



مقاله پژوهشی

گونه *Pustula junggarensis* (Albuginales, Oomycota) گزارشی جدید برای زیستگان اُمیستی ایران

محمد رضا میرزائی^{۱*}، ناصر رادمان^۲، محمد سالاری^۳، رسول زارع^۴، مهدی پیرنیا^۵ و شیراحمد سارانی^۶

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۱)

چکیده

بیمارگرهای اُمیستی عامل زنگ سفید روی میزبان‌های *Asteridae* در جنس *Pustula* (Albuginales, Oomycota) قرار می‌گیرند. در هنگام جمع‌آوری نمونه‌های زنگ سفید در استان خراسان جنوبی (شرق ایران)، در فروردین ۱۳۹۸، نمونه‌ای از بیماری روی میزبان *Takhtajianantha pusilla* متعلق به تیره *Asteraceae* بر مبنای خصوصیات ریخت‌شناختی، گونه‌ی *Pustula junggarensis* (Albuginales, Oomycota) شناسایی شد. همچنین، بر اساس واکاوی فیلوژنتیکی مبتنی بر توالی‌یابی بخشی از ژن *cox2*، نمونه در تبار نمونه‌های *P. junggarensis* از چین قرار گرفت. بر اساس داده‌های توالی‌یابی ناحیه ترانوسی شده داخلی (ITS) دی ان ای ریپوزومی و مقایسه آن با توالی‌های موجود در بانک ژن نیز شناسایی گونه تأیید شد. این نخستین گزارش از آرایه *P. junggarensis* برای زیستگان اُمیستی ایران است. بر اساس اطلاعات ما، این یافته اولین گزارش از وقوع یک بیماری قارچی/شبه قارچی روی میزبان *T. pusilla* در کشور نیز می‌باشد.

کلید واژه: اُمیست ها، تیره کاسنیان، زنگ سفید

*مقاله مستخرج از رساله دکترای تخصصی به راهنمایی آقایان دکتر ناصر رادمان و محمد سالاری

** مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mirzaee_mr@yaho.com

۱- استادیار پژوهش، دانش آموخته بیماری شناسی گیاهی، گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران و استادیار پژوهش بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران
 ۲- دانشیار گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
 ۳- دانشیار گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
 ۴- استاد پژوهش، موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
 ۵- دانشیار گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
 ۶- استادیار گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران



DOI: 10.22034/ijpp.2023.1999412.409

Research Article

New record of the oomycete *Pustula junggarensis* (*Albuginales*, *Oomycota*) from Iran

M.R. Mirzaee^{1*}, N. Radman², M. Salari³, R. Zare⁴, M. Pirnia⁵, and S.A. Sarani⁶

(Received: 27.06.2023; Accepted: 22.11.2023)

Abstract

The oomycete pathogens causing white blister rusts on members of *Asteridae* comprise different species within the genus *Pustula* (*Albuginales*, *Oomycota*). During the collection of white blister rust specimens in the South Khorasan province (eastern Iran) in April 2019, a specimen collected from *Takhtajaniantha pusilla* (*Asteraceae*), was identified morphologically as *Pustula junggarensis* (*Albuginales*, *Oomycota*). BLAST search using the ITS nrDNA sequence data, confirmed the identification. Also, the phylogenetic analysis using *cox2* sequences clustered the species in the same clade with *P. junggarensis* sequences from China. This is the first record of *P. junggarensis* in Iran. To the best of our knowledge, this is the first report of a disease caused by a causative fungal/fungal-like agent on *T. pusilla* in Iran.

Keywords: *Asteraceae*, oomycetes, white rust

*. A Part of PhD Thesis of the First Author.

** . Corresponding author, e-mail: Mirzaee_mrz@yahoo.com.

1. Assistant Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran; Plant Protection Research Department, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Birjand, Iran

2. Associate Professor for Plant Pathology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture. University of Zabol. Zabol. Iran.

3. Associate Professor for Plant Pathology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture. University of Zabol. Zabol. Iran.

4. Professor, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

5. Associate Professor for Plant Pathology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture. University of Zabol. Zabol. Iran.

6. Assistant Professor for Plant Pathology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture. University of Zabol. Zabol. Iran.

مقدمه

خصوصیات اُسپور و اسپورانژیوم توسط روست و تینس (Rost & Thines, 2012)، گونه *Pustula tragopogonis* مورد بازنگری قرار گرفته، ترکیب جدید *Pustula obtusata* Rost (Link) و گونه *P. helianthicola* C. Rost & Thines روی آفتابگردان از آلمان توصیف شده است. گونه های جنس *Scorzonera* نیز توسط *Pustula obtusata* آلوده می شوند (Choi et al., 2012). بر اساس داده های مولکولی، چند نیائی بودن جنس *Scorzonera* L. (از تیره *Asteraceae* و مشتمل بر ۱۹۰ گونه) مورد تایید قرار گرفته است. در نتیجه، گونه *Scorzonera pusilla* Pall. به جنس تک گونه *Takhtajiantha* انتقال و با نام *Takhtajiantha pusilla* (Pall.) Nazarova معرفی شده است (Zaika et al., 2020). مطالعات اخیر نشان داده است که *T. pusilla* توسط یک دودمان مجزا آلوده می شود که با نام گونه *P. junggarensis* B. Xu & Z.D. Jiang توصیف شده است (Xu et al., 2016). همچنین دودمان دیگری از جنس *Pustula* روی *S. hispanica* به عنوان گونه ای توصیف نشده معرفی شده است (Ploch et al., 2011). در سال های اخیر گونه های *P. lactucae* Mirzaee و *P. persica* Mirzaee & Thines نیز به ترتیب روی میزبان های *Lactuca undulata* و *Gymnarrhena micrantha* از ایران توصیف شده اند و گزارش گونه *Pustula obtusata* روی میزبان *Tragopogon graminifolius* نیز در ایران مورد تأیید قرار گرفته است (Mirzaee et al., 2021a; Mirzaee et al., 2021c). نمونه های این سه گونه از مناطق بیابانی ایران جمع آوری شده است. در پژوهش حاضر، گونه اُمیستی عامل زنگ سفید روی *T. pusilla*، از مراتع منطقه بیرجند در خراسان جنوبی، بر اساس بررسی های ریخت شناسختی، داده های فراساختاری اسپورانژیوم ها و واکاوی فیلوژنتیکی شناسایی شد.

مواد و روش ها

موجودات شبه اُمیستی عامل بیماری زنگ سفید گیاهان متعلق به راسته *Albuginales* دامنه میزبانی وسیعی در بین نهان دانگان داشته، به استثنای بیماری زایی گونه *A. macalpineana* (روی اعضای *Orchidaceae*)، سایر گونه ها روی گیاهان دولپه ای بیماری زا می باشند (Walker & Priest, 2007; Thines, 2014). بر اساس داده های حاصل از واکاوی های فیلوژنتیکی و بررسی های ریخت شناسختی ساختارهای اسپورانژیوم، داده های فراساختاری اسپورانژیوم و الگوی (تزئینات) سطوح اُسپور، اعضای خانواده *Albuginaceae* در چهار دودمان اصلی با دامنه میزبانی اختصاصی مشتمل بر سه جنس متمایز شامل *Pustula* Thines *Albugo* (Pers.) Roussel و *Wilsoniana* Thines & Spring، قرار گرفتند (Thines & Spring, 2005; Thines 2014). دودمان متمایز فیلوژنتیکی چهارم روی اسفناج (*Spinacia oleracea* L.)، از راسته *Caryophyllales*، که در حال حاضر منسوب به جنس *Albugo* (گونه *A. occidentalis* G.W. Wilson است (Voglmayr & Riethmüller, 2006; Thines 2014; Mirzaee et al., 2021b). علاوه بر چهار دودمان اشاره شده، دودمان دیگری نیز منسوب به جنس *Albugo* (با خصوصیات دیواره ضخیم اسپورانژیومی و اُگونوم هایی با تزئینات متراکم) و بیمارگر میزبان هایی از تیره پیچک (*Convolvulaceae*) است، که احتمالاً در سطح جنس قابل توصیف باشد (Thines, 2014). بر اساس نتایج مطالعات مولکولی از داده های توالی یابی بخشی از ژن *cox2*، اعضای زیر رده *Asteridae* توسط چندین دودمان متمایز و توصیف نشده از جنس *Pustula* (منسوب به گونه *Pustula tragopogonis* (Pers.) Thines) آلوده می شوند (Ploch et al., 2011). بر اساس نتایج واکاوی فیلوژنتیکی و کاربرد صفات ریخت شناسختی مبتنی بر

انجام شد (Tamura et al., 2011). درخت فیلوژنتیکی با استفاده از واکاوی‌های کمینه‌ی دگرگشت (Minimum Evolution) با استفاده از نرم افزار MEGA version 5 با مدل جایگزینی نوکلئوتیدی Tamura-Nei و ۱۰۰۰ تکرار بوت استرپ اجرا شده (Tamura et al., 2011) و بیشینه درست‌نمایی (Maximum Likelihood) با استفاده از الگوریتم GTRGAMMA و ۱۰۰۰ تکرار بوت استرپ در وب سرور TrEase (Mishra et al., 2017) با استفاده از نرم افزار RAXML (Stamatakis, 2014) برای ناحیه ژنی *cox2* ترسیم گردید.

جهت تایید شناسائی گونه میزبان نیز استخراج DNA ژنومی و واکنش PCR به روش بالا، با استفاده از جفت آغازگر ITS4/ITS5 (White et al., 1990)، از بافت‌های برگ‌های بالای گیاه انجام شد.

نتایج و بحث

کاربرد داده‌های مولکولی و ریخت‌شناختی در مطالعه حاضر، منجر به شناسایی شبه قارچ جدید زیوپور *Pustula junggarensis* برای زیستگان اُمیستی ایران گردید.

***Pustula junggarensis* B. Xu & Z. D. Jiang, Phytotaxa 289 (1): 85 (2016) [MB#817737] Fig. 2**

نمونه بررسی شده

روی برگ‌های *Takhtajianantha pusilla* (Pall.) Nazarova، استان خراسان جنوبی، بیرجند (شهاباد)، ۱۳۹۸/۰۱/۱۶، جمع‌آوری کننده: میرزائی (شماره ثبت: IRAN17969F): مجموعه قارچ‌های مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور (تهران، ایران).

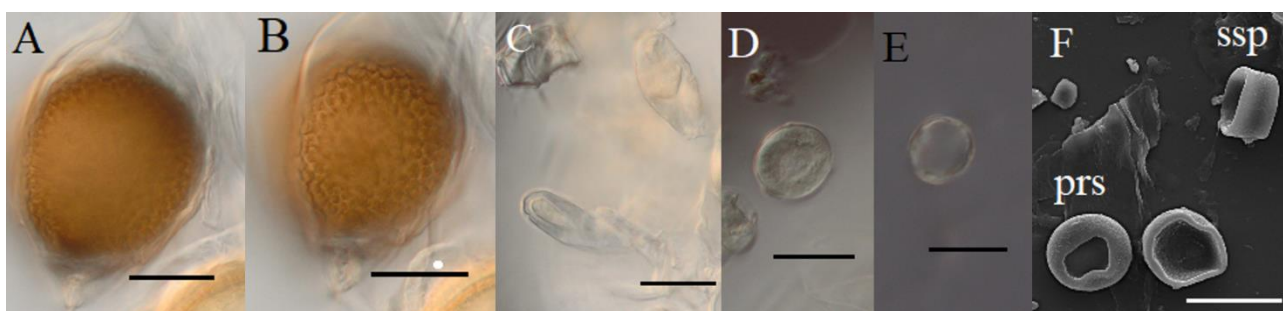
توصیف: ریشه بین سلولی، مکینه داخل سلولی، پایه‌دار، جوش‌ها به هم متصل یا منفرد، اغلب در سطح پایینی برگ‌ها به ابعاد ۱-۳ میلی متر به شکل گرد تا نامنظم، به

در راستای بررسی تنوع زیستی شبه‌قارچ‌های عامل بیماری زنگ سفید، نمونه‌ای از بیمارگر با علائم بارز بیماری روی برگ‌های میزبان *Takhtajianantha pusilla* (Pall.) Nazarova (syn. *Scorzonera pusilla* Pall.) از خراسان جنوبی در فروردین ماه ۱۳۹۸ جمع‌آوری شد. در ادامه، پس از آماده سازی اسلایدهای میکروسکوپی، خصوصیات ریخت‌شناختی مورد بررسی قرار گرفت و عکس برداری از ساختارهای نمونه با DIC و SEM با روش سلیمی‌مقدم و همکاران (Salimi Moghadam et al., 2015) انجام شد. برای تأیید شناسایی گونه اُمیست، استخراج DNA ژنومی با استفاده از Chelex بر اساس روش والش و همکاران (Walsh et al., 1991) اصلاح شده توسط هیراتا و تاکاماتسو (Hirata & Takamatsu, 1996) انجام شد. تکثیر قطعات ITS ژن رمزگذار DNA ریوزومی با استفاده از آغازگرهای اختصاصی DC6/LR-0 (Cooke et al., 2000; Moncalvo et al., 1995) و جهت تکثیر ناحیه ژنی میتوکندریائی *cox2* از *cox2f/cox2r* استفاده شد (Hudspeth et al., 2000).

واکنش PCR شامل برنامه‌های دمایی و تعداد چرخه‌ها، جهت تکثیر نواحی ژنی، براساس روش چوئی و همکاران (Choi et al., 2007) در دستگاه ترموسایکلر مدل (BIO-RAD، ایالات متحده آمریکا) انجام شد. محصولات PCR پس از تخلیص، به روش سنگر توالی‌یابی شده، کروماتوگرام‌های مربوط به توالی‌ها با استفاده از نرم افزار Bioedit version 7.2.5 (Hall, 1999) ویرایش شدند. پس از مقایسه توالی‌های نوکلئوتیدی حاصل از کروماتوگرام‌ها با استفاده از ابزار جستجوی BLAST، توالی‌های با شباهت بالا به توالی گونه‌های معتبر برای هم‌ردیف‌سازی و مراحل بعدی اجرای برنامه‌های فیلوژنتیکی استخراج شدند. هم‌ردیف‌سازی توالی‌ها با استفاده از Clustal W، اجرا شده در نرم افزار MEGA v.5

رنگ سفید مایل به کرم که در زیر اپیدرم میزبان تشکیل می‌شوند. ریشه اسپورزا بی‌رنگ، مجتمع، بدون انشعاب، چماقی تا استوانه‌ای شکل و با ابعاد $۱۲/۵ \times ۵۰$ میکرومتر تشکیل می‌شود. اسپورانژیوم‌ها بی‌رنگ، در دو شکل و در زنجیره تشکیل می‌شوند. اسپورانژیوم‌های اولیه کروی تا نیمه کروی، سرتاسر دیواره ضخیم، اسپورانژیوم‌های ثانویه نیمه کروی تا استوانه‌ای، دیواره نازک ولی در دو سوی میانی ضخیم‌تر، ابعاد اسپورانژیوم‌های اولیه $(۲۵) - ۲۰/۲ -$

رنگ سفید مایل به کرم که در زیر اپیدرم میزبان تشکیل می‌شوند. ریشه اسپورزا بی‌رنگ، مجتمع، بدون انشعاب، چماقی تا استوانه‌ای شکل و با ابعاد $۱۲/۵ \times ۵۰$ میکرومتر تشکیل می‌شود. اسپورانژیوم‌ها بی‌رنگ، در دو شکل و در زنجیره تشکیل می‌شوند. اسپورانژیوم‌های اولیه کروی تا نیمه کروی، سرتاسر دیواره ضخیم، اسپورانژیوم‌های ثانویه نیمه کروی تا استوانه‌ای، دیواره نازک ولی در دو سوی میانی ضخیم‌تر، ابعاد اسپورانژیوم‌های اولیه $(۲۵) - ۲۰/۲ -$

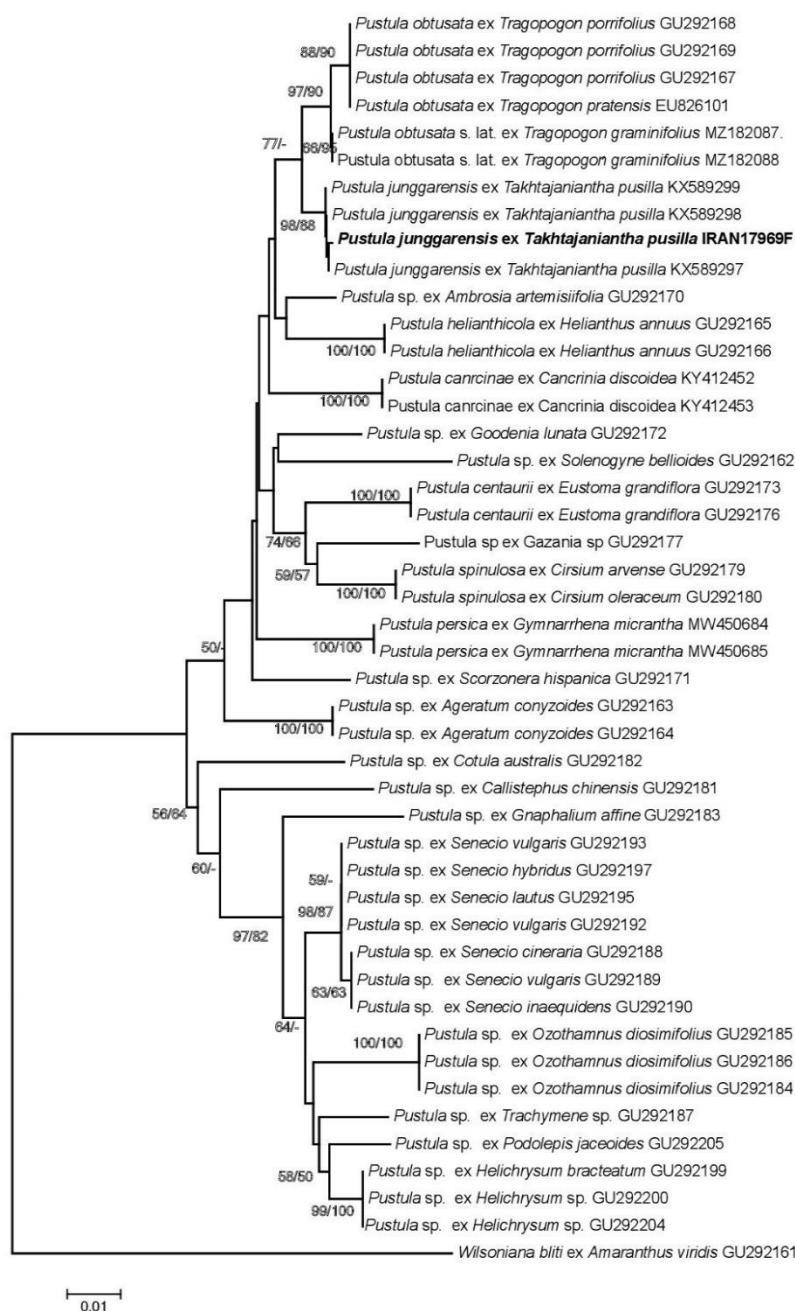


شکل ۱. گونه *Pustula junggarensis* B. Xu & Z. D. Jiang. A و B: اُسپور، C: ریشه‌های اسپورزا، D: اسپورانژیوم اولیه، E: اسپورانژیوم ثانویه، F: نگاره SEM اسپورانژیوم اولیه و ثانویه (prs: اسپورانژیوم اولیه، ssp: اسپورانژیوم ثانویه). خط مقیاس = ۲۰ میکرومتر.

Fig. 1. *Pustula junggarensis* B. Xu & Z. D. Jiang. A and B. oospore, c. sporogenous hyphae, d. primary sporangia, e. secondary sporangia, f. scanning electron micrographs of the sporangial wall (prs: Primary sporangium, ssp: Secondary sporangium). Scale bar: 20 μ m.

حدود ۹۹.۳ درصد شباهت داشت. بر اساس داده‌های مولکولی مبتنی بر توالی یابی ناحیه ژنی *cox2*، نمونه *P. junggarensis* IRAN17969F (رس) شمار بانک ژن: (MZ491097)، بیمارگر *T. pusilla*، درون شاخه‌ای مشتمل بر نمونه‌های *P. junggarensis* روی همین میزبان از چین با حمایت بوت‌استریپی ۹۸ درصد در روش کمینه‌ی دگرگشت و ۸۸ درصد در روش بیشینه درست‌نمایی قرار گرفتند (شکل ۲).

توالی ناحیه ترانویسی شده داخلی (ITS) دی‌ان‌ای ریپوزومی نمونه مورد مطالعه (قطعه با طول ۷۳۲ نوکلئوتید) در بانک ژن NCBI به شماره رس‌شمار MZ671828 ثبت شد ولی مطابق مطالعات قبلی روی نمونه‌های اعضای این جنس، به دلیل ناکافی بودن توالی‌های ثبت شده در بانک ژن، واکاوی فیلوژنتیکی بر اساس داده‌های توالی‌یابی این ناحیه انجام نشد. توالی ناحیه ITS این نمونه با توالی با رس‌شمار KX589300، گونه *P. junggarensis* (Xu et al., 2016)



شکل ۲. فیلوگرام ترسیم شده بر مبنای توالی نوکلئوتیدی ناحیه *cox2* گونه‌های جنس *Pustula* با استفاده از واکاوی کمینه‌ی دگرگشت (ME) و بیشینه‌ی درست‌نمایی (ML). اعداد اطراف هر شاخه درصد اعتبارسنجی از ۱۰۰۰ تکرار را نشان می‌دهند. توالی *Wilsoniana bliti ex Amaranthus viridis* به عنوان آرایه خارجی استفاده شد.

Fig. 2. Minimum Evolution and Maximum Likelihood phylogram of *Pustula junggarensis* and its allied species inferred from *cox2* sequences. Numbers around the branches show the bootstrap value percentages in 1000 replicates. *Wilsoniana bliti ex Amaranthus viridis* represents the outgroup.

توصیف گونه *Pustula junggarensis* توسط زو و همکاران (Xu et al., 2016)، جمع‌آوری شده از ناحیه‌ای صحرایی در چین، بر اساس داده‌های ریخت‌شناختی و توالی‌یابی ناحیه ژنی *cox2* ارائه شده است.

(Zaika et al., 2020).

از ایران، عامل بیماری زنگ سفید روی میزبان *Scorzonera laciniata*، متعلق به تبار متمایز *Scorzonera*، در رده بندی زاییکا و همکاران (Zaika et al., 2020)، توسط ارشاد (Ershad, 2009) به عنوان *Albugo tragopogonis* گزارش شده است. با توجه به اینکه گونه های *Pustula* غالباً در سطح جنس میزبان اختصاصی می باشند، احتمالاً نمونه مورد نظر نیز گونه ای توصیف نشده دیگری از اعضای جنس *Pustula* باشد. مقاله حاضر، اولین مورد از گزارش گونه اخیراً توصیف شده *Pustula junggarensis* در ایران و دومین گزارش آن در دنیا را ارائه می دهد. همچنین این یافته احتمالاً اولین گزارش از وقوع یک بیمارگر قارچی روی میزبان *T. pusilla* در کشور محسوب می شود.

سپاسگزاری

از همکاری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی و آقای مهندس محمدرضا جواهرچی (عضو هیئت علمی هر بار یوم دانشگاه فردوسی مشهد) بخاطر شناسایی نمونه گیاهی قدردانی می گردد.

خصوصیات ریخت شناختی نمونه *Pustula* sp. بیمارگر *T. pusilla* از ایران (IRAN17969F) با توصیف گونه *Pustula junggarensis* ارائه شده توسط زو و همکاران (Xu et al., 2016) مطابقت داشت گرچه اندازه برخی آثرول های سطوح آسپور در مرکز نمونه بررسی شده، کوچک تر از نمونه تیپ این گونه بود.

جستجوی بلاست توالی ITS نمونه میزبان (شماره دسترسی MZ668653) در بانک ژن NCBI، شباهت نوکلئوتیدی حدود ۹۸/۵ تا ۹۹/۸ درصدی را با توالی نمونه های مختلف از *Takhtajianantha pusilla* (جدا شده از جنس *Scorzonera*) نشان داد. از میان گونه های گیاهی درون تبار *Takhtajianantha*، فقط آرایه *Pustula junggarensis* روی یک گونه از این جنس میزبان تاکنون توصیف شده است (Xu et al., 2016). گزارش های معدودی از بیماری زنگ سفید روی جنس *Scorzonera* یا جنس های وابسته به آن وجود دارد. موقعیت تبار شناختی گونه ای توصیف نشده از جنس *Pustula* روی میزبان *Scorzonera hispanica* تعیین شده است (Ploch et al., 2011). گونه *S. hispanica* درون تبار *Pseudopodospermum* قرار می گیرد که مشتمل بر گونه های متعددی هم جوار با تبار *Takhtajianantha* است

منابع

References

- Choi Y.J., Shin H.D., Hong S.B., and Thines M. 2007. Morphological and molecular discrimination among *Albugo candida* materials infecting *Capsella bursa-pastoris* worldwide. *Fungal Diversity* 27:11–34.
- Choi Y.J., Thines M., Piątek M., and Shin H.D. 2012. Morphological evidence supports the existence of multiple species in *Pustula* (Albuginaceae, Oomycota). *Nova Hedwigia* 94: 181–192.
- Cooke D.E.L., Drenth A., Duncan J.M., Wagels G., and Brasier M. 2000. A molecular phylogeny of *Phytophthora* and related Oomycetes. *Fungal Genetics and Biology* 30:17–32.
- Ershad D. 2009. *Fungi of Iran*. 3rd ed. Agricultural Research, Education & Extension Organization, Publication. No. 10, Tehran, 531 pp.
- Hall T.A. 1999. BIOEDIT: A user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*. 41: 95–98.
- Hirata T., and Takamatsu S. 1996. Nucleotide sequence diversity of rDNA internal transcribed spacers extracted from conidia and cleistothecia of several powdery mildew fungi. *Mycoscience* 37: 283–288.
- Hudspeth D.S.S., Nadler S.A., and Hudspeth M.E.S. 2000. A *cox2* molecular phylogeny of the *Peronosporomycetes*. *Mycologia* 92:674–684.

- Mirzaee M.R., Ploch S., and Thines M. 2021a. A new desert-dwelling oomycete, *Pustula persica* sp. nov., on *Gymnarrhena micrantha* (Asteraceae) from Iran. *Mycoscience* 62: 239–243.
- Mirzaee M.R., Panjekeh N., Salari M., Zare R., Pirnia M., and Sarani S.A. 2021b. Additions to the knowledge of order *Albuginales* in Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology* 57: 27-50.
- Mirzaee M.R., Panjekeh N., Salari M., Zare R., Pirnia M., and Sarani S.A. 2021c. *Pustula lactucae* sp. nov. (Albuginales, Oomycota), a new species causing white blister rust disease on *Lactuca undulata*. – *Czech Mycology* 73: 151–162.
- Mishra B., Ploch S., Weiland C., and Thines M. 2017. TrEase – a webserver to infer phylogenetic trees with ease. <http://www.thines-lab.senckenberg.de/trease>
- Moncalvo J.M., Wang H.H., and Hseu R.S. 1995. Phylogenetic relationships in *Ganoderma* inferred from the internal transcribed spacer and 25S ribosomal DNA sequences. *Mycologia* 87:223–238.
- Ploch S., Telle S., Choi Y.J., Cunnington J., Priest M., and Rost, C. *et al.*, 2011. The molecular phylogeny of the white blister rust genus *Pustula* reveals a case of underestimated biodiversity with several undescribed species on ornamentals and crop plants. *Fungal Biology* 115:214–219.
- Rost C. and Thines M. 2012. A new species of *Pustula* (Oomycetes, Albuginales) is the causal agent of sunflower white rust. *Mycological Progress* 11:351–359.
- Salimi Moghadam N., Saeidi Mehrvarz S., Ahmadian Namin A., and Shahi Shavvon R. 2015. Micromorphology of fruits and seeds of Iranian *Geranium* (Geraniaceae), and its systematic significance. *Nordic Journal of Botany* 33: 673–683.
- Stamatakis A. 2014. RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinformatics* 30:1312-1313.
- Tamura K., Peterson D., Peterson N., Stecher G., Nei M., and Kumar S. 2011. MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Molecular Biology and Evolution* 28: 2731–2739.
- Thines M. 2014. Phylogeny and evolution of plant pathogenic oomycetes, a global overview. *European Journal of Plant Pathology* 138: 431–447.
- Thines M., and Spring, O. 2005. A revision of *Albugo* (Chromista, Peronosporomycetes). *Mycotaxon* 92:443–458.
- Voglmayr H., and Riethmuller A. 2006. Phylogenetic relationships of *Albugo* species (white blister rusts) based on LSU rDNA sequence and oospore data. *Mycological Research* 110:75–85.
- Walker J., and Priest M.J. 2007. A new species of *Albugo* on *Pterostylis* (Orchidaceae) from Australia: confirmation of the genus *Albugo* on a monocotyledonous host. *Australasian Plant Pathology* 36:181–185.
- Walsh P.S., Metzger D.A., and Higuchi R. 1991. Chelex 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. *Bio Techniques* 10: 506–513.
- White T.J., Bruns T., Lee S., Taylor J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: Innis M.A., Gelfand D.H., Sninsky J.J., White T.J., eds., *PCR Protocols: a guide to methods and applications*, pp. 315–322. Academic Press, San Diego.
- Xu B., Song J.G., Xi P.G., and Jiang Z.D. 2016. *Pustula junggarensis* (Albuginales, Oomycota), a new species of white blister rust on *Takhtajiantha pusilla* from Junggar Basin in China. *Phytotaxa* 289:83–87.
- Zaika M.A., Kilian N., Jones K., Krinitsina A.A., Nilova M.V., Speranskaya A.S, and Sukhorukov, AP. 2020. *Scorzonera* sensu lato (Asteraceae, Cichorieae) – taxonomic reassessment in the light of new molecular phylogenetic and carpological analyses. *PhytoKeys* 137: 1-85.