



Extensional Article

The role of endophyte fungi in plant disease management

Parmida Aleahmad, Leila Ebrahimi✉

College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 11.04.2021

Accepted: 11.21.2021

Aleahmad P. Ebrahimi L (2022) The role of endophyte fungi in plant disease management. *Plant Pathology Science* 11(1):100-112.

Doi: 10.2982/PPS.11.1.100.

Abstract

Plant diseases usually cause economic damage and reduce growth and crop yield. Treatment of plant diseases with chemical toxins can result in environmental side effects, the emergence of resistance in pathogens, and loss of beneficial soil microorganisms, so the search for alternative methods such as identification and use of antagonistic microorganisms for disease treatment has been considered by researchers. A set of endophyte fungi that grow without damage or symptoms in host plant tissues and are known to be biological control agents of some plant diseases. Endophyte fungi with different mechanisms such as the production of antibiotic metabolites, competition, induction of resistance, and hyperparasitism of the pathogen weaken or eliminate the pathogens. These fungi can also help increase the growth and resistance of host plants to various stresses by producing antioxidant and antitumor compounds, as well as various growth hormones.

Keywords: Antibiosis, Competition, *Penicillium*

✉ Corresponding author: Le_ebrahimi@ut.ac.ir

مقاله ترویجی

نقش قارچ‌های درون‌رست در مدیریت بیماری‌های گیاهی

پارمیدا آل‌احمد، لیلا ابراهیمی ✉

پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۳۰

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۳

آل‌احمد پ. ابراهیمی ل (۱۴۰۰) نقش قارچ‌های درون‌رست در مدیریت بیماری‌های گیاهی. دانش بیماری‌شناسی گیاهی ۱۱(۱): ۱۰۰-۱۱۲. Doi: 10.2982/PPS.11.1.100.

چکیده

بیماری‌ها معمولاً سبب خسارت اقتصادی و کاهش رشد و نمو و میزان محصول گیاهان می‌شوند. مدیریت بیماری‌های گیاهی، با سم‌های شیمیایی ممکن است اثر سویی بر محیط‌زیست، بروز مقاومت در بیمارگرها و از بین رفتن جانداران مفید داشته باشد، بنابراین یافتن روش‌های جایگزین مانند شناسایی و استفاده از ریزجانداران متعارض برای مدیریت بیماری‌ها مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. تعدادی از قارچ‌های درون‌رست که بدون هیچ آسیب و نشانه‌ای داخل بافت گیاه میزبان رشد می‌کنند به عنوان عامل مهار زیستی بعضی از بیماری‌های گیاهی شناخته شده‌اند. قارچ‌های درون‌رست با سازوکارهای مختلفی مانند تولید مواد پادزیست، رقابت، القای مقاومت و پارازیته کردن مستقیم بیمارگر، موجب تضعیف یا از بین رفتن بیمارگرها می‌شوند. این قارچ‌ها همچنین می‌توانند با تولید ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانت و ضدتومور و هورمون‌های مختلف رشد، به افزایش رشد و مقاومت گیاه میزبان در برابر تنش‌های مختلف کمک کنند.

واژگان کلیدی: پادزیست، رقابت، *Penicillium*

مقدمه

بیماری‌های گیاهی هر ساله سبب ایجاد خسارت و کاهش عملکرد گیاه و محصول به میزان قابل توجهی در سراسر دنیا می‌شوند و از این رو یک تهدید جدی تلقی می‌شوند. در راستای مدیریت بیماری‌های گیاهی، استفاده از سم‌های شیمیایی به دلیل ایجاد مقاومت در عوامل بیماری‌زا و همچنین ملاحظات زیست‌محیطی و سلامت عموم باید محدود شوند و روش‌های جایگزین بی‌خطر توسعه یابند. علاوه بر استفاده از رقم‌های مقاوم و سایر روش‌های مدیریتی، کاربرد عوامل متعارض با بیمارگر به عنوان مهار زیستی بیماری، عنصری مهم در مدیریت بیماری‌ها در نظر گرفته می‌شود و در سال‌های اخیر تلاش‌های چشمگیری برای یافتن چنین ریزجاندارانی صورت گرفته است (Latz et al. 2018). گیاهان پناهگاه

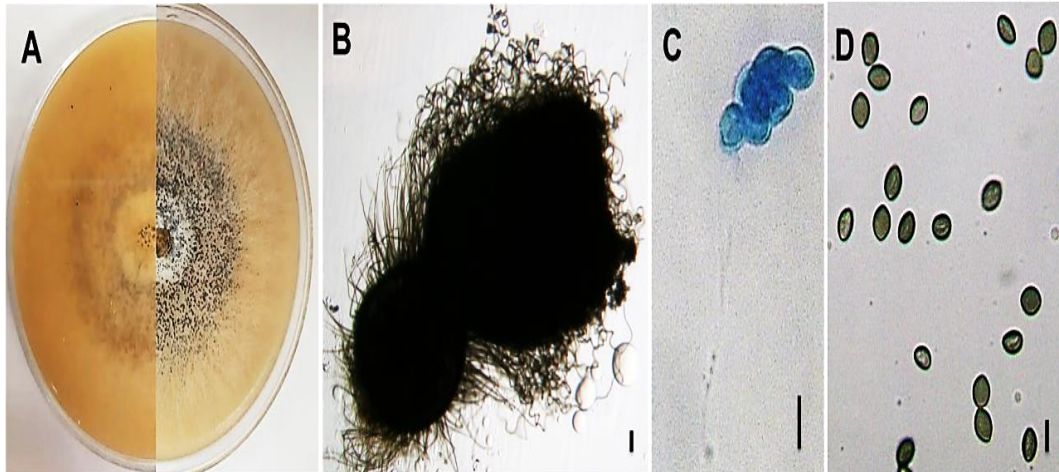
✉ نویسنده مسول: Le_ebrahimi@ut.ac.ir

طیف گسترده‌ای از ریزجانداران مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها، آرکی‌باکترها، پروتیستاها و سایر ریزجانداران در داخل و سطح بافت‌های خود هستند که تکامل در بلند مدت و تعامل‌های پیچیده، سبب ایجاد رابطه همزیستی بین آن‌ها شده است (Hassani et al. 2018). واژه درون‌رست (Endophytes) ریشه در زبان یونانی دارد و گرفته شده از دو واژه endon به معنی درون و phyton به معنی گیاه است (Anjum et al. 2019). درون‌رست‌ها ریزجاندارانی تعریف می‌شوند که بدون ایجاد نشانه، در بافت گیاه میزبان مستقر می‌شوند (Petrini 1991). جاندار درون‌رست در این رابطه از گیاه به عنوان منبع تغذیه و پناهگاه استفاده کرده و در مقابل از طریق افزایش رشد و تحمل در برابر تنش‌ها به میزبان سود می‌رساند (Wani et al. 2015). بعضی درون‌رست‌ها با محافظت از گیاه در برابر بعضی بیمارگرها، ضمن کاهش سطح آلودگی سبب سرکوب رشد و کاهش تولید زادمایه بیمارگرها می‌شوند (Bacon and White 2016). پژوهش‌های اخیر نشان داده که وجود ارتباط بین ریزجانداران درون‌رست و گیاه به سبب تقویت سیستم ایمنی گیاه (Soliman et al. 2015)، سرکوب عوامل بیماری‌زا (Terhonen et al. 2016)، جذب مواد مغذی (Hiruma et al. 2016) و افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی (Khan et al. 2015) به طور قابل توجهی، حائز اهمیت است. هدف این مقاله مرور یافته‌های منتشر شده در رابطه با کاربرد برخی از قارچهای درون‌رست برای مهار برخی بیمارگرهای گیاهی است.

قارچهای درون‌رست

قارچهای درون‌رست ریزجاندارانی هستند که بدون نشانه در فضای بین سلولی یا درون سلول‌های میزبان زندگی می‌کنند. با وجود این که درون‌رست‌ها، میزبان را بدون آسیب و ایجاد نشانه کلنیزه کرده و در آن رشد می‌کنند، اما ممکن است از تکامل قارچهای بیماریزا، و غیربیماری‌زا شدن آنها به وجود آمده باشند (Saikkonen et al. 1998). قارچهای درون‌رست می‌توانند ضمن محافظت از گیاه در برابر آفتها و بیماریها (Vega et al. 2008)، سبب افزایش رشد (Dai et al. 2008) و همچنین بهبود بروز مقاومت در برابر تنش‌های مختلف (Malinowski et al. 2004) شوند. پژوهش‌ها نشان داده که درون‌رست‌ها قادر به تولید ترکیبهای پادزیستی، سرکوب‌کننده سیستم ایمنی، آنتی‌نئوپلاستیک، توپوایزومراز و برخی ترکیبهای دیگر هستند (Verma et al. 2008). قارچهای درون‌رست تقریباً در تمام گیاهان آوندی و همه اندام‌های آنها یافت می‌شوند به طوری که حتی بذر این گیاهان، پناهگاه این قارچها هستند (Venieraki et al. 2017). حتی گاهی وضعیت سلامت و ویژگی‌های زراعی گیاهان تحت تأثیر رابطه هماهنگ بین گیاه و این درون‌رست‌های سودآور قرار می‌گیرد (Liu et al. 2018). وضعیت بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی، اکولوژیکی و توزیع گیاه میزبان می‌تواند تحت تأثیر درون‌رست‌ها در طول زمان قرار بگیرد (Segaran and Sathiavelu 2019). اولین گزارش از کشف ارتباط قارچهای درون‌رست با گیاهان،

مربوط به پیدا کردن ریشه و هاگ‌های قارچی در بافت‌های فسیل شده ساقه و برگ گیاهان بیش از ۴۶۰ میلیون سال پیش است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تکامل در ارتباط بین آن دو می‌تواند از زمان ظهور اولین گیاهان باشد (Yan et al. 2019). ساختار جمعیت قارچ‌های درون‌رست در گیاهان تحت تأثیر زیستگاه گیاه، نوع خاک، گونه گیاهی و جانداران محیطی می‌باشد (Lê Van et al. 2017). در ابتدا این قارچ‌ها ممکن است به سطح گیاه متصل شوند و اندامی به شکل اپرسوریوم تولید کنند (Yedidia et al. 1999) و سپس به لایه‌های بیرونی و بعد از آن به بافت‌های درونی نفوذ و آنجا را کلنیزه کنند (Viterbo and Chet 2006). قارچ‌های درون‌رست از طریق دو الگو منتقل می‌شوند. یکی انتقال عمودی که در آن از گیاه مادری به بذرها تولید شده منتقل می‌شوند (Gagic et al. 2018) و با جوانه زدن بذر وارد گیاهچه حاصل می‌شوند (Hodgson et al. 2014) و دیگری انتقال افقی که در آن هاگ‌ها و یا قطعه‌های ریشه از طریق جاندارانی مانند حشرها و عوامل غیرزنده مانند باد و باران به گیاهان دیگر منتقل می‌شوند (Wiewiora et al. 2015). درون‌رست‌ها به سه دسته کلی شامل درون رست‌های مسافر (در غیاب رقابت و حفاظت گیاه می‌توانند به طور تصادفی در بافت گیاه نفوذ کنند)، درون‌رست‌های اجباری (در بافت‌های داخلی گیاه میزبان زندگی می‌کنند و در سایر زیستگاه‌ها یافت نمی‌شوند) و درون رست‌های اختیاری (به همراه گیاه میزبان زندگی می‌کنند و در سایر زیستگاه‌ها نیز یافت می‌شوند) تقسیم‌بندی می‌شوند (Segaran and Sathiavelu 2019). بسیاری از قارچ‌های درون‌رست جداسازی شده از گیاهان مختلف متعلق به جنس‌های *Fusarium*، *Trichoderma*، *Aureobasidium* و دو جنس مخمر *Pichia* و *Candida* هستند (Busby et al. 2016). بعضی گونه‌های *Discula*، *Clonostachys*، *Apiognomonina*، *Phomopsis*، *Dendrodochium*، *Cylindrocarpon*، *Glomerella* و *Phialocephala*، *Diaporthe*، *Gremmeniella*، *Sirodothis*، *Chloroscypha*، *Colletotrichum* و *Cryptocline* نیز از درون‌رست‌هایی هستند که از شاخ و برگ گیاهان چندساله چوبی جدا شده‌اند (Segaran and Sathiavelu 2019). در مطالعه نگارندگان (منتشر نشده)، ۴۱۷ جدایه قارچ درون‌رست از شاخه، برگ و میوه رقم‌های وحشی و بومی سیب در شمال ایران جداسازی شد که از این بین، گونه‌های جنس‌های *Fusarium*، *Colletotrichum*، *Nigrospora*، *Cladosporium*، *Alternaria* و *Chaetomium* (شکل ۱) بیشترین فراوانی را داشتند.



شکل ۱. A- پرگنه قارچ *Chaetomium globosum* روی محیط کشت PCA بعد از ۱۴ روز نگهداری در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سلسیوس. B- آسکوکارپ، C- آسک و D- آسکوسپورها. خط مقیاس = ۱۰ میکرومتر (اصلی).

Figure 1. A- *Chaetomium globosum* colony on PCA after 14 days at 25 °C in continuous dark condition, B- Ascocarp, C- Ascus, D- Ascospores (Bars = 10 µm).

تأثیر قارچهای درون‌رست بر رشد گیاهان

این قارچ‌ها هنگامی که در ارتباط با گیاه قرار می‌گیرند می‌توانند از طریق ترشح هورمون‌های مختلف گیاهی مانند جیبرلین، اکسین و اسید آبسزیک رشد گیاه میزبان را تحت تأثیر قرار دهند. اکسین از هورمون‌های ضروری برای رشد و نمو گیاهان است و سبب تحریک انجام واکنش‌هایی مانند تقسیم سلولی، رشد سلول و تمایز یک سلول می‌شود. جیبرلین یک تنظیم کننده رشد حیاتی است که اعمالی مثل جوانه‌زنی بذر، رشد گل‌ها و تشکیل شاخه‌های جانبی را بر عهده دارد. از جمله وظایف اسید آبسزیک تنظیم رشد ریشه‌ها و جذب آب در شرایط تنش خشکی است (Ikram et al. 2020). قارچ درون‌رست *Serendipita indica* که ریشه گیاهان تک‌لپه و دولپه را کلنیزه می‌کند سبب افزایش رشد و مقاومت در آنها می‌شود (Nassimi and Taheri 2017). قارچ درون‌رست *Trichoderma sp.* گوجه‌فرنگی توانایی القاء تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را در شرایط تنش بیمارگرها داشته و همچنین سبب افزایش وزن تر و رشد بوته‌ها می‌شود (Prabhukarthikeyan et al. 2014). قارچ‌های درون‌رست *Penicillium sp.*، *Hypocrea sp.* و *Lasiodiplodia theobromae* علاوه بر کاهش شدت بیماری پژمردگی فوزاریومی خیار، سبب افزایش رشد بوته‌های آن نیز شده‌اند (Abro et al. 2019).

توانایی قارچهای درون‌رست در مهار زیستی بیماریهای گیاهی

مهار زیستی بیماری‌های گیاهی، استفاده از ریزجانداران متعارض و یا متابولیت‌های آنها جهت کاهش

فعالیت بیمارگرها تعریف می‌شود (Rojas et al. 2020). قارچ‌های درون‌رست می‌توانند میزبان خود را در برابر عوامل تنش‌زای زنده و غیرزنده محافظت کنند. قارچ‌های درون‌رست قادر به تولید ترکیب‌های پادزیستی، یا تحریک‌کننده سیستم دفاعی گیاهان هستند (Refaei et al. 2011). قارچ‌های درون‌رست دارای خاصیت تعارضی علیه بیمارگرهای گیاهی در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱. قارچ‌های درون‌رست مورد استفاده در مهار زیستی بیمارگرهای گیاهی.

Table 1. Endophytes fungi using in biocontrol of plant pathogens.

Endophyte fungi	Plant pathogen	Host of endophyte	Reference
<i>Periconia</i> sp.	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Salmonella typhimurium</i>	<i>Taxus cuspidata</i>	Kim et al. (2004)
<i>Acremonium zeae</i>	<i>Aspergillus flavus</i> <i>Fusarium verticillioides</i>	Maize	Donald et al. (2005)
<i>Phomopsis cassiae</i>	<i>Cladosporium sphaerospermum</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i>	<i>Cassia spectabilis</i>	Silva et al. (2006)
<i>Verticillium</i> sp.	<i>Pyricularia oryzae</i>	<i>Rehmannia glutinosa</i>	You et al. (2009)
<i>Stachybotrys elegans</i>	<i>Rhizoctonia cerealis</i> <i>Fusarium graminearum</i>	<i>Phragmites australis</i>	Cao et al. (2009)
<i>Ampelomyces</i> sp.	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>S. epidermidis</i> <i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Urospermum picroides</i>	Gao et al. (2010)
<i>Epicoccum nigrum</i>	<i>Fusarium verticillioides</i> <i>Ceratocystis paradoxa</i>	Sugarcane	Fávaro et al. (2012)
<i>Aspergillus</i> sp. <i>Penicillium</i> sp.	<i>F. graminearum</i>	<i>Eleusine coracana</i>	Mousa and Raizada (2015) Shikano et al. (2017)
<i>Alternaria</i> sp. <i>Diaporthe</i> sp. <i>Nigrospora oryzae</i>	<i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>Olea europaea</i>	Landum et al. (2016)
<i>Trichoderma gamsii</i>	<i>Epicoccum nigrum</i> <i>Scytalidium lignicola</i> <i>Pleospora herbarum</i> <i>Fusarium flocciferum</i>	<i>Panax notoginseng</i>	Chen et al. (2016)
<i>Rhexocercosporidium</i> sp. <i>Fusarium solani</i>	<i>Fusarium solani</i> <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	<i>Sophora tonkinensis</i>	Yao et al. (2017)
<i>Penicillium simplicissimum</i> <i>Leptosphaeria</i> sp.	<i>Verticillium dahliae</i>	Cotton Roots	Yuan et al. (2017)
<i>Penicillium commune</i> <i>Aspergillus oryzae</i>	<i>Sclerotinia</i> sp.	<i>Monarda citriodora</i>	Katoch and Pull (2017)

جدول ۱. ادامه

Table 1. Continue

Endophyte fungi	Plant pathogen	Host of endophyte	Reference
<i>Trichoderma viride</i>	<i>Alternaria solani</i>	<i>Spilanthes paniculata</i>	Talapatra et al. (2017)
	<i>Colletotrichum capsici</i>		
	<i>Fusarium solani</i>		
	<i>Pythium aphanidermatum</i>		
<i>Rhizopycnis vagum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Zingiber officinale</i>	Anisha et al. (2018)
	<i>Fusarium oxysporum</i>		
	<i>Sclerotium rolfsii</i>		
	<i>Corynespora cassiicola</i>		
<i>Trichoderma citrinoviride</i>	<i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>Panax ginseng</i>	Park et al. (2019)
	<i>Phytophthora infestans</i>		
	<i>Rhizoctonia solani</i>		
	<i>Botrytis cinerea</i>		
	<i>Alternaria panax</i>		
	<i>Cylindrocarpon destructans</i>		
	<i>Phytophthora cactorum</i>		
<i>Pythium spp.</i>			
<i>Aspergillus flavipes</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Steviare baudiana</i>	Segaran and Sathiavelu (2019)
	<i>Phytophthora palmivora</i>		
<i>Pestalotiopsis spp.</i>	<i>Phytophthora palmivora</i>	<i>Theobroma grandiflorum</i>	Segaran and Sathiavelu (2019)
<i>Acremonium sclerotigenum</i>	<i>Venturia inaequalis</i>	Apple	Ebrahimi (not published)
<i>Chaetomium globosum</i>			

قارچ‌های درون‌رست می‌توانند عوامل بیماری‌زا را از طریق سازوکارهای مختلف (Wei et al. 2019) به این شرح مهار کنند:

۱. **مقاومت القایی (Induced resistance):** این یک فرایند فعال است که در آن عامل القا کننده، بیان متفاوتی از ژن‌ها، سنتز پروتئین‌ها و تغییرات متابولیک خاص را رقم می‌زند. این تغییرات در متابولیسم گیاه در کاهش سطح بیماری منعکس می‌شود. تغییرات سیستمیک ناشی از عوامل القا کننده مقاومت بیشتر همراه با تجمع ترکیباتی مانند فیتوالکسین‌ها و پروتئین‌هایی مرتبط با دفاع با خواص ضد میکروبی شامل آنزیم‌ها و پپتیدهایی مانند تیونین‌ها، پروتئین‌های انتقال دهنده چربی و پروتئین‌های شبه‌توماتین است (Latz et al. 2018). قارچ درون‌رست *Trichoderma sp.* قادر است در برابر *Plasmopara viticola* عامل بیماری سفیدک کرکی انگور، در گیاه میزبان مقاومت ایجاد کند (Ownley et al. 2010). همچنین در زمان حمله *Plasmodiophora brassicae* به گیاهان کلزا، استفاده از قارچ درون رست *Heteroconium chaetospira* به عنوان عامل مهار زیستی باعث ترشح ترکیب β ۱ و ۳-گلوکاناز در گیاه می‌شود (Lahlali et al. 2014).

۲. تولید مواد پادزیست (Antibiosis): بیشتر قارچ‌های درون‌رست، متابولیت‌های ثانویه و ترکیبهای فرار تولید می‌کنند که دارای خواص ضدقارچی و ضدباکتریایی بوده و از رشد ریزجاندارانی رقیب از جمله عوامل بیماری‌زای گیاهی جلوگیری می‌کنند (Aleahmad and Ebrahimi 2020). این ترکیبها شامل انواع مختلفی از آنتی‌بیوتیک‌ها از جمله ترپنوئیدها، آلكالوئیدها، ترکیبات بودار، پلی‌پتیدها (Gao et al. 2010)، فلاونوئیدها، فنل‌ها، کینون‌ها، استروئیدها و ترکیبات آلی هستند که حساس بودن عوامل بیماری‌زا نسبت به آنها به اثبات رسیده است (Latz et al. 2018). ترکیب ۳، ۱۱، ۱۲-تری هیدروکسی کادالن یکی از ترکیبهای تولید شده توسط قارچ درون‌رست *Phomopsis cassiae* جدا شده از میزبان *Cassia spectabilis* است که علیه قارچ بیمارگر *Cladosporium sphaerospermum* ترشح می‌شود (Gao et al. 2010). قارچ درون‌رست *Muscodor albus* جدا شده از گیاه *Cinnamomum zeylanicum* ترکیبهای زیست فعال فرار (شامل اسیدها، الکل‌ها، آلکیل پیرون‌ها، آمونیاک، استرها، سیانید هیدروژن، کتون و لیپیدها) تولید می‌کند که برای انواعی از ریزجانداران کشنده است (Ownley et al. 2010).

۳. توانایی فرانگلی (Hyperparasitism): یکی دیگر از روش‌های قارچ‌های درون‌رست برای محافظت از گیاه میزبان است. در این روش، بیمارگر مستقیماً توسط قارچ درون‌رست بخصوص مورد حمله قرار می‌گیرد و سبب مرگ و یا تضعیف آن می‌شود (Tripathi et al. 2008). این قارچ‌ها به روش‌های مختلفی به عامل بیماری‌زا نفوذ می‌کنند. به عنوان مثال، به دور ریشه‌های بیمارگر پیچ و تاب می‌خورند و با ترشح آنزیم لیاژ، دیواره سلولی آنها را تجزیه و به داخل آن نفوذ می‌کنند. در این باره می‌توان به مهار *Rhizoctonia solani* در سیب‌زمینی توسط قارچ درون‌رست *Trichoderma sp.* اشاره کرد (Gao et al. 2010).

۴. رقابت (Competition): قارچ‌های درون‌رست، می‌توانند بافت‌های گیاهی را به صورت موضعی یا فراگیر و همچنین به صورت داخل یا بین سلولی کلنیزه کنند (Latz et al. 2018). آنها از طریق کلنیزه کردن سریع مواد غذایی و اشغال محل، آنها را از دسترس سایر ریزجانداران خارج می‌کنند (Rodriguez et al. 2009). نشانه ریشه‌گریزی ایجاد شده توسط *Plasmodiophora brassicae* در کلزا کلنیزه شده با قارچ درون‌رست *Heteroconium chaetospora* در مقایسه با شاهد کمتر بود (Lahlali et al. 2014). یک قارچ درون‌رست ممکن است در برابر یک بیمارگر از چند سازوکار به طور همزمان استفاده کند، یا در برابر هر بیمارگر، یک سازوکار متفاوت به کار گیرد (Ownley et al. 2010).

نتیجه‌گیری

قارچهای درون‌رست به عنوان یک منبع وسیع با پتانسیل قوی در مهار زیستی بیماریهای گیاهی در کشاورزی شناخته شده‌اند. استفاده از سم‌های شیمیایی برای کشاورزی پایدار و مدیریت بیماری‌های گیاهی بسیار حیاتی است، ولی ممکن است برای مصرف‌کننده و محیط‌زیست مضر باشد. بنابراین استفاده از درون‌رست‌ها می‌تواند روشی جایگزین برای استفاده از سم‌های شیمیایی باشد.

References

منابع

1. Abro MA, Sun X, Li X, Jatoi GH, Guo LD (2019) Biocontrol potential of fungal endophytes against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* causing wilt in cucumber. The Plant Pathology Journal 35(6):598.
2. Aleahmad P, Ebrahimi L (2020) Biological control method of postharvest fungal diseases of apple. Plant Pathology Science 9:95-107. (In Persian with English Abstract).
3. Anisha C, Jishma P, Bilzamol VS, Radhakrishnan EK (2018) Effect of ginger endophyte *Rhizopycnis vagum* on rhizome bud formation and protection from phytopathogens. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 14:116-119.
4. Anjum R, Afzal M, Baber R, Khan MA, Kanwal W, Sajid W, Raheel A (2019) Endophytes: as potential biocontrol agent—review and future prospects. Journal of Agricultural Science 11: 113-113.
5. Bacon CW, White JF (2016) Functions mechanisms and regulation of endophytic and epiphytic microbial communities of plants. Symbiosis 68:87-98.
6. Busby PE, Ridout M, Newcombe G (2016) Fungal endophytes: modifiers of plant disease. Plant Molecular Biology 90:645-655.
7. Cao R, Liu X, Gao K, Mendgen K, Kang Z, Gao J, Dai Y, Wang X (2009) Mycoparasitism of endophytic fungi isolated from reed on soilborne phytopathogenic fungi and production of cell wall-degrading enzymes *in vitro*. Current Microbiology 59: 584-592.
8. Chen JL, Sun SZ, Miao CP, Wu K, Chen YW, Xu LH, Guan HL, Zhao LX (2016) Endophytic *Trichoderma gamsii* YIM PH30019: a promising biocontrol agent with hyperosmolar, mycoparasitism, and antagonistic activities of induced volatile organic compounds on root-rot pathogenic fungi of *Panax notoginseng*. Journal of Ginseng Research 40:315-324.
9. Dai CC, Yu BY, Li X (2008) Screening of endophytic fungi that promote the growth of *Euphorbia peginensis*. African Journal of Biotechnology 7:3505-3510.
10. Donald T, Shoshannah RO, Deyrup ST, Gloer JB (2005) A protective endophyte of maize: *Acremonium zeae* antibiotics inhibitory to *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides*. Mycological Research 109:610-618.

11. Fávares LC, Sebastianes FL, Araújo WL (2012) *Epicoccum nigrum* P16, a sugarcane endophyte, produces antifungal compounds and induces root growth. PLoS one 7:e36826.
12. Gagic M, Faville MJ, Zhang W, Forester NT, Rolston MP, Johnson RD, Ganesh S, Koolaard JP, Easton H, Hudson D, Johnson LJ (2018) Seed transmission of *Epichloë* endophytes in *Lolium perenne* is heavily influenced by host genetics. Frontiers in Plant Science 1580.
13. Gao FK, Dai CC, Liu XZ (2010) Mechanisms of fungal endophytes in plant protection against pathogens. African Journal of Microbiology Research 4:1346-1351.
14. Hassani MA, Durán P, Hacquard S (2018) Microbial interactions within the plant holobiont. Microbiome 6:1-7.
15. Hiruma K, Gerlach N, Sacristán S, Nakano RT, Hacquard S, Kracher B, Neumann U, Ramírez D, Bucher M, O'Connell RJ and Schulze-Lefert P (2016) Root endophyte *Colletotrichum tofieldiae* confers plant fitness benefits that are phosphate status dependent. Cell 165:464-474.
16. Hodgson S, de Cates C, Hodgson J, Morley NJ, Sutton BC, Gange AC (2014) Vertical transmission of fungal endophytes is widespread in forbs. Ecology and Evolution 4(8):1199-1208.
17. Ikram M, Ali N, Jan G, Jan FG, Khan N (2020) Endophytic fungal diversity and their interaction with plants for agriculture sustainability under stressful condition. Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture 11:115-123.
18. Katoch M, Pull S (2017) Endophytic fungi associated with *Monarda citriodora*, an aromatic and medicinal plant and their biocontrol potential. Pharmaceutical Biology 55:1528-1535.
19. Khan AL, Hussain J, Al-Harrasi A, Al-Rawahi A, Lee IJ (2015) Endophytic fungi: resource for gibberellins and crop abiotic stress resistance. Critical Reviews in Biotechnology 35:62-74.
20. Kim S, Shin DS, Lee T and Oh KB (2004) Periconicins, two new fusicoccane diterpenes produced by an endophytic fungus *Periconia* sp. with antibacterial activity. Journal of Natural Products 67:448-450.
21. Lahlali R, McGregor L, Song T, Gossen BD, Narisawa K, Peng G (2014) *Heteroconium chaetospira* induces resistance to clubroot via upregulation of host genes involved in jasmonic acid, ethylene, and auxin biosynthesis. PLoS one 9:e94144.
22. Landum MC, do Rosário Félix M, Alho J, Garcia R, Cabrita MJ, Rei F, Varanda CM (2016) Antagonistic activity of fungi of *Olea europaea* L. against *Colletotrichum acutatum*. Microbiological Research 183:100-108.
23. Latz MA, Jensen B, Collinge DB, Jørgensen HJ (2018) Endophytic fungi as biocontrol agents: elucidating mechanisms in disease suppression. Plant Ecology and Diversity 11:555-567.

24. Lê Van A, Quaiser A, Duhamel M, Michon-Coudouel S, Dufresne A, Vandenkoornhuyse P (2017) Ecophylogeny of the endospheric root fungal microbiome of co-occurring *Agrostis stolonifera*. PeerJ 5:e3454.
25. Liu Y, Bai F, Li T, Yan H (2018) An endophytic strain of genus *Paenibacillus* isolated from the fruits of Noni (*Morinda citrifolia* L.) has antagonistic activity against a Noni's pathogenic strain of genus *Aspergillus*. Microbial Pathogenesis 125:158-163.
26. Malinowski DP, Zuo H, Belesky DP, Alloush GA (2004) Evidence for copper binding by extracellular root exudates of tall fescue but not perennial ryegrass infected with *Neotyphodium* spp. endophytes. Plant and Soil 267:1-2.
27. Mousa WK, Raizada MN (2015) Biodiversity of genes encoding anti-microbial traits within plant associated microbes. Frontiers in Plant Science 6:231-231.
28. Nassimi Z, Taheri P (2017) Endophytic fungus *Piriformospora indica* induced systemic resistance against rice sheath blight via affecting hydrogen peroxide and antioxidants. Biocontrol Science and Technology 27:252-267.
29. Ownley BH, Gwinn KD, Vega FE (2010) Endophytic fungal entomopathogens with activity against plant pathogens: ecology and evolution. Biocontrol 55:113-28.
30. Park YH, Mishra RC, Yoon S, Kim H, Park C, Seo ST, Bae H (2019) Endophytic *Trichoderma citrinoviride* isolated from mountain-cultivated ginseng (*Panax ginseng*) has great potential as a biocontrol agent against ginseng pathogens. Journal of Ginseng Research 43:408-420.
31. Prabhukarthikeyan R, Saravanakumar D, Raguchander T (2014) Combination of endophytic *Bacillus* and *Beauveria* for the management of Fusarium wilt and fruit borer in tomato. Pest Management Science 70:1742-1750.
32. Refaei J, Jones EB, Sakayaroj J, Santhanam J (2011) Endophytic fungi from *Rafflesia cantleyi*: species diversity and antimicrobial activity. Mycosphere 2:429-447.
33. Rodriguez RJ, White Jr JF, Arnold AE, Redman AR (2009) Fungal endophytes: diversity and functional roles. New Phytologist. 182:314-330.
34. Rojas EC, Jensen B, Jørgensen HJ, Latz MA, Esteban P, Ding Y, Collinge DB (2020) Selection of fungal endophytes with biocontrol potential against Fusarium head blight in wheat. Biological Control 144:104222.
35. Saikkonen K, Faeth SH, Helander M, Sullivan TJ (1998) Fungal endophytes: a continuum of interactions with host plants. Annual Review of Ecology and Systematics 29:319-343.
36. Segaran G, Sathivelu M (2019) Fungal endophytes: A potent biocontrol agent and a bioactive metabolites reservoir. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 21:101284.
37. Shikano I, Rosa C, Tan CW, Felton GW (2017) Tritrophic interactions: microbe-mediated plant effects on insect herbivores. Annual Review of Phytopathology 55:313-331.

38. Silva GH, Teles HL, Zanardi LM, Young MC, Eberlin MN, Hadad R, Pfenning LH, Costa-Neto CM, Castro-Gamboa I, da Silva Bolzani V. Araújo ÂR (2006) Cadinane sesquiterpenoids of *Phomopsis cassiae*, an endophytic fungus associated with *Cassia spectabilis* (Leguminosae). *Phytochemistry* 67: 964-969.
39. Soliman SS, Greenwood JS, Bombarely A, Mueller LA, Tsao R, Mosser DD and Raizada MN (2015) An endophyte constructs fungicide-containing extracellular barriers for its host plant. *Current Biology* 25:2570-6.
40. Talapatra K, Das AR, Saha AK. Das P (2017) *In vitro* antagonistic activity of a root endophytic fungus towards plant pathogenic fungi. *Journal of Applied Biology and Biotechnology* 5:68-71.
41. Terhonen E, Sipari N. Asiegbu FO (2016) Inhibition of phytopathogens by fungal root endophytes of Norway spruce. *Biological Control* 99:53-63.
42. Tripathi S, Kamal S, Sheramati I, Oelmuller R. Varma A (2008) Mycorrhizal fungi and other root endophytes as biocontrol agents against root pathogens. Pp. 281-306, In: Mycorrhiza, Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.
43. Vega FE, Posada F, Aime MC, Pava-Ripoll M, Infante F. Rehner SA (2008) Entomopathogenic fungal endophytes. *Biological Control* 46:72-82.
44. Venieraki A, Dimou M. Katinakis P (2017) Endophytic fungi residing in medicinal plants have the ability to produce the same or similar pharmacologically active secondary metabolites as their hosts. *Hellenic Plant Protection Journal* 10:51-66.
45. Verma VI, Sudan P. Kour A (2008) Endophytes: A novel source for bioactive molecules. *Proceeding Indian National Academy* 74:73-86.
46. Viterbo AD. Chet I (2006) TasHyd1, a new hydrophobin gene from the biocontrol agent *Trichoderma asperellum*, is involved in plant root colonization. *Molecular Plant Pathology* 7:249-58.
47. Wani ZA, Ashraf N, Mohiuddin T. Riyaz-Ul-Hassan S (2015) Plant-endophyte symbiosis, an ecological perspective. *Applied Microbiology and Biotechnology* 99:955-965.
48. Wei F, Zhang Y, Shi Y, Feng H, Zhao L, Feng Z. Zhu H (2019) Evaluation of the biocontrol potential of endophytic fungus *Fusarium solani* CEF559 against *Verticillium dahliae* in cotton plant. *BioMed Research International* 5:1-13.
49. Wiewiora B, Żurek G. Pańka D (2015) Is the vertical transmission of *Neotyphodium lolii* in perennial ryegrass the only possible way to the spread of endophytes? *PLoS one* 10:e0117231.
50. Yan L, Zhu J, Zhao X, Shi J, Jiang C. Shao D (2019) Beneficial effects of endophytic fungi colonization on plants. *Applied Microbiology and Biotechnology* 103:3327-3340.
51. Yao YQ, Lan F, Qiao YM, Wei JG, Huang RS. Li LB (2017) Endophytic fungi harbored in the root of *Sophora tonkinensis* Gapnep: Diversity and biocontrol potential against phytopathogens. *MicrobiologyOpen* 6:e00437.

52. Yedidia I, Benhamou N. Chet I (1999) Induction of defense responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. Applied and Environmental Microbiology 65:1061-70.
53. You F, Han T, Wu JZ, Huang BK. Qin LP (2009) Antifungal secondary metabolites from endophytic *Verticillium* sp. Biochemical Systematics and Ecology 37:162-165.
54. Yuan Y, Feng H, Wang L, Li Z, Shi Y, Zhao L, Feng Z. Zhu H (2017) Potential of endophytic fungi isolated from cotton roots for biological control against verticillium wilt disease. PLoS one 12:e0170557.