

شناسایی ریخت‌شناختی و مولکولی *Trichocladium solani* عامل بیماری پوسیدگی زرد غده

## سیب‌زمینی در ایران

محسن عیاری، ابوالفضل نرمانی، مهدی ارزنلو

گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. Mahdi.arzanlou@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۰۸ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۲

## چکیده

سیب‌زمینی *Solanum tuberosum* گیاهی است اقتصادی با ارزش غذایی بالا که سالانه تحت تأثیر بیمارگرهای قارچی دچار خسارت اقتصادی زیادی می‌شود. در تحقیق حاضر از میان ۳۰ نمونه غده سیب‌زمینی دارای علائم بیماری شوره سیاه سیب‌زمینی (عامل بیماری: *Rhizoctonia solani*) جمع‌آوری شده از منطقه سراب، استان آذربایجان شرقی، تعداد ۲۵ جدایه قارچی با خصوصیات ریخت‌شناختی پرگنه و الگوی رشد مشابه جداسازی شدند. شناسایی جدایه‌های قارچی با استفاده از تلفیق داده‌های ریخت‌شناختی و داده‌های توالی ناحیه ITS-rDNA و ژن بتاتوبولین (*tub2*) صورت گرفت. در تبارنمای استنتاج شده بر اساس ترکیب داده‌های دو ناحیه ژنی، جدایه‌های بررسی شده در این تحقیق به همراه داده‌های توالی نمونه تیپ گونه *Trichocladium solani* در تیره Chaetomiaceae قرار گرفتند. جدایه‌های این قارچ روی محیط کشت آرد یولاف آگار (OA) کنیدیوم‌برهای ساده شبیه اکرمونیوم تولید کردند که به صورت جانبی روی ریشه‌های شفاف بدون انشعاب تشکیل شدند. ویژگی‌های ریخت‌شناختی جدایه‌های بررسی شده با توصیف ارائه شده برای گونه *T. solani* همخوانی کامل داشت. نتایج آزمون بیماری‌زایی روی غده‌های سیب‌زمینی در شرایط آزمایشگاه، بیماری‌زایی این قارچ را روی سیب‌زمینی تأیید کرد. گونه *T. solani* اخیراً به عنوان گونه جدید و عامل بیماری پوسیدگی زرد غده سیب‌زمینی از روسیه توصیف و گزارش شده است. در بررسی حاضر گونه *T. solani* برای اولین بار از ایران گزارش می‌شود و خصوصیات ریخت‌شناختی، بیماری‌زایی و مولکولی این قارچ تعیین می‌گردد. با این وجود پراکنش جغرافیایی، دامنه میزبانی و اهمیت اقتصادی این بیماری هنوز ناشناخته باقی مانده است.

کلمات کلیدی: پوسیدگی زرد غده، سیب‌زمینی، تشخیص ریخت‌شناختی و مولکولی، آزمون بیماری‌زایی

## Phenotypic and molecular characterization of *Trichocladium solani*, the causal agent of yellow rot disease of potato tubers in Iran

Mohsen Ayyari, Abolfazl Narmani, Mahdi Arzanlou

Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Mahdi.arzanlou@gmail.com

Received: 1 May 2024 Revised: 28 May 2024 Accepted: 1 June 2024

## Abstract

Potato *Solanum tuberosum* is an economically significant crop with high nutritional value, which annually is adversely affected by fungal diseases, resulting in economic yield losses. In the present study, 25 fungal isolates with similar colony morphology and growth pattern were isolated from 30 potato tuber samples with symptoms of potato black scab (causal agent: *Rhizoctonia solani*) collected from the Sarab region, East Azarbaijan province. Identification of the fungal strains was carried out using a combination of morphological and molecular data from the ITS-rDNA region and the beta-tubulin gene (*tub2*). The inferred phylogenies based on the combined dataset of these two gene regions placed the examined strains together with sequence data of the type specimen of *Trichocladium solani* in the family Chaetomiaceae. The fungal strains cultured on oatmeal agar (OA) media produced simple, aseptate, acromonioid conidiophores formed laterally on unbranched, transparent hyphae. The morphological characteristics of the examined strains were fully consistent with the description provided for the species *T. solani*. Pathogenicity assay on potato tubers under laboratory conditions confirmed *T. solani* isolates being pathogenic on potato. *Trichocladium solani* was recently described and reported as a new species causing yellow rot disease on potato tuber rot in Russia. In this study, *T. solani* is reported for the first time from Iran, and the morphological, pathological, and molecular characteristics of this species are determined. Geographical distribution, host range and economic impact of the the disease remain to be studied.

**Key words:** Yellow rot of potato tubers, Potato, Morphological and molecular diagnosis, Pathogenicity test

## How to cite:

Ayyari M, Narmani A, Arzanlou M, 2024. Phenotypic and molecular characterization of *Trichocladium solani*, the causal agent of yellow rot disease of potato tubers in Iran. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 13 (2): 205-217.

## مقدمه

سیب‌زمینی گیاهی است با نام علمی *Solanum tuberosum* Linnaeus از تیره سولاناسه با ارزش غذایی بالا که در ۱۵۸ کشور جهان کشت می‌شود و از نظر میزان مصرف پس از گندم، ذرت و برنج در جایگاه چهارم جهان قرار دارد (Shah et al. 2013, FAO 2022). سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در جهان است. مطابق داده‌های آماری فائو برای سال ۲۰۲۱، میزان تولید سیب‌زمینی در دنیا حدود ۳۷۶ میلیون تن برآورد شده است (Faostat 2021). ایران با تولید ۵/۴ میلیون تن غده سیب‌زمینی، رتبه ۱۹ را در بین کشورهای تولیدکننده سیب‌زمینی در سال ۲۰۲۰ داشته است. گیاه سیب‌زمینی همانند سایر گیاهان زراعی تحت تاثیر عوامل بیماری‌زای مختلفی قرار دارد که این عوامل سالانه عامل از بین رفتن بخش اعظمی از تولیدات سیب‌زمینی در سراسر جهان هستند. این عوامل بیماری‌زا شامل قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها نامتدها و شرایط محیطی می‌باشد (Doehlemann et al. 2017).

سیب‌زمینی در برابر طیف وسیعی از عوامل بیماری‌زا حساس است که همگی می‌توانند باعث کاهش شدید کیفیت و عملکرد محصول شوند. بیماری‌های ناشی از این عوامل بیماری‌زا با تأثیر بر کیفیت سیب‌زمینی در طول کشت، انبارداری و فراوری خسارت قابل توجهی را به دنبال دارد. برخی از بیماری‌های مهم و اقتصادی سیب زمینی در دنیا عبارتند از سوختگی دیررس (*Phytophthora infestans* Mont)، سوختگی زودرس (*Alternaria solani* Sorauer)، پوسیدگی خشک فوزاریومی ایجاد شده توسط چندین گونه *Fusarium* Link، شانکر ساقه (*Rhizoctonia solani* Kühn)، پژمردگی باکتریایی (*Ralstonia solanacearum* Smith)، پوسیدگی نرم باکتریایی ایجاد شده توسط چندین گونه *Pectobacterium* Link، ویروس Y سیب‌زمینی (PVY) (Moslemkhani et al. 2022) و نماتد سیست طلائی سیب‌زمینی (*Globodera rostochiensis* Woll) (Adolf et al. 2020; Kreuze et al. 2020) که در این بین بیمارگرهای قارچی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. به طور مثال، خسارت محصول سیب‌زمینی تنها در اثر بیماری بلایت دیررس تا ۲۱۰/۷ میلیون دلار در ایالات متحده آمریکا تخمین زده شده است، با هزینه‌های کنترل در مجموع ۷۷/۱ میلیون دلار برای قارچ‌کش‌ها و بدون احتساب شیوه‌های کنترل غیر قارچ‌کش این مبلغ به طور متوسط ۵۰۷ دلار آمریکا در هکتار می‌رسد (Guenther et al. 2001). بیماری بادزدگی سیب‌زمینی یا بلایت دیررس سیب‌زمینی

ناشی از اوومیسست *P. infestans*، در اواسط قرن نوزدهم باعث خسارت ویرانگر در سراسر اروپا و نیوانگلند، ایالات متحده شد (Turner 2005)، و همچنان تولید سیب‌زمینی را در قرن بیست و یکم تهدید می‌کند (Fry 2008; Hu et al. 2012).

پوسیدگی خشک فوزاریومی سیب‌زمینی یک بیماری مهم پس از برداشت در سراسر جهان است که توسط چندین گونه *Fusarium* ایجاد می‌شود (Secor & Salas 2001). پوسیدگی خشک فوزاریومی، غده‌های سیب‌زمینی موجود در انبار و هم بذور کاشته شده در مزرعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Choiseul et al. 2001).

از دیگر بیماری‌های قارچی خسارت‌زای سیب‌زمینی می‌توان به بیماری شوره سیاه سیب‌زمینی ناشی از قارچ *R. solani* اشاره نمود که در زمان‌های مختلف در تمام قسمت‌های زیرزمینی گیاه در طول فصل رشد علائم ایجاد می‌کند. بیماری شوره سیاه سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین و پر خسارت‌ترین بیماری‌های سیب‌زمینی در تمامی مناطق کشت این محصول در سراسر جهان و از جمله ایران (استان‌های همدان، اردبیل، اصفهان، کردستان و کرمان) می‌باشد (Moradzade Eskandari 2023). به‌طور کلی میزان خسارت ناشی از این بیماری، بستگی به حساسیت رقم و شدت آلودگی بوته‌ها داشته و کاهش میزان محصول تا ۴۰ درصد گزارش شده است (FAO 2018). قارچ *R. solani* مترادف‌های زیادی دارد و به زیر گروه‌هایی به نام گروه‌های آناستوموزی (Anastomosis Groups, AGS) تقسیم می‌شود که در آن جدایه‌ها با توجه به توانایی آنها در آناستوموز (همدانه‌ی: جوش خوردن و تولید هتروکاریون پایا) با یکدیگر طبقه‌بندی می‌شوند (Johnk et al. 1993; Carling et al. 2002; Woodhall et al. 2007). قارچ *R. solani* باعث ایجاد لکه‌های سیاه بر روی غده، ساقه و استولون سیب‌زمینی می‌شود و در هر کجا که سیب‌زمینی رشد می‌کند باعث بیماری می‌شود. همچنین خسارت اقتصادی این بیماری در خاک‌های سرد و مرطوب زیاد می‌باشد (Banville 1989).

همچنین در سال‌های اخیر بیماری قارچی جدیدی تحت عنوان بیماری پوسیدگی زرد غده سیب‌زمینی از سیب‌زمینی برای اولین بار در دنیا توسط (Belosokhov et al. 2022) از روسیه گزارش شده است. بیماری پوسیدگی زرد غده سیب‌زمینی توسط گونه *Trichocladium solani* ایجاد می‌شود. *T. solani* یکی از اعضای جنس *Trichocladium* بوده و این جنس برای اولین بار توسط Harz (1872) با گونه تیپ *T. asperum* توصیف شده است. مشخصه اصلی اعضای این جنس

برای خالص سازی جدایه‌های قارچی جدا شده در تحقیق حاضر از روش نوک ریشه کردن استفاده گردید. به این صورت که ابتدا برای خالص‌سازی ریشه قارچ‌های رشد کرده به وسیله سوزن سترون به تشتک‌های پتری هشت سانتی‌متر حاوی محیط کشت آب و آگار ۲۰ درصد (Water Agar, WA) منتقل و به مدت دو الی سه روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بعد از رشد ریشه‌ها به صورت تنک روی محیط کشت WA از انتهای ریشه‌ها به تعداد سه قطعه برداشته شده و سپس به تشتک‌های پتری شش سانتی‌متر حاوی محیط کشت PDA منتقل شدند. بعد از رشد قارچ‌ها در محیط کشت PDA قطعه‌ای از قارچ به همراه محیط کشت توسط سوزن استریل برش داده شد. قطعه‌های برش یافته در میکروتیوب‌های ۱/۵ یا دو میلی‌لیتری که حاوی محیط کشت آگار مغذی مصنوعی (Syntetic Nutrient Agar, SNA) بودند، منتقل شدند. بعد از هفت روز از نگهداری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور دور درب میکروتیوب‌ها با پارافیلیم مسدود و جهت نگهداری طولانی مدت جدایه‌های قارچی در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به یخچال انتقال یافتند.

#### شناسایی ریخت‌شناختی

برای توصیف و شناسایی از مشخصات مربوط به صفات ماکروسکوپی و میکروسکوپی که جزء مهم‌ترین ویژگی‌ها هستند، استفاده گردید. در تحقیق حاضر ویژگی‌هایی از جمله نوع حاشیه پرگنه، سرعت رشد، تولید یا عدم تولید رنگ‌دانه، و دیگر خصوصیات ظاهری (صفات ماکروسکوپی) و نیز، اسپور دهی یا عدم اسپوردهی جدایه قارچی، اندازه و شکل کنیدیوم‌ها (صفات میکروسکوپی) مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از کلیدهای موجود و توصیف‌های ارائه شده در منابع جهت گروه‌بندی اولیه جدایه‌های موجود استفاده گردید. برای توصیف و مشاهده ساختارهای قارچی علاوه بر محیط کشت PDA، از محیط کشت‌های آرد ذرت آگار (Corn Meal Agar, CMA)، (Potato Carrot Agar, PCA)، SNA و (Oatmeal Agar, OA) استفاده شد. جدایه‌های قارچی در سه تکرار کشت شده و سپس رنگ سطح و پشت، قطر پرگنه در هر محیط کشت به‌صورت جداگانه بررسی و اندازه‌گیری شدند. برای بررسی دقیق‌تر اندازه‌های مربوط به کنیدیوم‌ها و ساختارهای قارچی از میکروسکوپ مجهز به دوربین و خط کش میکرومتری استفاده گردید. تصاویر ساختارهای قارچی با استفاده از دوربین دیجیتال المپیوس متصل به میکروسکوپ نوری استفاده گردید.

تولید کنیدیوم‌برهای اکرمونیوم مانند با رنگدانه‌های تیره است. گونه‌های متعلق به جنس *Trichocladium* بیشتر از خاک، رسوبات دهانه رودخانه، برگ و فضولات حیوانی جداسازی شده‌اند (Wang et al. 2019). گونه *T. solani* در روسیه از غده‌های سیب‌زمینی در شرایط انباری با پراکنش بالا و با خسارت قابل توجهی جداسازی و گزارش شده است (Belosokhov et al. 2022).

از این رو می‌توان گفت که شناسایی و ردیابی عوامل ایجاد کننده بیماری و اتخاذ شیوه‌های مناسب مدیریتی بیماری می‌تواند عملکرد محصولات کشاورزی به خصوص سیب‌زمینی را افزایش دهد. طی بررسی بیماری‌های غده سیب زمینی در منطقه سراب، یک گروه قارچی از غده‌های سیب زمینی دارای نشانه‌های بیماری شوره سیاه با فراوانی و پراکنش بالا جداسازی گردید، لذا تحقیق حاضر با هدف شناسایی ریخت‌شناختی و مولکولی و بررسی بیماری‌زایی این گروه قارچی انجام گردید.

#### مواد و روش‌ها

##### نمونه‌برداری و جداسازی

به منظور نمونه‌برداری، در طول فصل زراعی تابستان ۱۴۰۱ از مزارع سیب‌زمینی در شهرستان سراب نمونه‌برداری در چند نوبت به صورت کاملاً تصادفی به عمل آمد. نمونه‌های سیب‌زمینی از غده‌های دارای علائم شبیه به شوره سیاه سیب‌زمینی (*R. solani*) جمع‌آوری گردید.

به منظور کشت نمونه‌های غده سیب‌زمینی از محیط کشت سیب‌زمینی، دکستروز و آگار حاوی آنتی‌بیوتیک تتراسایکلین برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها (Potato Dextrose Agar, PDA) استفاده گردید. ابتدا برش‌های از ناحیه پوست سیب‌زمینی دارای علائم بیماری شوره سیاه (سختینه) با قطعات کوچکی در اندازه ۰/۵ در ۰/۵ میلی‌متر با اسکالپل استریل انجام شد. قطعات برش یافته در اتانول ۰/۷۵ به مدت ۳۵-۵۵ ثانیه استریل شده و سپس در آب مقطر استریل به مدت یک دقیقه جهت شست و شو قرار داده شدند. در نهایت برای خشک کردن قطعات، قطعات روی کاغذ صافی استریل انتقال یافتند. بعد از خشک شدن، قطعات برش یافته با پنس استریل در تشتک‌های پتری هشت سانتی‌متری حاوی محیط کشت PDA کشت داده شدند. تشتک‌ها به مدت هفت الی ۱۰ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور جهت رشد قارچ‌ها نگهداری شدند.

خالص‌سازی و نگهداری جدایه‌های قارچی

## استخراج DNA و شناسایی مولکولی

(1992) مورد استفاده قرار گرفت. در مطالعه حاضر تکثیر از دو ناحیه ژنی ITS-rDNA و Tub2 انجام پذیرفت که به ترتیب برای نواحی ژنی موردنظر از آغازگرهای 5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3' و 5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3' (TUB4Rd و ITS4) استفاده گردید (Belosokhov et al. 2022). واکنش زنجیره‌ای پلی مرز در حجم ۱۲/۵ میکرولیتر با شرایط واکنش و دمای ذکر شده (جدول ۱) انجام شد (Belosokhov et al. 2022).

به منظور شناسایی دقیق تر و تأیید هویت جدایه‌های قارچی موجود در تحقیق حاضر از داده‌های توالی نواحی ژنی استفاده گردید. ابتدا جدایه‌های قارچی که برای شناسایی مولکولی انتخاب شده بودند، در تشتک‌های پتری حاوی محیط کشت PDA کشت داده شدند سپس در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و به مدت هفت روز در انکوباتور قرار گرفتند. در مرحله بعد تحت شرایط استریل و با استفاده از اسکالپل استریل بافت قارچی رشد یافته برای جداسازی میسلیوم قارچی خراش داده شد و برای انجام استخراج DNA به روش CTAB (Möller et al.)

جدول ۱. چرخه های حرارتی مورد استفاده برای تکثیر نواحی ژنی با استفاده از آغازگرهای مختلف طی واکنش زنجیره‌ای پلی‌مرز.

**Table 1.** Thermal cycles used for amplification of genomic regions with various primers via polymerase chain reaction.

Final extension (Temperature/Time)	36 Thermal cycles (Temperature/Time)			Initial denaturation Temperature/Time)	Genomic region
	Extension	Annealing	Denaturation		
8 Min//72 °C	45 s//72 °C	30 s//55 °C	30 s//94 °C	3 Min//95 °C	ITS-rDNA
8 Min//72 °C	45 s//72 °C	30 s//60 °C	30 s//94 °C	3 Min//95 °C	Tub2

(2022) اجرا گردید. غده‌های سالم سیب‌زمینی رقم آرگیا در هیپوکلرید سدیم نیم درصد به مدت ۱۰ دقیقه جهت ضدعفونی نگهداری سپس با آب مقطر استریل شست‌وشو داده شده و روی کاغذ صافی سترون جهت هوا خشک شدن منتقل گردیدند. برای تلقیح قارچ، در روی غده‌های سیب‌زمینی زخم‌هایی دایره‌ای به قطر پنج میلی‌متری و عمق ۱۰ میلی‌متر ایجاد شد. جدایه‌های قارچی هفت روزه رشد کرده در محیط PDA همراه با مقداری از محیط PDA به جهت تلقیح غده سیب‌زمینی در محل زخم قرار گرفتند (برای تیمار شاهد از محیط کشت PDA بدون قارچ استفاده گردید). در نهایت محل زخم‌ها توسط پارافیلیم مسدود گردید. برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شد. غده‌های سیب‌زمینی به مدت ۳۰ روز در شرایط دمایی ۲۵ درجه سانتی‌گراد جهت ظهور علائم بیماری در انکوباتور نگهداری گردیدند. جهت تکمیل اصول کخ، عامل بیماری مجدداً از بافت‌های تلقیح شده جداسازی گردید و با توجه به خصوصیات ریخت‌شناختی مورد بررسی و تأیید قرار گرفت.

## نتایج

## نمونه برداری و جداسازی

تعداد ۳۰ غده سیب‌زمینی از مزارع مختلف سیب‌زمینی در شهرستان سراب جمع‌آوری گردید. نمونه‌های سیب‌زمینی از

محصولات واکنش زنجیره‌ای پلی‌مرز از ژل آگارز یک درصد حاوی اتیدیوم بروماید در بافر TAE 1X (1 mM EDTA (PH=8), 20 mM acetic acid, 40 mM Tris base) عبور داده شدند و عکس‌برداری با استفاده از دستگاه ژل داک (Gel Documentation) انجام و قطعه تکثیر یافته برای هر ناحیه ژنی جهت توالی‌یابی به شرکت میکروسینس سوئیس فرستاده شد. داده‌های خام حاصل از توالی‌یابی نوکلئوتیدی که به صورت فایل‌های جداگانه برای آغازگرهای مستقیم و معکوس هر نمونه دریافت شده بودند با استفاده از نرم‌افزار SeqMan (DNASTAR Inc., Madison, WI, USA) ویرایش و با توالی‌های موجود در بانک ژن با استفاده از ابزار جستجوی آنلاین بلاست (BLAST) مقایسه گردید و پس از مشخص شدن هویت جدایه، ترادف‌های رفرنس و ترادف‌های استرین‌های تیپ گونه قارچی با بیشترین درصد مشابهت انتخاب و دانلود شدند. زیر هم چینی و ویرایش دستی توالی‌های به‌دست‌آمده از ناحیه ITS-rDNA و ژن بتاتوبولین به طور جداگانه با استفاده از نرم‌افزار MEGA6 انجام شد. همچنین ترسیم تبارنمای حاصل براساس روش استنتاج بیژن و با استفاده از نرم افزار MrBayes ver. 3.2.5 صورت گرفت.

## آزمون بیماری‌زایی قارچ در غده سیب‌زمینی

آزمون بیماری‌زایی مطابق روش Belosokhov et al.

به‌منظور تأیید هویت گونه *T. solani* از توالی نوکلئوتیدی ناحیه ITS-rDNA و ژن  $\beta$ -Tubulin استفاده شد. نتایج آنالیز بلاست نشان داد که توالی ناحیه ITS-rDNA و ژن  $\beta$ -Tubulin جدایه CCTU Ab230 به‌دست‌آمده در این تحقیق، با توالی‌های مرجع موجود در بانک ژن NCBI برای گونه‌های جنس *Trichocladium* مشابهت دارد. توالی‌های دارای بیشترین تشابه از بانک ژن دریافت گردید (جدول ۲). جهت تعیین دقیق حدود و ثغور گونه جدایه مورد بررسی در این مطالعه، آنالیز تبارشناختی دو ژنی مجموعه توالی‌های ناحیه ITS-rDNA و ژن  $\beta$ -Tubulin با استنتاج بیژنی انجام شد. این مجموعه توالی‌ها ۵۵ آرایه گروه داخلی و یک آرایه گروه خارجی را شامل شدند. آرایه CBS 116.64 (*Botryotrichum verrucosum*) به‌عنوان گروه خارجی در نظر گرفته شد. با استفاده از نرم‌افزار مستر مدل تست، مناسب‌ترین مدل جایگزینی GTR+I+G تشخیص داده شد. این مجموعه توالی‌ها ۱۰۵۱ کاراکتر را شامل شد که حدود و ثغور ژن‌ها به صورت ۱ تا ۵۵۶ (ITS-rDNA) و ۵۵۷ تا ۱۰۵۱ (ژن  $\beta$ -Tubulin) رج‌بندی گردید. این مجموعه توالی‌ها دارای ۴۵۷ الگوی مکانی منحصره‌فرد بودند. که هرکدام از هر دو ناحیه ژنی ITS-rDNA و ژن  $\beta$ -Tubulin به ترتیب دارای ۱۶۰ و ۲۹۷ الگوی مکانی منحصر به فرد بودند. در آنالیز تبارشناختی دو ژنی، جدایه CCTU Ab230 مورد مطالعه، با جدایه‌های مرجع گونه‌های *T. solani* با پشتیبانی پسین بالا در یک خوشه قرار گرفتند. با تلفیق داده‌های ریخت‌شناختی و مولکولی مبتنی بر ناحیه ITS-rDNA و ژن  $\beta$ -Tubulin جدایه مورد مطالعه در این تحقیق گونه *T. solani* شناسایی گردید (شکل ۲).

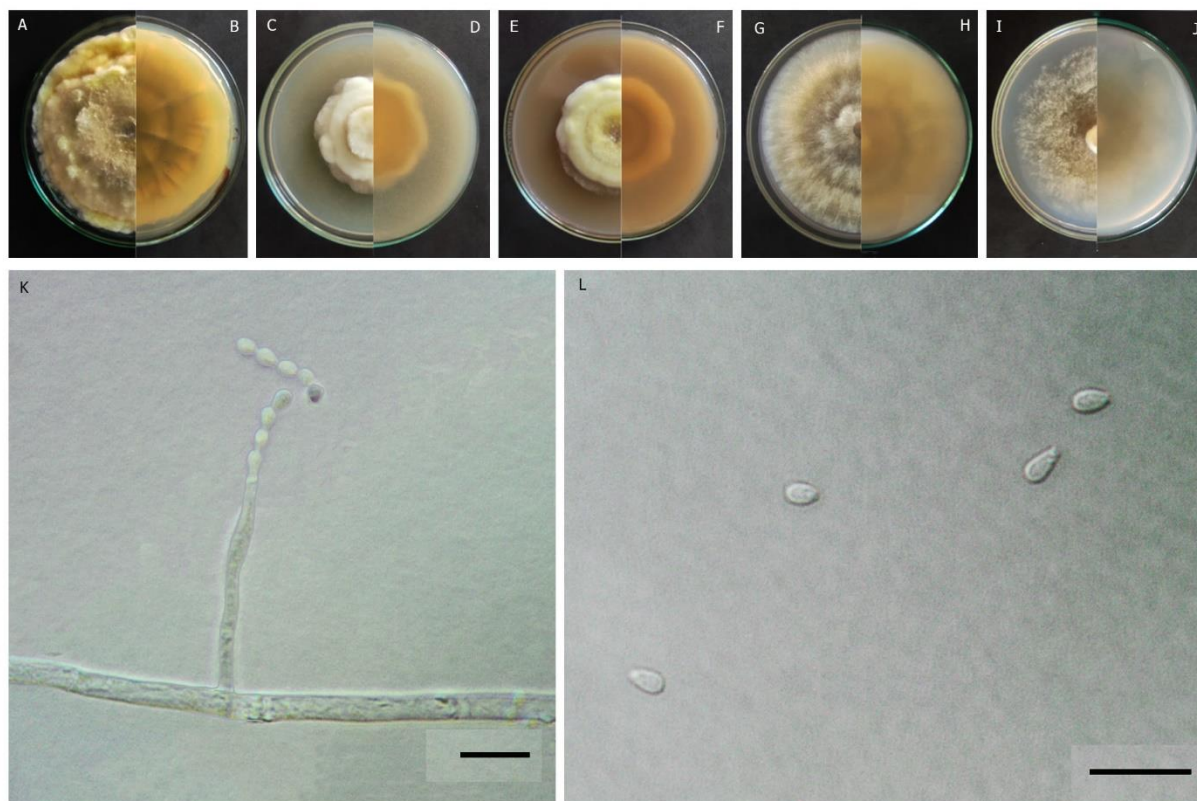
از نظر فیلوژنتیکی، گونه *T. solani* نزدیک به گونه‌های *T. antarcticum* و *crispatum* (= *Chaetomium crispatum*) Belosokhov et al. (= *Thielavia antarctica*) Stchigel است (Belosokhov et al. 2022). گونه *T. crispatum* براساس ویژگی‌های مرحله جنسی توصیف شده است و فاقد مرحله غیر جنسی می‌باشد. گونه *T. solani* فاقد مرحله جنسی شناخته شده می‌باشد و براساس ویژگی‌های مرحله غیر جنسی توصیف شده است. گونه *T. solani* برای اولین بار در دنیا توسط (Belosokhov et al. 2022) از روی غده سیب‌زمینی به‌عنوان قارچ عامل بیماری پوسیدگی زرد غده سیب‌زمینی از روسیه گزارش گردید. این گونه فاقد مرحله جنسی بوده و از نظر ریخت‌شناختی با کنیدیوم‌های عمومی اکرمونیوم مانند روی فیالیدهای منفرد و زنجیره‌ای از کلامیدوسپورهای متورم مشخص می‌شود.

غده‌های دارای علائم شبیه به شوره سیاه سیب‌زمینی (*R. solani*) جمع آوری شده بودند. در آزمایشگاه از ساختارهای سختینه بیماری شوره سیاه سیب‌زمینی کشت به عمل آمد و تعداد چهار جدایه قارچ با خصوصیات ریخت‌شناختی مشابه به قارچ *R. solani* و ۲۵ جدایه قارچ با الگوی رشد و خصوصیات ریخت‌شناختی یکسان جداسازی شدند. هدف اصلی این تحقیق، جداسازی قارچ *R. solani* از نمونه‌ها بود که به دلیل فراوانی رشد جدایه‌های قارچی با خصوصیات ریخت‌شناختی یکسان در نمونه‌ها، مطالعه بر روی این جدایه‌های قارچی ناشناخته انجام گرفت. براساس ویژگی‌های ریخت‌شناختی ساختارهای میکروسکوپی و پرگنه، ۲۵ جدایه قارچ مشابه به دست آمده در این تحقیق همگی متعلق به قارچ بیمارگر *Trichocladium solani* بودند. هویت گونه و جایگاه فیلوژنتیک جدایه‌ها با استفاده از تلفیق داده‌های دو ناحیه ITS و ژن بتاتوبولین تأیید گردید.

گونه *Trichocladium solani* Belosokhov & Elansky, Journal of Fungi 8 (11, no. 1160): 9 (2022)

پرگنه روی هر پنج نوع محیط کشت PDA، CMA، PCA، OA در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و شرایط تاریکی، دارای ریشه‌های تمام لبه تا کمی موج دار، با ریشه هوایی ضخیم، بافت رویی پنبه‌ای و رنگ پریده تا زرد رنگ مشاهده شد. شعاع پرگنه پس از هفت و ۱۴ روز در محیط کشت PDA به ترتیب ۲۱/۳۳ و ۳۲، در محیط کشت CMA به ترتیب ۱۶/۵۰ و ۲۰/۳۰، در محیط کشت PCA به ترتیب ۱۸ و ۲۴/۵۰، در محیط کشت SNA به ترتیب ۱۹/۶۰ و ۳۴/۵۰ و در محیط کشت OA به ترتیب ۲۷/۳۰ و ۳۹/۳۰ میلی متر اندازه گیری شد. سطح روئی پرگنه به دلیل وجود توده‌های کنیدیومی، به رنگ زرد و سطح زیرین نیز زرد متمایل به خاکستری می‌باشد. کنیدیوم‌ها اکرمونیوم مانند فیالییدیک، که به صورت جانبی از ریشه‌های شفاف بدون انشعاب، به طول ۱۶-۱۸ میکرومتر و عرض ۲/۲-۱/۵ میکرومتر در نزدیکی قاعده تشکیل شدند. فیالیدها در اندازه (۳/۳-۳/۲) × (۳/۴-۳/۳) × (۲۸/۲-۲۸/۲) میکرومتر و کنیدیوم‌های اکرمونیوم‌مانند به‌صورت زنجیره‌ای، بیضی شکل با قاعده بریده شده و راس گرد، در اندازه (۱/۸-۳/۲) × (۱/۷-۱/۷) × (۲/۵-۱/۲-۹/۹) میکرومتر تشکیل شدند (شکل ۱).

شناسایی مولکولی *Trichocladium solani*



شکل ۱. ویژگی‌های ریخت‌شناختی گونه *Trichocladium solani*: **A-B**: روی و پشت پرگنه قارچ در محیط کشت PDA. **C-D**: روی و پشت پرگنه قارچ در محیط کشت CMA. **E-F**: روی و پشت پرگنه قارچ در محیط کشت PCA. **G-H**: روی و پشت پرگنه قارچ در محیط کشت OA. **I-J**: روی و پشت پرگنه قارچ در محیط کشت SNA. **K**: کنیدیوم‌بر، فیالید اکرومنیوم مانند به همراه زنجیری از کنیدیوم‌های اکرومنیوم مانند بیضی شکل. **L**: کنیدیوم‌های اکرومنیوم مانند بیضی شکل. مقیاس: ۱۰ میکرومتر.

**Figure 1.** Morphological characteristics of *Trichocladium solani*. **A-B**: Front and back views of the fungal colony on PDA medium. **C-D**: Front and back views of the fungal colony on CMA medium. **E-F**: Front and back views of the fungal colony on PCA medium. **G-H**: Front and back views of the fungal colony on OA medium. **I-J**: Front and back views of the fungal colony on SNA medium. **K**: Acromonioid conidia, resembling acromoniim-like phialides along with a chain of egg-shaped acromonium-like conidia. **L**: Egg-shaped acromonium-like conidia. Scale: 10 micrometers.

شکل غیرجنسی دارای ناهمگنی قابل توجهی در شکل کنیدیوم، رنگدانه و رشد هستند (Wang *et al.* 2019). این جنس در چهار زیر گروه توصیف شده است: زیر گروه یک شامل گونه تیپ جنس *T. asperum* بود که کنیدیوم‌های رنگدانه‌ای، منفرد و مونوبلاستیک را روی کنیدیوفورهای تا حدودی متمایز تولید می‌کند. زیر گروه‌های دو و سه فقط شامل گونه‌های با شکل جنسی بودند که آسکوماتای استیول دار یا بدون استیول تولید می‌کردند. گونه‌های زیر گروه چهار ساختارهای غیرجنسی (کنیدیوم‌های شفاف)، یا فقط ساختارهایی با تمایز ضعیف، با وجود یا عدم وجود مراحل جنسی تولید می‌کردند.

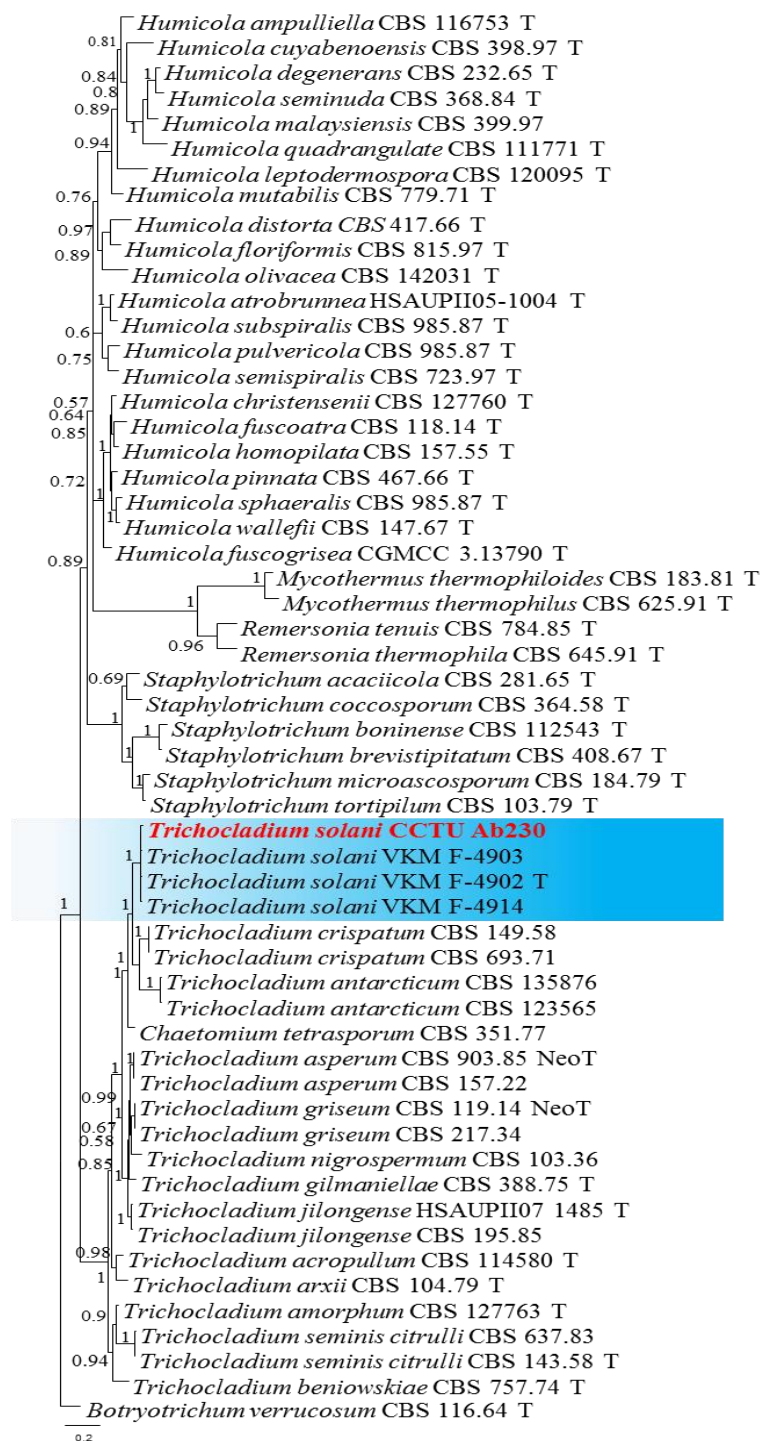
جنس *Trichocladium* از شاخه Ascomycota، راسته Sordariales، رده Sordariomycetes تیره Chaetomiaceae می‌باشد. اعضای جنس *Trichocladium* Harz یک گروه متنوع در تیره Chaetomiaceae است که از نظر فیلوژنتیکی به خوبی تفکیک شده است. با این حال، به‌طور کلی خصوصیات ریخت‌شناختی آن ساده نبوده و ویژگی‌های ریخت‌شناختی گونه‌های درون جنس مختص *Trichocladium* نیست (Wang *et al.* 2019). این جنس اکنون شامل ۱۹ گونه است (Wang *et al.* 2019). این گونه‌ها قبلاً براساس ویژگی‌های ریخت‌شناختی در داخل کمپلکس‌های *Chaetomidium*، *Gilmaniella*، *Beniowskia*، *Thielavia*، *Chaetomium* و *Humicola* گروه بندی می‌شدند، گونه‌های با

جدول ۲. لیست گونه‌های قارچی استفاده شده در استنباط درخت تبارزایی.

**Table 2.** The list of fungal species used for phylogenetic tree inference.

Species	Accession number	GenBank numbers1. ITS	GenBank numbers2. <i>tub2</i>
<i>Humicola ampulliiella</i>	CBS 116753 T	LT993568.1	LT993649
<i>Humicola cuyabenoensis</i>	CBS 398.97 T	LT993573.1	LT993654
<i>Staphylotrichum acaciicola</i>	CBS 281.65 T	LT993613.1	LT993694
<i>Staphylotrichum boninense</i>	CBS 112543 T	LT993617.1	LT993698
<i>Staphylotrichum brevistipitatum</i>	CBS 408.67 T	LT993619.1	LT993700
<i>Staphylotrichum microascosporum</i>	CBS 184.79 T	LT993624.1	LT993705
<i>Staphylotrichum tortipilum</i>	CBS 103.79 T	LT993625.1	LT993706
<i>Staphylotrichum coccosporum</i>	CBS 364.58 T	LT993620.1	LT993701
<i>Humicola degenerans</i>	CBS 232.65 T	LT993574.1	LT993655
<i>Humicola seminuda</i>	CBS 368.84 T	LT993594.1	LT993675
<i>Humicola quadrangulate</i>	CBS 111771 T	LT993593.1	LT993674
<i>Humicola malaysiensis</i>	CBS 399.97	LT993586.1	LT993667
<i>Mycothermus thermophiloides</i>	CBS 183.81 T	LT993603.1	LT993684
<i>Mycothermus thermophilus</i>	CBS 625.91 T	LT993604.1	LT993685
<i>Remersonia tenuis</i>	CBS 784.85 T	LT993609.1	LT993690
<i>Remersonia thermophila</i>	CBS 645.91 T	LT993611.1	LT993692
<i>Humicola atrobrunnea</i>	HSAUPII05-1004 T	LT993570.1	LT993651
<i>Humicola subspiralis</i>	CBS 985.87 T	LT993599.1	LT993680
<i>Humicola subspiralis</i>	CBS 985.87 T	LT993591.1	LT993681
<i>Humicola semispiralis</i>	CBS 723.97 T	LT993597.1	LT993678
<i>Humicola fuscogrisea</i>	CGMCC 3.13790 T	LT993581.1	LT993662
<i>Humicola distorta</i>	CBS 417.66 T	LT993577.1	LT993658
<i>Humicola floriformis</i>	CBS 815.97 T	LT993578.1	LT993659
<i>Humicola olivacea</i>	CBS 142031 T	LT993589.1	LT993670
<i>Humicola mutabilis</i>	CBS 779.71 T	LT993588.1	LT993669
<i>Humicola christensenii</i>	CBS 127760 T	LT993571.1	LT993652
<i>Humicola fuscoatra</i>	CBS 118.14 T	LT993579.1	LT993660
<i>Humicola homopilata</i>	CBS 157.55 T	LT993582.1	LT993663
<i>Humicola pinnata</i>	CBS 467.66 T	LT993590.1	LT993671
<i>Humicola sphaeralis</i>	CBS 985.87 T	LT993598.1	LT993679
<i>Humicola wallefii</i>	CBS 147.67 T	LT993602.1	LT993683
<i>Humicola leptodermospora</i>	CBS 120095 T	LT993584.1	LT993665
<i>Trichocladium solani</i>	VKM F-4903	OL691126.1	OL314243
<i>Trichocladium solani</i>	VKM F-4902 T	OL691125.1	OL314244
<i>Trichocladium solani</i>	VKM F 4914	OL691121.1	OL314248
<b><i>Trichocladium solani</i></b>	<b>CCTU Ab230</b>	<b>PP837825</b>	<b>PP839927</b>
<i>Trichocladium crispatum</i>	CBS 149.58	LT993636.1	LT993717
<i>Trichocladium crispatum</i>	CBS 693.71	LT993637.1	LT993718
<i>Trichocladium antarcticum</i>	CBS 135876	LT993630.1	LT993711
<i>Trichocladium antarcticum</i>	CBS 123565	LT993629.1	LT993710
<i>Chaetomium tetrasporum</i>	CBS 351.77	LT993647.1	LT993728
<i>Trichocladium asperum</i>	CBS 903.85 NeoT	LT993632.1	LT993713
<i>Trichocladium asperum</i>	CBS 157.22	LT993633.1	LT993714
<i>Trichocladium gilmaniellae</i>	CBS 388.75 T	LT993638.1	LT993719
<i>Trichocladium griseum</i>	CBS 119.14 NeoT	LT993639.1	LT993720
<i>Trichocladium griseum</i>	CBS 217.34	LT993641.1	LT993721
<i>Trichocladium jilongense</i>	HSAUPII07 1485 T	LT993642.1	LT993723
<i>Trichocladium jilongense</i>	CBS 195.85	LT993643.1	LT993724
<i>Trichocladium nigrospermum</i>	CBS 103.36	LT993644.1	LT993725
<i>Trichocladium amorphum</i>	CBS 127763 T	LT993628.1	LT993709
<i>Trichocladium beniowskiae</i>	CBS 757.74 T	LT993635.1	LT993716
<i>Trichocladium seminist citrulli</i>	CBS 637.83	LT993645.1	LT993726
<i>Trichocladium seminist citrulli</i>	CBS 143.58 T	LT993646.1	LT993727
<i>Trichocladium acropullum</i>	CBS 114580 T	LT993626.1	LT993707
<i>Trichocladium arxii</i>	CBS 104.79 T	LT993631.1	LT993712
<i>Botryotrichum verrucosum</i>	CBS 116.64 T	LT993567.1	LT993648





شکل ۲. تبارنمای حاصل از استنتاج بیژینی دو ناحیه ITS-rDNA و ژن  $\beta$ -Tubulin گونه‌های *Trichocladium* با استفاده از نرم‌افزار MrBayes ver. 3.2.1 تبارنما با گونه خارجی *Botryotrichum verrucosum* CBS 116.64 T ریشه‌دار شده است. مقیاس خطی ۰/۲ جایگزینی مورد انتظار در هر مکان را نشان می‌دهد. اعداد روی هر گره میزان احتمال پسین را نمایش می‌دهند. جدایه مربوط به مطالعه حاضر به صورت پررنگ مشخص شده است.

**Figure 2.** The phylogenetic tree resulting from Bayesian inference of the ITS-rDNA region and  $\beta$ -tubuline gene of *Trichocladium* species using MrBayes ver. 3.2.1. The tree is rooted with the outgroup species *Botryotrichum verrucosum* CBS 116.64 T. The linear scale represents 2.0 expected substitutions per site. The numbers on each node indicate posterior probabilities. The strain related to the present study is highlighted in bold.

اطلاعات زیادی در مورد اکولوژی گونه‌های منابع ویژگی‌های اکولوژیکی همچون فعالیت اغلب گونه‌ها در *Trichocladium* در منابع وجود ندارد. با این حال، در برخی روی چوب‌های در حال تجزیه در مناطق گرمسیری (Goh &



مودار در حال رشد انتهایی و یا موهای جانبی به اشکال مختلف هستند. شکل غیر جنسی آنها به طور قابل توجهی متفاوت بوده و گاهی اوقات باحالت غیراختصاصی شبیه اکرمونیوم (*Acremonium-like*) با فیالیدهای منفرد که کنیدیوم‌های زنجیره‌ای تولید می‌کنند، دیده می‌شوند (Wang et al. 2016; Zhang et al. 2017). برخی از گونه‌ها گرمادوست (Van den et al. 2015)، برخی قادر به تجزیه سلولز (Ames 1963)، و برخی دیگر به‌عنوان عوامل امیدوارکننده کنترل زیستی سایر قارچ‌های بیماری‌زا مطرح هستند (Ramarajan & Cathrine 2017; Ashwini 2019).

#### آزمون بیماری‌زایی روی غده سیب‌زمینی

در آزمون بیماری‌زایی، جدایه *T. solani* مورد مطالعه بعد از ۱۴ روز باعث ایجاد علائم نکروز (تغییر رنگ) و تا حدی پوسیدگی نرم به اندازه دو تا چهار میلی‌متر در ناحیه تلقیح شده در غده سیب‌زمینی شد (شکل ۳). سپس از نواحی غده سیب‌زمینی که دچار علائم شده بودند، در محیط PDA کشت داده شدند. بعد از هفت روز نگهداری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، قارچ *T. solani* در محیط کشت مشاهده و براساس خصوصیات میکروسکوپی و ریخت‌شناختی پرگنه، جدایه قارچی از نواحی آلوده جداسازی گردید. نتایج حاصله در این آزمون بیمارگر بودن این قارچ در غده سیب‌زمینی تحت شرایط آزمایشگاهی را تایید کرد. گونه *T. solani* برای اولین بار در دنیا توسط Belosokhov et al. (2022) به عنوان عامل بیماری پوسیدگی زرد غده سیب‌زمینی از روسیه گزارش شده است. گونه *T. solani* روی غده‌های سیب‌زمینی بیماری‌زا بوده به طوری که خسارت آن شبیه علائم بیماری پوسیدگی خشک فوزاریومی است، اما با رنگ مایل به زرد یا سبز در ناحیه نکروز شده متمایز می‌گردد (Belosokhov et al. 2022).

در مطالعه Belosokhov et al. (2022) نمونه‌هایی از غده‌های سیب زمینی آلوده، ارقام مختلف زارعی از مزارع مختلف و انبارهای مناطق مسکو و کالوگا در روسیه جمع‌آوری شدند. بعضی از نمونه‌ها فاقد علائم و در بعضی نمونه‌ها میزان آلودگی (شامل نکروز و پوسیدگی زرد مشابه به پوسیدگی خشک فوزاریومی) در نمونه‌های جمع‌آوری شده به مقدار ۳۰ درصد و این میزان آلودگی به صورت توام با سایر بیمارگرهای باکتریایی و قارچی انباری مثل *Fusarium spp.* قابل مشاهده بود. به طوری که Belosokhov et al. (2022) به این نتیجه رسیدند که بیش از ۵۰ درصد آلودگی در نمونه‌ها مربوط به سایر

گونه‌ها (Hyde 1999)، مواد گیاهی مرده و لایه‌های مرتبط، دیده می‌شوند (Wang et al. 2019). همچنین تعداد کمی از اعضای آن نیز گرمادوست هستند (Goh & Hyde 1999). گونه‌های *Trichocladium* اغلب از خاک جدا می‌شوند (Domsch et al. 2007) یا در محیط‌های آبی دیده می‌شوند (Hyde et al. 1999).

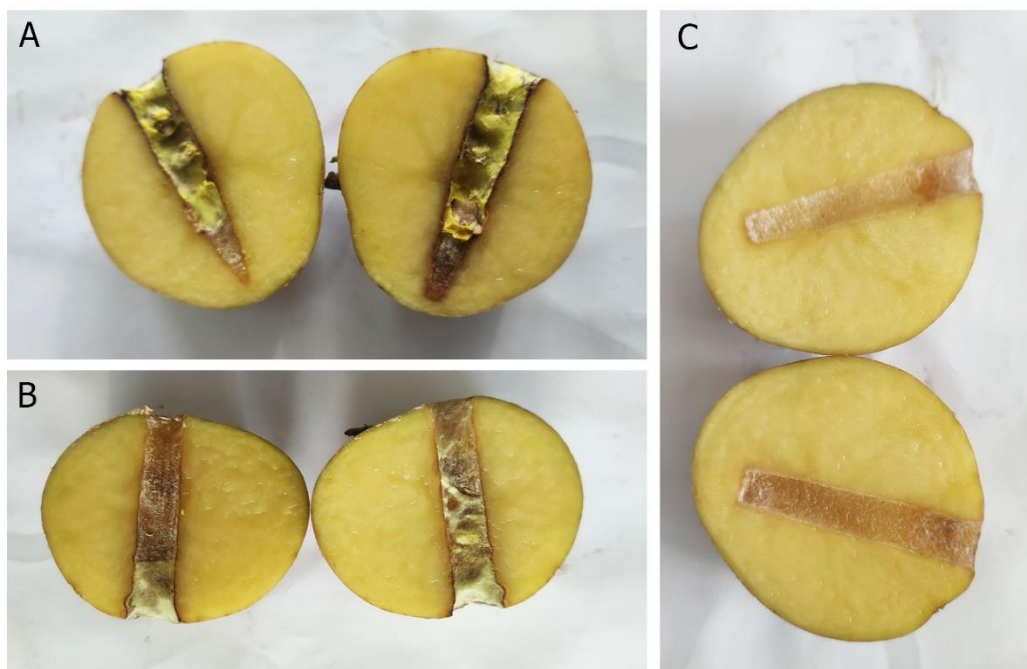
گونه *T. solani* در تحقیق حاضر از سختینه قارچ *R. solani* در غده سیب‌زمینی در منطقه سراب جداسازی شد. این گونه اخیراً از غده‌های سیب‌زمینی در روسیه به عنوان گونه جدید توصیف شده است (Belosokhov et al. 2022) تحقیق حاضر به عنوان دومین گزارش در جهان و اولین گزارش در ایران از گونه *T. solani* می‌باشد. قبلاً گونه *T. asperum* Harz از سختینه قارچ *R. solani* در غده سیب‌زمینی در دانمارک (Jager et al. 1979)؛ از میوه‌های بادمجان (*Solanum melongena* L.) در عربستان سعودی (Abou-Heilah 1985)؛ از خاک پس از سه سال کشت مداوم سیب‌زمینی در لهستان (Mazurkiewicz-Zapałowicz et al. 2002)؛ سپس، دوباره در لهستان از ریزوسفر گیاه سیب‌زمینی (Kinga et al. 2004)؛ از غده‌های سیب‌زمینی در فرانسه (Fiers et al. 2010)؛ و از غده‌های سیب‌زمینی در انباری در لتونی (Treikale et al. 2015) گزارش شده است. گونه‌های مختلف جنس *Trichocladium* از روی غده‌های سیب‌زمینی در لهستان (Golinski et al. 1987) و از خاک پس از یک دوره طولانی‌مدت کشت سیب‌زمینی در استان گانسو در چین گزارش شده اند (Qin et al. 2017). همچنین جداسازی *T. griseum* Traaen از خاک شالیزار در شهر اولسان کره جنوبی گزارش شده است (Tagele et al. 2017).

اطلاعات در خصوص تنوع‌زیستی گونه‌های جنس *Trichocladium* در ایران محدود می‌باشد. تا به حال گونه‌های *T. angelicum* Roldan از برگ‌های درختان چنار (*Platanus orientalis* L.)، سپیدار (*Populus alba* L.) و پده (*P. euphratica* Olive) در اصفهان (Zare-Maivan & Ghaderian 1993)، *T. griseum* از روی نماتد سیستم طلایی سیب‌زمینی (*Globodera rostochiensis*) در همدان (Abbasi & Zafari 2021) و *T. jilongensis* Y.M. از ریزوسفر درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس استان ایلام (Alidadi et al. 2020) از ایران گزارش شده‌اند.

قارچ‌های Chaetomiaceae یک تیره متنوع از قارچ‌ها با آسکوماتای پریتسیوم‌دار متمایز کم‌وبیش توسعه یافته با سطح

دلیل احتمالی پراکنش قارچ *T. solani* در منطقه شهرستان سراب می‌تواند مربوط به تشابه اقلیم سرد روسیه و شهرستان سراب باشد که این امر نشان دهنده اکولوژی مشترک جدایه روسی و جدایه تحقیق حاضر می‌باشد.

بیمارگرها بوده و جدایه‌های *T. solani* میل به افزایش عفونت در دماهای بالاتر دارند. از نظر دمایی بیمارگرها به خصوص بیمارگرهای باکتریایی در آلودگی توام با *T. solani* باعث افزایش دما در ریز اقلیم غده سیب زمینی شده و باعث افزایش خسارت بیماری پوسیدگی زرد در شرایط انباری می‌شوند. یک



شکل ۳. نتایج آزمون بیماری‌زایی گونه *Trichocladium solani* در غده سیب‌زمینی تحت شرایط آزمایشگاهی. A-B: غده‌های سیب‌زمینی تلقیح شده با جدایه *T. solani*. C: شاهد.

**Figure 3.** Results of the pathogenicity test of *Trichocladium solani* on potato tubers in vitro conditions. A-B: Potato tubers inoculated with *T. solani* strain, C: Control.

*T. Trichoderma*، گونه‌های مختلف *G. nigrovirens avirens* و تعدادی باکتری به عنوان مایکوپارازیت جداسازی شدند که دلیل جداسازی گونه *T. solani* در تحقیق حاضر می‌تواند به سبب خاصیت مایکوپارازیتی این گونه علیه *R. solani* روی غده سیب‌زمینی باشد.

در مطالعه حاضر نمونه‌برداری صرفاً از مزارع سیب‌زمینی شهرستان سراب انجام گرفت و عامل بیماری پوسیدگی زرد غده سیب زمینی با فراوانی بالا جداسازی گردید. بررسی پراکنش بیماری در دیگر مناطق کشت و پرورش سیب زمینی ضروری می‌باشد. با توجه به خسارت‌زا بودن این بیماری در شرایط انباری، نمونه‌برداری جهت ردیابی و پراکنش بیماری پوسیدگی زرد غده سیب‌زمینی در انبارهای نگهداری سیب زمینی ضروری به نظر می‌رسد. در نهایت با توجه به همراهی قارچ *T. solani* با سختینه قارچ *R. solani* مطالعه برهمکنش بین دو گونه قارچی پیشنهاد می‌شود.

گونه *R. solani* در مزارع سیب‌زمینی اکثر مناطق دنیا به‌ویژه در خاک‌های سبک و شنی پراکنش داشته و باعث کاهش شدید عملکرد سیب‌زمینی می‌شود ( Jager et al. 1979). مطالعاتی که برای ارزیابی و توضیح پدیده سرکوب‌کنندگی خاک‌های خاص به این بیماری انجام شده، نشان داده‌اند، ریشه *R. solani* توسط مایکوپارازیت‌های نکروتروف، مانند گونه‌های مختلف *Trichoderma* (Boosalis 1956; Hussain & McKeen 1962; Ferrera-Cerrato 1976 (*Penicillium vermiculatum*)=*Talaromyces flavus Gliocladium* (Boosalis 1956; Hussain & McKeen 1962) *Pythium roseum* (Pugh & Van Emden 1969)، *oligandrum* (Drechsler 1946; Deacon 1976) و برخی قارچ‌های دیگر (De la Cruz & Hubbel 1975) انگلی می‌شوند. در مطالعه Jager et al. (1979) از سختینه قارچ *R. solani* از غده‌های سیب‌زمینی در دانمارک قارچ‌های *Gliocladium*

## References

- Abbasi K, Zafari D, 2021. First report of some fungal species on the potato golden cyst nematode, *Globodera rostochiensis* in Iran. *Journal of Vegetables Sciences* 4(2): 53–66.
- Abou-Heilah AN, 1985. Postharvest fungal diseases of some vegetables in the two main markets of Riyadh (Saudi Arabia). *Journal of the University of Kuwait, Science* 12(1): 103–111.
- Adolf B, Andrade-Piedra J, Bittara Molina F, Przetakiewicz J, Hausladen H, et al., 2020. Fungal, oomycete, and plasmodiophorid diseases of potato. In: Campos H, Ortiz O (eds). *The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind*. Cham: Springer International Publishing Pp. 307–350.
- Alidadi A, Kowsari M, Jozani GS, Karimi E, Nikkhah MJ, et al., 2020. New records of fungi from rhizosphere of oak trees for Iran fungal flora. *Rostaniha* 21(1): 27–37.
- Ames LM, 1963. A Monograph of the Chaetomiaceae. *U.S. Army Research and Development The University of Virginia* 2.
- Ashwini C, 2019. A review on *Chaetomium globosum* is versatile weapons for various plant pathogens. *Journal Pharmacogn* 8: 946–949.
- Belosokhov A, Yarmeeva M, Kokaeva L, Chudinova E, Mislavskiy S, et al., 2022. *Trichocladium solani* sp. nov. a new pathogen on potato tubers causing yellow rot. *Journal of Fungi* 8(11): 1160.
- Boosalis MG, 1956. Effect of soil temperature and green manure amendment of unsterilized soil on parasitism of *Rhizoctonia solani* by *Penicillium vermiculatum* and *Trichoderma* sp. *Phytopathology* 46: 473-478.
- Choiseul JW, Allen L, Carnegie SF, 2001. The role of stem inoculum in the transmission of *Fusarium sulphureum* to potato tubers. *Potato Research* 44: 165–172.
- De la Cruz RE, Hubbel DH, 1975. Biological control of the charcoal fungus *Macrophomina phaseolina* on slash pine seedlings by a hyperparasite. *Soil Biology & Biochemistry* 7: 25–30.
- Deacon JW, 1976. Studies on *Phythium oligandrum*, an aggressive parasite of other fungi. *British Mycological Society* 66: 383–391.
- Dixon M, 1968. *Trichocladium pyriformis* sp. novo. *Transactions of the British Mycological Society* 51: 160–164.
- Doehlemann G, Ökmen B, Zhu W, Sharon A, 2017. Plant pathogenic fungi. *Microbiology Spectrum* 5(1): 5–1.
- Domsch KH, Gams W, Anderson TH, 2007. *Compendium of Soil Fungi*. Eching : IHW-Verl, 672 pp.
- Drechsler C, 1946. Several species of *Phythium peculiar* in their sexual development. *Phytopathology* 36: 781–864.
- Faostat F, 2021. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/-data/QC>. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. [accessed on 25th January 2024].
- Faostat, 2022. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [accessed on 8 January 2022].
- Ferrera-Cerrato R, 1976. Hyperparasitism of phytopathogenic and saprophytic fungi by *Trichoderma viride* (Fungi Hyphomycetes). *Revista Latinoamericana de Microbiologia* 18: 78–81.
- Fiers Marie, Catherine Chatot, Véronique Edel-Hermann, Yves Le Hingrat, Abel Yanougo Konate, et al., 2010. Diversity of microorganisms associated with atypical superficial blemishes of potato tubers and pathogenicity assessment. *European Journal of Plant Pathology* 128(3): 353–371.
- Fry W, 2008. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology* 9(3): 385–402.
- Goh TK, Hyde KD, 1999. A synopsis of *Trichocladium* species, based on the literature. *Fungal Diversity* 2: 101–118.
- Golinski P, Wnuk S, Chelkowski J, Schollenberger M, 1987. Formation of avenacein Y by *Fusarium avenaceum* Fries Sacc. isolates from Poland and biological properties of the compound. *Mycotoxin Research* 3: 49–52.
- Guenther JF, Michael KC, Nolte P, 2001. The economic impact of potato late blight on US growers. *Potato Research* 44: 121–125.
- Harz CO, 1872. *Einige neue Hyphomyceten Berlins und Wiens*. In der Buchdr. der Kaiserlichen Universität.

- Hu CH, Perez FG, Donahoo R, McLeod A, Myers K, *et al.*, 2012. Recent genotypes of *Phytophthora infestans* in the eastern United States reveal clonal populations and reappearance of mefenoxam sensitivity. *Plant Disease* 96(9):1323–1330.
- Husain SS, McKeen WE, 1962. Stimulation of a new *Rhizoctonia* species by strawberry root exudates. *Phytopathology* 52: 14–15.
- Hyde KD, Goh TK, 1998. Fungi on submerged wood in Lake Barrine, north Queensland, Australia. *Mycological Research* 102: 739–749.
- Hyde KD, Goh TK, 1999. Fungi on submerged wood from the River Coln, England. *Mycological Research* 103(12): 1561–1574.
- Hyde KD, Goh TK, Lu BS, Alias SA, 1999. Eleven new intertidal fungi from *Nypa fruticans*. *Mycological Research* 103(11):1409–1422.
- Jager G, A Ten Hoopen, H Velvis, 1979. Hyperparasites of *Rhizoctonia solani* in Dutch potato fields. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 85: 253–268.
- Kinga MZ, Jacek W, Krystyna J, 2004. Influence of selected soil saprotrophes on gas exchange, growth and yield of *Solanum tuberosum*. *Acta Physiologiae Plantarum* 26: 157–164.
- Kreuze JF, Souza-Dias JA, Jeevalatha A, Figueira AR, Valkonen JP, *et al.*, 2020. Viral diseases in potato. In: Campos H, Ortiz O (eds). *The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind*. Cham: Springer International Publishing Pp. 389–430.
- Mazurkiewicz-Zapałowicz K, Wróbel J, Janowicz K, 2002. Interaction between golden nematode *Globodera rostochiensis* (Woll.) , behrens and soil saprophytic fungi-its influence on the processes of gaseous exchange and crop yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Archives of Phytopathology & Plant Protection* 35(4): 279–286.
- Möller EM, Bahnweg G, Sandermann H, Geiger HH, 1992. A simple and efficient protocol for isolation of high molecular weight DNA from filamentous fungi, fruit bodies, and infected plant tissues. *Nucleic Acids Research* 20(22): 6115.
- Moradzade Eskandari M, 2023. Evaluation of the effect of potato seed disinfection with chemical compounds in control of rhizoctonia canker and black scurf of potato *Journal of Applied Research in Plant Protection* 11 (4): 73–84.
- Moslemkhani K, Khelghatibana F, Mohammadi M, Hosseinejhadian J, Hassani F, *et al.*, 2022. Detecting *Potato virus Y* in massive potato seed lots by using single sprout culture and RT-PCR as an integrated diagnostic method. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 11 (1): 121–126.
- Pugh GJF, Van Emden JH, 1969. Cellulose decomposing fungi in polder soils and their influence on pathogenic fungi. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 75: 287–295.
- Qin Shuhao, Stephen Yeboah, Xuexue Xu, Yuhui Liu, Bin Yu, 2017. Analysis on fungal diversity in rhizosphere soil of continuous cropping potato subjected to different furrow-ridge mulching managements. *Frontiers in Microbiology* 8: 845.
- Ramarajan, R, Manohar, CS, 2017. Biological Pretreatment and Bioconversion of Agricultural Wastes, Using Ligninolytic and Cellulolytic Fungal Consortia. *Bioremediat Journal* 21: 89–99.
- Secor GA, Salas B, 2001. *Fusarium* dry rot and *Fusarium* wilt. *Compendium of Potato Diseases* 2: 23–25.
- Shah V, Shah ND & Patrekar PV, 2013. Medicinal plants from *Solanaceae* family. *Research Journal of Pharmacy & Technology* 6(2): 143–151.
- Stevenson WR, Loria R, Franc GD, Weingartner DP, 2001. *Compendium of Potato Diseases*, American Phytopathological Society (APS) Press: St. Paul, MN, USA 72–77.
- Tagele SB, Nguyen TT, Kim SW, Adhikari M, Gurung SK, *et al.*, 2019. A new record of *Trichocladium griseum* in Korea: morphological and molecular characterization. *The Korean Journal of Mycology* 47(2): 105–112.
- Treikale O, Vigule Z, Javoiša B, Grantiņa-Ieviņa L, Skrabule I, 2015. Pathogenic mycoflora of potatoes during storage. *Latvijas Lauksaimniecības Universitāte* 126–131.
- Turner R Steven, 2005. After the famine: Plant pathology, *Phytophthora infestans* and the late blight of potatoes, 1845–1960. *Historical Studies in the Physical & Biological Sciences* 35(2): 341–370.
- Van den Brink J, Facun K, De Vries M, Stielow JB, 2015. Thermophilic growth and enzymatic thermostability

are polyphyletic traits within *Chaetomiaceae*. *Fungal Biology* 119(12): 1255–1266.

Wang XW, Yang FY, Meijer M, Kraak B, Sun BD, *et al.*, 2019. Redefining *humicola* sensu stricto and related genera in the *Chaetomiaceae*. *Studies in Mycology* 93: 65–153.

Zare-Maivan H, Ghaderian M, 1993. Freshwater leaf-

inhabiting hyphomycetes of an Iranian river. *Mycologia* 85(3): 355–357.

Zhang Y, Wu W, Cai L, 2017. Polyphasic characterisation of *Chaetomium* species from soil and compost revealed high number of undescribed species. *Fungal Biology* 121: 21–43.



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