پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۱۳ (۴): ۴۲۶–۴۱۱ (۱۴۰۳)- مقاله پژوهشی
Journal of Applied Research in Plant Protection 13 (4): 411–426 (2024)-*Research Article*

https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2025.19345

بررسی اثر بیوکنترلی برخی از گونه‌های *Trichoderma* روی *Paecilomyces formosus* عامل بیماری سرخشکیدگی درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس

رضوان سوری، صمد جمالی ✉

گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. ✉jamali454@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۱ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

چکیده

بیماری سرخشکیدگی درختان بلوط ناشی از *Paecilomyces formosus* در حال تبدیل‌شدن به یک تهدید جدی برای جنگل‌های غرب ایران، به‌ویژه استان کرمانشاه است. تا کنون هیچ‌گونه اقدام کنترلی علیه این بیمارگر صورت نگرفته است. استفاده از سموم شیمیایی در این اکوسیستم‌های حساس توصیه نمی‌شود، بنابراین یافتن روش‌های کنترل بیولوژیکی پایدار و سازگار با محیط‌زیست ضروری است. در این پژوهش اثر بیوکنترلی ۹ گونه تریکودرما شامل *Trichoderma arundinaceum*، *T. asperellum*، *T. avecolar*، *T. brevicompactum*، *T. crassum*، *T. koningii*، *T. koningiopsis*، *T. longibrachiatum* و *T. virens* روی *P. formosus* در آزمایشگاه و گلخانه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که گونه‌های *T. virens* و *T. koningii* در آزمون کشت متقابل، *T. virens* و *T. brevicompactum* در آزمون عصاره قارچی و *T. brevicompactum*، *T. koningiopsis* و *T. longibrachiatum* در آزمون ترکیبات فرار، بیشترین اثر را در کاهش رشد *P. formosus* داشتند. در بررسی آزمون بیماری‌زایی در شرایط آزمایشگاه و گلخانه، تمام گونه‌های *Trichoderma* به طور معنی‌داری باعث کاهش طول شانکر ناشی از *P. formosus* شدند. گونه‌های *T. brevicompactum* و *T. arundinaceum* مؤثرترین قارچ‌ها در کاهش طول شانکر ناشی از *P. formosus* به ترتیب در آزمایشگاه و گلخانه بودند.

کلمات کلیدی: آنتاگونیسم، تغییرات اقلیمی، بیمارگرهای قارچی، جنگل‌های زاگرس، کنترل زیستی

Biocontrol efficacy of some *Trichoderma* species against *Paecilomyces formosus*, the causal agent of oak dieback in Zagros forests

Rezvan Souri, Samad Jamali ✉

Department of Plant Protection, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. ✉jamali454@yahoo.com

Received: 31 May 2024 Revised: 29 September 2024 Accepted: 30 September 2024

Abstract

Oak dieback disease caused by *Paecilomyces formosus* is emerging as a serious threat to forests in western Iran, particularly Kermanshah province. To date, no management practices have been implemented against this pathogen. The use of chemical coumponds is not recommended in these sensitive ecosystems; therefore, finding sustainable and environmentally friendly biological control methods are essential. In this study, the biocontrol potential of nine *Trichoderma* species (*Trichoderma arundinaceum*, *T. asperellum*, *T. avecolar*, *T. brevicompactum*, *T. crassum*, *T. koningii*, *T. koningiopsis*, *T. longibrachiatum*, and *T. virens*) against *P. formosus* was evaluated under laboratory and greenhouse conditions. The results showed that *T. virens* and *T. koningii* had the greatest effect on reducing *P. formosus* growth in the dual culture assay, *T. virens* and *T. brevicompactum* in the fungal extract assay, and *T. brevicompactum*, *T. koningiopsis*, and *T. longibrachiatum* in the volatile compounds assay. In pathogenicity tests under laboratory and greenhouse conditions, all *Trichoderma* species significantly reduced the length of *P. formosus*-induced cankers. *Trichoderma brevicompactum* and *T. arundinaceum* were the most effective fungi in reducing the length of *P. formosus*-induced cankers in the laboratory and greenhouse, respectively.

Key words: Antagonistic, Climate change, Fungal pathogens, oak Zagros forests, Biological control

How to cite:
Souri R, Jamali S, 2024. Biocontrol efficacy of some *Trichoderma* species against *Paecilomyces formosus*, the causal agent of oak dieback in Zagros forests. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 13 (4): 411–426.

مقدمه

بلوط ازجمله گیاهان درختی یا درختچه‌ای با میوه فندقه در خانواده Fagaceae است. جنس بلوط به دو زیرجنس *Quercus* (با ۲۹۵ گونه) با بخش‌های Lobatae، Ponticae، Protobalanus، Quercus، Virentes و زیر جنس *Cerris* (با ۱۴۰ گونه) با بخش‌های Cerris، Cyclobalanopsis و Ilex تقسیم می‌شود (Manos & Hipp 2021). در غرب ایران سه گونه اصلی و مهم بلوط شامل، برودار (*Q. brantii* Lindl)، مازودار (*Q. infectoria* Oliv) و وی‌ول (*Q. libani* Oliv) وجود دارد. گونه *Q. brantii* یا بلوط ایرانی وسیع‌ترین پراکنش را بین گونه‌های جنس بلوط در حوزه رویشی زاگرس دارد. از مهم‌ترین نقش‌های جنگل‌های زاگرس به‌عنوان دومین اکوسیستم جنگلی طبیعی کشور، تأمین منابع آب و تعادل اقلیمی کشور، سد دفاعی در برابر ریزگردها، کاربرد پزشکی در درمان تعدادی از بیماری‌ها، اهمیت تغذیه‌ای برای انسان و دام، جذب توریست و اشتغال و درآمدزایی را می‌توان نام برد (Sabernasab *et al*. 2019a).

زوال اولین‌بار در سال ۱۷۳۹ برای درختان بیمار بلوط در حال نابودی در کشور آلمان استفاده شد (González Alonso 2008). زوال بلوط از آغاز قرن بیستم در اغلب مناطق رویش بلوط در قاره های اروپا، آسیا، امریکا و استرالیا گزارش شده است (Kamata *et al*. 2002; Jung *et al*. 2013; Bendixsen *et al*. 2015). در حال حاضر پدیده زوال درختان بلوط به یک مسأله بین المللی مبدل گشته و تحقیقات متعددی در زمینه شناسایی عوامل زنده و غیر زنده دخیل در این پدیده و راهکارهای مدیریت پایدار این بیماری صورت پذیرفته است (Jamali & Haack 2024). ازجمله مهم‌ترین عوامل غیر زنده معرفی شده در زوال درختان بلوط؛ تغییرات آب و هوایی (به طور عمده کاهش نزولات جوی، افزایش وقوع خشک‌سالی‌ها و کاهش آب‌های زیرزمینی)، افزایش مقادیر دمای هوا، سرعت باد، تشعشع خورشیدی و تبخیر و تعرق و تأثیر مضر آلودگی هوا (گازی‌های صنعتی و ذرات معلق در هوا) بیان شده است (Jamali & Haack 2024). ضعف فیزیولوژیک درختان بلوط، شرایط را برای بروز و طغیان گروه‌های خاصی از آفات و بیمارگرهای قارچی فرصت طلب و گرمادوست مهیا کرده و نتیجه آن بروز پدیده‌ها و بیماری‌های نوظهور در عرصه‌های جنگلی است که خشکیدگی و زوال بلوط در جنگل‌های غرب یکی از پیامدهای آن است (Rostami & Jamali 2023a). از بین عوامل زنده نیز قارچ‌ها و حشرات به‌عنوان عوامل دخیل در پدیده زوال درختان بلوط معرفی شده‌اند (Rostamian *et al*. 2017; Attarod *et al*. 2018)، که قارچ‌ها از اهمیت بالایی برخوردارند زیرا به‌سرعت تکثیر شده و در محیط اطراف پخش می‌شوند، و درصورتی‌که درختان در معرض تنش‌های محیطی قرار بگیرند و دچار ضعف فیزیولوژیک شوند، گیاه را بیمار خواهند کرد. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای شناسایی بیمارگرهای قارچی دخیل در پدیده خشکیدگی و زوال درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس صورت گرفته است که تعدادی از این بیمارگرها در سال‌های اخیر به‌عنوان عوامل مؤثر در این پدیده گزارش‌شده‌اند.

در بررسی تأثیر عوامل زنده بر زوال و خشکیدگی درختان بلوط، قارچ عامل پوسیدگی ذغالی (*Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze) به‌عنوان عامل اصلی زوال و مرگ درختان بلوط ایرانی در جنگل‌های بلوط ایلام، لرستان، فارس و کهکیلویه و بویراحمد گزارش شده است (Mirabolfathy *et al*. 2011; Mirabolfathy 2013). در بررسی‌های اخیر عوامل قارچی نوظهور ازجمله *Paecilomyces formosus* Urquhart، *Discula quercina* (West.) Arx.، *Neoscytalidium novahollandiae* Pavlic et al.، *Obolarina persica* Mirabolfathy, Ju, Hsieh & Rogers و *Phaeoacremonium tuscanicum* Essakhi et al. به‌عنوان عوامل اصلی سرخشکیدگی درختان بلوط در جنگل‌های غرب ایران گزارش‌شده‌اند (Mirabolfathy *et al*. 2013; Hanifeh *et al*. 2019; Sabernasab *et al*. 2019a; Sabernasab *et al*. 2019b, Bashiri *et al*. 2020).

مطالعات در خصوص گونه‌های *Paecilomyces* که باعث سرخشکیدگی و زوال درختان در ایران بشوند محدود است. گونه *P. variotii* تنها در سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۵ به‌عنوان عامل بیماری پوسیدگی نرم روی گونه‌ای از بلوط در بخش Robur گزارش‌شده است (Bauch *et al*. 1991; Butin 1995). در ایران *P. variotii* به‌عنوان عامل سرخشکیدگی درختان پسته از استان کرمان و سایر مناطق دیگر گزارش‌شده است (Ghelichi *et al*. 2012). در سال ۲۰۱۸ گونه *P. formosus* همراه با خشکیدگی درختان پسته توسط حیدریان گزارش شد (Heidarian *et al*. 2018).

در سال‌های اخیر، مهار زیستی، به دلیل افزایش ترجیحات مصرف‌کنندگان برای مواد غذایی بدون آفت‌کش، و همچنین به دلیل آگاهی عمومی از اثر تجمعی بالقوه آفت‌کش‌ها در محیط‌زیست، توجه قابل‌توجهی را به خود جلب کرده است. مهار زیستی بیماری‌های گیاهی، آفات و علف‌های هرز توسط موجودات زنده، معمولاً شامل تعامل بین آنتاگونیست، بیمارگر و

میزبان است (Ownley & Trigiano 2016). مکانیسم‌های متعددی از جمله رقابت، آنتی بیوز و بهره‌برداری در مهار زیستی دخیل می‌باشند. رقابت در رابطه بین آنتاگونیست‌ها و بیمارگر، تقاضای رایج این ارگانیسم‌ها برای تأمین مواد مغذی و گاهی اوقات رقابت برای رشد در یک مکان می‌شود (Shoda 2000). آنتی‌بیوز برهمکنش آنتاگونیستی بین دو میکرواگانیسم درنتیجه تولید متابولیتهای سمی توسط یک میکروارگانیسم برعیله دیگری میباشد که باعث مهار یکی از آنها می شود (Baker 1968). این مواد شامل ترکیباتی هستند که علیه طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها مؤثر می‌باشد یا ترکیباتی که به‌صورت انتخابی عمل می‌کنند. آنتی‌بیوتیک‌ها نمونه‌ای از گروه اول و باکتریوسین‌ها به گروه دوم ترکیبات تعلق دارند. استثمار در واقع پارازیتیسم یا شکارگری است که در آن آنتاگونیست‌ها به بیمارگر حمله می‌کنند یا از آن تغذیه می‌کنند (Shoda 2000). این شیوه عمل اغلب برای قارچ‌های جنس *Trichoderma* ثبت شده که به طیف وسیعی از قارچ‌ها و باکتری‌های بیماری‌زا گیاهی حمله می‌کنند (Ubalua & Oti 2007). هیف‌های *Trichoderma* به سمت یک محرک شیمیایی تولید شده توسط بیمارگرها رشد می‌کنند، دور هیف‌های برخی از عوامل بیماری‌زا می‌پیچند و آنها را از بین می‌برند. تاکنون گونه‌های متعددی از جنس *Trichoderma* به‌عنوان عوامل مهار زیستی در مقابله با بیماری‌های ناشی از عوامل بیمارگر درختان بلوط، از جمله *Phytophthora cinnamomic* Rands، *Erysiphe alphitoides* (Griffon & Maublanc) Braun & Takamatsu و *B. mediterranea*، در ایران و سایر مناطق مختلف جهان با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Maddau et al., 2009; Karami *et al*. 2018; Kavosi *et al.* 2018; Ruiz-Gómez & Miguel-Rojas, 2021; Oszako et al. 2021). مطالعات نشان می‌دهند که این گونه‌ها با مکانیسم‌های مختلفی مانند رقابت برای مواد مغذی، تولید آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی، و القای مقاومت سیستمیک در گیاهان، نقش مؤثری در کنترل این بیمارگرهای گیاهی ایفا می‌کنند.

سرخشکیدگی درختان بلوط ایرانی و سایر گونه‌های جنگلی ناشی از *P. formosus* یک بیماری نوظهور و در حال گسترش در جنگل‌های بلوط زاگرس است که به طور قابل‌توجهی به این اکوسیستم ارزشمند آسیب می‌رساند. استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی برای کنترل بیماری‌های گیاهی دارای معایب متعددی از جمله اثرات مخرب بر محیط‌زیست و سلامت انسان است. تحقیقات جامعی در مورد اثر گونه‌های مختلف *Trichoderma* علیه *P. formosus* و قابلیت آن‌ها به عنوان یک عامل مهار زیستی در درختان بلوط زاگرس انجام نشده است. هدف این پژوهش تعیین اثرات مواد فرار، غیر فرار و عصاره فیلتر شده گونه‌های مختلف *Trichoderma* علیه *P. formosus*، عامل بیماری سرخشکیدگی درختان بلوط زاگرس و بررسی قابلیت آن‌ها به عنوان یک عامل کنترل زیستی مؤثر برای مهار این بیماری در آزمایشگاه و گلخانه است.

مواد و روش‌ها

تهیه جدایه‌های قارچی

یک جدایه خالص از *P. formosus* (RUF-PF1) با شماره دسترسی MH567069 (توالی ناحیه نسخه برداری شده داخلی دی.ان.ای ریبوزومی)، مربوط به پژوهش‌های قبلی دانشجویان که از درخت بلوط جداسازی شده بود (Sabernasab *et al*. 2019a)، از کلکسیون گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه رازی تهیه شد. جدایه‌های مرتبط با ۹ گونه *Trichoderma* شامل *Trichoderma arundinaceum* Zafari, Graf. & Samuels، *T. asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg، *T. avecolar* G.F. Kraus, Kubicek & W. Gams، *T. brevicompactum* Bisstt، *T. crassum* Oudem.، *T. koningii* Samuel. C. Suaarez & H.C Evans، *T. koningiopsis* Rifai و *T. longibrachiatum* (J. Miller, Giddens & Foster) v. Arx از گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه بوعلی سینا همدان تهیه شد. تمام جدایه‌ها روی محیط کشت عصاره سیب‌زمینی دکستروز آگار به‌صورت مورب، درون لوله‌های آزمایشگاه در دمای پنج درجه سلسیوس نگهداری شدند.

آزمون اثر ترکیبات غیرفرار Trichoderma روی قارچ Paecilomyces formosus

برای بررسی اثر ترکیبات غیرفرار جدایه های *Trichoderma* در جلوگیری از رشد پرگنه *P. formosus*، از پرگنه درحال‌رشد و فعال جدایه‌های *Trichoderma* پنج دیسک هر کدام به قطر پنج میلی‌متر در داخل ارلن‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت مایع سیب‌زمینی دکستروز فاقد آنتی‌بیوتیک کشت و با نگهداری روی شیکر با ۱۰۰ دور در دقیقه به مدت پنج‌روز و عبور از کاغذ صافی میکروبیولوژیکی با قطر روزنه ۰/۲۲ میکرون عصاره‌گیری شدند. محیط کشت‌های سیب زمینی دکستروز آگار حاوی رقت ۲۵ درصد از عصاره فیلتر شده گونه‌های مختلف *Trichoderma* به‌صورت جداگانه در سه تکرار در

تشتک‌های پتری هشت سانتی‌متری تهیه شد. یک قرص میسلیومی از *P. formosus* در وسط محیط کشت‌های مذکور قرار داده شد و اثر آن پس از ۴۸ و ۷۲ ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمار شاهد فاقد عصاره قارچ *Trichoderma* بود.

آزمون کشت متقابل

برای بررسی تأثیر جدایه‌های *Trichoderma* بر رشد میسلیومی *P. formosus* به روش کشت متقابل، ابتدا یک حلقه میسلیومی به قطر پنج میلی‌متر از حاشیه پرگنه فعال و درحال‌رشد *P. formosus* در فاصله یک سانتی‌متری لبه تشتک پتری حاوی محیط کشت عصاره سیب‌زمینی دکستروز آگار قرار داده شد و در طرف دیگر یک حلقه میسلیومی به قطر پنج میلی‌متر از حاشیه کشت سه‌روزه جدایه‌های مختلف *Trichoderma* به فاصله یک سانتیمتری از لبه تشتک پتری قرار داده شد. در تیمار شاهد تنها عامل بیماری کشت شد و به‌جای قرص میسلیومی *Trichoderma*، یک حلقه پنج میلی‌متری از محیط کشت عصاره سیب‌زمینی دکستروز قرار داده شد. تشتک‌های پتری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در انکوباتور نگهداری شدند. میزان رشد شعاعی پرگنه *P. formosus* در هر پتری در فواصل زمانی ۴۸ و ۷۲ ساعت اندازه‌گیری شد (Desai *et al*. 2002). درصد بازدارندگی از رشد میسلیوم *P. formosus* توسط فرمول زیر محاسبه شد (Sanjeev & Eswaran 2008):

قطر پرگنه تیمار – قطر پرگنه شاهد = درصد بازدارندگی

۱۰۰ × قطر پرگنه شاهد ÷

آزمون اثر ترکیبات فرار جدایه‌های Trichoderma بر Paecilomyces formosus

در این آزمایش حلقه‌های میسلیومی به قطر پنج میلی‌متر از حاشیه پرگنه درحال‌رشد و فعال *P. formosus* برداشته و در مرکز تشتک‌های پتری حاوی محیط کشت عصاره سیب‌زمینی دکستروز آگار کشت شد. سپس قرص‌های پنج میلی‌متری از کشت سه‌روزه جدایه‌های *Trichoderma* نیز در مرکز تشتک‌های پتری دیگر گذاشته شد. زیر هود بیولوژیکی و در شرایط سترون درب تشتک‌های پتری حاوی *P. formosus* و *Trichoderma* برداشته و تشتک پتری حاوی *P. formosus* به صورت وارونه روی تشتک پتری حاوی *Trichoderma* قرار گرفت. محل انطباق دو تشتک پتری با پارافیلم مسدود گردید. تشتک‌های پتری‌ها طوری روی‌هم قرار گرفتند که تشتک‌های پتری حاوی جدایه‌های *Trichoderma* در کف قرار بگیرند. در تشتک پتری شاهد به‌جای *Trichoderma* از محیط کشت عصاره سیب‌زمینی دکستروز استفاده شد. تشتک‌های پتری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در انکوباتور نگهداری شدند (Fiddaman & Rossall 1995). اثر ترکیبات فرار بر رشد *P. formosus* پس از ۴۸ و ۷۲ ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت.

آزمون اثر جدایه‌های Trichoderma بر Paecilomyces formosus در آزمایشگاه

برای ارزیابی اثر جدایه‌های *Trichoderma* بر *P. formosus* در آزمایشگاه از تکنیک مایه‌زنی به شاخه‌های بریده بلوط استفاده شد. شاخه‌هایی به طول ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۱/۵ سانتی‌متر فاقد هر تغییر رنگ و علایم خسارت آفت و بیماری بریده و پس از انتقال به آزمایشگاه با مایع ظرفشویی شسته شدند. پس از خشک‌شدن وسط شاخه‌ها با اتانول ۷۰ درصد ضدعفونی شدند. سپس یک برش تی شکل به طول یک سانتی‌متر ایجاد و سوسپانسیون اسپور *P. formosus* و جدایه‌های *Trichoderma* زیر پوست شاخه مایه‌زنی شدند و محل زخم با پارافیلم بسته شد. شاهد مثبت تنها *P. formosus* و شاهد منفی آب سترون بود. شاخه‌های مایه‌زنی شده روی یک ظرف آب جهت حفظ رطوبت و دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگه‌داری شدند. پس از گذشت ۴۵ روز طول شانکر ایجاد شده در سطح کامبیوم اندازه‌گیری و مقایسه صورت گرفت. برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شد.

آزمون اثر جدایه‌های Trichoderma بر Paecilomyces formosus در گلخانه

برای ارزیابی اثر جدایه‌های *Trichoderma* بر *P. formosus* در گلخانه، از نهال‌های بلوط دوساله (طول ۳۰-۴۰ سانتی‌متر و قطر ۱۰ میلی‌متر) استفاده شد. برای مایه‌زنی، پس از ضدعفونی سطحی با اتانول ۷۰٪، یک شکاف ۱ سانتی‌متری در پوست نهال‌ها با اسکالپل ایجاد شد و سوسپانسیون اسپور *P. formosus* و جدایه‌های *Trichoderma* زیر پوست مایه‌زنی شدند. محل زخم‌ها با پارافیلم بسته شدند. تمام گلدان‌ها در گلخانه با دمای ۲۸-۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد و با نور طبیعی روز و شب قرار گرفتند. گلدان‌ها تقریباً هر هفت روز یکبار با آب آبیاری شدند. پس از ۶۰ روز طول شانکر ایجاد شده در زیر پوست روی کامبیوم اندازه‌گیری شد. قطعات چوب سترون شده برای جداسازی *P. formosus* (اصول کخ) روی محیط کشت

عصاره سیب‌زمینی دکستروز آگار قرار گرفتند. برای هر جدایه سه تکرار در نظر گرفته شد. شاهد مثبت با سوسپانسیون اسپور *P. formosus* و شاهد منفی با آب سترون مایه‌زنی شد. علائم ایجاد شده پس از گذشت ۶۰ روز مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. جداسازی و شناسایی مجدد قارچ عامل بیماری‌زا به‌منظور اثبات اصول کخ انجام شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد و رسم نمودار با استفاده از نرم افراز Excel انجام گرفت.

نتایج

اثر ترکیبات غیرفرار جدایه‌های Trichoderma بر Paecilomyces formosus

در بررسی اثر ترکیبات غیرفرار جدایه‌های *Trichoderma* بر رشد *P. formosus*، نتایج تجزیه واریانس نشان داد اختلاف معنی‌داری بین تأثیر عصاره جدایه‌های *Trichoderma* بر رشد *P. formosus* پس از گذشت ۴۸ و ۷۲ ساعت وجود دارد. بیشترین تأثیر بر رشد پرگنه *P. formosus* در زمان‌های ۴۸ و ۷۲ ساعت مربوط به گونه‌های *T. virens* با ۸۰ درصد بازدارندگی و *T. brevicompactum* با ۶۵ درصد بازدارندگی بود، درحالی‌که کمترین تأثیر مربوط به گونه‌های *T. crassum* و *T. avecolar* با ۳۲ و ۱۴ درصد بازدارندگی بود (جدول ۱).

اثر ترکیبات فرار جدایه‌های Trichoderma بر Paecilomyces formosus

در بررسی اثر ترکیبات فرار جدایه‌های *Trichoderma* بر *P. formosus*، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پس از گذشت ۴۸ ساعت بین شاهد و جدایه‌های مختلف *Trichoderma* بر *P. formosus* تفاوت معنی‌داری وجود داشت. گونه‌ها از نظر ترکیبات فرار اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته و در یک گروه قرار گرفتند. درصد بازدارندگی بین گونه‌ها از ۱۸ درصد مربوط به *T. virens* تا ۳۹ درصد مربوط به چهارگونه *T. koningiopsis*، *T. longibrachiatum*، *T. crassum* و *T. asperellum* متفاوت بود (جدول ۱). پس از ۷۲ ساعت اختلاف معنی‌داری بین تأثیر گونه‌های مختلف *Trichoderma* بر *P. formosus* مشاهده شد. گونه‌های *T. brevicompactum*، *T. koningiopsis* و *T. longibrachiatum* به ترتیب با ۶۰، ۵۶ و ۵۴ درصد بازدارندگی بیشترین و *T. virens* با ۳۰ درصد بازدارندگی کمترین تأثیر را بر رشد میسلیومی *P. formosus* داشتند (جدول ۱).

جدول ۱. اثر ترکیبات فرار و غیرفرار گونه‌های مختلف *Trichoderma* بر رشد شعاعی *Paecilomyces formosus* در شرایط آزمایشگاه پس از ۴۲ و ۷۲ ساعت. حروف غیرمشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن است.

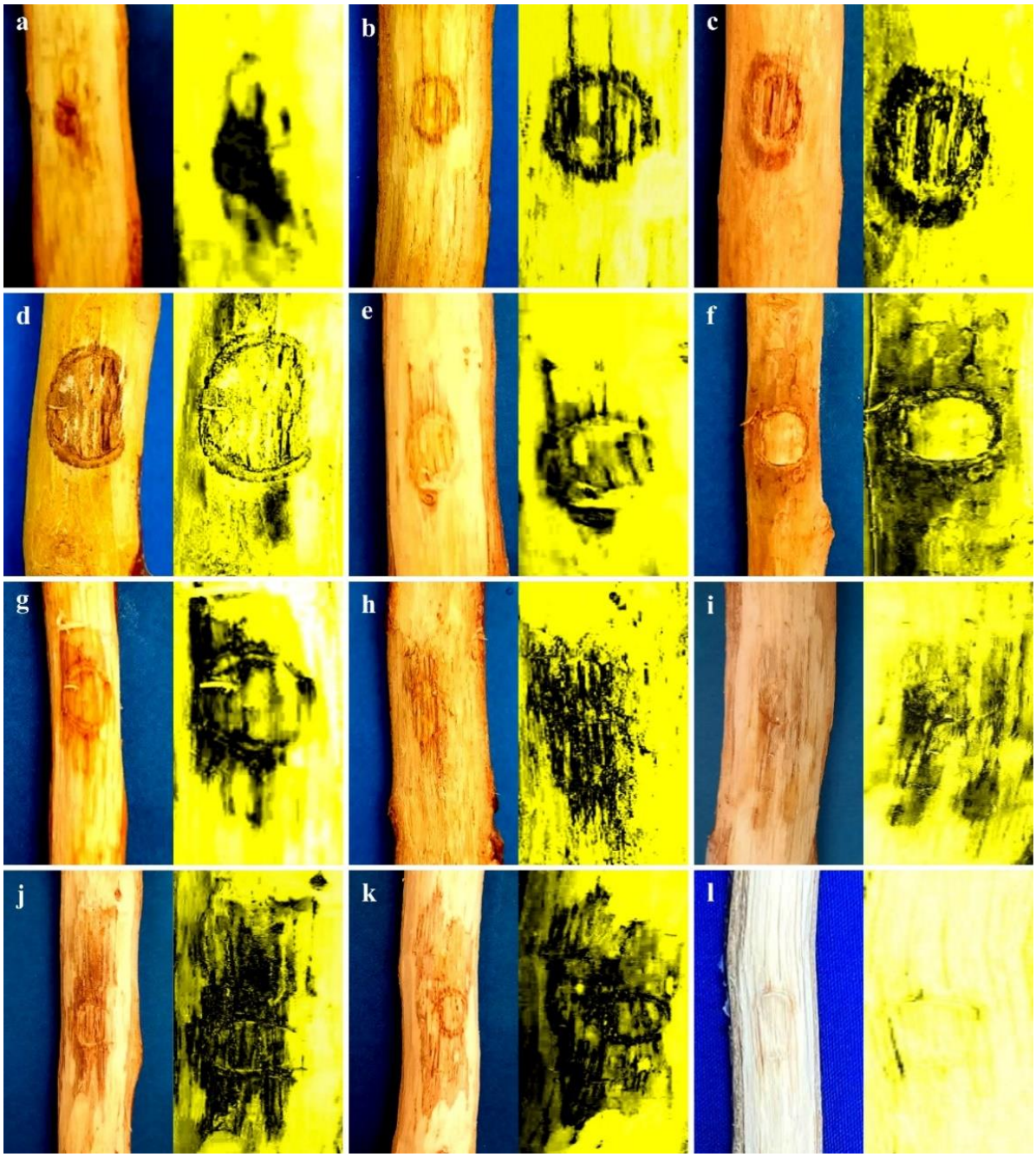
Table 1. Effect of *Trichoderma* species extracts and volatile compounds on the mycelial growth of *Paecilomyces formosus* after 48 and 72 hours. Significant differences (p <0.05) between treatments were identified using Duncan's test, which are denoted by different letters.

Species	Extracts (48h)	Extracts (72h)	Volatile compounds (48h)	Volatile compounds (72h)	Dual culture assay (48h)	Dual culture assay (72h)
Trichoderma avecolar	40 ± 2.60^{bc}	14 ± 0.57^{b}	24 ± 0.33^{d}	36 ± 0.66^{c}	13 ± 0.33^{b}	24 ± 0.57^{c}
T. koningiopsis	68 ± 1.45^{ef}	42 ± 1.15^{f}	39 ± 0.00^{f}	56 ± 1.45^{g}	43 ± 0.00^{h}	54 ± 0.88^{f}
T. longibrachiatum	60 ± 0.88^{de}	37 ± 0.88^{e}	39 ± 0.00^{f}	54 ± 0.33^{f}	30 ± 0.57^{f}	14 ± 1.20^{b}
T. crassum	32 ± 1.15^{b}	17 ± 1.15^{c}	39 ± 0.33^{f}	45 ± 1.20^{e}	13 ± 0.33^{b}	31 ± 0.66^{d}
T. arundinaceum	48 ± 0.88^{cd}	28 ± 0.88^{d}	21 ± 0.33^{c}	45 ± 0.00^{e}	26 ± 0.66^{d}	52 ± 0.33^{e}
T. asperellum	52 ± 0.33^{cd}	42 ± 0.33^{f}	39 ± 0.00^{f}	45 ± 0.57^{e}	29 ± 0.33^{e}	59 ± 1.20^{g}
T. koningii	48 ± 0.88^{cd}	28 ± 0.33^{d}	27 ± 0.33^{e}	40 ± 0.00^{d}	21 ± 0.57^{c}	52 ± 0.57^{e}
T. virens	80 ± 2.33^{f}	57 ± 1.20^{g}	18 ± 0.00^{b}	30 ± 0.33^{b}	53 ± 0.00^{i}	64 ± 0.00^{h}
T. brevicompactum	72 ± 0.66^{ef}	65 ± 2.08^{h}	24 ± 0.57^{d}	60 ± 1.20^{h}	42 ± 0.88^{g}	77 ± 1.15^{i}

آزمون بررسی اثر مقابل جدایه‌های Trichoderma و Paecilomyce formosus

آزمون تقابل بین گونه‌های *Trichoderma* و *P. formosus* پس از ۴۸ و ۷۲ ساعت معنی‌دار شد. تمام جدایه‌ها قادر به توقف و مهار رشد *P. formosus* بودند. در این بررسی بیشترین تأثیر در کاهش رشد *P. formosus* پس از ۴۸ ساعت مربوط به *T. virens* با ۵۳ درصد بازدارندگی و به دنبال آن گونه‌های *T. koningiiopsis* و *T. brevicompactum* به ترتیب با ۴۳ و ۴۲ درصد بازدارندگی بود. پس از ۴۸ ساعت، کمترین تأثیر در بازدارندگی از رشد *P. formosus* مربوط به *T. avecolar* و *T.*

crissum هر دو با ۱۳ درصد بود (جدول ۱). پس از ۷۲ ساعت، بیشترین تأثیر در کاهش رشد *P. formosus* مربوط به *T. brevicompactum* با ۷۷ درصد بازدارندگی و به دنبال آن گونه‌های *T. virens* و *T. asperellum* بترتیب با ۶۴ و ۵۹ درصد بازدارندگی بود. کمترین تأثیر در رشد *P. formosus* پس از ۷۲ ساعت مربوط به *T. longibrachiatum* با ۱۴ درصد بازدارندگی بود (جدول ۱).



شکل ۱. تأثیر گونه‌های مختلف *Trichoderma* بر طول زخم ایجاد شده توسط *Paecilomyces formosus* روی شاخه بریده بلوط پس از ۴۵ روز. (a *Trichoderma brevicompactum*، b *Trichoderma koningii*، c *Trichoderma virens*، d *Trichoderma arundinaceum*، e *Trichoderma longibrachiatum*، f *Trichoderma crassum*، g *Trichoderma koningiopsis*، h *Trichoderma asperellum*، i *Trichoderma avecolar*، j, k *Paecilomyces formosus*، l) شاهد (بلوک میسلیومی).

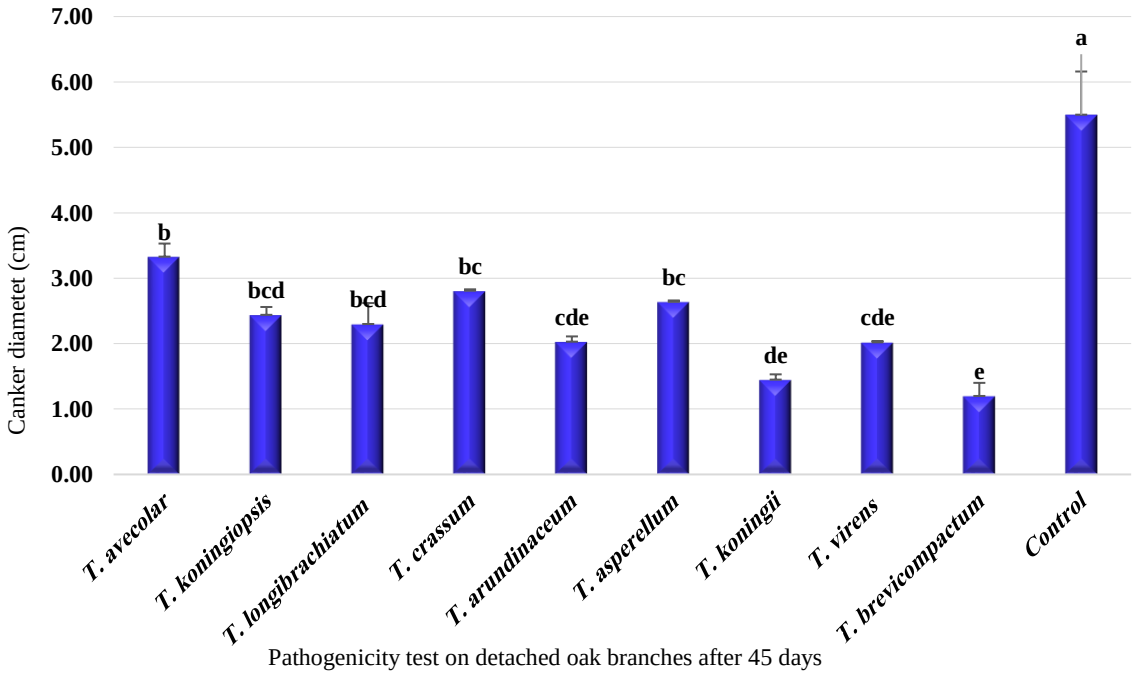
Figure 1. The effect of *Trichoderma* species on the length of leasion caused by *Paecilomyces formosus* on deatached branches of oak after 45 days. a) *Trichoderma brevicompactum*, b) *Trichoderma koningii*, c) *Trichoderma virens*, d) *Trichoderma arundinaceum*, e) *Trichoderma longibrachiatum*, f) *Trichoderma crassum*, g) *Trichoderma koningiopsis*, h) *Trichoderma asperellum*, i) *Trichoderma avecolar*, j, k) *Paecilomyces formosus*, l) control (mycelium block).

آزمون اثر جدایه‌های Trichoderma بر Paecilomyces formosus در آزمایشگاه

تمام گونه‌های *Trichoderma* در آزمون بیماری‌زایی در گلخانه و مایه‌زنی روی شاخه‌های بریده با تفاوت‌هایی قادر به کم‌کردن شدت بیماری‌زایی و طول شانکر ایجاد شده توسط *P. formosus* نسبت به شاهد بودند (شکل ۱). نتایج تجزیه واریانس اثر گونه-های مختلف *Trichoderma* بر *P. formosus* در آزمایشگاه روی شاخه‌های بریده در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود. بیشترین طول زخم ایجاد شده (۵/۵ سانتی‌متر) پس از ۴۵ روز، مربوط به تیمار شاهد آلوده به *P. formosus* بود. در بین گونه-های *Trichoderma*، بین چهار گونه *T. brevicompactum*، *T. koningii*، *T. virens* و *T. arundinaceum* از نظر تأثیر بر طول زخم ایجاد شده روی چوب‌های بریده بلوط اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و این چهار گونه بیشترین تأثیر در کاهش طول شانکر ناشی از *P. formosus* داشتند. کمترین تأثیر در طول زخم ایجاد شده توسط *P. formosus* مربوط به *T. avecolar* بود (شکل ۲).

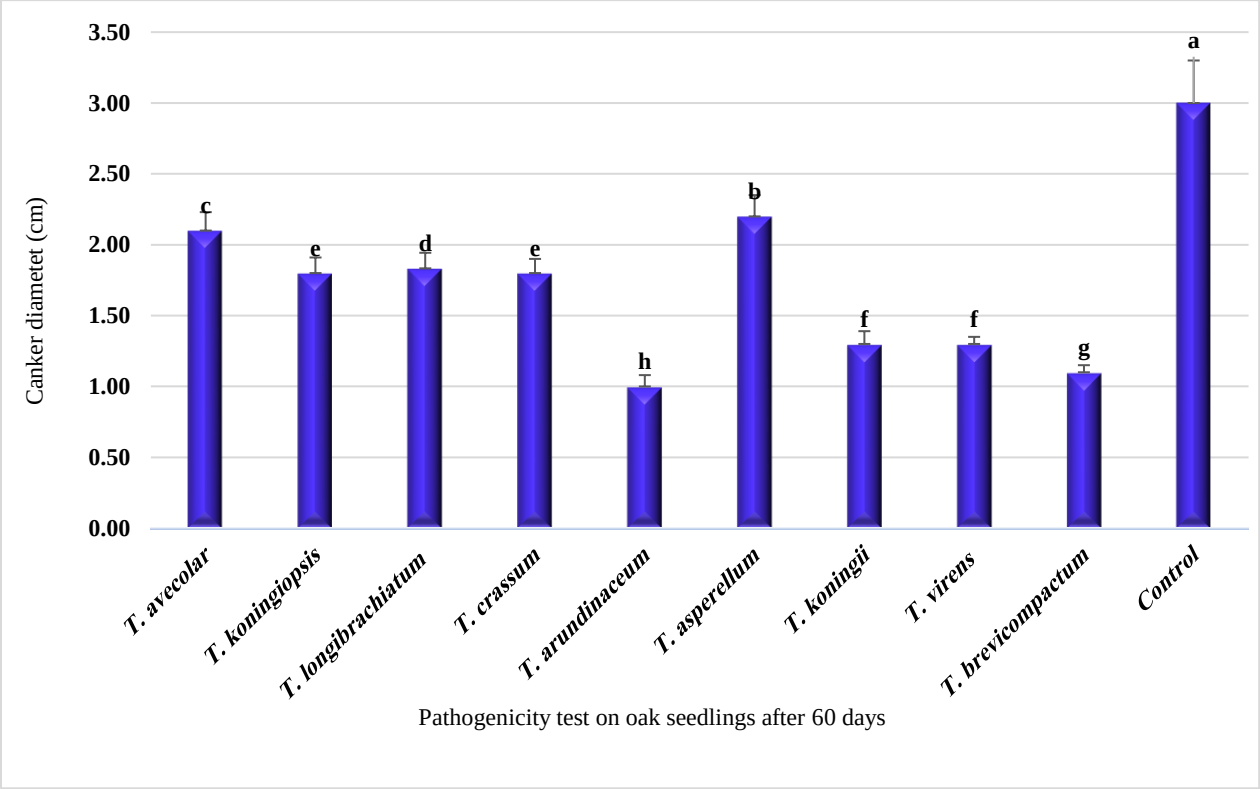
آزمون اثر جدایه‌های Trichoderma بر Paecilomyces formosus در گلخانه

نتایج آزمون گلخانه‌ای نشان داد که مایه زنی نهال‌ها با قارچ *P. formosus* بدون استفاده از *Trichoderma*، پس از دو ماه منجر به بروز علائم بیماریزایی شامل پژمردگی و زرد شدن برگ‌ها و ایجاد شانکر قهوه‌ای تا تیره در محل مایه زنی شد. بررسی برش عرضی ساقه مایه زنی شده، نفوذ شانکر را در ناحیه کامبیوم و چوب نشان داد. جالب توجه است که مایه زنی همزمان با *Trichoderma*، شدت علائم پژمردگی و قطر شانکرهای ایجاد شده را به طور قابل توجهی کاهش داد. شانکرهای ایجاد شده روی ساقه نهال‌ها مشابه زخم‌های ایجاد شده روی شاخه‌های بریده بودند، با این تفاوت که اندازه کوچکتری داشتند. نتایج تجزیه واریانس اثر گونه‌های مختلف *Trichoderma* بر *P. formosus* در گلخانه روی نهال‌ها در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود. بیشترین طول شانکر مشاهده شده (۲/۶ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد آلوده به *P. formosus* بود. در بین گونه‌های *Trichoderma*، بیشترین تأثیر در کاهش طول شانکر ناشی از *P. formosus* مربوط به *T. arundinaceum* و به دنبال آن گونه *T. brevicompactum* بود. کمترین تأثیر در طول شانکر ایجاد شده توسط *P. formosus* مربوط به *T. asperellum* و *T. avecolar* بود (شکل ۳).



شکل ۲. اثر گونه‌های مختلف *Trichoderma* بر طول زخم ایجاد شده روی شاخه‌های بریده بلوط در آزمون بیماری‌زایی در گلخانه. حروف غیرمشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن است.

Figure 2. The effect of different *Trichoderma* species on lesion length caused by *Paecilomyces formosus* on oak detached branches in a laboratory pathogenicity test.



شکل ۳. اثر گونه‌های مختلف *Trichoderma* بر طول شانکر ایجاد شده روی نهال‌های بلوط ایرانی در گلخانه. حروف غیرمشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن است.

Figure 3. The effect of different species of *Trichoderma* on the length of the canker created on Persian oak seedlings in the greenhouse.

بحث

گونه‌های *Paecilomyces* از بسترهای مختلفی ازجمله خاک، محصولات غذایی، بقایای گیاهی، نماتودها، حشرات و همچنین هوای آلوده جداسازی و گزارش شده‌اند (Jamali & Banihashemi 2012). بعضی از گونه‌های این جنس باعث آلودگی انسان و سایر مهره‌داران می‌شوند. تاکنون گونه‌های *P. marquandii* Massee، *P. fumosoroseus* (Wize) Kepler, B. Shrestha & Spatafora و *P. variotii* Bainier از ایران گزارش‌شده است (Ershad 2009). در بین گونه‌های مذکور تنها *P. variotii* به‌عنوان عامل پوسیدگی نرم بلوط گزارش‌شده است (Bauch *et al*. 1991; Butin 1995). در ایران اغلب مطالعات بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی بوده است و *P. variotii* به‌عنوان عامل بیمارگر بادام (*Amygdalus communis* L.)، پسته (*Pistacia vera* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) از مناطق مختلف کشور گزارش‌شده است (Ghelichi *et al*. 2012; Mozaffari *et al*. 2005). مطالعات مولکولی اخیر نشان داده که عامل اصلی سرخشکیدگی پسته در ایران *P. formosus* است که به‌اشتباه *P. variotii* گزارش‌شده بود (Torabi *et al*. 2019).

همچنین بر اساس ویژگی‌های مولکولی، *P. formosus* عامل اصلی سرخشکیدگی درختان بادام (*Amygdalus scoparia* Spach)، پسته وحشی (*Pistacia atlantica* Desfontaines)، زالزالک (*Crataegus pontica* Koch)، زیتون‌تلخ (*Azadirachta indica* A. Jussieu) و بلوط ایرانی در ایران گزارش‌شده است (Ghasemi-Sardareh & Mohammadi 2020, Sabernasab *et al*. 2019a). علاوه بر درختان مذکور این بیمارگر از درختان بنه (*Pistacia mutica* Desfontaines)، انار (*Punica granatum* Linnaeus)، بادام اهلی (*Prunus amygdalus* (Miller) Webb)، ابریشم مصری (*Caesalpinia gilliesii* (Hooker) Dietrich)، خرزهره (*Tamarix aphylla* (Linnaeus) Karsten)، درخت گز (*Nerium oleander* Linnaeus)، درختچه شوره گز (*Tamarix hispida* Willdenow) و درخت تاغ (*Haloxylon* sp. Linnaeus) از استان‌های کرمان، سمنان، خراسان جنوبی، خراسان رضوی، اصفهان، مرکزی، قزوین، تهران و یزد گزارش‌شده است (Heidarian *et al*. 2018). این بیمارگر همچنین از درختان جنگلی در جنگل‌های زاگرس گزارش شده است (Rostami & Jamali 2022; 2023a, b). در خارج از ایران این گونه به‌عنوان

عامل سرخشکیدگی از درختان کائوچو و پسته به ترتیب از اندونزی و ترکیه گزارش شده است (Nandika *et al*. 2021; Ozan et al. 2022). بیماری‌زایی این گونه روی درختان مذکور به اثبات رسیده است. این قارچ بافت آوندی درختان را آلوده می‌کند، باعث قهوه‌ای و سیاه‌شدن پوست و چوب، ایجاد شانکر، نکروز، گموز، سرخشکیدگی، زوال و در برخی موارد موجب مرگ می‌شود (Chauiyakh *et al*. 2024).

جنس *Trichoderma* از خانواده Hypocreaceae است گونه‌های این جنس به‌عنوان عوامل مهار زیستی شناخته شده‌اند و در مدیریت بیماری‌های گیاهی ناشی از عوامل مختلف از جمله قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها نقش مؤثری ایفا می‌کنند. در این مطالعه، اثر ترکیبات فرار و غیرفرار گونه‌های مختلف *Trichoderma* بر رشد *P. formosus* در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه بررسی شد. در بررسی اثر ترکیبات غیرفرار گونه‌های *Trichoderma* بر رشد *P. formosus* ، بیشترین تأثیر مربوط به گونه‌های *T. virens* و *T. brevicompactum* بود. متابولیت‌های غیرفرار تولید شده توسط *T. brevicompactum* فعالیت ضدقارچی قابل‌توجهی در برابر بیمارگرهای گیاهی مختلفی نشان داده‌اند که نشان‌دهنده پتانسیل آنها برای مهار زیستی است. مطالعات نشان داده است که جدایه‌های *T. brevicompactum* طیف گسترده‌ای از عملکرد ضدقارچی را نشان می‌دهند و عوامل بیماری‌زا مانند *Sclerotium rolfsii* (Sacc.) Curzi، *Colletotrichum gloesporioides* (Penzig) Penzig & Saccardo، *Verticillium dahlia* Klebahn، *Fusarium oxysporum* Schltdl. و *Cylindrocladium* sp. را مهار می‌کنند (Marques *et al*. 2018). علاوه بر این، مشخص شده است که سویه‌های *T. brevicompactum* رشد میسلیومی *F. graminearum* Schwabe، *R. solani* Kühn و *P. ultimum* Trow را از طریق تولید متابولیت‌های غیرفرار کاهش می‌دهند (Raut *et al*. 2014b; Hammad *et al*. 2021). در این تحقیق، گونه *T. brevicompactum* علاوه بر ترکیبات غیرفرار، در آزمون بیماری‌زایی روی شاخه‌های بریده بلوط نیز کارایی خوبی در مهار *P. formosus* داشت. این یافته‌ها پتانسیل *T. brevicompactum* را به‌عنوان یک عامل مهار زیستی مؤثر در برابر طیف گسترده‌ای از بیمارگرهای گیاهی برجسته می‌کند و بر اهمیت تحقیقات بیشتر در مورد شناسایی و استفاده از ترکیبات زیست فعال برای اهداف کشاورزی و صنعتی تأکید می‌کند (Raut *et al*. 2014a). ترکیبات غیرفرار تولید شده توسط *T. virens* نقش مهمی در فعالیت آنتاگونیستی آن در برابر بیمارگرهای گیاهی مختلف ایفا می‌کنند. تحقیقات نشان داده است که سویه ZT05 از *T. virens* رشد *Rhizoctonia solani* را از طریق تولید متابولیت‌های غیرفرار از جمله آنزیم‌هایی مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، و پراکسیداز که به طور قابل‌توجهی بر پروتئین‌های میسلیوم *R. solani* تأثیر می‌گذارد متوقف می‌کند (Halifu *et al*. 2020). علاوه بر این، متابولیت‌های غیرفرار سویه‌های *T. virens* رشد میسلیومی *F. graminearum*، *R. solani* و *P. ultimum* را نیز مهار می‌کند که فعالیت ضدقارچی با طیف گسترده این گونه را نشان می‌دهد (Inayati *et al*. 2019). این ترکیبات غیرفرار، همراه با ترکیبات آلی فرار با مهار مستقیم قارچ‌های بیماری‌زا و القای مقاومت سیستمیک در گیاهان به پتانسیل کنترل زیستی *T. virens*کمک می‌کنند (Raut et al. 2014a).

در بررسی ترکیبات فرار در مطالعه حاضر گونه‌های *T. koningiopsis*، *T. longibrachiatum*، *T. crassum* و *T. asperellum* اثر بهتری نسبت به سایر گونه‌ها بر مهار رشد *P. formosus* نشان دادند. گونه‌های *Trichoderma* مانند *T. koningiopsis*، *T. longibrachiatum*، *T. crassum* و *T. asperellum* انواع ترکیبات آلی فرار با پیامدهای قابل‌توجهی در زمینه‌های زیست‌محیطی و کشاورزی تولید می‌کنند (Gualtieri *et al*. 2022; Kong *et al*. 2022a; You *et al*. 2022). مطالعات نشان داده است که این ترکیبات آلی فرار نقش مهمی در ارتقای رشد گیاه، سرکوب بیمارگرهای گیاهی و فعالیت های ضد میکروبی دارند. به‌عنوان مثال، سویه T2 از *T. koningiopsis* ترکیبات فراری مانند ۳-اکتانون و ۳-متیل-۱-بوتانول تولید می‌کند که مانع رشد بیمارگر *Verticillium dahliae* می‌شود و شدت بیماری در گیاهان را کاهش می‌دهد (Ruangwong *et al*. 2021b). همچنین این گونه به‌عنوان عامل مهار زیستی برای چندین عامل بیماری‌زا مانند *Sclerotinia asari*، گونه‌های *Fusarium*، *V. dahliae*، *Colletotrichum gloeosporioides*، *Botrytis cinerea* و اوومیست‌ها شناخته شده است (Ruangwong *et al*. 2021a; Olowe *et al*. 2022; Kong *et al*. 2022b; Liu *et al*. 2022; Wang *et al*. 2022). به طور مشابه، *T. asperellum* (B6)، *T. atroviride* (P1)، *T. afroharzianum* (T22) و *T. longibrachiatum* (MK1) به ترتیب ترکیبات فرار اختصاصی گونه ای مانند ۲-پنتیل-فوران، 6-pentyl-α-pyrone (6-PP)، استوفنون و p-cymene تولید می‌کنند که در القای مقاومت و ارتقای رشد گیاهان نقش دارند (Kong *et al*. 2022a). این یافته‌ها پتانسیل ترکیبات فرار *Trichoderma* در استراتژی های کنترل زیستی و اهمیت آنها

در ارتقای سلامت و توسعه گیاهان را برجسته می‌کند (Ruangwong *et al*. 2021c).

گونه *T. longibrachiatum* (T6)، پتانسیل قابل‌توجهی در کنترل قارچ‌های بیماری‌زا مانند *Cytospora mali*، عامل شانکر درختان سیب، از طریق مکانیسم‌های مختلف از جمله مهار رشد قارچ و فعالیت آنزیمی نشان داده است (Zhu *et al*. 2022). گونه *T. longibrachiatum* یک قارچ ارزشمند با کاربردهای مختلف است. سویه‌های مختلفی مانند T61، Gu 4-5، TL1 و CD-6 شناسایی شده‌اند که هر کدام دارای ویژگی‌ها و عملکردهای منحصربه‌فرد هستند. این سویه‌ها فعالیت‌هایی از کاهش کادمیوم، مهار زیستی، تجزیه سلولز و پیشگیری از بیماری در سبزی‌ها را نشان داده‌اند (Sobowale *et al*. 2010). توانایی این قارچ در بهبود خواص خاک، افزایش مقاومت محصول در برابر بیماری‌ها و آفات و ترویج کشاورزی پایدار آن را به یک گونه ارزشمند در زمینه‌های زیست‌محیطی و کشاورزی تبدیل کرده است (Zhang *et al*. 2014). این گونه علیه بیمارگرهای مختلفی از قبیل *Botryodiplodia theobromae* pat.، *Magnaporthiopsis maydis* (Samra, Sabet & Hingorani) S. Klaubauf, M.H. Lebrun & P.W. Crous، *Thielaviopsis paradoxa* (de Seynes) von Höhnel، نماتود سیستی *Heterodera avenae* و تعدادی از باکتری‌های بیمارگر انسانی به طور موفقیت‌آمیزی استفاده شده است (Sanchez *et al*. 2007; Shu-wu *et al*. 2013; Sedjati *et al*. 2020; Degani *et al*. 2021). در این مطالعه، بعضی از گونه‌های *Trichoderma* اثر بهتری نسبت به سایر گونه‌ها بر مهار رشد *P. formosus* داشتند. در این مطالعه، در آزمون ترکیبات فرار و غیرفرار، سه گونه *T. virens*، *T. brevicompactum* و *T. koningiopsis* اثر بهتری نسبت به سایر گونه‌ها بر مهار رشد *P. formosus* داشتند. در یک مطالعه از بین پنج گونه *Trichoderma*، *T. viride* نسبت به *T. harzianum*، *T. longibrachiatum*، *T. paraseramosum* و *T. hamatum* مهار بیشتری نسبت به *S. rolfsii* داشته است (Shaigan *et al*. 2008). در مطالعه دیگر گزارش شده که *T. viride* رشد میسلیوم *R. solani*، *S. rolfsii* و *S. sclerotiorum* را در مقایسه با *T. harzianum* بسیار بیشتر مهار کرده است (Amin & Razdan 2010). تاثیر ترکیبات فرار در کنترل بیولوژیکی قارچ‌ها، موضوعی است که در سال‌های اخیر توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. در این تحقیق، اثر *T. viridescens* بر رشد *P. formosus* مورد بررسی قرار گرفته است (Chauiyakh *et al*. 2024). سه گونه شامل *T. lixii*، *T. koningiopsis*، *T. simmonsii* و *T. viridescens* بیشترین تأثیر را در مهار *P. formosus* از طریق جلوگیری از رشد ریسه با تولید ترکیبات فرار و ظرفیت میکوپارازیتی داشته‌اند.

اثرات کنترلی ترکیبات فرار تعدادی از گونه‌ها نسبت به کشت متقابل روی *P. formosus* بیشتر بود. در کشت متقابل، میکروارگانیسم‌های مورد مطالعه به صورت مستقیم با هم در تماس هستند. در این حالت، عوامل مختلفی مانند رقابت بر سر مواد غذایی، تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و سایر متابولیت‌های ثانویه، و همچنین پدیده‌های انگلی می‌توانند در مهار رشد قارچ موثر باشند. ترکیبات فرار، مولکول‌های آلی فراری هستند که توسط میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند. این ترکیبات می‌توانند بر رشد، نمو و فیزیولوژی سایر موجودات زنده تاثیر بگذارند. گاهی اوقات، ممکن است اثرات کنترلی ترکیبات فرار به دلیل عملکرد از راه دور و تنوع عملکرد، نسبت به اثرات کنترلی در کشت متقابل بیشتر باشد. ترکیبات فرار می‌توانند در فواصل دور از میکروارگانیسم تولیدکننده منتشر شوند و به این ترتیب، بر طیف وسیعی از عوامل بیماری‌زا تاثیر بگذارند. ترکیبات فرار تنوع عملکردی داشته و طیف وسیعی از فعالیت‌های بیولوژیکی را از خود نشان می‌دهند؛ از جمله مهار رشد، القای مقاومت و تغییر در بیان ژن (Li *et al*. 2018; Joo & Hussein 2022; You *et al*. 2022). همچنین، قارچ‌ها ممکن است در برابر تماس مستقیم با میکروارگانیسم‌های آنتاگونیست، مکانیسم‌های دفاعی خاصی را ایجاد کنند. ترکیبات فرار، با دور زدن این مکانیسم‌ها، می‌توانند موثرتر عمل کنند. نتایج این مطالعه و سایر مطالعات نشان می‌دهد که سطح بازدارندگی قارچ *Trichoderma* در مواجهه با پاتوژن‌های مختلف متفاوت است و انتخاب نوع گونه *Trichoderma* برای هر بیمارگر گیاهی ضروری است.

در آزمون بیماری‌زایی روی شاخه‌های بریده در آزمایشگاه، گونه‌های *T. arundinaceum*، *T. brevicompactum*، *T. koningii* و *T. virens* تأثیر قابل‌توجهی در کاهش طول زخم ایجاد شده توسط *P. formosus* روی شاخه‌های بریده بلوط داشتند. در یک بررسی اثر *Streptomyces misensis* بر رشد میسلیوم *P. formosus* صورت‌گرفته که این باکتری قادر به مهار این بیمارگر بوده است (Torabi *et al*. 2019). اکتینومیست‌ها و به‌ویژه اعضای جنس *Streptomyces* به‌عنوان عوامل کنترل زیستی برای بسیاری از بیماری‌های گیاهی شناخته شده اند. آنها با تولید متابولیت‌های فعال زیستی و آنزیم‌های هیدرولیتیک به این امر دست می‌یابند. در یک بررسی تأثیر چهار گونه *Trichoderma* شامل *T. lixii*، *T. koningiopsis*، *T. simmonsii* و *T. viridescens* بیشترین تأثیر را در مهار *P. formosus* از طریق جلوگیری از رشد ریسه با تولید ترکیبات فرار و ظرفیت میکوپارازیتی داشته‌اند.

گونه *T. arundinaceum* یک قارچ با پتانسیل قابل‌توجه در کشاورزی است، زیرا فعالیت کنترل زیستی را در برابر علیه بیمارگرهای مهم لوبیا مانند *R. solani* و *S. sclerotiorum* نشان داده‌اند (Cardoza *et al*. 2022). علاوه بر این، *T. arundinaceum* می‌تواند دفاع گیاهان را بدون تأثیر منفی بر جوانه‌زنی بذر یا رشد گیاه القا کند، همان‌طور که تأثیر آن بر بیان ژن‌های مرتبط با دفاع در گیاهان لوبیا نشان می‌دهد (Cardoza *et al*. 2022). علاوه بر این، *T. arundinaceum* به تولید آسپینولیدها شناخته شده است که به طور سینرژیک با تریکوتسین هارزیانوم در مهار رشد قارچ‌های بیمارگر عمل می‌کنند. به‌طورکلی، *T. arundinaceum* تعامل پیچیده‌ای از مکانیسم‌های مهار زیستی و تعاملی با گیاهان را به نمایش می‌گذارد و آن را به یک کاندیدای امیدوارکننده برای شیوه‌های کشاورزی پایدار تبدیل می‌کند (Woo *et al*. 2023). در این مطالعه، *T. arundinaceum* نسبت به سایر گونه‌های *Trichoderma*، تأثیر مناسبی بر کاهش طول زخم ایجاد شده توسط *P. formosus* روی نهال‌های بلوط در گلخانه گذاشت.

گونه *T. koningii* نیز یک قارچ مفید با کاربردهای مختلف است. می‌توان از آن به‌عنوان یک باکتری‌کش برای کنترل بیماری‌های خاکزاد مانند پوسیدگی ریشه توت‌فرنگی و بلایت ساقه خیار، افزایش کیفیت خاک و رشد گیاه استفاده کرد. علاوه بر این، سویه ZJU-T CGMCC No.1842 از *T. koningii* بتا گلوکاناز مقاوم در برابر حرارت و اسید تولید می‌کند که کاربردهای آن در فرآوری مواد غذایی، تولید خوراک و سایر صنایع می‌باشد. علاوه بر این، *T. koningii* به *Sclerotinia sclerotiorum* حمله می‌کند و باعث کاهش زنده ماندن و اثربخشی اسکلروت‌ها در آلودگی به‌ویژه در آب و هوای گرم می‌شود که آن را به یک عامل کنترل زیستی بالقوه برای این بیمارگر تبدیل می‌کند (Trutmann & Keane 1990). علاوه بر این، *T. koningii* در بیوسنتز نانوذرات نقره با خواص ضد باکتریایی مورد استفاده قرار گرفته است و توانایی آن در تولید نانوذرات با فعالیت ضد باکتریایی مؤثر را نشان می‌دهد (Tripathi *et al*. 2013). در مطالعه حاضر، این گونه توانایی مناسبی در جلوگیری از شانکر ایجاده شده توسط *P. formosus* روی شاخه‌های بریده بلوط از خود نشان داد. *Trichoderma* در اکوسیستم های مختلف جنگلی رشد می‌کند و پتانسیل مناسبی برای مهار زیستی و ارتقاء رشد گیاهان دارد. مطالعات زیادی، گونه‌های *Trichoderma* را از خاک جنگل، ریشه‌ها و برگ‌ها جدا و بر نقش آنها به‌عنوان عوامل مهار زیستی کارآمد در برابر بیمارگرهای گیاهی تأکید کرده‌اند بیمارگرهای مختلف گیاهی نشان داده است. این گونه توکسین تریکوتسین و تریکودرمول تولید می‌کند که فعالیت ضدقارچی (Morais *et al*. 2022). در یک تحقیق مشخص شده که تنوع گونه‌های *Trichoderma* در اکوسیستم‌های جنگلی نسبت به علفزارها بیشتر است (Ma *et al*. 2020). در محیط‌های شهری، سویه‌های *Trichoderma* فعالیت آنتاگونیستی امیدوار کننده‌ای در برابر بیمارگرهای برگی در درختان شهری نشان داده‌اند که نشان‌دهنده کارایی آنها در کنترل بیماری ها و ارتقای سلامت جنگل‌ها می‌باشد (Víglaš & Olejníková 2019).

گونه‌های *Trichoderma* پتانسیل قابل‌توجهی در مبارزه با بیماری‌های مختلف قارچی درختان جنگلی نشان داده‌اند و می‌توانند بیمارگرهای گیاهی را از طریق میکوپارازیتیسم، آنتی‌بیوز، مقاومت القایی و رقابت برای مواد مغذی کنترل کنند و مکانیسم‌های مختلف عمل خود را در مقاومت به بیماری نشان دهند. علاوه بر این گزارش شده است که گونه‌های *Trichoderma* رشد گیاهان را تقویت می‌کند، سیستم‌های دفاعی گیاه را تقویت می‌کند و تنش‌های غیرزنده را کاهش می‌دهد و آنها را به کودهای زیستی ارزشمند در شیوه‌های کشاورزی پایدار تبدیل می‌کند. مطالعات، اثرات آنتاگونیستی و قابلیت‌های مهار زیستی *Trichoderma* را بر بیمارگرهایی مانند گونه‌های مختلف *Armillaria* و سایر عوامل بیماری‌زای گیاهی نشان داده است (Aslan *et al*. 2022). در یک مطالعه اثر گونه‌های مختلف *Trichoderma* بر عامل زوال درختان بلوط، *Phytophthora cinnamomoi* بررسی و مشخص شده که حدود ۶۰ درصد قادر به جلوگیری از رشد میسلیومی این اوومیست شده‌اند (Ruiz-Gómez & Miguel-Rojas 2021). جدایه‌های اندوفیتی *Trichoderma* باعث مهار رشد شعاعی عوامل بیماری‌زا، بهبود رشد نهال و کاهش میزان مرگ‌ومیر در درختانی مانند اکالیپتوس می‌شوند (Siregar *et al*. 2022). علاوه بر این، تحقیقات نشان داده است که سویه‌های *Trichoderma* جدا شده از اکوسیستم‌های جنگلی دارای پتانسیل مهار زیستی در برابر قارچ‌های بیماری‌زای مختلف محصولات زراعی هستند که نشان‌دهنده نقش آنها به‌عنوان جایگزین‌های سازگار با محیط‌زیست برای سموم شیمیایی در مدیریت بیماری‌ها در کشاورزی است.

به‌طورکلی، گونه‌های *Trichoderma* به‌عنوان عوامل کنترل زیستی امیدوارکننده برای مبارزه با بیماری‌های قارچی درختان جنگل و ارتقای سلامت و تاب‌آوری گیاه ظاهر می‌شوند. در این مطالعه نیز گونه‌های *Trichoderma* فعالیت‌های متنوعی در جهت توقف رشد *P. formosus* از جمله با استفاده از ترکیبات

فرار، غیرفرار و میکوپارازیتیسم داشتند. در این مطالعه، اثر مهار زیستی گونه‌های مختلف *Trichoderma* روی قارچ *P. formosus* بررسی شد. در بین جدایه‌های مورد بررسی، *T. virens* در هر دو آزمون کشت متقابل و عصاره قارچی، *T. brevicompactum* در آزمون ترکیبات فرار و آزمایش‌های گلخانه‌ای و *T. arundinaceum* در آزمایش‌های گلخانه‌ای مؤثرترین عملکرد را در کنترل بیماری نشان دادند. با توجه به یافته‌های این پژوهش، گونه‌های *Trichoderma*، به‌ویژه *T. virens*، *T. brevicompactum* و *T. arundinaceum* می‌توانند به عنوان جایگزین‌های زیستی امیدوارکننده برای سموم شیمیایی در کنترل بیماری سرخشکیدگی درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس مورد استفاده قرار گیرند. امید است تجاری‌سازی این ترکیبات در آینده نه‌چندان دور به سرانجام برسد تا شاهد استفاده از آنها در اکوسیستم جنگل برای حفاظت از درختان جنگلی در برابر *P. formosus* و سایر بیمارگرها باشیم.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از جناب آقای دکتر دوست‌مراد ظفری، به خاطر اهدا جدایه‌های *Trichoderma* و راهنمایی‌های دلسوزانه و ارائه تجارب ارزشمندشان در طول انجام این تحقیق ابراز می دارند.

References

Amin F, Razdan V, 2010. Potential of *Trichoderma* species as biocontrol agents of soil borne fungal propagules. *Journal of Phytology* 2(10): 38–41.

Aslan AM, Yüksel B, Öztürk Njkujoff, 2022. Antagonistic effects of *Trichoderma* species in biocontrol of *Armillaria* root rot disease *in vitro* conditions. *Journal of Forestry Faculty* 22: 17–23.

Attarod P, Miri S, Shirvany A, Bayramzadeh V, 2018. Variations in leaf area index of *Quercus brantii* trees in response to changing climate. *Journal of Agricultural Science & Technology* 20(7): 1417–1429.

Baker R, 1968. Mechanisms of biological control of soil-borne pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 6: 263–294.

Bashiri S, Abdollahzadeh J, Evidente A, 2020. *Phaeoacremonium tuscanicum*, a new fungal pathogen associated with oak decline in Zagros forests, Iran. *Mycologia Iranica* 7: 247–252.

Bauch J, V. Hundt H, Weißmann G, Lange W, Kubel H, 1991. On the causes of yellow discolorations of oak heartwood (*Quercus* Sect. *Robur*) during drying. *Holzforschung* 45: 79–85.

Bendixsen DP, Hallgren SW, Frazier AE, 2015. Stress factors associated with forest decline in xeric oak forests of south-central United States. *Forest Ecology & Management* 347: 40–48.

Butin H, 1995. Tree Diseases And Disorders: Causes, Biology, and Control in Forest and Amenity Trees. 1th edition, Oxford University Press. 249 pp.

Cardoza RE, Mayo-Prieto S, Martínez-Reyes N, McCormick SP, Carro-Huerga G, *et al.*, 2022. Effects of trichothecene production by *Trichoderma arundinaceum* isolates from bean-field soils on the defense response, growth and development of bean plants (*Phaseolus vulgaris*). *Frontiers in plant science* 13: 1005906.

Chauiyakh O, El Fahime E, Aarabi S, Ninich O, El Aammouri S, *et al.*, 2024. In vitro antagonist activity of cedar *Trichoderma* species against three cedarwood lignivorous fungi. *Scientific African* 24: e02174.

Degani O, Rabinovitz O, Becher P, Gordani A, Chen A, 2021. *Trichoderma longibrachiatum* and *Trichoderma asperellum* confer growth promotion and protection against late wilt disease in the field. *Journal of Fungi* 7: 444.

Desai S, Reddy MS, Kloepper JW, 2002. Comprehensive testing of biocontrol agents. In: Gnanamanickam SS. Biological Control of Crop Diseases. CRC Press. Pp. 401–434.

Ershad D, 2009. Fungi of Iran. 3th edition, Iranian Research Institute of Plant Protection, Tehran. 558 pp.

Fiddaman P, Rossall S, 1995. Selection of bacterial antagonists for the biological control of *Rhizoctonia solani* in oilseed rape (*Brassica napus*). *Plant Pathology* 44: 695–703.

Ghasemi-Sardareh R, Mohammadi H, 2020. Characterization and pathogenicity of fungal trunk pathogens associated with declining of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) trees in Iran. *Journal of*

Plant Pathology 102: 1159–1171.

Ghelichi M, Mohammadi A, Haghdel M, Eskandari A, 2012. Distribution of pistachio die-back in Khorasan-Razavi province and application of some fungicides for the disease control. *Journal of Nuts* 3: 23–8.

González Alonso C, 2008. Analysis of the oak decline in Spain-La. Bachelor Thesis, Forest Management, University of Agricultural Sciences, Sweden.

Gualtieri L, Monti MM, Mele F, Russo A, Pedata PA, *et al*., 2022. Volatile organic compound (VOC) profiles of different Trichoderma species and their potential application. *Journal of Fungi* 8: 989.

Halifu S, Deng X, Song X, Song R, Liang X, 2020. Inhibitory mechanism of *Trichoderma virens* ZT05 on *Rhizoctonia solani*. *Plants* 9: 912.

Hammad M, Guillemette T, Alem M, Bastide F, Louanchi M, 2021. First report of three species of *Trichoderma* isolated from the rhizosphere in Algeria and the high antagonistic effect of *Trichoderma brevicompactum* to control grey mould disease of tomato. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 31: 85.

Hanifeh S, Zafari D, Soleimani MJ, Ravanlou A, 2019. *Discula quercina* as a possible causal agent of dieback on oak trees in Iran. *Forest Pathology* 49. e12468.

Heidarian R, Fotouhifar KB, Debets AJ, Aanen DK, 2018. Phylogeny of Paecilomyces, the causal agent of pistachio and some other trees dieback disease in Iran. *PLoS One* 13: e0200794.

Inayati A, Sulistyowati L, Aini LQ, Yusnawan E, 2019. Antifungal activity of volatile organic compounds from *Trichoderma virens*. *International Conference on Biology and Applied Science (ICOBAS)*. AIP Publishing. Pp. 12–18.

Jamali S, Banihashemi Z, 2012. First report of *Paecilomyces marquandii* from Iran. *Rostaniha* 13: 207–210. (In English with Persian abstract).

Jamali S, Haack RA, 2024. From glory to decline: uncovering causes of oak decline in Iran. *Forest Pathology* 54(5):e12898.

Joo JH, Hussein KA, 2022. Biological control and plant growth promotion properties of volatile organic compound-producing antagonistic *Trichoderma* spp. *Frontiers in Plant Science* 26: 897668.

Jung T, Colquhoun I, Hardy G, 2013. New insights into the survival strategy of the invasive soilborne pathogen *Phytophthora cinnamomi* in different natural ecosystems in western Australia. *Forest Pathology* 43: 266–288.

Kamata N, Esaki K, Kato K, Igeta Y, Wada K, 2002. Potential impact of global warming on deciduous oak dieback caused by ambrosia fungus *Raffaelea* sp. carried by ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae) in Japan. *Bulletin of Entomological Research* 92: 119–126.

Karami J, Kavosi MR, Babanezhad M, Kiapasha K, 2018. Integrated management of the charcoal disease by silviculture, chemical and biological methods in forest parks. *Journal of Sustainable Forestry 37*(5): 429-444.

Kavosi MR, Yavarian R, Mohammadzadeh A, Karami J, 2018. The effect of biological compounds and fungicides to combat *Biscogniauxia mediterranea* causal agent of charcoal disease in vitro. *Forest Research and Development 3*(4): 343-360.

Kong WL, Ni H, Wang WY, Wu XQ, 2022a. Antifungal effects of volatile organic compounds produced by *Trichoderma koningiopsis* T2 against *Verticillium dahliae*. *Frontiers in Microbiology* 13: 1013468.

Kong WL, Ni H, Wang WY, Wu XQ, 2022b. Antifungal effects of volatile organic compounds produced by *Trichoderma koningiopsis* T2 against *Verticillium dahliae*. *Frontiers in Microbiology* 13: 1013468.

Li N, Alfiky A, Wang W, Islam M, Nourollahi K, *et al*., 2018. Volatile compound-mediated recognition and inhibition between *Trichoderma* biocontrol agents and *Fusarium oxysporum*. *Frontiers in Microbiology* 31: 2614.

Liu Y, He P, He P, Munir S, Ahmed A, *et al*., 2022. Potential biocontrol efficiency of *Trichoderma* species against oomycete pathogens. *Frontiers in Microbiology* 13: 974024.

Ma J, Tsegaye E, Li M, Wu B, Jiang X, 2020. Biodiversity of *Trichoderma* from grassland and forest ecosystems in Northern Xinjiang, China. *3 Biotech* 10: 362.

Maddau L, Cabras A, Franceschini A, Linaldeddu BT, Crobu S, Roggio T, Pagnozzi D, 2009. Occurrence and characterization of peptaibols from *Trichoderma citrinoviride*, an endophytic fungus of cork oak, using

electrospray ionization quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Microbiology 155*(10): 3371-3381.

Manos PS, Hipp AL, 2021. An updated infrageneric classification of the North American oaks (*Quercus* Subgenus *Quercus*): Review of the contribution of phylogenomic data to biogeography and species diversity. *Forests* 12: 786.

Marques E, Martins I, Mello SCMD, 2018. Antifungal potential of crude extracts of *Trichoderma* spp. *Biota Neotropica* 18: e20170418.

Mirabolfathy M, 2013. Outbreak of charcoal disease on *Quercus* spp. and *Zelkova carpinifolia* trees in forests of Zagros and Alborz mountains in Iran. *Iranian journal of Plant pathology* 49: 77–79 (In Persian with English abstract).

Mirabolfathy M, Groenewald J, Crous P, 2011. The occurrence of charcoal disease caused by *Biscogniauxia mediterranea* on chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia*) in the Golestan Forests of Iran. *Plant Disease* 95: 876-876.

Mirabolfathy M, Ju YM, Hsieh HM, Rogers JD, 2013. *Obolarina persica* sp. nov., associated with dying *Quercus* in Iran. *Mycoscience* 54: 315–320.

Morais EM, Silva AA, Sousa FW, Azevedo IM, Silva HF *et al.*, 2022. Endophytic *Trichoderma* strains isolated from forest species of the Cerrado-Caatinga ecotone are potential biocontrol agents against crop pathogenic fungi. *PLoS One* 17: e0265824.

Mozaffari V, Malakuti M, Khaldbarin B, Bybordi M, 2005. Review several agents of pistachio dieback and control with optimal nutrition. *Journal of Science Soil* 19: 154–164.

Nandika D, Arinana A, Salman ABA, Putri JY, 2021. Morphological and molecular features of stain fungi infecting rubberwood (*Hevea brasiliensis*). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 22.

Olowe OM, Nicola L, Asemoloye MD, Akanmu AO, Sobowale AA, *et al.*, 2022. Characterization and antagonistic potentials of selected rhizosphere *Trichoderma* species against some *Fusarium* species. *Frontiers in Microbiology* 13: 985874.

Ruangwong OU, Wonglom P, Suwannarach N, Kumla J, Thaochan N, *et al.*, 2021b. Volatile organic compound from *Trichoderma asperelloides* TSU1: Impact on plant pathogenic fungi. *Journal of Fungi* 7: 187.

Oszako T, Voitka D, Stocki M, Stocka N, Nowakowska JA, *et al*., 2021. Trichoderma asperellum efficiently protects *Quercus robur* leaves against Erysiphe alphitoides. *European Journal of Plant Pathology* 159: 295-308.

Ownley BH, Trigiano RN, 2016. Plant Pathology Concepts and Laboratory Exercises. 3rd Edition, CRC Press, Tennessee. 600 pp.

Ozan GN, Yılmaz F, Çaplık D, Ören E, Bayraktar H, 2022. First report of pistachio die-back and canker disease caused by *Paecilomyces maximus* in Turkey. *Journal of Plant Pathology* 104(3): 1165–1165.

Raut I, Badea-Doni M, Calin M, Oancea F, Vasilescu G, *et al.*, 2014a. Effect of volatile and non-volatile metabolites from *Trichoderma* spp. against important phytopathogens. *Revista de Chimie* 65: 1285–1288.

Raut I, Calin M, Vasilescu G, Doni MB, Sesan T, *et al*., 2014b. Effect of non volatile compounds of *Trichoderma* spp. against *Fusarium graminearum*, *Rhizoctonia solani* and *Pythium ultimum*. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies* XVIII: 178–181.

Rostami T, Jamali S, 2022. First report of dieback of *Salix acmophylla* caused by *Paecilomyces formosus* in Iran. *Plant Disease* 106(9): 2518.

Rostami T, Jamali S, 2023a. Molecular diagnostics of *Paecilomyces formosus* in Zagros forests using species-specific primers. *Iranian Journal of Plant Protection Science* 54: 115–127.

Rostami T, Jamali S, 2023b. Characterization, pathogenicity and host range studies of *Paecilomyces formosus* associated with dieback of Christ's thorn trees (*Paliurus spina-christi* Mill.) in Iran. *Forest Pathology* 53(1):e12790.

Rostamian M, Kavousi M, Bazgir E, Babanejad M, 2017. The relationship between oak charcoal disease (*Biscogniauxia mediterranea*) and borer beetles in the Zagros forests, Khorram Abad. *Journal of Wood & Forest Science & Technology* 24(3): 110–142.

Ruangwong OU, Pornsuriya C, Pitija K, Sunpapao AJJOF, 2021a. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma koningiopsis* PSU3-2 against postharvest anthracnose of chili pepper. *Journal of Fungi* 7(4): 276.

Ruangwong OU, Wonglom P, Suwannarach N, Kumla J,

Thaochan N, *et al.*, 2021c. Volatile organic compound from Trichoderma asperelloides TSU1: Impact on plant pathogenic fungi. *Journal of Fungi* 7: 187.

Ruiz-Gómez FJ, Miguel-Rojas C, 2021. Antagonistic potential of native *Trichoderma* spp. against *Phytophthora cinnamomi* in the control of holm oak decline in Dehesas ecosystems. *Forests Trees & Livelihoods* 12: 945.

Sabernasab M, Jamali S, Marefat A, Abbasi S, 2019a. Molecular and pathogenic characteristics of *Paecilomyces formosus*, a new causal agent of oak tree dieback in Iran. *Forest Science* 65: 743–750.

Sabernasab M, Jamali S, Marefat A, Abbasi S, 2019b. Morphological and molecular characterization of *Neoscytalidium novaehollandiae*, the cause of *Quercus brantii* dieback in Iran. *Phytopathologia Mediterranea* 58: 347–357.

Sabernasab M, Jamali S, Marefat A, Abbasi S, 2020. Pathogenicity evaluation of pathogenic fungi causing of oak tree dieback in Kermanshah province. *Iranian Journal of Plant Protection Science* 51: 79–92.

Sanchez V, Rebolledo O, Picaso RM, Cardenas E, Cordova J, *et al.*, 2007. In vitro antagonism of *Thielaviopsis paradoxa* by *Trichoderma longibrachiatum*. *Mycopathologia et Mycologia Applicata* 163: 49–58.

Sanjeev K, Eswaran A, 2008. Efficacy of micro nutrients on banana fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense) and it's synergistic action with *Trichoderma viride*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 36: 52–54.

Sedjati S, Ambariyanto A, Trianto A, Supriyantini E, Ridlo A, *et al.*, 2020. Antibacterial activities of the extracts of sponge-associated fungus *Trichoderma longibrachiatum* against pathogenic bacteria. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest Biotechnology* 15: 81–90.

Shaigan S, Seraji A, Moghaddam S, 2008. Identification and investigation on antagonistic effect of *Trichoderma* spp. on tea seedlings white foot and root rot (*Sclerotium rolfsii* Sacc.) in vitro condition. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 11: 2346–50.

Shoda M, 2000. Bacterial control of plant diseases. *Journal of bioscience & Bioengineering* 89: 515–521.

Shu-wu ZH, Jia LI, Bing-liang XU, Li-jun GU, Ying-yu XU, 2013. Parasitic and lethal effects of *Trichoderma longibrachiatum* on *Heterodera avenae*: Microscopic observation and bioassay. *Yingyong Shengtai Xuebao* 24: 2955.

Siregar B, Liantiqomah D, Gafur A, Tjahjono B, 2022. Screening of endophytic *Trichoderma* isolates to improve the growth and health of *Eucalyptus pellita* seedlings. *The 2nd International Conference on Sustainable Plantation*, IOP Publishing. P. 012084.

Sobowale AA, Jonathan SG, Odu BO, Ayansina AD, Ojikutu TK, 2010. *Trichoderma longibrachiatum* as an antagonist of *Botrydiplodia theobromae*. *Archives of Phytopathology & Plant Protection* 43: 479–484.

Torabi A, Bonjar GH, Abdolshahi R, Pournamdari M, Saadoun I, *et al.*, 2019. Biological control of *Paecilomyces formosus*, the causal agent of dieback and canker diseases of pistachio by two strains of *Streptomyces misionensis*. *Biological Control* 137: 104029.

Tripathi R, Gupta RK, Shrivastav A, Singh M, Shrivastav B, *et al.*, 2013. *Trichoderma koningii* assisted biogenic synthesis of silver nanoparticles and evaluation of their antibacterial activity. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience Nanotechnology* 4: 035005.

Trutmann P, Keane P, 1990. *Trichoderma koningii* as a biological control agent for *Sclerotinia sclerotiorum* in Southern Australia. *Soil Biology Biochemistry* 22: 43–50.

Ubalua A, Oti E, 2007. Antagonistic properties of *Trichoderma viride* on post harvest cassava root rot pathogens. *African Journal of Biotechnology* 6(21): 2447–2450.

Víglaš J, Olejníková P, 2019. An isolate from forest environment with secondary metabolites with high antimicrobial potential. *Acta Chimica Slovaca* 12: 46–55.

Wang Z, Wang Z, Lu B, Quan X, Zhao G, *et al.*, 2022. Antagonistic potential of *Trichoderma* as a biocontrol agent against *Sclerotinia asari*. *Frontiers in Microbiology* 13: 997050.

Woo SL, Hermosa R, Lorito M, Monte E, 2023. *Trichoderma*: A multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology* 21: 312–326.

You J, Li G, Li C, Zhu L, Yang H, *et al.*, 2022. Biological

control and plant growth promotion by volatile organic compounds of *Trichoderma koningiopsis* T-51. *Journal of Fungi* 8: 131.

Zhang S, Gan Y, Xu B, 2014. Efficacy of *Trichoderma longibrachiatum* in the control of *Heterodera avenae*. *Biocontrol Science & Technology* 59: 319–331.

Zhu N, Zhou JJ, Zhang SW, Xu BL, 2022. Mechanisms of *Trichoderma longibrachiatum* T6 fermentation against Valsa mali through inhibiting its growth and reproduction, pathogenicity and gene expression. *Journal of Fungi* 8: 113.

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)