Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Soil Management and Sustainable Production

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Soil Science Society of Iran

Evaluation of salinity tolerance of some growth-promoting fungi and introduction of the best formulation for salinity-tolerant fungi

Rostam Yazdani-Biouki[*1], Hossein Kari Dolatabad[2], Mitra Rahmati[3]

1. Corresponding Author, Assistant Prof., National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. E-mail: r.yazdani@areeo.ac.ir
2. Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: h.kari@areeo.ac.ir
3. Assistant Prof., Seed and Plant Certification and Registration Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: m.rahmati@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 11.15.2023
Revised: 02.17.2024
Accepted: 02.19.2024

Keywords:
Epicoccum,
Formulation,
Growth-promoting fungi,
Salinity stress,
Trichoderma

ABSTRACT

Background and Objectives: Plant growth promoting fungi are often useful for plants and make host plants adapt to living and non-living stressors, including salt stress, in different ways. In this regard, the identification and application of growth-promoting fungi that tolerate salt stress is one of the ways to deal with and adapt to salt stress conditions. On the other hand, different carriers have different ability to maintain the population of these fungi at the standard level and maintain their efficiency. Also, storage conditions, especially temperature, can have a great effect on their population and stability. Therefore, the present research was conducted with the aim of preparing suitable formulations of salt-tolerant fungi in order to preserve and stabilize their population in the long term.

Materials and Methods: In the present study, *Chaetomium globosum*, *Chaetomium interruptum*, *Clonostachys rosea*, *Coniothyrium sp.*, *Epicoccum nigrum*, *Serendipita indica*, *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma atroviride*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma longibrachiatum* and *Trichoderma reesei* with plant growth-promoting properties were obtained from the collection of the Department of Soil Biology and Biotechnology of the Soil and Water Research Institute in order to identify the fungal species tolerant to salinity. Their growth potential at different salinity levels including 0.045, 0.31, 0.63, 1.04, 1.36, 2.14, 3.04, 3.95 and 4.71 percent of sodium chloride. Was evaluated in a completely randomized design with three replications. Also, two salt-tolerant fungal species and different carriers (pepper waste, vermiculite, stone powder, pumice, perlite, sawdust, and compost) were used to evaluate the stability of the fungal population in different formulations. The experiment was laid out in a factorial completely randomized design with three replications.

Results: The results showed that *T. harzianum*, *T. atroviride*, *T. longibrachiatum,* and *T. reesei* were less affected by the salinity of 0.045 to 4.71% sodium chloride and were able to fill the entire surface of the Petri dish (8 cm) at different salinity levels. *E. nigrum* was also able to grow at different salinity levels, although its growth decreased with increasing salinity. *T. harzianum* was the only species that was able to cover the entire Petri-dish surface in seven days at the culture medium containing 2.14% sodium chloride. The formulation results showed that the carrier effect was

significant in both *T. harzianum* and *E. nigrum* species. Compost, sawdust, and vermiculite were the best carriers in terms of maintaining the *Trichoderma* population. The best carriers in maintaining *T. harzianum* population after six months at cold room temperature was vermiculite (4 × 109 CFU/g), compost (3.66 × 109 CFU/g) and sawdust (3 × 109 CFU/g) and in *E. nigrum* species was compost (1 × 108 CFU/g) and vermiculite (8 × 107 CFU/g).

Conclusion: In general, the results showed that *T. harzianum* and *E. nigrum* species were able to grow in culture media containing 4.71% sodium chloride and the best carriers for the formulation of these two fungi were compost and vermiculite.

Cite this article: Yazdani-Biouki, Rostam, Kari Dolatabad, Hossein, Rahmati, Mitra. 2024. Evaluation of salinity tolerance of some growth-promoting fungi and introduction of the best formulation for salinity-tolerant fungi. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 14 (3), 143-160.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21924.2127
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
شاپا چاپی: ۱۲۶۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲
انجمن علوم خاک ایران

ارزیابی تحمل به شوری برخی گونه‌های قارچ محرک رشد گیاه و معرفی بهترین فرمولاسیون قارچ‌های متحمل به شوری

رستم یزدانی بیوکی*[۱]، حسین کاری دولت‌آباد[۲]، میترا رحمتی[۳]

۱. نویسنده مسئول، استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. رایانامه: r.yazdani@areeo.ac.ir
۲. استادیار، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: h.kari@areeo.ac.ir
۳. استادیار، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: m.rahmati@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۴
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

واژه‌های کلیدی:
اپیکوکوم،
تریکودرما،
تنش شوری،
فرمولاسیون،
قارچ‌های افزایش‌دهنده رشد

چکیده

سابقه و هدف: قارچ‌های افزایش‌دهنده رشد گیاهان اغلب برای گیاهان مفید هستند و به روش‌های مختلف باعث سازگاری گیاهان میزبان به عوامل تنش‌زای زنده و غیر زنده از جمله تنش شوری می‌شوند. در این راستا شناسایی و کاربرد قارچ‌های محرک رشد و متحمل به تنش شوری یکی از روش‌های مقابله و سازگاری با شرایط تنش شوری می‌باشد. از طرف دیگر حامل‌های مختلف توانایی متفاوتی در نگهداری جمعیت این قارچ‌ها در حد استاندارد و حفظ کارایی آن‌ها در خود دارند. هم‌چنین شرایط نگهداری به‌خصوص دما می‌تواند تأثیر زیادی در جمعیت و پایداری آن‌ها داشته باشد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف تهیه فرمولاسیون‌های مناسب قارچ‌های متحمل به شوری به منظور حفظ و پایداری جمعیت آن‌ها در بلندمدت صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: با هدف ارزیابی گونه‌های قارچ متحمل به شوری، در پژوهش حاضر، گونه‌های قارچ *Chaetomium globosum*، *Chaetomium interruptum*، *Clonostachys rosea*، *Coniothyrium sp.*، *Epicoccum nigrum*، *Serendipita indica*، *Trichoderma asperellum*، *Trichoderma atroviride*، *Trichoderma harzianum*، *Trichoderma longibrachiatum* و *Trichoderma reesei* با خصوصیات محرک رشدی از کلکسیون بخش بیولوژی و بیوتکنولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه و پتانسیل رشد آن‌ها در سطوح مختلف شوری شامل: ۰/۰۴۵، ۰/۳۱، ۰/۶۳، ۱/۰۴، ۱/۳۶، ۲/۱۴، ۳/۰۴، ۳/۹۵ و ۴/۷۱ درصد کلرید سدیم طی یک طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. هم‌چنین به منظور بررسی

پایداری جمعیت قارچ‌های منتخب، فرمولاسیون‌های مختلف تهیه و طی یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار که فاکتور اول شامل دو گونه قارچ متحمل و فاکتور دوم شامل حامل‌ها (ضایعات فلفل، ورمیکولیت، خاک سنگ، پوکه، پرلیت، خاک اره و کمپوست)، ارزیابی گردید. به ازای ۹۰۰ گرم از هر یک از حامل‌ها، ۵۰ گرم آرد ذرت و ۵۰ گرم آرد گندم اضافه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که گونه‌های *T. harzianum*، *T. atroviride*، *T. longibrachiatum* و *T. reesei* کم‌تر تحت‌تأثیر شوری ۰/۰٤۵ تا ٤/۷۱ درصد کلرید سدیم قرار گرفته و در سطوح مختلف شوری کل سطح پتری‌دیش هشت سانتی‌متری را پر کردند. به غیر از جنس تریکودرما، گونه *E. nigrum* نیز به خوبی در سطوح مختلف شوری رشد کرد هر چند که با افزایش شوری، کاهش رشد نشان داد. گونه *T. harzianum*، تنها گونه‌ای بود که در طول هفت روز توانست در محیط کشت حاوی ۲/۱٤ درصد کلرید سدیم کل سطح پتری‌دیش هشت سانتی‌متری را بپوشاند. نتایج فرمولاسیون نشان داد که اثر حامل در هر دو گونه قارچ *T. harzianum* و *E. nigrum* معنی‌دار بود و بهترین حامل در نگهداری جمعیت گونه *T. harzianum*، پس از گذشت شش ماه، در دمای سردخانه حامل‌های ورمیکولیت (٤ × ۱۰۹ CFU/g)، کمپوست (٦٦/۳ × ۱۰۹ CFU/g) و خاک اره (۳ × ۱۰۹ CFU/g) و در گونه *E. nigrum*، حامل کمپوست (۱ × ۱۰۸ CFU/g) و ورمیکولیت (۸ × ۱۰۷ CFU/g) بود.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج نشان داد که دو گونه *T. harzianum* و *E. nigrum* قادر به رشد در محیط کشت‌های حاوی ٤/۷۱ درصد کلرید سدیم بودند و بهترین حامل‌ها برای فرمولاسیون این دو قارچ کمپوست و ورمیکولیت بود.

استناد: یزدانی بیوکی، رستم، کاری دولت‌آباد، حسین، رحمتی، میترا (۱۴۰۳). ارزیابی تحمل به شوری برخی گونه‌های قارچ محرک رشد گیاه و معرفی بهترین فرمولاسیون قارچ‌های متحمل به شوری. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۴ (۳)، ۱۶۰-۱۴۳.
DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21924.2127

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

با شور شدن منابع آب و خاک کشاورزی، میزان تولید محصولات رایج کاهش یافته و منجر به کاهش سود اقتصادی می‌گردد. تخمین زده می‌شود حدوداً ۲۷ میلیون هکتار از اراضی کشور با مشکل شوری مواجه می‌باشد که چیزی در حدود ۱۵-۱۰ درصد کل اراضی کشور را تشکیل می‌دهد (۱). در حدود ۱۹/۵ درصد اراضی فاریاب به‌طور مستقیم تحت‌تأثیر شوری قرار دارند (۲).

پژوهش‌گران زیادی با تغییر دادن میکروفلور در خاک‌های کشاورزی به دنبال افزایش رشد و عملکرد گیاهان بوده‌اند. ریزجانداران خاک باعث افزایش انتقال عناصر، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش قابلیت جذب عناصر معدنی، مقابله با بیمارگرهای مختلف با سازوکارهای متفاوت می‌شوند و به این طریق رشد و عملکرد گیاهان را بهبود می-بخشند (۳، ٤، ٥). قارچ‌ها به عنوان یکی از بزرگ‌ترین و متنوع‌ترین گروه از موجودات زنده، با تمامی اجزا زیست‌بوم موجود در زمین (زنده و غیر زنده) برهمکنش دارند. آن‌ها از بازیگران مهم در زیست‌بوم‌های خشکی و آبی (آب‌های شیرین و شور دریایی) بوده و در تشکیل و حاصلخیزی خاک از طریق تجزیه بقایای گیاهی و حیوانی و نیز بازچرخه مواد غذایی نقش مهمی دارند (٦).

افزایش رشد و القای تحمل به شوری در گیاهان توسط قارچ‌ها از طریق سازوکارهای گوناگونی انجام می‌شود، به عنوان مثال دولت‌آباد و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که قارچ *Trichoderma atroviride* قادر به تولید اکسین به میزان ۱۹/۳٤ و ۳۲/۸۸ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب در سطح صفر و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تریپتوفان است (۷). هم‌چنین آن‌ها گزارش دادند که قارچ *Quambalaria cyanescens* قادر به تولید سیدروفور و قارچ *Byssochlamys nivea* دارای قابلیت حل‌کنندگی فسفات معدنی است (۷). کنترراس-کرنجو و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که قارچ تریکودرما با تولید ترکیبات مرتبط با اکسین مانند ایندول تری استیک اسید، ایندول تری استالدئید و ایندول تری اتانول باعث افزایش زیست‌توده در گیاه آرابیدوپسیس می‌شود (۸). کنترراس-کرنجو و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که گونه‌های تریکودرما باعث بهبود رشد نهال‌های آرابیدوپسیس تحت تنش شوری از طریق افزایش رشد ریشه، تولید اسمولیت و کاهش جذب یون سدیم از طریق ریشه می‌شود (۹). هم‌چنین مشخص شده است قارچ *Serendipita indica* باعث تحمل تنش‌های خشکی و شوری می‌شوند (۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱٤، ۱۵، ۱٦). ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که قارچ *Trichoderma longibrachiatum* T6 به طور مؤثری رشد و تحمل به شوری در گیاهان را با فعالیت آنزیم آمینو سیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات دی آمیناز و تولید ایندول استیک اسید افزایش می‌دهد که این عمل از طریق تنظیم کردن تولید ایندول استیک اسید و اتیلن، تنظیم سطح بیان ژن‌های این هورمون‌ها در ریشه گیاهان تحت‌تأثیر تنش شوری و کاهش سمیت یونی است (۱۷).

به منظور توسعه کاربرد قارچ‌هایی افزایش دهنده رشد گیاهان در بخش کشاورزی و پایداری هرچه بیش‌تر محیط زیست، امید است با شناسایی فرمولاسیون مناسب، میزان رشد، تکثیر و پایداری این ریز جانداران افزوده شود و این امر کمک شایانی به افزایش کارایی آن‌ها دارد. اگرچه تلقیح گیاهان با این ریزجانداران به‌صورت مستقیم انجام گرفته است اما فرمولاسیونی نیاز است که تأثیر پایدار و قابل اطمینان برای استفاده گسترده و تجاری این ریزجانداران حاصل شود. استفاده از یک فرمولاسیون مناسب برای مایه تلقیح، انتخاب حامل مناسب و طراحی صحیح روش انتقال از جنبه‌های کاربردی در تکنولوژی تلقیح

ریزجانداران است (۱۸). به عنوان مثال گوپتا و دهرو (۲۰۱٤) از پودر تالک برای تهیه فرمولاسیون دو قارچ *Trichoderma harzianum* و *Trichoderma hamatum* و دو باکتری *Pseudomonas fluorescens* و *Bacillus subtilis* استفاده و فرمولاسیون‌های تولید شده را به مدت ۸۰ روز در دو دمای ۱۰ درجه سلسیوس و دمای محیط نگهداری کردند (۱۹).

قارچ‌های افزایش‌دهنده رشد گیاهان اغلب برای گیاهان مفید هستند و به روش‌های مختلف باعث سازگاری گیاهان میزبان به عوامل تنش‌زای زنده و غیرزنده از جمله تنش شوری می‌شوند. در این راستا شناسایی و کاربرد قارچ‌های محرک رشد و متحمل به تنش شوری یکی از روش‌های مقابله و سازگاری با شرایط تنش شوری می‌باشد. علی‌رغم مطالعات زیادی که در مورد جداسازی و شناسایی قارچ‌ها صورت گرفته است، پژوهش‌های کمی در مورد تهیه فرمولاسیون‌های مناسب به‌طوری‌که جمعیت و کارایی قارچ پس از تکثیر در حد استاندارد حفظ شود صورت گرفته است. حامل‌های مختلف توانایی متفاوتی در نگهداری جمعیت قارچ‌ها در حد استاندارد و حفظ کارایی آن‌ها در خود دارند. هم‌چنین شرایط نگهداری به‌خصوص دما می‌تواند تأثیر زیادی در جمعیت و پایداری یک ریز جاندار داشته باشد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف تهیه فرمولاسیون‌های مناسب قارچ¬های متحمل به شوری به منظور حفظ و پایداری جمعیت آن‌ها در بلندمدت صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه گونه‌های قارچ: گونه‌های قارچی *Chaetomium globosum*، *Chaetomium interruptum*، *Clonostachys rosea*، *Coniothyrium sp.*، *Epicoccum nigrum*، *Serendipita indica*، *Trichoderma asperellum*، *Trichoderma atroviride*، *Trichoderma harzianum*، *Trichoderma longibrachiatum* و *Trichoderma reesei* (۷) با خصوصیات محرک رشدی از کلکسیون بخش تحقیقات بیولوژی و بیوتکنولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شدند (۲۰).

ارزیابی تحمل به شوری گونه‌های قارچ: گونه¬های قارچی در محیط کشت سیب‌زمینی دکستروز آگار کشت و پس از رشد در دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری شدند. جهت بررسی قابلیت رشد گونه‌های قارچی در شوری‌های بالا، محیط‌های کشت سیب‌زمینی دکستروز آگار با ۰/۰٤۵، ۰/۳۱، ۰/٦۳، ۱/۰٤، ۱/۳٦، ۲/۱٤، ۳/۰٤، ۳/۹۵ و ٤/۷۱ درصد کلرید سدیم تهیه و در مرکز هر پلیت هشت سانتی‌متری، یک دیسک قارچی ۵ میلی‌متری قرار گرفت و طی یک طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار ارزیابی گردید. بر این اساس به ترتیب سطوح شوری ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ٤۰، ۵۰ و ٦۰ دسی‌زیمنس بر متر حاصل گردید. قطر پرگنه قارچ‌ها پس از هفت و بیست روز نگهداری در گرمخانه در شرایط تاریکی و با دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری و دو گونه برتر با توجه به حفظ قابلیت رشد و پوشش سطح پتری‌دیش در شوری‌های با درصد کلرید سدیم بیش‌تر از ۲/۱٤ بعد از بیست روز انتخاب شدند.

تهیه فرمولاسیون‌های قارچ: به منظور بررسی تکثیر و ماندگاری گونه‌های منتخب متحمل به شوری، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱٤۰۱-۱٤۰۰ به اجرا درآمد. برای تهیه سوسپانسیون‌های قارچی، به تشتک پتری ۱۰ روزه قارچ‌ها روی محیط کشت سیب‌زمینی دکستروز آگار آب مقطر سترون اضافه شد و با کمک اسکالپل سترون، سطح کشت کاملاً خراش داده شد تا اسپورها از سطح کشت جدا شده و در آب غوطه‌ور شوند. سوسپانسیون‌های حاصل در لوله‌های آزمایش دربدار

سترون جمع‌آوری شدند. برای شمارش اسپورها در سوسپانسیون از لام هموسایتومتر استفاده گردید. عمل شمارش اسپورها از یک نمونه سوسپانسیون چندین بار و با بزرگنمایی ٤٠٠ برابر میکروسکوپ نوری انجام گرفت و میانگین شمارش‌ها به عنوان تراکم جمعیت سوسپانسیون نمونه اصلی درنظرگرفته شد (۲۱). براساس تراکم جمعیت نمونه‌های سوسپانسیون، یک میلی‌لیتر سوسپانسیون اسپور با جمعیت ۱۰٦ CFU/mL تهیه شد و به کیسه‌های پلی‌پروپیلن با فیلتر ۰/۲ میکرومتری که به مدت دو ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار یک اتمسفر سترون گردیده بودند منتقل شد. کیسه‌های پلی‌پروپیلن حاوی مخلوطی از مواد غذایی شامل آرد ذرت (۵۰ گرم)، آرد گندم (۵۰ گرم) و هر یک از حامل‌ها (۹۰۰ گرم) و ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر بودند. حامل‌های استفاده شده در این پژوهش شامل ورمیکولیت ۱–۳ میلی‌متری خمین، پوکه معدنی ماسه‌ای ۰–٤ میلی‌متری اردبیل، پرلیت دانه ریز ۱–۳ میلی‌متری گیلان، خاک اره شرکت چوب و کاغذ ایران (چوکا)، کمپوست بقایای گیاهی مؤسسه تحقیقات خاک و آب و ضایعات فلفل شامل بقایای گیاهی فلفل‌دلمه‌ای گلخانه ورامین بودند.

کیسه‌های پلی‌پروپیلن در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در اتاقک مخصوص رشد به مدت سه هفته نگهداری شدند تا کاملاً قارچ‌های مذکور در بستر رشد کرده و اسپورزایی انجام دهند (شکل ۱). پس از کلونیزه شدن بستر، فرمولاسیون‌های تهیه شده در دو دمای مختلف شامل دمای اتاق (۵±۲۵ درجه سلسیوس) و سردخانه (٤ درجه سلسیوس) نگهداری شدند تا ماندگاری دو گونه منتخب با فواصل زمانی یک ماه به مدت شش ماه با ارزیابی گردد. برای شمارش جمعیت، ۱۰ گرم فرمولاسیون تهیه شده به ۹۰ میلی‌لیتر آب استریل افزوده شد. سوسپانسیون به مدت ٤٥ دقیقه روی شیکر (۱۵۰ دور در دقیقه) تکان داده شد. رقت‌های ده‌دهی تا ۸–۱۰ در آب استریل تهیه و از هر رقت ۰/۱ میلی‌لیتر در سه تکرار روی محیط کشت سیب‌زمینی دکستروز آگار پخش شده و تشتک‌ها در دمای ۲۸–۳۰ درجه سلسیوس نگهداری گردیدند. شمارش تعداد کلنی‌ها در ظرف مدت یک هفته از زمان کشت انجام شد (۲۲).

شکل ۱- فرمولاسیون‌های قارچی تهیه‌شده با حامل‌های مختلف.

Figure 1. Fungal formulations prepared with different carrier.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس رشد گونه‌های قارچی در سطوح مختلف شوری در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، گونه‌های قارچی از نظر رشد در سطوح شوری مختلف دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات گونه‌های قارچی و سطوح مختلف شوری بر رشد قطر پرگنه قارچی.

Table 1. Variance analysis of the effects of fungal species and different levels of salinity on the fungal colony diameter.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	
		قطر پرگنه پس از ۷ روز Colony diameter after 7 days	قطر پرگنه پس از ۲۰ روز Colony diameter after 20 days
شوری Salinity	8	40.41**	20.45**
قارچ Fungi	10	198.81**	131.04**
شوری × قارچ Fungi*salinity	80	1.97**	2.65**
خطا Error	198	0.07	0.15
ضریب تغییرات CV	-	0.69	0.37

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد آماری

** Significant at the level 0.01

ارزیابی رشد گونه‌های قارچی در سطوح شوری ۰/۰٤٥، ۰/۳۱، ۰/٦۳، ۱/۰٤، ۱/۳٦، ۲/۱٤، ۳/۰٤، ۳/۹٥ و ٤/۷۱ درصد کلرید سدیم در شرایط آزمایشگاهی بر روی محیط کشت جامد نشان داد که تمامی گونه‌های قارچی به‌جز قارچ *S. indica* قادر به رشد در تمام سطوح شوری بودند. هر چند که با افزایش غلظت شوری، رشد قارچ‌ها کمتر گردید. قارچ *S. indica* فقط تا شوری ۱/۳٦ درصد کلرید سدیم قادر به رشد بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که گونه‌های تریکودرما کم‌تر تحت‌تأثیر شوری قرار گرفته‌اند و پس از هفت روز گونه‌های *T. atroviride*، *T. harzianum*، *T. reesei* و *T. longibrachiatum* قادر بودند در سطوح شوری ۰/۰٤٥ تا ۱/۳٦ درصد کلرید سدیم، کل سطح پتری‌دیش را بپوشانند (جدول ۲). گونه *T. harzianum*، تنها گونه‌ای بود که در طول هفت روز توانست در سطح شوری ۲/۱٤ درصد کلرید سدیم کل سطح پتری‌دیش را بپوشاند (جدول ۲). تمامی گونه‌های تریکودرما بعد از بیست روز در تمامی سطوح شوری کل پتری‌دیش را پر کردند (جدول ۲).

جدول ۲- قطر پرگنه گونه‌های مختلف قارچی در سطوح شوری مختلف پس از ۷ و ۲۰ روز.

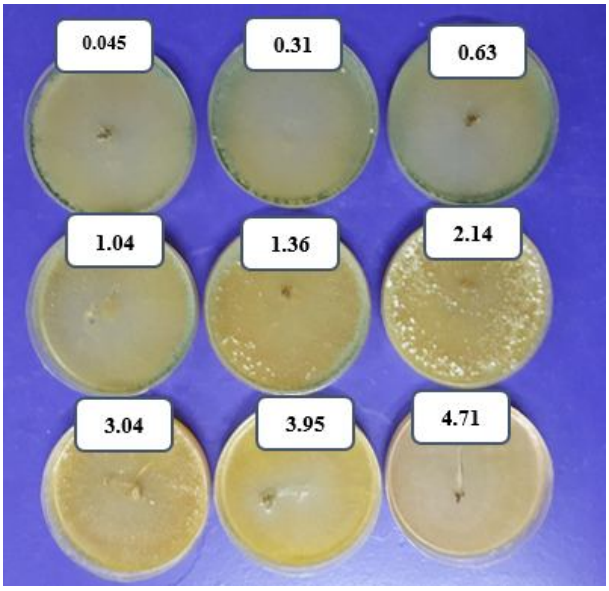
Table 2. Colony diameter (cm) of different fungal species measured at 7 and 20 days of growth under different salinity levels.

درصد کلرید سدیم NaCl percentage									قطر پرگنه (سانتی‌متر) Colony diameter (cm)	
4.71	3.95	3.04	2.14	1.36	1.04	0.63	0.31	0.04		
4.0±0.0^{a}	7.0±0.2^{a}	7.5±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.2^{a}	*T. harzianum*	پس از ۷ روز After 7 days
2.0±0.0^{c}	6.0±0.2^{b}	6.0±0.2^{c}	7.5±0.1^{a}	8.0±0.3^{a}	8.0±0.2^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	*T. reesei*	
3.5±0.1^{b}	5.5±0.3^{c}	6.0±0.4^{c}	7.5±0.4^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.3^{a}	8.0±0.4^{a}	*T. atroviride*	
2.0±0.1^{c}	5.2±0.3^{c}	6.5±0.3^{b}	7.5±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	*T. longibrachiatum*	
2.0±0.0^{c}	4.0±0.2^{d}	4.5±0.5^{d}	5.0±0.4^{b}	5.5±0.5^{b}	5.5±0.5^{b}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.3^{a}	8.0±0.4^{a}	*T. asperellum*	
2.0±0.1^{c}	3.5±0.2^{e}	4.2±0.3^{d}	4.5±0.4^{b}	4.7±0.2^{c}	4.8±0.3^{c}	5.0±0.2^{b}	5.0±0.1^{b}	5.1±0.1^{b}	*E. nigrum*	
1.2±0.0^{d}	1.5±0.0^{f}	2.0±0.1^{f}	3.0±0.1^{c}	3.6±0.1^{d}	3.9±0.1^{d}	3.9±0.1^{c}	4.0±0.1^{c}	4.0±0.1^{c}	*C. rosea*	
1.0±0.0^{e}	1.8±0.0^{f}	3.0±0.0^{e}	3.0±0.1^{c}	3.0±0.1^{e}	3.4±0.1^{d}	3.4±0.1^{d}	3.5±0.1^{d}	3.5±0.1^{d}	*Ch. globosum*	
1.0±0.0^{e}	1.6±0.0^{f}	1.8±0.0^{f}	1.8±0.0^{d}	1.8±0.0^{f}	2.0±0.1^{e}	2.0±0.0^{e}	2.0±0.1^{e}	2.0±0.1^{e}	*Ch. interruptum*	
0.1±0.0^{f}	0.2±0.0^{g}	0.2±0.0^{g}	0.2±0.0^{e}	0.3±0.0^{g}	0.3±0.0^{f}	0.4±0.0^{f}	0.4±0.0^{f}	0.4±0.0^{f}	*Coniothyrium sp.*	
0.0±0.0^{f}	0±0.0^{g}	0.0±0.0^{g}	0.0±0.0^{e}	0.2±0.0^{g}	0.4±0.0^{f}	0.5±0.0^{f}	0.5±0.0^{f}	0.5±0.0^{f}	*S. indica*	
8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.5^{a}	*T. harzianum*	پس از ۲۰ روز after 20 days
8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	*T. reesei*	
8.0±0.4^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	*T. atroviride*	
8.0±0.4^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	*T. longibrachiatum*	
8.0±0.4^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.5^{a}	*T. asperellum*	
4.2±0.4^{b}	5.1±0.3^{b}	7.0±0.4^{b}	7.2±0.3^{b}	7.4±0.5^{ab}	7.5±0.3^{b}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.4^{a}	*E. nigrum*	
3.1±0.4^{c}	4.3±0.2^{c}	5.9±0.2^{cd}	7.0±0.4^{b}	7.3±0.5^{ab}	7.5±0.4^{b}	8.0±0.5^{a}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	*C. rosea*	
3.2±0.4^{bc}	4.3±0.1^{c}	6.3±0.3^{c}	6.5±0.4^{b}	7.0±0.5^{b}	7.2±0.4^{b}	7.5±0.5^{ab}	8.0±0.4^{a}	8.0±0.4^{a}	*Ch. globosum*	
3.0±0.4^{c}	4.6±0.1^{bc}	5.4±0.3^{d}	6.5±0.4^{b}	6.8±0.4^{b}	6.8±0.3^{b}	7.0±0.5^{b}	7.0±0.4^{b}	7.0±0.4^{b}	*Ch. interruptum*	
1.0±0.3^{d}	1.2±0.0^{d}	2.3±0.1^{e}	2.5±0.1^{c}	3.2±0.2^{c}	3.2±0.1^{c}	3.5±0.2^{c}	3.5±0.2^{d}	3.5±0.3^{d}	*Coniothyrium sp.*	
0.0±0.1^{e}	0.0±0.0^{e}	0.0±0.0^{f}	0.0±0.0^{d}	0.4±0.0^{d}	1.2±0.2^{d}	3.5±0.2^{c}	4.5±0.3^{c}	5.8±0.1^{c}	*S. indica*	

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف یکسان نشان داده شده‌اند تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

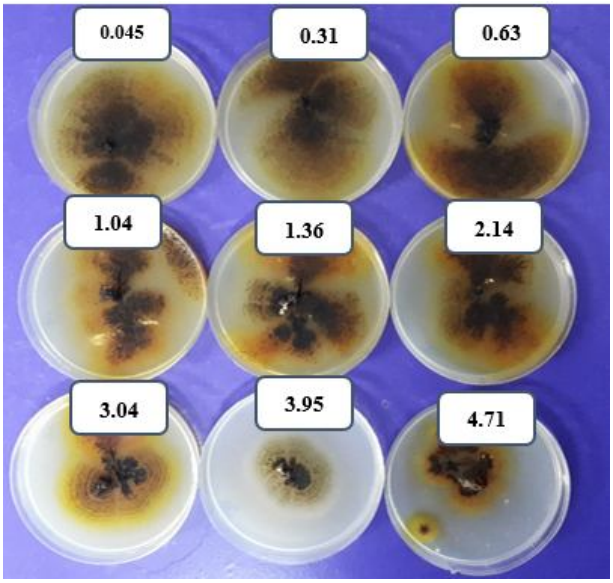
Means followed by the same letters in each column do not differ significantly at P<0.05

در این پژوهش از دو جنس مختلف قارچی به دلیل احتمال وجود سازوکارهای متفاوت رشدی استفاده شد بنابراین به غیر از گونه برتر *T. harzianum* (شکل ۲) از گونه *E. nigrum* (شکل ۳) نیز جهت تهیه فرمولاسیون‌های قارچی استفاده شد.



شکل ۲- گونه *Trichoderma harzianum* در محیط کشت PDA حاوی درصدهای مختلف کلرید سدیم بعد از ۲۰ روز.

Figure 2. ***Trichoderma harzianum*** **in PDA medium containing different percentages of sodium chloride after 20 days.**



شکل ۳- گونه *Epicoccum nigrum* در محیط کشت PDA حاوی درصدهای مختلف کلرید سدیم بعد از ۲۰ روز.

Figure 3. ***Epicoccum nigrum*** **in PDA medium containing different percentages of sodium chloride after 20 days.**

نتایج تجزیه واریانس اثرات حامل بر جمعیت *T. harzianum* و *E. nigrum* در شرایط دمای اتاق و دمای سردخانه در جدول ۳ ارائه شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده، اثرات حامل بر جمعیت گونه‌های اشاره شده در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات نوع حامل بر جمعیت *Trichoderma harzianum* و *Epicoccum nigrum* در شرایط دمای اتاق و سردخانه.

Table 3. Variance analysis of carrier effects on *Trichoderma harzianum* and *Epicoccum nigrum* populations under room temperature and cold storage conditions.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			
		جمعیت *T. harzianum* در دمای اتاق *T. harzianum* population at room temperature	جمعیت *T. harzianum* دمای سردخانه *T. harzianum* population at cold storage	جمعیت *E. nigrum* در دمای اتاق *E. nigrum* population at room temperature	جمعیت *E. nigrum* در دمای سردخانه *E. nigrum* population at cold storage
حامل Carrier	5	$1.26\ (\times10^{20})^{**}$	$1.49\ (\times10^{20})^{**}$	$1.09\ (\times10^{17})^{**}$	$1.13\ (\times10^{17})^{**}$
خطا Error	120	$3.99\ (\times10^{18})^{**}$	$3.23\ (\times10^{18})^{**}$	$4.89\ (\times10^{15})^{**}$	$3.61\ (\times10^{15})^{**}$
ضریب تغییرات CV		0.78	0.73	1.52	1.11

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد آماری

** Significant at the level 0.01

نتایج نشان داد که اثر حامل در هر دو گونه *T. harzianum* و *E. nigrum* معنی‌دار بود. بیش‌ترین جمعیت اولیه *T. harzianum*، در حامل‌های کمپوست، خاک اره، پرلیت و ورمیکولیت مشاهده گردید و ضایعات فلفل و پوکه کم‌ترین جمعیت *T. harzianum* را داشتند (جدول ٤). بالاترین تعداد جمعیت اولیه در گونه *E. nigrum* در حامل‌های کمپوست و ورمیکولیت به ترتیب با ۳۳/۳×۱۰۸ CFU g^{-1} و ۲×۱۰۸ CFU g^{-1} مشاهده شد (جدول ٥). در ادامه به صورت مجزا نتایج تأثیر حامل‌ها بر پایداری جمعیت دو گونه قارچی در دمای اتاق و سردخانه اشاره شده است.

پایداری جمعیت گونه *T. harzianum* در دمای اتاق: در ماه اول همان‌طور که ملاحظه می‌شود تعداد جمعیت قارچ تنها در حامل‌های کمپوست و خاک اره به ترتیب به میزان ۸/۷٤ درصد و ٤/۷۱ درصد نسبت به جمعیت اولیه افزایش یافت که افزایش قارچ در حامل کمپوست به میزان چهار درصد بیش‌تر بود (جدول ٤). در صورت مقایسه همین دو نوع حامل کمپوست و خاک اره با دمای چهار درجه سلسیوس مشاهده می‌شود که در دمای چهار درجه سلسیوس مقادیر جمعیت در ماه اول نسبت به جمعیت اولیه ثابت مانده است. بعد از گذشت ٦ ماه، بهترین حامل‌ها از لحاظ پایداری جمعیت قارچ عبارت بودند از ورمیکولیت، کمپوست و خاک اره (جدول ٤).

پایداری جمعیت گونه *T. harzianum* در دمای سردخانه: با گذشت یک ماه در این شرایط جمعیت قارچ در حامل‌های کمپوست، خاک اره، پرلیت و ورمیکولیت نسبت به جمعیت اولیه ثابت و در سایر حامل (ضایعات فلفل و پوکه) جمعیت قارچ کاهش یافت. در ماه دوم جمعیت قارچ برای تمامی حامل‌های ضایعات فلفل، کمپوست، خاک اره، پرلیت،

پوکه و ورمیکولیت کاهش یافت به طوری مقادیر کاهش به ترتیب برای حامل‌های ذکر شده برابر با ۳۹/۷۵، ۸/٦۱، ٤/۸۵، ۲۰/۰٤، ۱۷/۰۰ و ۳/۹٦ درصد بود. در این شرایط کاهش جمعیت قارچ تا ماه آخر ادامه داشت به طوری که در این ماه همان‌طور که مشاهده می‌شود جمعیت قارچ در حامل‌های ورمیکولیت، کمپوست و خاک اره بیش‌ترین مقادیر را نسبت به سایر حامل داشت (جدول ٤).

جدول ٤- اثر حامل‌های مختلف بر جمعیت قارچ *Trichoderma harzianum* ($\times 10^{7}$ cfu g^{-1}) در دماهای مختلف.

Table 4. Effect of different carriers on *Trichoderma harzianum* population ($\times 10^{7}$ cfu g^{-1}) at different temperatures.

	حامل Carrier	جمعیت اولیه Primary population	ماه اول 1st month	ماه دوم 2nd month	ماه سوم 3rd month	ماه چهارم 4th month	ماه پنجم 5th month	ماه ششم 6th month
دمای اتاق Room temperature	بقایای فلفل Pepper waste	20.0±10.0 b	13.3±5.8 b	10.0±0.0 c	9.0±1.0 c	7.7±1.5 c	6.0±0.0 b	5.7±0.6 c
	کمپوست Compost	767.0±115 a	833.0±115.0 a	800.0±100 a	700.0±100 a	566.0±58 a	400.0±0.0 a	266.0±153.0 ab
	خاک اره Sawdust	700.0±0.0 a	733.0±57.7 a	633.0±57.7 ab	566.0±153.0 ab	400.0±0.0 b	333.0±100 a	100.0±0.0 abc
	پرلیت Perlite	833.0±115.0 a	800.0±100.0 a	566.0±57.7 b	400.0±100 b	333.0±58.0 b	100.0±0.0 b	90.0±10.0 bc
	پوکه Pumice	233.0±153.0 b	200.0±100.0 b	166.0±57.7 c	133.0±57.7 c	100.0±0.0 c	900.0±10.0 b	70.0±17.3 bc
	ورمیکولیت Vermiculite	833.0±57.7 a	800.0±0.0 a	666.0±115.4 ab	500.0±100.0 ab	466.0±120.0 ab	366.0±60.0 a	300.0±100.0 a
دمای سردخانه Cold room temperature	بقایای فلفل Pepper residuals	20.0±10.0 b	16.7±11.5 b	10.0±0.0 b	9.0±1.7 b	8.0±1.0 c	7.0±1.0 d	6.0±1.0 c
	کمپوست Compost	767.0±115 a	767.0±115.0 a	700.0±100 a	600.0±0.0 a	566.7±57 ab	467.0±153.0 ab	367.0±115.0 a
	خاک اره Sawdust	700.0±0.0 a	700.0±100.0 a	666.6±57.7 a	600.0±173.2 a	533.3±152.8 ab	367.0±153 abc	300.0±173.0 ab
	پرلیت Perlite	833.0±115.0 a	833.0±115.0 a	666.6±57.7 a	466.7±152.8 a	300.0±200.0 bc	200.0±100.0 bcd	100.0±0.0 bc
	پوکه Pumice	233.0±153.0 b	200.0±100.0 b	166.6±57.7 b	133.3±57.7 b	133.3±57.7 c	100.0±0.0 cd	90.0±10.0 bc
	ورمیکولیت Vermiculite	833.0±57.7 a	833.0±115.0 a	800.0±100.4 a	666.7±115.5 a	600.0±0.0 a	500.0±100.0 a	400.0±0.0 a

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف یکسان نشان داده شده‌اند تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Means followed by the same letters in each column do not differ significantly at P<0.05

پایداری جمعیت گونه *E. nigrum* در دمای اتاق: با گذشت یک ماه جمعیت قارچ تنها در حامل کمپوست به میزان ۹/۹۰ درصد نسبت به جمعیت اولیه افزایش یافت و در حامل پوکه ثابت و در سایر حامل‌ها کاهش یافت. پس از سپری شدن دو ماه جمعیت قارچ در تمام حامل‌های ضایعات فلفل، کمپوست، خاک اره، پرلیت، پوکه و ورمیکولیت به ترتیب به میزان ٦٦/٦٦، ۹/۹۰، ۹۱/۱۱، ۷۵/۰۰، ۷۱/٤۲ و ٥٦/۷۰ درصد نسبت به جمعیت اولیه کاهش یافتند (جدول ٥). در این شرایط با افزایش مدت زمان

نگهداری تا شش ماه، تعداد جمعیت قارچ در تمام حامل‌ها کاهش یافت به طوری که مقادیر کاهش جمعیت قارچ در حامل‌های مورد بررسی شامل ضایعات فلفل، کمپوست، خاک اره، پرلیت، پوکه و ورمیکولیت از جمعیت اولیه تا ماه ششم به ترتیب برابر با ۹۳/۳۳، ۸٤/۹۸، ۹۵/۵۵، ۹۷/۵۰، ۹۸/۵۷ و ۷۵ درصد بود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با گذشت شش ماه جمعیت قارچ در حامل‌های کمپوست و ورمیکولیت کم‌ترین درصد کاهش و به عبارت دیگر بالاترین جمعیت قارچ را در ماه ششم داشتند (جدول ۵).

جدول ۵- اثر حامل‌های مختلف بر جمعیت قارچ *Epicoccum nigrum* (×۱۰^۶ cfu g^{-1}) در دماهای مختلف.

Table 5. Effect of different carriers on of *Epicoccum nigrum* population (×10^6 cfu g^{-1}) at different temperatures.

	حامل Carrier	جمعیت اولیه Primary population	ماه اول 1st month	ماه دوم 2nd month	ماه سوم 3rd month	ماه چهارم 4th month	ماه پنجم 5th month	ماه ششم 6th month
دمای اتاق Room temperature	بقایای فلفل Pepper waste	30.0±0.0 b	20.0±10.0 b	10.0±0.0 b	8.0±1.0 b	5.0 ±1.5 c	4.0±1.0 b	2.0±1.0 b
	کمپوست Compost	333.0±153.0 a	366.0±153.0 a	300.0±100 a	166.0±115 a	100.0±0.0 a	70.0±20.0 a	50.0±20.0 a
	خاک اره Sawdust	90.0±0.0 b	50.0±20.0 b	8.0±2.0 b	7.0±1.7 b	6.0±2.0 c	5.6±1.5 b	4.0±1.0 b
	پرلیت Perlite	80.0±10.0 b	50.0±0.0 b	20.0±10.0 b	10.0±0 b	5.6±1.15 c	4.0±0.0 b	2.0±1.7 b
	پوکه Pumice	70.0±26.4 b	70.0±26.4 b	20.0±10.0 b	9.0±1.7 b	7.0±3.0 c	4.0±2.6 b	1.0±0.0 b
	ورمیکولیت Vermiculite	200.0±100.0 ab	100.0±0.0 b	86.6±5.7 b	70.0±17.3 ab	66.6±11.5 b	60.0±10.0 a	50.0±10.0 a
دمای سردخانه Cold room temperature	بقایای فلفل Pepper residuals	30.0±0.0 b	30.0±0.0 c	16.6±11.5 c	10.0±0.0 c	9.0±1.0 c	7.66±0.57 c	7.0±1.0 c
	کمپوست Compost	333.0±153.0 a	300.0±100.0 a	300.0±100 a	166.0±57.7 a	133.0±57.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a
	خاک اره Sawdust	90.0±0.0 b	80.0±10.0 bc	80±10.0 bc	60.0±17.3 bc	46.6±5.7 bc	40.0±10.0 b	20.0±10.0 c
	پرلیت Perlite	80.0±10.0 b	66.6±5.7 bc	40.0±17.3 bc	26.6±15.2 c	20.0±10.0 c	10.0±0.0 c	9.0±1.0 c
	پوکه Pumice	70.0±26.4 b	50.0±10.0 bc	50.0±10.0 bc	40.0±10.0 bc	10.0±0.0 c	9.0±1.0 c	6.6±1.5 c
	ورمیکولیت Vermiculite	200.0±100.0 ab	200.0±100 ab	166.0±57.7 b	100.0±0.0 ab	96.6±5.7 ab	86.6±15.2 a	80.0±10.0 b

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف یکسان نشان داده شده‌اند تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Means followed by the same letters in each column do not differ significantly at P<0.05.

پایداری جمعیت گونه *E. nigrum* در دمای سردخانه: با سپری شدن یک ماه، جمعیت گونه *E. nigrum* هم‌چنان در دو حامل کمپوست و ورمیکولیت نسبت به سایر حامل‌ها بالاتر بود. لازم به ذکر است که در ماه اول جمعیت قارچ در تمامی حامل‌ها به‌جز در دو حامل ضایعات فلفل و ورمیکولیت که ثابت بود در بقیه حامل‌ها کاهش یافت. در ماه دوم به ترتیب بالاترین و کم‌ترین جمعیت قارچ با اختلاف معنی‌دار در حامل‌های کمپوست و ضایعات فلفل مشاهده شد. در ماه‌های ۳، ٤ و ۵ هر دو حامل کمپوست و ورمیکولیت دارای بالاترین مقادیر قارچ بودند. با گذشت شش ماه از شروع آزمایش، حامل کمپوست دارای بالاترین تعداد قارچ بود که در مقایسه با دمای اتاق، علاوه بر حامل کمپوست، حامل ورمیکولیت نیز دارای بیش‌ترین جمعیت قارچ بود. تعداد جمعیت قارچ در حامل کمپوست در دمای اتاق پس از گذشت شش ماه از انجام آزمایش نسبت به جمعیت اولیه ۸٤/۹۸ درصد کاهش یافت اما در همین حامل، کاهش جمعیت قارچ از جمعیت اولیه تا ماه ششم برابر با ٦۹/۹٦ درصد بود، که بر این اساس در دمای چهار درجه سلسیوس کاهش جمعیت کم‌تری صورت گرفته است (جدول ۵).

بحث

تنش‌های غیرزیستی اغلب مرتبط بهم هستند و به‌صورت جداگانه یا ترکیبی باعث تغییرات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و مولکولی ریزجانداران می‌شوند که روی رشد آن‌ها تأثیر می‌گذارد. در این مطالعه، در مرحله اول ۱۱ گونه قارچی روی محیط کشت PDA حاوی درصدهای مختلف کلرید سدیم کشت شدند تا تحمل به شوری آن‌ها مشخص شود. نتایج نشان داد که تحمل به شوری قارچ‌های جنس تریکودرما از سایر قارچ‌های مورد بررسی بیش‌تر بود به‌طوری‌که موفق شدند کل سطح پتری‌دیش را تا شوری ۱/۳٦ درصد کلرید سدیم در یک هفته پر کنند. مطابق با جدول ۲ از بین تمام گونه‌های قارچ تریکودرما، گونه *T. harzianum* تنها گونه‌ای بود که در محیط کشت حاوی ۲/۱٤ درصد کلرید سدیم قطر پرگنه‌های آن کاهش نیافت.

مشابه این پژوهش، پوساپاتی و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که گونه‌های تریکودرما مانند *T. asperellum*، *T. harzianum* و *T. longibrachiatum* با افزایش تجمع تری‌هالوز به میزان بیش‌تر از ۱۵ درصد و مانوز و رافینوز بیش‌تر از ۵ درصد در هیف‌های خود، مقاومت به تنش‌هایی مانند شوری و گرما پیدا می‌کنند. این قندها بیش‌ترین مقدار را در سلول‌های قارچی تحت تنش دارند (۲۳). مطالعات نشان داده است که مانوز ۱۰–۱۵ درصد وزن خشک قارچ‌های رشته‌ای رو تشکیل می‌دهد و به تحمل تنش‌های غیر زیستی در قارچ‌ها کمک می‌کند (۲٤). نقش تری‌هالوز در بقای قارچ‌ها و به عنوان تثبیت‌کننده ساختارهای سلولی و پروتئین‌های سلولی در شرایط تنش به خوبی مورد بررسی شده است (۲٤ و ۲۵). سینگ و همکاران (۲۰۱۹) از غلظت‌های مختلف کلرید سدیم در محیط کشت PDA جهت بررسی مقاومت جدایه‌های تریکودرما به شوری استفاده کردند و نشان دادند جدایه BHUT8 متعلق به گونه *T. asperellum* به خوبی قابلیت رشد در شوری ۱٤۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم را دارد (۲٦). روات و همکاران (۲۰۱۳) رشد جدایه‌های تریکودرما را در محیط کشت PDA حاوی ۷۰، ۱۵۰ و ۲٤۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بررسی کردند و نشان دادند که دو جدایه Th-14 و Th-19 متحمل‌ترین سویه‌ها به شوری هستند که در تمام سطوح امکان رشد به ترتیب به میزان ۸/۸ و ۸/۷٦ سانتی‌متر را دارند (۲۷).

پژوهش‌های مختلفی بر تأثیر حامل‌ها بر نگهداری جمعیت قارچ‌ها انجام شده است، از جمله تریپاتی و همکاران (۲۰۱۵) قارچ *S. indica* را در چهار حامل پودر تالک، رس، خاک اره و بایو بوست (ماده آلی) فرموله کردند و بهترین حامل را پودر تالک گزارش کردند (۲۸). سارما و همکاران (۲۰۱۱) از پودر تالک و ورمیکولیت به عنوان حامل، کربوکسی متیل سلولز به عنوان ماده چسباننده و گلیسرول به عنوان ماده نگهدارنده برای تهیه فرمولاسیون سویه‌های R62 و R81 باکتری *P. fluorescens* و قارچ *S. indica* استفاده کردند. نتایج پژوهش‌های آن‌ها مطابق با پژوهش حاضر نشان داد که حامل ورمیکولیت نسبت به کاربرد سایر حامل‌ها دارای برتری بود و باعث ماندگاری بیش‌تر باکتری‌ها می‌شود به‌طوری‌که جمعیت بعد از شش ماه در حامل‌ها ۱۰۷ بود در صورتی‌که ماندگاری در شاهد کم‌تر از یک ماه بود (۲۹).

نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن بود که اثر ساده دما در قارچ تریکودرما فقط در ماه ۵ و ٦ و قارچ اپیکوکوم در ماه‌های ۲، ۳، ٤، ۵ و ٦ در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج پژوهش‌های گوپتا و دهرو (۲۰۱٤) نشان داد که جمعیت قارچ‌های *T. harzianum* و *T. hamatum* در فرمولاسیون‌های تهیه شده از پودر تالک در دو دمای اتاق و ۱۰ درجه سلسیوس با گذشت ۸۰ روز از حدود ۱۰۸ به ۱۰٦ تقلیل پیدا کرد و دمای نگهداری تأثیر چندانی در جمعیت قارچ‌ها نداشت (۱۹). در پژوهش حاضر به طور کلی عامل دمایی (دمای سردخانه و اتاق) به نسبت نوع حامل، تأثیری در تعداد جمعیت قارچ نداشت. در پژوهش حاضر پس از شش ماه به طور کلی مشاهد شد که جمعیت قارچ‌ها در دمای سردخانه بیش‌تر از دمای اتاق بود که به نظر می‌رسد کاهش جمعیت بیش‌تر در دمای اتاق به دلیل زیاد بودن دمای محیط و کاهش رطوبت اسپورها باشد. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که آسیب ناشی از کم‌آبی در ابتدا در غشای سلولی رخ می‌دهد و در طول کم‌آبی، یکپارچگی عملکردی و ساختاری غشاء به طور غیر قابل برگشت آسیب می‌بیند. علاوه بر این، تغییرات دما می‌تواند سیالیت غشاء را با دناتوره کردن پروتئین‌ها، غیرفعال کردن آنزیم‌ها و پاره کردن الیگونوکلئوتیدهای DNA و RNA تغییر دهد (۳۰). نتایج نشان داد که در حامل کمپوست در دمای اتاق و ماه دوم جمعیت رشد کرده است چون دما مناسب رشد قارچ‌ها بوده و منابع غذایی در دسترس بوده است. در بقیه حامل‌ها مثل پوکه و پرلیت و... چون غیرآلی هستند و خود حامل ماده غذایی ندارد جمعیت قارچ‌ها در دمای اتاق در ماه دوم کم شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که جنس *Trichoderma* تحمل بیش‌تری به شوری نسبت به جنس‌های *Epicoccum*، *Clonostachys*، *Coniothyrium*، *Chaetomium* و *Serendipita* داشت. به‌طوری‌که تمامی گونه‌های تریکودرما مورد بررسی بعد از بیست روز در همه سطوح شوری مورد مطالعه سطح پتری‌ریش را پر کردند. گونه قارچ *T. harzianum* از سایر گونه‌های جنس تریکودرما تحمل بالاتری به شوری داشت، به‌طوری‌که گونه *T. harzianum*، تنها گونه‌ای بود که در طول هفت روز توانست در محیط کشت حاوی ۲/۱٤ درصد کلرید سدیم کل سطح پتری‌دیش را بپوشاند. هم‌چنین گونه قارچ *E. nigrum* از لحاظ تحمل به شوری بعد از گونه *T. harzianum* قرار گرفت. نتایج تهیه فرمولاسیون قارچ نشان داد که حامل‌های کمپوست و ورمیکولیت در نگهداری

جمعیت دو گونه *T. harzianum* و *E. nigrum* نسبت به سایر حامل‌ها دارای برتری بودند. در مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود پتانسیل قارچ‌های فرموله شده *T. harzianum* و *E. nigrum* به‌منظور کاهش اثرات تنش شوری در گیاهان مختلف در شرایط گلخانه و مزرعه بررسی شود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی است که با بودجه پژوهشی و حمایت مالی مرکز ملی تحقیقات شوری و مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور انجام شده است. نویسندگان مقاله از پشتیبانی و راهنمایی‌های مسئولین محترم آن مرکز کمال تشکر را دارند.

منابع

1. Mahlooji, M., Seyed Sharifi, R., Razmjoo, J., Sabzalian, M. R., & Sedghi, M. (2018). Effect of salt stress on photosynthesis and physiological parameters of three contrasting barley genotypes. *Photosynthetica*, 56, 549-556. **doi: 10.1007/s11099-017-0699-y.**
2. Rani, S., Sharma, M. K., & Kumar, N. (2019). Impact of salinity and zinc application on growth, physiological and yield traits in wheat. *Current science*, 116 (8), 1324-1330.
3. Andrzejak, R., & Janowska, B. (2022). Trichoderma spp. Improves flowering, quality, and nutritional status of ornamental plants. I*nternational Journal of Molecular Sciences*, 23 (24), 15662. **doi.org/10.3390/ijms232415662.**
4. Bolton Jr, H., Fredrickson, J. K., & Elliott, L. (1992). Microbial ecology of the rhizosphere. Soil microbial ecology: *applications in agricultural and environmental management*, 27-63.
5. Fazeli-Nasab, B., Shahraki-Mojahed, L., Piri, R., & Sobhanizadeh, A. (2022). Trichoderma: improving growth and tolerance to biotic and abiotic stresses in plants. In Trends of Applied Microbiology for Sustainable Economy (pp. 525-564). Academic Press. **doi.org/ 10.1016/B978-0-323-91595-3.00004-5.**
6. Ghosta, Y., Azizi, R., & Poursafar, A. (2020). New species of synnematous fungi for Iran mycobiota. J*ournal of Plant Research*, 33 (4), 997-1013. [In Persian]
7. Dolatabad, H. K., Javan-Nikkhah, M., & Shier, W. T. (2017). Evaluation of antifungal, phosphate solubilisation, and siderophore and chitinase release activities of endophytic fungi from Pistacia vera. Mycological progress, 16, 777-790. **doi.org/10.1007/s11557-017-1315-z.**
8. Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Cortés-Penagos, C., & López-Bucio, J. (2009). Trichoderma virens, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in Arabidopsis. *Plant physiology*, 149 (3), 1579-1592. **doi.org/ 10.1104/pp.108.130369.**
9. Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Alfaro-Cuevas, R., & López-Bucio, J. (2014). Trichoderma spp. improve growth of Arabidopsis seedlings under salt stress through enhanced root development, osmolite production, and Na+ elimination through root exudates. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 27 (6), 503-514. **doi.org/10.1094/MPMI-09-13-0265-R.**
10. Bisht, S., Singh, S., Singh, M., & Sharma, J. G. (2022). Augmentative role of Piriformospora indica fungus and plant growth promoting bacteria in mitigating salinity stress in Trigonella foenum-graecum. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 10 (1), 85-94. **doi: 10.7324/JABB.2021.100111.**
11. Deshmukh, S. D., & Kogel, K. H. (2007). Piriformospora indica protects barley from root rot caused by Fusarium graminearum/Piriformospora indica schützt Gerste vor der von Fusarium graminearum verursachten Wurzelfäule. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 263-268. **doi: https://www. jstor .org /stable/43228945.**

12. Sabeem, M., Abdul Aziz, M., Mullath, S. K., Brini, F., Rouached, H., & Masmoudi, K. (2022). Enhancing growth and salinity stress tolerance of date palm using Piriformospora indica. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1037273. **doi.org/10.3389/fpls.2022.1037273.**
13. Serfling, A., Wirsel, S. G., Lind, V., & Deising, H. B. (2007). Performance of the biocontrol fungus Piriformospora indica on wheat under greenhouse and field conditions. Phytopathology, 97 (4), 523-531. **doi.org/10.1094/ PHYTO-97-4-0523.**
14. Stein, E., Molitor, A., Kogel, K. H., & Waller, F. (2008). Systemic resistance in Arabidopsis conferred by the mycorrhizal fungus Piriformospora indica requires jasmonic acid signaling and the cytoplasmic function of NPR1. *Plant and cell physiology*, 49 (11), 1747-1751. **doi.org/10.1093/pcp/pcn147.**
15. Sherameti, I., Shahollari, B., Venus, Y., Altschmied, L., Varma, A., & Oelmuller, R. (2005). The endophytic fungus Piriformospora indica stimulates the expression of nitrate reductase and the starch-degrading enzyme glucan-water dikinase in tobacco and Arabidopsis roots through a homeodomain transcription factor that binds to a conserved motif in their promoters. *Journal of Biological Chemistry*, 280 (28), 26241-26247. **doi.org/10.1074/jbc.M500447200.**
16. Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., ... & Kogel, K. H. (2005). The endophytic fungus Piriformospora indica reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102 (38), 13386-13391. **doi.org/10. 1073/pnas.0504423102.**
17. Zhang, S., Gan, Y., & Xu, B. (2019). Mechanisms of the IAA and ACC-deaminase producing strain of Trichoderma longibrachiatum T6 in enhancing wheat seedling tolerance to NaCl stress. *BMC plant biology*, 19 (1), 1-18. **doi: https://doi.org/10. 1186/s12870-018-1618-5.**
18. Maliki Ziarati, H. (2017). Investigating the importance of Trichoderma harzianum fungus in biological control with plant pathogenic agents. *Journal of Herbalism and Food*, 2, 21-25. [In Persian]
19. Gupta, M., & Dohroo, N. P. (2014). Shelf-life study of formulations of fungal and bacterial antagonists as bioinoculants. *Agricultural Science Digest-A Research Journal*, 34 (4), 281-284.
20. Kari Dolatabad, H., Asadi Rahmani, H., & Rejali, F. (2019). Identification and evaluation of growth promoting and biocontrol properties of isolated endophytic fungi from the leaves and fruits of Pistacia vera. *Journal of Sol Biology*, 7 (1), 53-71. [In Persian]. **doi: 10.22092/SBJ.2019.118973.**
21. Khorrami, F., Ghosta, Y., Ojaghi Aghbash, K., Soleymanzade, A., & Forouzan, M. (2018). Efficacy of two Metarhizium anisopliae isolates and nano-fungus Metarhizium anisopliae Fe_3O_4 against Diamondback moth. *Genetic Engineering and Biosafety Journal*, 7 (2), 175-187. **doi: 20.1001.1. 25885073.1397.7.2.6.7.**
22. HJ, L. (1995). Basic methods for counting microorganisms in soil and water. Methods in applied soil microbiology and biochemistry.
23. Poosapati, S., Ravulapalli, P. D., Tippirishetty, N., Vishwanathaswamy, D. K., & Chunduri, S. (2014). Selection of high temperature and salinity tolerant Trichoderma isolates with antagonistic activity against Sclerotium rolfsii. SpringerPlus, 3 (1), 1-11. **doi.org/10. 1186/2193-1801-3-641.**
24. Ruijter, G. J., Bax, M., Patel, H., Flitter, S. J., van de Vondervoort, P. J., de Vries, R. P., ... & Visser, J. (2003). Mannitol is required for stress tolerance in Aspergillus niger conidiospores. *Eukaryotic Cell*, 2 (4), 690-698. **doi.org/ 10.1128/ec.2.4.690-698.2003.**
25. Fillinger, S., Chaveroche, M. K., Van Dijck, P., de Vries, R., Ruijter, G., Thevelein, J., & d'Enfert, C. (2001). Trehalose is required for the acquisition of tolerance to a variety of stresses in the

filamentous fungus Aspergillus nidulans. *Microbiology*, 147 (7), 1851-1862.

26. Singh, V., Keswani, C., Ray, S., Upadhyay, R. S., Singh, D. P., Prabha, R., ... & Singh, H. B. (2019). Isolation and screening of high salinity tolerant Trichoderma spp. with plant growth property and antagonistic activity against various soilborne phytopathogens. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 52 (7-8), 667-680. **doi.org/ 10.1080/03235408.2019.1648917.**
27. Rawat, L., Singh, Y., Shukla, N., & Kumar, J. (2013). Salinity tolerant *Trichoderma harzianum* reinforces NaCl tolerance and reduces population dynamics of *Fusarium oxysporum* f. sp. ciceri in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under salt stress conditions. *Archives of phytopathology and plant protection*, 46 (12), 1442-1467. **doi.org/10.1080/ 03235408.2013.769316.**
28. Tripathi, S., Das, A., Chandra, A., & Varma, A. (2015). Development of carrier-based formulation of root endophyte *Piriformospora indica* and its evaluation on *Phaseolus vulgaris* L. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31, 337-344.
29. Sarma, M. V. R. K., Kumar, V., Saharan, K., Srivastava, R., Sharma, A. K., Prakash, A., ... & Bisaria, V. S. (2011). Application of inorganic carrier-based formulations of fluorescent pseudomonads and Piriformospora indica on tomato plants and evaluation of their efficacy. *Journal of Applied Microbiology*, 111 (2), 456-466. **doi.org/ 10.1111/j.1365-2672.2011.05062.x.**
30. Fernández-Sandoval, M. T., Ortiz-Garcia, M., Galindo, E., & Serrano-Carreón, L. (2012). Cellular damage during drying and storage of Trichoderma harzianum spores. *Process Biochemistry*, 47 (2), 186-194. **doi.org/ 10.1016/j.procbio.2011.10.006.**