



Introduction of Some Endophytic Fungi of Rice in Mazandaran province

Khadijeh Abbasi¹ , Bita Asgari² , Vahid Khosravi³  & Shahram Naeimi⁴ 

¹ Assistant professor of Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

² Assistant professor of Department of Botany, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

³ Assistant professor of Rice Research Institute, Mazandaran Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran.

⁴ Associate professor of Department of Biological Control Research, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

 Corresponding author. E-mail: kh.abasi@ilam.ac.ir

ABSTRACT

Introduction: Endophytes are microorganisms that reside within various plant tissues without causing apparent symptoms of infection. A significant portion of these endophytes are fungi. Endophytic fungi have been reported across various taxonomic groups, but Ascomycota represents the major group. Rice (*Oryza sativa* L.) is a valuable crop and a primary source of calories for a large portion of the global population, contributing significantly to food security. This plant hosts a variety of endophytic fungi, some of which enhance nutrient uptake, promote plant growth and yield, and improve tolerance and resistance to environmental stresses. Certain rice endophytes also exhibit antagonistic properties against pathogenic fungi. The present study aimed to identify endophytic fungi from rice seeds in Mazandaran province.

Materials and methods: Among the resolved morphological groups, six representative isolates were selected and subjected to detailed morphological examination and molecular phylogeny. For molecular identification, genomic DNA was extracted, and regions of the ITS and LSU rDNA (depending on the genus) were amplified and sequenced. The obtained sequences were edited using BioEdit v. 7.0.9.0. Sequence homology was assessed using the BLASTn algorithm to identify related known sequences at the NCBI GenBank. An appropriate outgroup was selected, and sequences were aligned. Phylogenetic trees were constructed using the Maximum Likelihood method with 1000 bootstrap replicates, employing MEGA 11.

Results: Based on the morphological and molecular analyses, four species including *Bipolaris chiangraiensis*, *Botrytis cinerea*, *Epicoccum nigrum* and *Neosetophoma poaeicola* were identified. This is the first report of *Bipolaris chiangraiensis* in Iran.

Conclusion: Endophytic fungi exhibit strong potential for the production of a wide range of secondary metabolites with antimicrobial and biological activities. Therefore, the fungal species identified in this study could serve as valuable sources of novel bioactive compounds for use in agriculture, industry, and medicine. These endophytes may also contribute to mitigating biotic and abiotic stresses in plants, thereby reducing the need for chemical pesticides and lowering the costs associated with managing rice pathogens.

Keywords: Taxonomy, Phylogeny, Paddy fields, Symbiotic fungi.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 14 Dec 2024, Revised: 06 Jan 2025, Accepted: 20 Feb 2025, Published online: 28 Mar 2025

Cite this article: Abbasi, k., Asgari, B., Khosravi, V. & Naeimi, S. (2025). Introduction of Some Endophytic Fungi of Rice in Mazandaran province. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 4(1), 115-131. DOI: [10.22126/cbb.2025.12444.1116](https://doi.org/10.22126/cbb.2025.12444.1116)



© The Author(s).
[10.22126/cbb.2025.12444.1116](https://doi.org/10.22126/cbb.2025.12444.1116)

Publisher: Razi University



معرفی برخی قارچ‌های اندوفیت برنج در استان مازندران

خدیدجه عباسی^۱✉، بیتا عسگری^۲✉، وحید خسروی^۲✉ و شهرام نعیمی^۴✉

^۱ استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

^۲ استادیار بخش تحقیقات رستنی‌ها، مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

^۳ استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران.

^۴ دانشیار بخش تحقیقات کنترل بیولوژیک، مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

✉ نویسنده مسئول. رایانامه: kh.abasi@ilam.ac.ir

چکیده

مقدمه: اندوفیت‌ها میکروارگانیسم‌هایی هستند که در داخل بافت‌های مختلف گیاهی ساکن بوده و معمولاً آسیبی به میزبان خود وارد نمی‌کنند. بخش عمده‌ای از اندوفیت‌ها را قارچ‌ها تشکیل می‌دهند. قارچ‌های اندوفیت از گروه‌های مختلف تاکسونومیک گزارش شده‌اند، اما عمده آن‌ها متعلق به شاخه آسکومایکوتا می‌باشند. برنج (*Oryza sativa* L.) یک گیاه زراعی با ارزش و منبع اصلی کالری برای جمعیت زیادی از مردم جهان محسوب می‌شود و امنیت غذایی را برای جمعیت در حال رشد جهان تأمین می‌کند. گیاه برنج میزبان بسیاری از قارچ‌های اندوفیت است که برخی از آن‌ها باعث بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش رشد و عملکرد گیاه و مقاومت و سازگاری آن در برابر تنش‌های محیطی می‌شوند. تعدادی از قارچ‌های اندوفیت برنج نیز دارای خواص آنتاگونیستی علیه قارچ‌های بیمارگر می‌باشند. پژوهش حاضر با هدف شناسایی قارچ‌های اندوفیت بذر برنج در استان مازندران انجام شد.

مواد و روش‌ها: طی مطالعه قارچ‌های اندوفیت جداسازی شده از بذرهای برنج در استان مازندران، تعداد شش جدایه قارچی نماینده از گروه‌های مشخص شده بر اساس بررسی اولیه ویژگی‌های ریخت‌شناختی، انتخاب شدند که مورد مطالعات ریخت‌شناختی تکمیلی و شناسایی مولکولی قرار گرفتند. جهت شناسایی مولکولی جدایه‌ها، پس از استخراج DNA، بخش‌هایی از نواحی ITS و LSU rDNA (بسته به جنس قارچی مورد بررسی) تکثیر و توالی‌یابی شدند. توالی‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Bioedit v. 7.0.9.0 ویرایش شدند. توالی‌ها به بانک ژن جهانی (NCBI) معرفی و با کمک الگوریتم BLASTn برای شناسایی هیت‌های بلاست و توالی‌های شناخته شده مرتبط جستجو شدند. سپس گروه خارجی مناسب انتخاب و بعد از هم‌ردیف کردن توالی‌های به‌دست آمده، درخت‌های فیلوژنتیکی با استفاده از الگوریتم درست‌نمایی بیشینه و هزار بار نمونه‌گیری کاذب در آزمون بوتسترپ به کمک نرم‌افزار MEGA 11 ترسیم شدند.

یافته‌ها: جدایه‌های قارچی مورد بررسی در این پژوهش بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناختی و داده‌های مولکولی به‌عنوان گونه‌های *Bipolaris chiangraiensis*، *Botrytis cinerea*، *Epicoecum nigrum* و *Neosetophoma poaeicola* شناسایی شدند. گونه *Bipolaris chiangraiensis* برای نخستین بار از ایران گزارش می‌شود.

نتیجه‌گیری: اندوفیت‌های قارچی جداسازی شده از گیاهان توان بالایی جهت تولید طیف گسترده‌ای از متابولیت‌های ثانویه با فعالیت ضد میکروبی و بیولوژیکی دارند. بنابراین قارچ‌های گزارش شده در این پژوهش می‌توانند منبعی برای ترکیبات جدید مورد استفاده در بخش کشاورزی، پزشکی و صنعت باشند و از این قارچ‌ها می‌توان در جهت کاهش تنش‌های زنده و غیر زنده گیاهی و در نتیجه آن کاهش استفاده از آفتکش‌های شیمیایی و حفظ محیط زیست و تنوع زیستی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تاکسونومی، تبارشناسی، شالیزارهای برنج، قارچ‌های هم‌زیست.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴ **اصلاح:** ۱۴۰۳/۱۰/۱۷ **پذیرش:** ۱۴۰۳/۱۲/۰۲ **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۴/۰۱/۰۸

استناد: عباسی، خ، عسگری، ب، خسروی، و. و نعیمی، ش. (۱۴۰۴). معرفی برخی قارچ‌های اندوفیت برنج در استان مازندران. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۴(۱)، ۱۱۵-۱۳۱.

DOI: [10.22126/cbb.2025.12444.1116](https://doi.org/10.22126/cbb.2025.12444.1116)



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

اندوفیت‌ها میکروارگانیسم‌هایی هستند که بدون وارد آوردن آسیب آشکار به بافت میزبان گیاهی، درون آن زندگی می‌کنند و توانایی تولید متابولیت‌های متنوعی را شبیه به گیاه میزبان‌شان دارند (Stone et al., 2004, Tsuge et al., 2013). برخی از اندوفیت‌ها با تولید انواعی از ترکیبات مفید برای میزبان خود ویژگی‌های جدیدی از جمله القای مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا و فلزات سنگین، بهبود جذب منابع غذایی، تقویت رشد گیاه با تولید هورمون‌های گیاهی، سنتز ترکیبات با فعالیت زیستی مانند آنتی‌بیوتیک‌ها و سرکوب کننده‌های ایمنی را به وجود می‌آورند (Torres et al., 2012, Ramos-Garza et al., 2016). بخش عمده‌ای از اندوفیت‌ها را قارچ‌ها تشکیل می‌دهند. این قارچ‌ها باعث جذب بهتر مواد غذایی برای گیاه میزبان خود می‌شوند و از طرفی تحمل گیاه را در برابر تنش‌هایی مانند شوری و گرما بالا می‌برند (آقایی درگیری و همکاران، ۱۴۰۱). تا کنون ترکیبات شیمیایی گوناگونی مانند آلکالوئیدها، ترپنوییدها، فلاونوییدها، استروئیدها، بنزوپیرانون‌ها و کینون‌ها از قارچ‌های اندوفیت گیاهی جداسازی شده‌اند که دارای ویژگی‌های آنتی‌بیوتیکی، ضد سرطانی و کنترل زیستی بوده‌اند. بنابراین استفاده از قارچ‌های اندوفیت در کشاورزی، پزشکی و صنعت حائز اهمیت می‌باشد (Verma et al., 2009). در ایران در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱، سطح زیر کشت برنج ۷۹۲،۵۴۳ هکتار و میزان

تولید این محصول ۳،۴۸۵،۶۱۰ تن بوده است. استان مازندران با سطح زیر کشت ۲۹۶،۲۲۴ هکتار و تولید ۱،۴۷۲،۸۳۳ تن مقام اول کشور را به خود اختصاص داده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۳). در ایران، برنج بعد از گندم مهم‌ترین محصول غذایی به شمار می‌رود. این گیاه میزبان بسیاری از قارچ‌های اندوفیت است (Naik et al., 2009; Vallino et al., 2009; Yuan et al., 2010, 2011; Zakaria et al., 2010). پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که برخی از قارچ‌های اندوفیت برنج باعث بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش رشد و عملکرد آن می‌شوند (Waqas et al., 2012; Yang et al., 2014; Atugala and Deshapriya, 2015) و برخی دیگر به مقاومت و سازگاری گیاه در برابر تنش‌های محیطی کمک می‌کنند (Shukla et al., 2012; Jogawat et al., 2017; Santos et al., 2013). تعدادی از قارچ‌های اندوفیت برنج نیز دارای خواص آنتاگونیستی علیه قارچ‌های بیمارگر می‌باشند (Pili et al., 2016; Andargie et al., 2017).

کاوچای و همکاران (Kaewchai et al., 2009) به شناسایی قارچ‌های اندوفیت جداسازی شده از ریشه و برگ گیاه برنج پرداختند و گونه‌های *Chaetomium sp.*، *Trichoderma*، *Aspergillus sp.*، *Penicillium sp.*، *Colletotrichum sp.*، *Fusarium sp.* را شناسایی و گزارش کردند که جمعیت غالب متعلق به گونه‌های *Penicillium sp.*، *Chaetomium globosum* و *Fusarium oxysporum* بود. زکریا و همکاران

(Zakaria et al., 2010) طی مطالعه‌ای، قارچ‌های اندوفیت اندام‌های مختلف گیاه سالم برنج را جداسازی کردند. شایع‌ترین جنس قارچی اندوفیت جداسازی شده *Fusarium* و پس از آن آرایه‌های قارچی *Aspergillus*، *Curvularia*، *Penicillium*، *Gilmaniella* و *Arthrobotrys foliicola* بودند. در این مطالعه تعداد اعضای *Fusarium* و *Curvularia* در بذرها در مقایسه با سایر قارچ‌ها بیشتر بود. اعضای جنس *Curvularia* بیشتر از برگ‌ها و اعضای جنس *Penicillium* بیشتر از غلاف برگ‌ها به دست آمد. قارچ‌های *Gilmaniella* و *A. foliicola* هم به ترتیب تنها از ریشه‌ها و برگ‌ها جداسازی شدند. ایشان عنوان کردند تجمع قارچ‌های اندوفیت در بافت‌های سالم گیاهان شالیزاری ممکن است نشان‌دهنده این باشد که برخی از قارچ‌ها بیمارگرهای نهفته احتمالی هستند و برخی ممکن است ساپروفیت شوند. سوسیپتو و همکاران (Sucipto et al., 2015) با جداسازی و شناسایی جدایه‌های قارچی اندوفیت از ریشه‌ها، خوشه‌ها و برگ‌های برنج در اندونزی شامل *Fusarium* sp.، *Cladosporium* sp.، *Phoma* sp. و *Penicillium* sp.، از آن‌ها به عنوان عوامل بیوکنترل در برابر بیماری‌های مختلف برنج نام بردند. بیشترین خاصیت بیوکنترل در این مطالعه مربوط به *Fusarium oxysporum* بود.

لیوویجیت و همکاران (Leewijit et al., 2016) قارچ‌های اندوفیت برنج در تایلند را جداسازی و شناسایی کردند. در این مطالعه گونه‌های مختلفی از نه جنس قارچی شامل *Aspergillus*، *Chaetomium*، *Colletotrichum*

Curvularia، *Fusarium*، *Penicillium*، *Phytophthora*، *Rhizopus* و *Trichoderma* شناسایی شدند. بیشترین فراوانی قارچ‌های اندوفیت جداسازی شده از برگ‌ها مربوط به گونه‌های *Chaetomium cupreum* sp.، *Colletotrichum*، *Curvularia lunata*، *Fusarium solani*، *Penicillium* sp. و *Trichoderma* sp. بود. همچنین بیشترین قارچ‌های اندوفیت جداسازی شده از ساقه‌ها شامل *Chaetomium globosum*، *C. brasiliense*، *F. oxysporum*، *Trichoderma harzianum* و *Penicillium* sp. بود. گونه‌های *Aspergillus niger*، *A. flavus*، *Pythium* sp. و *Rhizopus* sp. هم از ریشه‌ها جداسازی شدند. ویونو و همکاران (Wiyono et al., 2020) در اندونزی، ۱۵ گونه قارچ اندوفیت را از برنج جداسازی کردند که *Nigrospora* sp. و *Fusarium semitectum* غالب‌ترین قارچ‌های اندوفیت با فراوانی جداسازی بیشتر از ۱۰٪ بودند. جنس‌های قارچی دیگری مانند *Acremonium*، *Cephalosporium*، *Penicillium*، *Phyllosticta*، *Curvularia*، *Chaetomium* و گونه *Alternaria padwickii* دارای سرعت کلونیزاسیون پایین‌تر و فراوانی کمتر از ۵٪ بودند. در مطالعه سورناکیلی و همکاران (Sornakili et al., 2020)، هفت اندوفیت قارچی شامل *Talaromyces pinophilus*، *Paecilomyces tenuis*، *Nigrospora oryzae*، *Nigrospora sphaerica* و *Trichoderma longibrachiatum* و *Aspergillus*

شناسایی جدایه‌ها بر اساس ویژگی‌های

ریخت‌شناختی

به منظور شناسایی قارچ‌های اندوفیت به‌دست آمده در این پژوهش، ابتدا مطالعات ماکرو-مورفولوژیکی آن‌ها از طریق کشت دادن جدایه‌ها روی محیط‌های کشت سیب‌زمینی دکستروز آگار (PDA; Merck, Germany)، عصاره مالت آگار (MEA; Merck, Germany) و آرد یولاف آگار (OA; Gams *et al.*, 1998) و نگهداری آن‌ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و شرایط تاریکی انجام شد. سپس ثبت اطلاعات ریخت‌شناختی پرگنه‌ها از قبیل نرخ رشد، ترشحات، بافت، وضعیت ریشه‌های هوایی، شکل حاشیه، وضعیت چین خوردگی، رنگ پرگنه، رنگدانه‌های محلول و اسکروتیوم‌ها انجام پذیرفت. به‌منظور انجام مطالعات میکرو-مورفولوژیکی، اسلایدهای میکروسکوپی از پرگنه‌های رشد کرده روی محیط کشت‌های مناسب هر قارچ از جمله سیب‌زمینی هویج آگار (PCA; Gams *et al.*, 1998) و محیط کشت ویژه غذایی آگاردار ضعیف (SNA; Leslie and Sumerell, 2006) تهیه شد. تهیه اسلاید از اندام‌های قارچی به این صورت بود که بخشی از پرگنه در حال رشد قارچ به کمک سوزن کشت سترون برداشته شد و در قطره‌ای از محلول‌های مختلف از جمله اسید لاکتیک، آب مقطر و اسیدلاکتیک-کاتن بلو قرار داده شد و سپس توسط لامل پوشانده شدند. نهایتاً اسلاید حاصل روی چراغ الکی کمی حرارت داده شد تا ضمن نفوذ رنگ، حباب‌های هوای موجود در زیر لامل خارج شوند. حداقل ۵۰ مورد از هر یک از اندام‌های قارچی

terreus از قسمت‌های مختلف برنج به‌دست آمد که دارای فعالیت‌های ضد قارچی و ضد باکتریایی بودند. پژوهش حاضر با هدف شناسایی قارچ‌های اندوفیت بذر برنج در استان مازندران انجام شد.

مواد و روش‌ها

طی اجرای پژوهشی مبتنی بر شناسایی قارچ‌های اندوفیت بذر برنج در استان مازندران، از سنبلچه‌های کاملاً سالم (فاقد علائم بیماری)، رسیده و خشک برنج در استان مازندران نمونه‌برداری به عمل آمد. نمونه‌های جمع‌آوری شده درون پاکت‌های کاغذی بسته‌بندی شدند و به آزمایشگاه منتقل شدند. نگهداری نمونه‌های بذر تا زمان جداسازی در دمای اتاق انجام شد. جداسازی قارچ‌های اندوفیت از بذرها حداکثر تا یک ماه پس از نمونه‌برداری و با استفاده از روش فلورا و همکاران (Florea *et al.*, 2015) انجام شد. جهت خالص‌سازی جدایه‌های قارچی از روش نوک ریشه استفاده شد (Singleton *et al.*, 1990). برای نگهداری جدایه‌های قارچی به‌دست آمده در این پژوهش، چهار عدد قرص میسلیمی از حاشیه پرگنه در حال رشد جدایه‌ها روی محیط کشت PDA به میکروتیوب‌های سترون با حجم دو سی‌سی (دو تکرار) منتقل شدند و در دمای ۷ درجه سلسیوس نگهداری شدند. گروه‌بندی جدایه‌های به‌دست آمده بر اساس بررسی مقدماتی ویژگی‌های ریخت‌شناختی انجام شد. سپس تعداد شش جدایه نماینده از برخی گروه‌های مشخص شده انتخاب شدند که مورد مطالعات ریخت‌شناختی تکمیلی و مولکولی قرار گرفتند.

TAT GC (White *et al.*, 1990) بسته به جنس قارچی مورد مطالعه انجام شد.

محصولات PCR جدایه‌های قارچی منتخب توسط شرکت ژنتیک کدون تهران توالی‌یابی شدند. توالی‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Bioedit v. 7.0.9.0 (Hall, 1999) ویرایش شدند. توالی‌ها به پایگاه NCBI معرفی و با کمک الگوریتم BLASTn برای شناسایی هیت‌های بلاست و توالی‌های شناخته شده مرتبط جستجو شدند. سپس گروه خارجی (outgroup) مناسب انتخاب و بعد از هم‌ردیف کردن توالی‌های به‌دست آمده، درخت‌های فیلوژنتیکی با استفاده از الگوریتم درست‌نمایی بیشینه و هزار بار نمونه‌گیری کاذب در آزمون بوتسترپ (bootstrap) به کمک نرم‌افزار MEGA 11 (Tamura *et al.*, 2021) ترسیم شدند. جهت ترسیم درخت‌هایی با ساختار و توپولوژی مناسب، از داده‌های توالی چندین نواحی ژنی معتبر و مناسب بسته به جنس‌های قارچی مورد بررسی (علاوه بر نواحی توالی‌یابی شده در این پژوهش) استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی ریخت‌شناسی

بر اساس مقایسه ویژگی‌های ریخت‌شناختی جدایه‌های مورد بررسی در این پژوهش (جدول ۱) با توصیف‌ها و منابع معتبر تاکسونومیک، چهار گونه شامل *Botrytis cinerea*، *Bipolaris chiangraiensis*، *Neosetophoma* و *Epicoccum nigrum* *poaceicola* شناسایی شد (جدول ۲).

مربوط به هر یک از جدایه‌ها در اسلایدهای میکروسکوپی تهیه شده، مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفت. بر حسب جنس جدایه‌های قارچی، صفات میکروسکوپی از قبیل ساختار و رنگ میسلیم‌ها، ابعاد، رنگ، شکل و ساختار دیواره اندام‌های باردهی در صورت وجود و اندازه، رنگ، شکل و تزئینات کنیدیوفورها، یاخته‌های کنیدیوم‌زا و کنیدیوم‌ها ثبت شد. سرانجام شناسایی قارچ‌ها بر اساس انطباق ویژگی‌های ماکرو-مورفولوژیکی و میکرو-مورفولوژیکی و با مراجعه به کلیدها و منابع معتبر تاکسونومیک انجام پذیرفت.

شناسایی جدایه‌ها بر اساس ویژگی‌های مولکولی

جهت شناسایی مولکولی جدایه‌ها، ابتدا استخراج DNA از جدایه‌ها با استفاده از روش ریدر و برودا (Raeder and Broda, 1985) انجام شد. جهت تعیین کیفیت DNA به‌دست آمده از الکتروفورز در ژل آگارز یک درصد تهیه شده در بافر (89 mM Tris-Base, pH 8.3; TBE 1× (89 mM Boric acid; 2 mM EDTA) استفاده شد. تکثیر DNAهای به‌دست آمده در این پژوهش (PCR) در ناحیه ژنی LSU rDNA با استفاده از آغازگرهای LR0R (ACC CGC TGA ACT TAA GC) و LR3 (CCG TGT TTC AAG ACG GG) (Rehner and Samuels, 1995) و ناحیه ITS rDNA با استفاده از آغازگرهای ITS1 (TCC GTA GGT GAA CCT) و ITS4 (GCG G TCC TCC GCT TAT TGA) انجام شد.

جدول ۱- اطلاعات جدایه‌های قارچی به‌دست آمده از بذر برنج در این پژوهش

Table 1. Information on fungal isolates obtained from rice seeds in this study

تاریخ جداسازی Isolation Date	تاریخ جمع‌آوری Collection Date	محل جمع‌آوری Collection location	جدایه Isolate
1399.05.02	1399.04.13	مازندران: بابلسر، بهنمیر	12-10
1399.08.23	1399.08.12	مازندران: آمل، رئیس آباد	28-1
1399.09.10	1399.08.21	مازندران: ساری، حاجی‌کلا	34-7
1399.05.31	1399.05.15	مازندران: بابلسر، بهنمیر، دیک افنون	35-4
1399.09.15	1399.08.21	مازندران: نوشهر، حسن آباد، علیشاه	48-18
1399.09.05	1399.08.21	مازندران: بابل، نجارکلا	57-7

بررسی مولکولی

در درخت فیلوژنتیکی چندژنی مبتنی بر سه ناحیه ژنی

ITS، *GAPDH* و *TEF* نیز جدایه 57-7 با گونه *B.*

chiangraiensis MFLUCC 24-0016 خوشه بندی

شد و کلادی با حمایت آماری ۹۹ درصد ایجاد کرد

(شکل ۱). اعضای جنس *Bipolaris* جزء فراوان‌ترین

قارچ‌های اندوفیت مرتبط با بذور برخی واریته‌های بومی

برنج در شمال شرقی هند گزارش شده‌اند (Roy et al., 2021).

تعداد شش جدایه در بررسی‌های مولکولی استفاده شد.

میزان شباهت توالی‌های هر جدایه با سویه‌های شناخته

شده موجود در پایگاه NCBI با جستجوی بلاست به‌دست

آمد و ارتباط فیلوژنتیکی جدایه‌های قارچی با نزدیک‌ترین

گونه‌های خویشاوند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج جستجوی بلاست جدایه 57-7 نشان داد توالی *ITS*

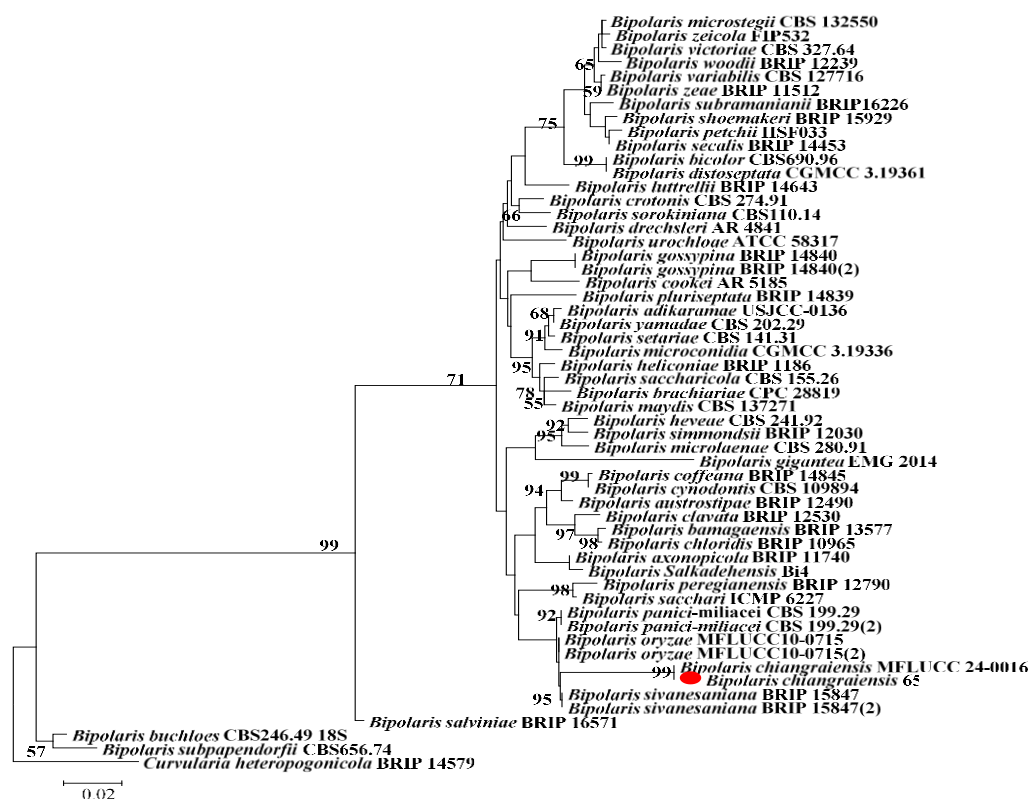
این جدایه با سویه‌های شناخته شده گونه *Bipolaris*

chiangraiensis ۱۰۰ درصد شباهت نوکلئوتیدی دارد.

جدول ۲- ویژگی‌های ریخت‌شناختی جدایه‌های قارچی بررسی شده در این پژوهش

Table 2 - Morphological features of fungal isolates examined in this study

جدايه	ویژگی‌های ریخت‌شناختی	گونه شناسایی شده (منبع)
Isolate	Morphological features	Identified species (References)
57-7	—	<i>Bipolaris chiangraiensis</i> Absalan, Lumyong & K.D. Hyde (Absalan <i>et al.</i> , 2024)
—	پرگنه روی محیط کشت PDA پس از یک هفته در دمای 27 درجه سلسیوس به قطر 60 میلی‌متر، با حاشیه نامنظم، میسلیم‌های هوایی پراکنده، دارای بافت پنبه‌ای، خاکستری تیره تا خاکستری زیتونی تیره، ریشه‌ها به عرض 3-5 میکرومتر، منشعب، بند دار، بی‌رنگ تا قهوه‌ای کم‌رنگ	
—	کنیدیوفورها 6-9.5 × 160-350 میکرومتر، بند دار، اغلب راست و ایستاده، به ندرت منشعب، در راس به طور قابل توجهی متورم، قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره.	
—	یاخته‌های کنیدیوم‌زا 4.5-6 × 7-15 میکرومتر، انتهایی یا میانی، سیمپودیال، نیمه استوانه‌ای تا کمی متورم، قهوه‌ای کم‌رنگ تا قهوه‌ای تیره	
—	کنیدیوم‌ها 14-25 × 60-80 میکرومتر، با 6-8 جداره کاذب، با سطح صاف، راست، به ندرت خمیده، دوکی یا بیضوی شکل، نیمه استوانه‌ای تا متورم، دارای جوانه‌زنی تک قطبی، قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره، با یاخته پایه به رنگ قهوه‌ای کم‌رنگ	
48-18	—	<i>Botrytis cinerea</i> Pers. (Persoon, 1974; Domsch <i>et al.</i> , 2007)
—	پرگنه روی محیط کشت PDA پس از یک هفته در دمای 25 درجه سلسیوس، به قطر 70 میلی‌متر، با ظاهر پنبه‌ای و به رنگ خاکستری روشن	
—	اسکلروت‌ها در اندازه‌های متفاوت، به رنگ سیاه و به صورت منظم در دواير متحدالمرکز و یا پراکنده و نامنظم در محیط کشت تشکیل شدند.	
—	کنیدیوفورها 11-29 × 100-500 میکرومتر، منشعب، صاف، راست، به رنگ قهوه‌ای طلایی، در قسمت انتهایی دارای انشعابات متناوب مکرر و یاخته‌های کنیدیوم‌زای متورم	
—	کنیدیوم‌ها 6-8 × 10-15 میکرومتر، واژ تخم مرغی، قهوه‌ای کم‌رنگ، با سطح صاف، اغلب دارای هیلوم برجسته	
35-4	—	<i>Epicoecum nigrum</i> Link (Link, 1816; Domsch <i>et al.</i> , 2007)
—	پرگنه روی محیط کشت PDA پس از یک هفته در دمای 25 درجه سلسیوس و شرایط تاریکی مطلق به قطر ۶۰ میلی‌متر، به رنگ قهوه‌ای	
—	اسپورودوکیوم‌ها بالشتکی شکل	
—	کنیدیوفورها 4-6 × 8-15 میکرومتر، ساده، راست، نسبتاً کوتاه، غیرمنشعب، به رنگ قهوه‌ای کم‌رنگ	
—	یاخته‌های کنیدیوم‌زا به صورت انتهایی و مونوبلاستیک	
—	کنیدیوم‌ها 17-23 میکرومتر، چندین یاخته‌ای، گرد تا گلابی شکل، به رنگ قهوه‌ای تیره، دارای یک یاخته پایه برجسته	
12-10، 28-1 و 34-7	—	<i>Neosetophoma poaeicola</i> Goonas., Thambug. & K.D. Hyde (Thambugala <i>et al.</i> , 2007)
—	پرگنه‌ها روی محیط کشت PDA مسطح، با سطح کمی ناهموار با لبه کامل، حاشیه کاملاً مشخص، میسلیم‌ها زرد تا قهوه‌ای روشن	
—	پرگنه‌ها روی محیط کشت MEA کم ارتفاع، به صورت شعاعی-شیاردار، حاشیه‌ها کم ارتفاع، پهن و کامل، میسلیم‌ها سفید رنگ	
—	پرگنه‌ها روی محیط کشت OA کم ارتفاع، مسطح، حاشیه‌ها کم ارتفاع، پهن و کامل، میسلیم‌ها سفید رنگ با بافت مخملی	
—	تمامی جدایه‌های قارچی متعلق به این گونه تنها آسکوکارپ‌های نابالغ (ابعاد 100-140 میکرومتر) را در محیط‌های کشت مختلف تشکیل دادند. لذا تشخیص گونه عمدتاً بر اساس داده‌های مولکولی و تا حدی ویژگی‌های ریخت‌شناختی پرگنه‌ها انجام پذیرفت.	

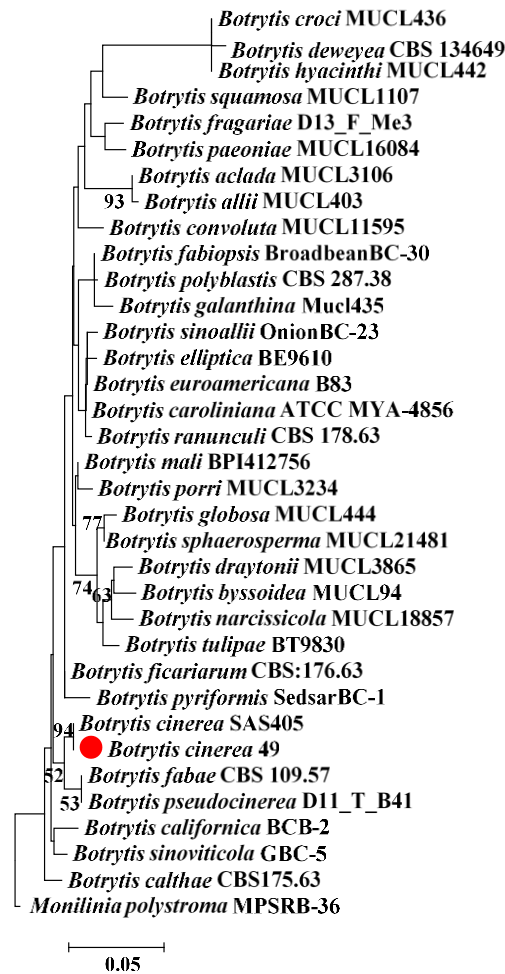


شکل ۱- درخت فیلوژنتیکی جدایه‌های *Bipolaris* بررسی شده در تجزیه و تحلیل درست نمایی پیشینه بر اساس توالی‌های ITS، *GAPDH* و *TEF* با استفاده از مدل K2+G+I. جدایه بررسی شده در این مطالعه با دایره توپر قرمز نشان داده شده است. اعداد اعتبارسنجی بیش از ۵۰ درصد نشان داده شده است. گونه *Curvularia heteropogonicola* BRIP 14579 به‌عنوان گروه خارجی در نظر گرفته شده است.

Figure 1. Phylogenetic tree of *Bipolaris* isolates analyzed in a Maximum Likelihood analysis based on ITS, GAPDH, and TEF sequences, using the K2+G+I model. The isolate investigated in this study is indicated by a red solid circle. Bootstrap values greater than 50% are shown. *Curvularia heteropogonicola* BRIP 14579 was considered as the outgroup.

بی‌ضرر هم حضور داشته باشد (Rashmi et al., 2019). در مطالعات انجام گرفته توسط شیپونو و همکاران (Shipunov et al., 2008)، نیوکوم و همکاران (Newcombe et al., 2009) و ون‌کن و همکاران (Van Kan et al., 2014) نشان داده شده است که *B. cinerea* در شرایط خاص می‌تواند به‌عنوان یک اندوفیت در گیاهان زندگی کند و در صورت بروز تنش به یک بیمارگر تبدیل شود.

نتایج جستجوی بلاست جدایه 18-48 نشان داد توالی ITS این جدایه با سویه‌های شناخته شده گونه *Botrytis cinerea* ۹۹ تا ۱۰۰ درصد شباهت نوکلئوتیدی دارد. در درخت فیلوژنتیکی چندزنی مبتنی بر دو ناحیه ژنی ITS و *GAPDH* هم جدایه 18-48 با گونه *B. cinerea* AM 235293 خوشه‌بندی شد و کلادی با حمایت آماری ۹۴ درصد ایجاد کرد (شکل ۲). گونه *B. cinerea* معمولاً به‌عنوان یک بیمارگر نکروتروف شناخته می‌شود ولی این قارچ می‌تواند در برخی گیاهان به‌صورت یک اندوفیت



شکل ۲- درخت فیلوژنتیکی جدایه‌های *Botrytis* بررسی شده در تجزیه و تحلیل درست نمایی بیشینه بر اساس توالی‌های ITS و GAPDH با استفاده از مدل K2+G+I. جدایه بررسی شده در این مطالعه با دایره توپر قرمز نشان داده شده است. اعداد اعتبارسنجی بیش از ۵۰ درصد نشان داده شده است. گونه *Monilinia polystroma* MPSRB-36 به عنوان گروه خارجی در نظر گرفته شده است.

Figure 2. Phylogenetic tree of *Botrytis* isolates analyzed in a Maximum Likelihood analysis based on ITS, and GAPDH sequences, using the K2+G+I model. The isolate investigated in this study is indicated by a red solid circle. Bootstrap values greater than 50% are shown. *Monilinia polystroma* MPSRB-36 was considered as the outgroup.

CBS 173.73 و *tubulin* و *RPB2* هم جدایه 4-35 با گونه

E. nigrum

خوشه بندی شد و کلادی با حمایت آماری ۵۱ درصد

ایجاد کرد (شکل ۳).

نتایج جستجوی بلاست جدایه 4-35 نشان داد توالی ITS

این جدایه با سویه‌های شناخته شده گونه *Epicoccum*

nigrum ۹۹ درصد شباهت نوکلئوتیدی دارد. در درخت

فیلوژنتیکی چندژنی مبتنی بر سه ناحیه ژنی ITS، β -

برنج جداسازی و گزارش شده‌اند (Fisher and Petrini, 1992; Shuyan et al., 2023; Tian et al., 2024). گونه *E. nigrum* در مطالعه انجام گرفته توسط زارع و همکاران (Zare et al., 2023) روی قارچ‌های اندوفیت موجود در اندام‌های هوایی و ریشه‌های برنج در استان گلستان، به عنوان قارچ اندوفیت غلاف برگ برنج گزارش شده است.

نتایج جستجوی بلاست جدایه‌های 12-10، 28-1 و 34-7 نشان داد توالی‌های LSU این جدایه‌ها با سویه‌های شناخته شده گونه *Neosetophoma poaceicola* ۹۹ تا ۱۰۰ درصد شباهت نوکلئوتیدی دارند. در درخت فیلوژنتیکی چندژنی مبتنی بر سه ناحیه ژنی LSU، SSU و ITS جدایه‌های مورد بررسی با گونه *N. poaceicola* MFLUCC 16-0886 خوشه‌بندی شدند و کلاسی با حمایت آماری ۹۵ درصد ایجاد کردند (شکل ۴). جنس *Neosetophoma* (*Neosetophoma* spp.) در مطالعه اخیر انجام گرفته توسط کائو و همکاران (Cao et al., 2025) از بذور برنج نسبتاً سالم در چین جداسازی و گزارش شده است.

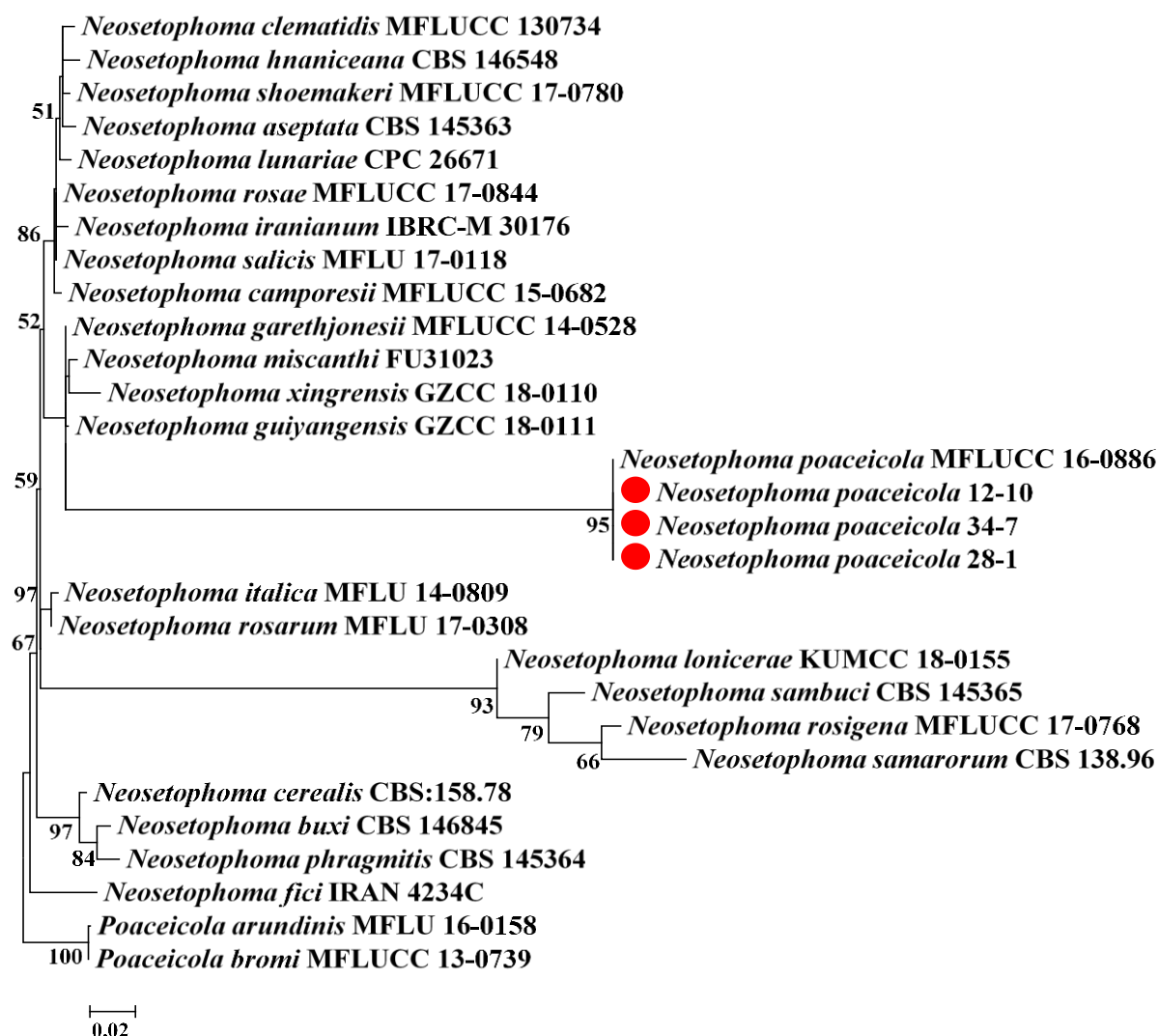
اگر چه جدایه 4-35 با حمایت آماری کم (۵۱ درصد) با جدایه *Epicoccum nigrum* CBS 173.73 گروه‌بندی شد، بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناختی این جدایه (جدول ۲) شناسایی آن به‌عنوان *E. nigrum* را مورد تأیید قرار داد. لازم به ذکر است که حمایت بوتسترپ یک معیار آماری است که برای ارزیابی پایداری گروه‌بندی‌ها و شاخه‌های درخت‌های فیلوژنتیکی به کار می‌رود و مقادیر کم آن می‌تواند ناشی از عواملی چون محدودیت تنوع داده‌ها، انتخاب گونه‌ها و همچنین اندازه نمونه‌ها باشد. در این مطالعه، داده‌ها به‌طور دقیق بر اساس جدایه‌های تیپ (type) و یا معتبر منتسب به گونه‌های مختلف و با رعایت اصول علمی گردآوری و تحلیل شدند، اما به دلیل محدودیت‌های نمونه‌برداری و یا شباهت‌های زیاد میان برخی گونه‌ها، پایین بودن مقادیر حمایت آماری در برخی شاخه‌ها قابل مشاهده است. این نتیجه نشان می‌دهد که برای تحلیل‌های دقیق‌تر و با اعتماد بیشتر، لازم است داده‌های بیشتر و دارای تنوع بالاتر مورد ارزیابی قرار گیرند.

گونه‌های مختلف جنس *Epicoccum* قبلاً هم به عنوان اندوفیت اندام‌های هوایی (برگ‌ها و بذرها) و ریشه‌های



شکل ۳- درخت فیلوژنتیکی جدایه‌های *Epicoccum* بررسی شده در تجزیه و تحلیل درست نمایی بیشینه بر اساس توالی‌های ITS، β -tubulin و *RPB2* با استفاده از مدل K2+G+I. جدایه بررسی شده در این مطالعه با دایره توپر قرمز نشان داده شده است. اعداد اعتبارسنجی بیش از ۵۰ درصد نشان داده شده است. گونه *Didymella heteroderae* CBS 109.92 به‌عنوان گروه خارجی در نظر گرفته شده است.

Figure 3. Phylogenetic tree of *Epicoccum* isolates analyzed in a Maximum Likelihood analysis based on ITS, β -tubulin, and *RPB2* sequences, using the K2+G+I model. The isolate investigated in this study is indicated by a red solid circle. Bootstrap values greater than 50% are shown. *Didymella heteroderae* CBS 109.92 was considered as the outgroup



شکل ۴- درخت فیلوژنتیکی جدایه‌های *Neosetophoma* بررسی شده در تجزیه و تحلیل درست نمایی بیشینه بر اساس توالی‌های LSU، SSU، و ITS با استفاده از مدل GTR+G+I. جدایه‌های بررسی شده در این مطالعه با دایره توپر قرمز نشان داده شده‌اند. اعداد اعتبارسنجی بیش از ۵۰ درصد نشان داده شده است. گونه‌های *Poaceicola arundinis* MFLU 16-0158 و *Poaceicola bromi* MFLUCC 13-0739 به‌عنوان گروه خارجی در نظر گرفته شده‌اند.

Figure 4. Phylogenetic tree of *Neosetophoma* isolates analyzed in a Maximum Likelihood analysis based on LSU, SSU, and ITS sequences, using the GTR+G+I model. The isolate investigated in this study is indicated by a red solid circle. Bootstrap values greater than 50% are shown. *Poaceicola arundinis* MFLU 16-0158, and *Poaceicola bromi* MFLUCC 13-0739 were considered as the outgroup

مورخ (۱۴۰۲/۰۳/۲۱) در موسسه تحقیقات گیاهپزشکی

سپاسگزاری

کشور به انجام رسیده است. از همکاری موسسه تحقیقات

پژوهش حاضر به عنوان بخشی از دوره فرصت مطالعاتی

گیاهپزشکی کشور قدردانی می‌شود.

ارتباط با جامعه و صنعت نویسنده مسئول (شماره ۵۳۴۱۶)

References

- Absalan, S., Armand, A., Jayawardena, R.S., McKenzie, E.H., Hyde, K.D., & Lumyong, S. 2024. Diversity of pleosporalean fungi isolated from rice (*Oryza sativa* L.) in Northern Thailand and descriptions of five new species. *Journal of Fungi*, 10(11), p.763. <http://dx.doi.org/10.3390/jof10110763>
- Aghaei Dargiri, S., Samsampour, D., Askari Seyahooei, M., & Bagheri, A. 2022. Identification of population structure of two fungal endophytes *Fusarium* sp. and *Thielavia* sp. and their spatial-temporal abundance in different tissues of six species of halophyte plants. *Journal of Microbial Biology*, 11(43), pp.1-11. <http://dx.doi.org/10.22108/bjm.2021.129745.1405>
- Anonymous. 1403. Agricultural statistics for the year 1401-1402, Crops, Statistics Center, Information and Communication Technology, Ministry of Agricultural Jihad, 126 p.
- Andargie, M., Congyi, Z., Yun, Y., & Li, J. 2017. Identification and evaluation of potential bio-control fungal endophytes against *Ustilagonoidea vires* on rice plants. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(6), p.120. <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-017-2273-y>
- Atugala, D.M., & Deshappriya, N. 2015. Effect of endophytic fungi on plant growth and blast disease incidence of two traditional rice varieties. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 43(2). <http://dx.doi.org/10.4038/jnsfsr.v43i2.7945>
- Cao, Q., Wu, J., Ma, T., Mao, C., & Zhang, C. 2025. Characterization of *Fusarium* diversity and head microbiota associated with rice spikelet rot disease. *Plants*, 14(10), p.1531. <http://dx.doi.org/10.3390/plants14101531>
- Domsch, K.H, Gams, W., & Anderson, T. H. 2007. Compendium of soil fungi. 2nd ed. München: IHW Verlag. 672 p. <http://dx.doi.org/10.1111/J.1365-2389.2008.01052.X>
- Florea, S., Schardl, C.L., & Hollin, W. 2015. Detection and isolation of *Epichloë* species, fungal endophytes of grasses. *Current protocols in microbiology*, 38(1), pp.19A-1. <http://dx.doi.org/10.1002/9780471729259.mc19a01s38>
- Fisher, P.J., & Petrini, O. 1992. Fungal saprobes and pathogens as endophytes of rice (*Oryza sativa* L.). *New Phytologist*, 120(1), pp.137-143. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01066.x>
- Gams, W., Hoekstra, E.S., & Aptroot, A. 1998. CBS course of mycology. CBS, Baarn.
- Hall, T.A. 1999. January. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. In *Nucleic Acids Symposium Series*, 41, pp. 95-98. http://dx.doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-14998u1.29
- Jogawat, A., Saha, S., Bakshi, M., Dayaman, V., Kumar, M., Dua, M., Varma, A., Oelmüller, R., Tuteja, N., & Johri, A.K. 2013. *Piriformospora indica* rescues growth diminution of rice seedlings during high salt stress. *Plant Signaling and Behavior*, 8(10), p.e26891. <http://dx.doi.org/10.4161/psb.26891>
- Khot, P.D., Ko, D.L., & Fredricks, D.N. 2009. Sequencing and analysis of fungal rRNA operons for development of broad-range fungal PCR assays. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(6), pp.1559-1565. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.02383-08>
- Kaewchai, S. 2009. Mycofungicides and fungal biofertilizers. *Fungal Diversity*, 38, pp. 25-50.
- Leewijit, T., Pongnak, W., Soyong, K., & Poemaim, S. 2016. Isolation of soil and endophytic fungi from rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Agricultural Technology*, 12(7.2), pp.2191-2202.

- Leslie, J.F., & Summerell, B.A. 2008. The *Fusarium* laboratory manual. John Wiley & Sons. 388 pp. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470278376>
- Li, S., Yan, Q., Wang, J., & Peng, Q. 2022. Endophytic fungal and bacterial microbiota shift in rice and barnyardgrass grown under co-culture condition. *Plants*, 11(12), p.1592. <http://dx.doi.org/10.3390/plants11121592>
- Link, J.H.F. 1816. Observationes in ordines plantarum naturales. Dissert. secunda, sistens nuperas de Mucedinum et Gastromycorum ordinibus observationes. *Magazin für die Neuesten Entdeckungen in der Gesammten Naturkunde, Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin*, 7:25-45. <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=hvd.32044106317985&view=1up&seq=41>
- Naik, B.S., Shashikala, J., & Krishnamurthy, Y.L. 2009. Study on the diversity of endophytic communities from rice (*Oryza sativa* L.) and their antagonistic activities in vitro. *Microbiological Research*, 164(3), pp.290-296. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2006.12.003>
- Newcombe, G., Shipunov, A., Eigenbrode, S.D., Raghavendra, A.K., Ding, H., Anderson, C.L., Menjivar, R., Crawford, M., & Schwarzländer, M. 2009. Endophytes influence protection and growth of an invasive plant. *Communicative & integrative biology*, 2(1), pp.29-31. <http://dx.doi.org/10.4161/cib.2.1.7393>
- Persoon, CH. 1794. Dispositio methodica fungorum. *Neues Magazin für die Botanik in ihrem ganzen Umfange*, 1:81-128. <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb10302973?page=93>
- Pili, N.N., França, S.C., Kyndt, T., Makumba, B.A., Skilton, R., Höfte, M., Mibey, R.K., & Gheysen, G. 2016. Analysis of fungal endophytes associated with rice roots from irrigated and upland ecosystems in Kenya. *Plant and Soil*, 405(1), pp.371-380. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-015-2590-6>
- Raeder, U., & Broda, P. 1985. Rapid preparation of DNA from filamentous fungi. *Letters in Applied Microbiology*, 1(1), pp.17-20. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-765X.1985.tb01479.x>
- Ramos-Garza, J., Rodríguez-Tovar, A.V., Flores-Cotera, L.B., Rivera-Orduña, F.N., Vásquez-Murrieta, M.S., Ponce-Mendoza, A., & Wang, E.T. 2016. Diversity of fungal endophytes from the medicinal plant *Dendropanax arboreus* in a protected area of Mexico. *Annals of Microbiology*, 66(3), pp.991-1002. <http://dx.doi.org/10.1007/s13213-015-1184-0>
- Rashmi, M., Kushveer, J.S., & Sarma, V.V. 2019. A worldwide list of endophytic fungi with notes on ecology and diversity. *Mycosphere*, 10(1), pp.798-1079. <http://dx.doi.org/10.5943/mycosphere/10/1/19>
- Rehner, S.A., & Samuels, G.J. 1995. Molecular systematics of the Hypocreales: a teleomorph gene phylogeny and the status of their anamorphs. *Canadian Journal of Botany*, 73(S1), pp.816-823. <http://dx.doi.org/10.1139/b95-327>
- Roy, S., Mili, C., Talukdar, R., Wary, S., & Tayung, K. 2021. Seed borne endophytic fungi associated with some indigenous rice varieties of North East India and their growth promotion and antifungal potential. *Indian Journal of Agricultural Research*, (5), pp.603-608. <http://dx.doi.org/10.18805/IJARE.A-5581>
- Santos, S.G.D., Silva, P.R.A.D., Garcia, A.C., Zilli, J.É., & Berbara, R.L.L. 2017. Dark septate endophyte decreases stress on rice plants. *Brazilian Journal Of Microbiology*, 48(2), pp.333-341. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2016.09.018>

- Shipunov, A., Newcombe, G., Raghavendra, A.K., & Anderson, C.L. 2008. Hidden diversity of endophytic fungi in an invasive plant. *American Journal of Botany*, 95(9), pp.1096-1108. <http://dx.doi.org/10.3732/ajb.0800024>
- Shukla, N., Awasthi, R.Á., Rawat, L., & Kumar, J. 2012. Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 54, pp.78-88. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.02.001>
- Shuyan, L., Qiling, Y., Jieyu, W., Huidan, J., Zuren, L., & Qiong, P. 2023. Root endophyte shift and key genera discovery in rice under Barnyardgrass stress. *Rice Science*, 30(2), pp.160-170. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsci.2023.01.008>
- Singleton, I., Wainwright, M., & Edyvean, R.G.J. 1990. Some factors influencing the adsorption of particulates by fungal mycelium. *Biorecovery*, 1(4): 271-289.
- Sornakili, A., Thankappan, S., Sridharan, A.P., Nithya, P., & Uthandi, S. 2020. Antagonistic fungal endophytes and their metabolite-mediated interactions against phytopathogens in rice. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 112, p.101525. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmpp.2020.101525>
- Stone, J.K., Polishook, J.D., & White, J.F. 2004. Endophytic fungi. *Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods*, 241, p.270. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2497.0726>
- Sucipto, I., Munif, A., Suryadi, Y., & Tondok, E.T. 2015. Eksplorasi cendawan endofit asal padi sawah sebagai agens pengendali penyakit blas pada padi sawah. *Journal Fitopatologi Indonesia*, 11(6), pp.211-211. <http://dx.doi.org/10.14692/jfi.11.6.211>
- Tamura, K., Stecher, G., & Kumar, S. 2021. MEGA11: molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular biology and evolution*, 38(7), pp.3022-3027. <http://dx.doi.org/10.1093/molbev/msab120>
- Thambugala, K.M.; Wanasinghe, D.N.; Phillips, A.J.L.; Camporesi, E.; Bulgakov, T.S.; Phukhamsakda, C.; Ariyawansa, H.A.; Goonasekara, I.D.; Phookamsak, R.; Dissanayake, A.; Tennakoon, D.S.; Tibpromma, S.; Chen, Y.Y.; Liu, Z.Y.; & Hyde, K.D. 2017. Mycosphere notes 1-50: Grass (Poaceae) inhabiting Dothideomycetes. *Mycosphere* 8(4), pp.697-796. <http://dx.doi.org/10.5943/mycosphere/8/4/13>
- Tian, X.L., Cao, L.X., Tan, H.M., Zeng, Q.G., Jia, Y.Y., Han, W.Q., & Zhou, S.N. 2004. Study on the communities of endophytic fungi and endophytic actinomycetes from rice and their antipathogenic activities in vitro. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20(3), pp.303-309. <http://dx.doi.org/10.1023/B:WIBI.0000023843.83692.3f>
- Torres, M.S., White Jr, J.F., Zhang, X., Hinton, D.M., & Bacon, C.W. 2012. Endophyte-mediated adjustments in host morphology and physiology and effects on host fitness traits in grasses. *Fungal Ecology*, 5(3), pp.322-330. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funeco.2011.05.006>
- Tsuge, T., Harimoto, Y., Akimitsu, K., Ohtani, K., Kodama, M., Akagi, Y., Egusa, M., Yamamoto, M., & Otani, H. 2013. Host-selective toxins produced by the plant pathogenic fungus *Alternaria alternata*. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(1), pp.44-66. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6976.2012.00350.x>
- Vallino, M., Greppi, D., Novero, M., Bonfante, P., & Lupotto, E. 2009. Rice root colonisation by mycorrhizal and endophytic fungi in aerobic soil. *Annals of Applied Biology*, 154(2), pp.195-204. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00286.x>

- Van Kan, J.A., Shaw, M.W., & Grant-Downton, R.T. 2014. *Botrytis* species: relentless necrotrophic thugs or endophytes gone rogue?. *Molecular Plant Pathology*, 15(9), pp.957-961. <http://dx.doi.org/10.1111/mpp.12148>
- Verma, V.C., Kharwar, R.N., & Strobel, G.A. 2009. Chemical and functional diversity of natural products from plant associated endophytic fungi. *Natural Product Communications*, 4(11), p.1934578X0900401114. <http://dx.doi.org/10.1177/1934578X0900401114>
- Waqas, M., Khan, A.L., Kamran, M., Hamayun, M., Kang, S.M., Kim, Y.H., & Lee, I.J. 2012. Endophytic fungi produce gibberellins and indoleacetic acid and promotes host-plant growth during stress. *Molecules*, 17(9), pp.10754-10773. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules170910754>
- White, T.J., Bruns, T., Lee, S.J.W.T., & Taylor, J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR protocols: a guide to methods and applications*, 18(1), pp.315-322. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1>
- Wiyono, S., Prakoso, B.B., & Santoso, S. 2020. Endophytic fungi play important role in rice protection against brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål)(Hemiptera: Delphacidae). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 468 (1), p. 012047. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012047>
- Yang, B., Wang, X.M., Ma, H.Y., Jia, Y., Li, X., & Dai, C.C. 2014. Effects of the fungal endophyte *Phomopsis liquidambari* on nitrogen uptake and metabolism in rice. *Plant Growth Regulation*, 73(2), pp.165-179. <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-013-9878-4>
- Yuan, Z.L., Zhang, C.L., Lin, F.C., & Kubicek, C.P. 2010. Identity, diversity, and molecular phylogeny of the endophytic mycobiota in the roots of rare wild rice (*Oryza granulate*) from a nature reserve in Yunnan, China. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(5), pp.1642-1652. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.01911-09>
- Zakaria, L., Yaakop, A.S., Salleh, B., & Zakaria, M. 2010. Endophytic fungi from paddy. *Tropical Life Sciences Research*, 21(1), p.101.
- Zare, Z., Razavi, S.E., Rahnema, K., Taheri, A., & Gharekhloo, J. 2023. Identification of fungal endophytes in aerobic rice cultivation of Golestan province. *Iranian Plant Protection Research*, 37(2), pp. 105-117. <http://dx.doi.org/10.22067/jpp.2023.78347.1100>