *P. eryngii* and further investigation into the impact of other *Penicillium* on the mushroom industry.

Key words: *Penicillium*, King oyster mushroom, Prochloraz.

Received: August 14, 2025; Accepted: December 15, 2025.
* Corresponding author, e-mail: yunsheng@tari.gov.tw
[1] Assistant Research Fellows, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
[2] Associate Research Fellow, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
[3] Adjunct Assistant Professor, Department of Plant Pathology, National Chung-Hsing University, Taichung City, Taiwan, ROC.