**Water and Soil Science, Vol. 34, NO. 3, Autumn 2024, pp. 51-69.**

**DOI: 10.22034/ws.2023.54488.2532 ISSN:2717-3755 https://water-soil.tabrizu.ac.ir/**

**Research Article**

# Stimulating the Growth and Development of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) with *Trichoderma* Fungi and their Effect on the Alleviating of Salinity Stress

**Z Rezaloo [1], A A Aliloo [1*], S Shahbazi [2], M Sarajoughi [3], E Karimi [4]**

Received: September 11, 2023 Accepted: February 3, 2024
Revised: January 28, 2024 Published online: September 22, 2024

1-Department of Plant Genetics and Production, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
2-Department of Plant Research, Nuclear Science and Technology Research Institute, Nuclear Agriculture Research Institute, Iran Atomic Energy Organization, Iran.
3-Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Islamic Azad, Karaj Branch, Iran.
4-Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
*Corresponding Author, E-mail: aliasghar.aliloo@gmail.com

## Abstract

### Background and Objectives

Salinity is one of the most important environmental stresses after drought stress in Iran, which has affected about 50% of agricultural lands with different intensities. The growth and development of crop plants in these areas are constantly exposed to salinity and other stresses at the same time, which causes morphological, physiological, and biochemical responses. Alleviating the negative effects of salinity in the crops is mainly done by agronomic and breeding methods. The use of appropriate microorganisms is one of the agronomic methods that can directly and/or indirectly reduce some limitations of salinity stress. In recent years, the necessity of biological study in rhizosphere microorganisms to improve nutrition and plant growth and, to control stress factors has been considered. Some species of *Trichoderma* fungi are known as plant growth stimulants in normal and stressful conditions. Since the bio-treatment of *Trichoderma* fungi for alleviation of salt stress in the Pinto bean has not been evaluated, so, the inoculation effects of different species of this fungus were studied on the plant growth and development under salinity conditions.

### Methodology

A field split-plot experiment based on a randomized complete block design with three replications was carried out at the Nuclear Agriculture Research Institute in Karaj on Pinto bean Saleh 2 plants. The main factor (salinity) was in two levels of non-saline (ECe=1.1 dS $m^{-1}$) soil and saline (ECe=6 dS $m^{-1}$) soil, and the second factor with 11 levels, including; *T. harzianum* (MW718882), *T. lixii* (MW719563), *T. ghanens* (MW719590), *T. virens* (MW719876) and (MW719255) and their mutant isolates, namely NAS108 M1, NAS114-M17, ON545796, NAS115 M17, and NAS112M2, respectively, and the control treatment was without inoculation.

### Findings

The results showed that the effect of salinity and the biopriming on the characteristics of emergence percentage, plant height, harvest index, number of pods, number of seeds per pod, seed weight, seed yield, biological yield, branching, seed protein, and leaf area was significant ($p\leq0.01$). Also, the results showed that the interaction effect of salinity and biopriming on emergence percentage, plant height, seed yield, biological yield, seed protein, and leaf area was significant at $p\leq0.01$, however, harvest index, the number of pods per plant, number of seeds per pod and the seed weight were not influenced by treatments interaction. All studied characteristics were significantly reduced under salt stress compared to the control. The decrease in yield component traits was more than vegetative traits. The biopriming of *Trichoderma* species except *T. lixii* improved all traits of growth, development, and seed protein of the plant in saline and non-saline conditions. *T. harzianum*, *T. ghanens* and *T. atroviride* and their mutants produced the highest salinity resistance induction. Among them, the effect of *T. atroviride* was more obvious in saline condition while its mutant was superior in

©: The Author(S)
Publisher: University of Tabriz

non-saline condition. The symbiosis efficiency of *Trichoderma* with this plant shows that under non-saline condition the efficiency varies between 16 to 70%, and the lowest is in *T. lixii* (mutant) and the highest in *T. atroviride* (mutant). Also, except for *T. atroviride*, the index declined by salinity to the range of 3 to 58% for the rest of fungi.

**Conclusion**

In general, the results of the experiment showed that the growth and development of pinto beans are affected by salinity and inoculation by the *Trichoderma* species and their interactions. As a result, the effects of different *Trichoderma* species are not the same under saline and non-saline conditions. Although under salinity treatment, the potential of the fungi in supporting the vegetative traits, yield, and yield component decreased, however, the values of all traits in saline conditions were higher than that of control without inoculation. This article shows that choosing the right and sustainable fungal treatment can partially alleviate the effects of the moderate salinity in the pinto bean plants. Therefore, it is possible to optimize bean production by inducing salinity resistance by selecting suitable *Trichoderma*. Overall and according to the results, seed biopriming with *Trichoderma* species improves the vegetative and reproductive traits of pinto bean in saline and non-saline conditions, and the use of *T. harzianum*, *T. ghanens,* and *T. atroviride* along with their mutants is recommended to maximize of the plant yield in the field conditions.

**Keywords:** Abiotic stress, Biological treatment, Legume, Morphology, Salinity

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۳۴ شماره ۳ صفحه‌های ۵۱ تا ۶۹/ سال ۱۴۰۳

# مقاله پژوهشی

# تحریک رشد و نمو لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) با قارچ‌های تریکودرما و تأثیر آن‌ها بر تعدیل تنش شوری

**زهرا رضالو[۱]، علی اصغر علیلو[۱]*، سمیرا شهبازی[۲]، منصور سراجوقی[۳]، اسماعیل کریمی[٤]**

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰٦/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۱۱/۰۳

تاریخ ویرایش:۱٤۰۲/۰۹/۰۷ تاریخ انتشار انلاین :۱٤۰۳/۰۷/۰۱

۱-گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه.

۲-گروه گیاه پزشکی، پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران.

۳-گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

٤-گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه.

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: aliasghar.aliloo@gmail.com

**چکیده**

برخی از گونه‌های قارچ تریکودرما با افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی مانند شوری باعث بهبود رشد گیاهان زراعی و افزایش محصول می‌شوند. در این راستا، اثر ۱۰ گونه‌ی قارچ تریکودرما شامل *T. harzianum*، *T. lixii*، *T. ghanens*، *T. virens* و *T. atroviride* و موتانت آن‌ها ( *T. harzianum* (NAS108 M1)، *T. lixii* (NAS114-M17)، *T. ghanens* (ON545796)، *T. virens* (NAS115 M17) و *T. atroviride* (NAS112M2)) برای تعدیل اثرات تنش شوری خاک (ECe=6 dS $m^{-1}$ و ECe=1.1 dS $m^{-1}$) در استقرار، رشد رویشی و زایشی گیاه لوبیا چیتی به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط مزرعه بررسی شد. نتایج نشان داد که رشد گیاه لوبیا چیتی به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر تیمارهای شوری، قارچ تریکودرما و اثر متقابل آن‌ها بود. درصد سبزشدن و تمامی صفات رویشی، زایشی و پروتئین دانه تحت تنش شوری به‌طور معنی‌دار ($p\leq0.01$) نسبت به شاهد کاهش یافتند. کاهش در صفات اجزای عملکرد بیش از صفات رویشی بود. تیمارهای زیستی بذر با گونه‌های تریکودرما به‌جز *T. lixii* توانست رشد، نمو و پروتئین دانه گیاه را در شرایط شور و غیر شور بهبود دهند. بیشترین القای مقاومت به شوری را گونه‌های *T. harzianum*، *T. ghanens* و *T. atroviride* به همراه موتانت‌های آن‌ها ایجاد کردند که در بین آن‌ها اثر *T. atroviride* با کارایی زیستی ۷۵ و ٦۰ درصد به ترتیب در شرایط شور و غیر شور بارزتر بود. لذا این گونه می‌تواند به عنوان گونه‌ی مطلوب در تولید کودهای زیستی برای تولید لوبیا چیتی در شرایط شور و غیرشور مطرح باشد.

**واژه‌های کلیدی**: تنش غیر زنده، تیمار زیستی، لگوم، شوری، مورفولوژی.

**مقدمه**

تنش شوری از مهم‌ترین و متداول‌ترین تنش‌های محیطی بعد از تنش کم‌آبی در کشور ایران است که حدود ۵۰ درصد زمین‌های زراعی را با شدت‌های مختلف تحت تأثیر قرار داده است. رشد و نمو گیاهان در این مناطق همواره در معرض همزمان شوری و سایر تنش‌ها هستند که موجب تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک و پاسخ های بیوشیمیایی در آن‌ها می‌شود. میزان این تغییرات به عوامل متعددی بستگی دارد که در غالب موارد شدت و طول مدت تنش از مهم‌ترین آن‌ها به شمار می‌روند (راجپوت و همکاران ۲۰۲۱). یکی از ویژگی‌های خاک‌های شور، کاهش رشد گیاهان است که اغلب در ارتباط با غلظت‌های بالای یون $Na^+$، $Cl^-$ و القای تنش آبی است (میشرا و همکاران ۲۰۲۱). حضور نمک در محلول خاک باعث کاهش پتانسیل اسمزی آن می‌شود که در نتیجه جذب آب کافی برای گیاه محدود می‌گردد (ال سعدونی و همکاران ۲۰۲۱). آن‌چه که اهمیت این تنش را در مقایسه با سایر تنش‌های محیطی بیشتر می‌کند دائمی بودن اثر آن در کل دوره رشدی است (ساویچ و همکاران ۲۰۲۱) که موجب اختلالات ریخت شناختی، فیزیولوژیکی و متابولیکی در گیاهان می‌شود. در بین فرآیندهای درگیر می‌توان به کاهش در جوانه زنی بذر، ارتفاع گیاه، طول ریشه، تغییر در یکپارچگی غشای سلولی، مهار فعالیت‌های مختلف آنزیمی، فتوسنتز و حتی مرگ گیاه اشاره کرد (هیدانگمایوم و دویودی ۲۰۱۸). کاهش فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان را می‌توان با اثرات سمی یون‌ها بر غشای سلول و نشت الکترولیت‌ها توضیح داد، همچنین فرآیندهای متابولیکی با تجمع بیش از حد $Na^+$ در سیتوپلاسم محدود می‌شود (ساویچ و همکاران ۲۰۲۱). همچنین گیاهان تحت تنش، گونه‌های اکسیژن فعال را بیش از حد تولید می‌کنند که باعث تنش اکسیداتیو در آن‌ها می‌شود (زانگ و همکاران ۲۰۲۲).

تعدیل اثرات این تنش در گیاهان زراعی عمدتاً توسط روش‌های به‌زراعی و به‌نژادی انجام می‌شود. در این راستا کاربرد ریزجانداران محرک رشد به ویژه مایه‌زنی بذر با قارچ‌های میکوریز از روش‌های به‌زراعی است که می‌تواند بخشی از محدودیت‌های اعمال شده تنش شوری را به طور مستقیم و یا غیر مستقیم کاهش دهد (سانتاندر و همکاران ۲۰۲۰). تعدیل آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان در شرایط بروز انواع تنش‌های محیطی مکانیسمی مشترک بین قارچ‌های مفید و باکتری‌های محرک رشد گیاهان محسوب می‌شود (لوپز-میلان و همکاران ۲۰۰۵). به نظر می‌رسد گیاهان تیمار شده با میکوریزا تحت شرایط شوری، کمتر در مقابل تنش اکسیداتیو ناشی از شوری قرار می‌گیرند که یکی از دلایل آن مشارکت آن‌ها در مکانیسم‌های اجتناب از تنش آبی مثل انتقال فعال آب از قارچ میکوریز به گیاه میزبان و یا افزایش جذب آب در اثر تغییر مورفولوژی ریشه‌ها برای کاهش اثر اسمزی شوری می‌باشد (پدرانزانی و همکاران ۲۰۲۱). اخیراً برخی از گونه‌های قارچ تریکودرما به عنوان محرک رشد گیاهان در شرایط نرمال و تنش معرفی شده‌اند (سنجر و همکاران ۲۰۲۲). در واقع برخی از گونه‌های قارچ تریکودرما، توان برقراری رابطه همزیستی اکتومایکوریزایی با گیاهان زراعی را دارند و با ایجاد کلونیزاسیون مؤثر در سطح ریشه به درون اپیدرم و سلول‌های زیر سطح آن نفوذ می‌کنند (سوفی و همکاران ۲۰۲۱). گزارش‌های اخیر نشان داده‌اند که این قارچ‌ها با کنترل زیستی در برابر عوامل بیماری‌زای خاک‌زی، تولید هورمون‌های رشد، افزایش زیست فراهمی عناصر در خاک از اشکال نامحلول آن‌ها، افزایش جذب و انتقال عناصر غذایی به گیاه، افزایش انتقال قند و اسیدآمینه در ریشه گیاهان و ایجاد مقاومت القایی در برابر تنش‌های محیطی سبب بهبود رشد گیاهان می‌شوند (آنشو و همکاران ۲۰۲۲). همچنین مشخص شده است این قارچ‌ها با تولید ترکیبات و متابولیت‌هایی به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم

باعث افزایش رشد گیاه می‌شوند (دریکوند و همکاران ۲۰۱۵). اثر شبه اکسینی در ساقه نخود تحت تیمار با هارزیانولید و ٦-پنتیل-پیرون که جزو متابولیت‌های ثانویه تولید شده توسط سویه‌های مختلف تریکودرما می‌باشند، گزارش شده است (خان و همکاران ۲۰۱۰). کلنیزاسیون ریزوسفر ذرت توسط *T. virens* همچنین باعث افزایش سرعت فتوسنتز و افزایش سیستمیک جذب $CO_2$ در برگ‌ها شده است (سلیمی تملا و همکاران ۲۰۱٤). گونه‌های *T. harzaianum*، *T. virence*، *T. atroviride* ، *T.konigi* و *T.viride* بیش از سایر گونه‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند. در همین زمینه بررسی پرادهان و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که پرایمینگ بذر با *T. viride* افزایش رشد ریشه و اندام هوایی نخود را به دنبال داشت. *T. harzianum* و *T. ghanens* علاوه بر تأثیرات مثبت بر افزایش ارتفاع بوته و افزایش حجم و طول ریشه دارای توانایی کنترل زیستی بیمارگرهای خاکزاد (قارچی و باکتریایی) لوبیا نیز می‌باشد (رضالو و همکاران ۲۰۱۸). بهبود رشد لگوم‌ها توسط جدایه *T. atroviride* نیز گزارش شده است (رضالو و همکاران ۲۰۱۹). آرین و همکاران (۲۰۲۲) نیز گزارش کردند تیمار زیستی بذر ماش سبز با تریکودرما سبب افزایش ارتفاع بوته و طول ریشه می‌شود. پیش‌تیمار زیستی بذر سویا با *T. harzianum* اثرات تنش ملایم شوری را عمدتاً به واسطه تحریک نمو اولیه و سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاهچه‌ها مرتفع می‌سازد (محمود و همکاران ۲۰۲۱). تیمار بذر گوجه فرنگی با *T. harzianum* جوانه زنی بذر را سرعت می‌بخشد، بنیه گیاهچه را افزایش می‌دهد و تنش‌های آبی، اسمزی، شوری، سرمازدگی و گرما را با القای محافظت فیزیولوژیکی در گیاهان در برابر آسیب اکسیداتیو بهبود می‌بخشد. این پاسخ‌ها با اثرات ناشی از مایه‌زنی با قارچ اندوفیت *P. indica* در گیاهان قابل مقایسه است، که اثرات محرک رشدی را با طیف گسترده‌ای از گیاهان نشان می‌دهد و باعث مقاومت در برابر بیماری‌های قارچی و تحمل در برابر تنش شوری می‌شود (لوپز-میلان و همکاران، ۲۰۰۵).

لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گیاهی حساس به شوری و از مهم‌ترین گونه‌های خانواده بقولات است که بر اساس آخرین آمار منتشر شده از ( بی‌نام ۲۰۲۱)، در پنج قاره کشت می‌شود و سطح زیر کشت آن در دنیا ۲٤ میلیون هکتار است. مرکز آمار ایران نیز سطح زیر کشت و تولید لوبیا را به ترتیب ۷۷ هزار هکتار و ١٦٦ تن در سال اعلام کرده است (بی‌نام ۲۰۲۱). با گسترش تنش شوری در آب و خاک کشور به دلیل تغییرات اقلیمی و تداخل‌های انسانی، محدودیت برای کشت گیاهان حساس به شوری بیش از پیش احساس می‌شود (تریپاثی و همکاران ۲۰۲۱). بنابراین یافتن راه‌کارهای مناسب جهت بهبود عملکرد لوبیا و مقابله با تنش‌ها از جمله مشکلات پیش روی پژوهشگران و کشاورزان است. در سال‌های اخیر ضرورت پژوهش زیستی در ریزوسفر به منظور بهبود تغذیه و رشد گیاه و کنترل عوامل تنش‌زا در محیط ریشه مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که کاربرد تیمار زیستی قارچ تریکودرما و موتانت‌های ایجاد شده در شرایط تنش شوری روی گیاه لوبیا چیتی ارزیابی نشده است در این پژوهش سعی شد اثرات گونه‌های مختلف این قارچ در تیمار بذری روی رشد، نمو و برخی فرآیند-های فیزیولوژیکی گیاه لوبیا چیتی مورد پژوهش قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

### انتخاب قارچ‌های تریکودرما، مواد گیاهی و طرح آزمایش

به‌منظور بررسی اثر تنش شوری آزمایشی به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه به صورت فریم پلات (جهت کنترل بهتر شوری) در پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای در کرج بر گیاه لوبیا رقم صالح ۲ انجام شد. فاکتور اصلی (شوری) در دو خاک طبیعی به ترتیب غیر شور ($EC_e$=1.1 dS $m^{-1}$) و شور ($EC_e$=6 dS $m^{-1}$) و فاکتور فرعی با ۱۱ سطح که شامل پنج گونه تریکودرما به‌همراه

موتانت‌های آن‌ها و تیمار شاهد بدون مایه‌زنی بود. مواد بیولوژیک از مجموعه بیماری‌شناسی گیاهی دانشکده پژوهش‌های کشاورزی هسته‌ای وابسته به مؤسسه علوم و فناوری هسته‌ای کرج (NSTRI) تهیه شدند که عبارت بودند از: *T. harzianum* (MW718882)، *T. lixii* (MW719563)، *T. ghanens* (MW719590)، *T. virens* (MW719876) و *T. atroviride* (MW719255) و جدایه‌های جهش یافته آن‌ها یعنی *T. harzianum* (NAS108 M1) mutant، *T. lixii* mutant (NAS114-M17)، *T. ghanens* mutant (ON545796)، *T. virens* mutant (NAS115 M17) و *T. atroviride* mutant (NAS112M2) بود. این گونه‌ها به صورت پودر مایه‌زنی آماده از مؤسسه مذکور تهیه شدند. سویه‌های موتانت بر اساس روش شهبازی و همکاران (۲۰۱٤) در مؤسسه مذکور با استفاده از پرتودهی کبالت ٦۰ تهیه شده و در این آزمایش بر اساس مقاومت به شوری در همان مؤسسه غربالگری شده بودند. در ضمن، باتوجه به رعایت شیوه‌نامه ایمنی زیستی در معرفی موتانت قارچ تریکودرما که طبق قوانین پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای (کد PRI-A3-99-001) انجام می‌شود، جهش یافته‌های تهیه شده داری مخاطرات زیستی نیستند.

**آزمایش مزرعه‌ای**

به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از مراحل آماده‌سازی زمین، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه مرکب از مزرعه پژوهشی پژوهشکده کشاورزی هسته ای کرج تهیه و تجزیه گردید (جدول ۱). بذور لوبیا با محلول پنج درصد وایتکس برند اکتیو به مدت ۱۰ دقیقه ضد عفونی و سپس در سه مرحله با آب مقطر آبشویی شدند. تلقیح بذور با پنج گرم مایه تلقیح قارچی برای هر کیلوگرم بذر به صورت بذرمال (شهبازی و همکاران ۲۰۱٤) مطابق با تیمارهای ذکر شده به صورت مجزا انجام و کاشت با تراکم ٤۰ بوته در متر مربع با ٤٥ سانتی‌متر فاصله در بین ردیف‌ها اجرا شد. کاشت بذور در اواخر فروردین ماه صورت گرفت و براشت غلاف‌ها در اوایل شهریور ماه زمانی که حدود ۷۵-٦۵ درصد غلاف‌ها رسیده بودند، انجام شد. در طی آزمایش کلیه کرت‌ها به‌طور یکسان و یکنواخت آبیاری شدند. جهت کنترل سطح شوری به طور متناوب در طی آزمایش از خاک نمونه گرفته و هدایت الکتریکی آن جهت اطمینان از درستی تیمار پایش گردید. لازم به ذکر است که تمامی عناصر کودی طبق نیاز کودی لوبیا به مزرعه اضافه شدند.

**جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری.**

| خاک | $EC_e$ ($dSm^{-1}$) | pH | OC% | Total N% | P (mg $Kg^{-1}$) | K (mg $Kg^{-1}$) | Clay% | Silt% | Sand% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شور | 6.0 | 7.1 | 0.32 | 0.043 | 7.50 | 276.1 | 31 | 22 | 47 |
| غیرشور | 1.11 | 7.6 | 0.28 | 0.034 | 6.12 | 206.3 | 25 | 24 | 51 |

**صفات گیاهی مورد پژوهش**

درصد سبز کرت‌ها با شمارش هفتگی به صورت متوالی تا هفته سوم انجام شد. در مرحله گل‌دهی کامل، شاخص‌های رشدی و مورفولوژیک شامل ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، سطح برگ (با استفاده از دستگاه سطح سنج برگی مدل Delta- T Devices- Leaf Area Meter; WinDIAS 2 analysis system)، تعداد غلاف، تعداد بذر در غلاف، پروتئین بذر، وزن ۱۰۰ دانه (وزن بذر) و عملکرد دانه ارزیابی شدند. برای محاسبه عملکرد بیولوژیک ۱۰ بوته در مرحله برداشت از محل طوقه کف‌بر و به مدت ٢٤ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون نگه‌داری شدند. با تقسیم عملکرد دانه (برحسب گرم در متر مربع) بر عملکرد بیولوژیک (گرم بر متر مربع) شاخص برداشت تیمارهای آزمایشی به دست آمد. میزان پروتئین

نیز با استفاده از روش بردفورد (۱۹۷۶) اندازه‌گیری شد. کنترل علف‌های هرز و وجین در صورت لزوم به صورت دستی انجام شد.

**محاسبه کارایی همزیستی**

کارایی همزیستی گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما بر اساس فرمول ارایه شده توسط پلنچت و همکاران (۱۹۸۳) به شرح زیر در شرایط شور و غیرشور محاسبه گردید:

$$BE = \frac{(T - C)}{C} \times 100 \qquad [۱]$$

در رابطه‌ی یک: BE؛ کارایی همزیستی، T؛ عملکرد دانه در تیمار مایه‌زنی، C؛ عملکرد دانه در تیمار شاهد.

همچنین درصد تغییرات کارایی قارچ در شرایط شور و غیر شور به صورت زیر برآورد گردید:

$$BEc = \frac{(Ts - Tc)}{Tc} \times 100 \qquad [۲]$$

در رابطه‌ی دو: BEc؛ درصد تغییرات کارایی قارچ در شرایط شور و غیر شور، Tc؛ کارایی قارچ در شرایط غیر شور، Ts؛ کارایی همزیستی قارچ در شرایط شور.

**تجزیه‌های آماری**

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم افزار SAS نسخه ۹ انجام شد. با توجه به معنی‌دار نشدن خطای اصلی در تجزیه به صورت کرت‌های خرد شده، برای افزایش درجه آزادی اشتباه آزمایش و قدرت آزمون عمل پولینگ خطاها[۱] انجام شد و داده‌ها مجدداً به صورت فاکتوریل تجزیه و سطوح معنی‌داری یک و پنج درصد گزارش شدند. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال آماری پنج درصد انجام شد و رسم نمودارها با نرم افزار Excel صورت گرفت.

## نتایج و بحث

با توجه به تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، نتایج نشان می‌دهد اثر تیمار شوری و تیمار قارچی بر صفات درصد سبز شدن، ارتفاع گیاه، شاخص برداشت، تعداد غلاف، تعداد بذر در غلاف، وزن دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخه فرعی، پروتئین دانه و شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تجزیه واریانس نتایج نشان داد اثر متقابل شوری و تیمار زیستی بر درصد سبز شدن گیاه، ارتفاع گیاه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، پروتئین دانه و شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی بر شاخص برداشت، تعداد غلاف، تعداد بذر در غلاف و وزن صد دانه معنی‌دار نبود.

**صفات مرفولوژیک**

مقایسه میانگین اثر اصلی شوری نشان داد (جدول ۳) این تیمار باعث کاهش معنی‌دار تمامی صفات مورفولوژیک شد. بیشترین کاهش در تعداد شاخه فرعی بود و کم‌ترین اثر را بر درصد سبز شدن گیاه داشت. این امر با توجه به تأثیر منفی غلظت بالای یون‌های $Na^+$، $Cl^-$ و همچنین کمبود یون $K^+$ (سوگونی و همکاران، ۲۰۲۱) و پیامد آن، کاهش پتانسیل اسمزی خاک و بروز تنش آبی دور از انتظار نیست (ژائو و همکاران ۲۰۲۱). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای زیستی (جدول ٤)، نشان داد، بذور تیمار شده با، تریکودرما توانسته بودند درصد سبز شدن گیاه را در مزرعه بهبود دهند، و اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد داشتند. بیشترین درصد سبز شدن بذور تیمار شده با *T. atroviride* mutant (۹۰%) داشتند. کمترین درصد سبز شدن گیاه را *T. lixii* mutant و *T. lixii* (۸۱٪) داشتند. *T. lixii* و *T. lixii* mutant تأثیری بر درصد سبز شدن گیاه نداشت و کمترین اختلاف با شاهد را *T. harzianum* نشان داد. شوری بر رشد و تولید محصول تأثیر منفی می‌گذارد. در غلظت‌های کم، نمک رشد گیاه را متوقف می‌کند و در غلظت بالاتر می‌تواند با عدم تعادل یون‌های سلولی و در نتیجه سمیت یون‌ها باعث مرگ گیاه شود. (ساتابایوا و همکاران ۲۰۲۱) در این پژوهش بیشترین اثر تعدیل شوری را گونه *T. atroviride* mutant

[۱] Pooling of Errors

(%۸۷) در شرایط شوری داشت (شکل ۱). در شرایط غیر شور گونه‌های تریکودرما والد درصد سبز شدن گیاه را نسبت به تیمار شاهد بهبود داد. کمترین میزان درصد سبز شدن گیاه در مزرعه را شاهد داشت که از لحاظ آماری با دیگر تیمارها تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت. مشابه نتایج این آزمایش در سایر گونه-های تریکودرما نیز گزارش شده است. توانایی تیمار *T. asperelloides* T203 در بهبود جوانه‌زنی در شرایط تنش در بذرهای گیاهان خیار و *A. thaliana* به طور قابل توجهی بالاتر از گیاهان شاهد بود که عامل آن را به تنظیم سطح اتیلن توسط همزیستی قارچ و گیاه در شرایط تنش شوری اعلام کردند (ایلسکاس و همکاران ۲۰۲۱).

**جدول ۲- تجزیه واریانس اثر قارچ‌های تریکودرما و شوری بر صفات مورفولوژیک گیاه لوبیا چیتی رقم صالح۲.**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | درصد سبز شدن | ارتفاع گیاه | شاخه فرعی | سطح برگ |
| بلوک | 2 | 51.1** | 986.8** | 8.8** | 100110** |
| شوری(S) | 1 | 1064** | 46.8** | 12.33** | 14801136** |
| تیمار زیستی (B) | 10 | 55.7** | 184.9** | 5.8** | 3008256** |
| **S×B** | 10 | 225.1** | 2204.2** | 1.06 ns | 245947** |
| خطا | 42 | 23.36 | 9.15 | 0.9 | 30.1 |
| **CV%** | | 5.4 | 2.8 | 27.4 | 6.4 |

**، * و ns، به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی داری است.

**ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس اثر قارچ‌های تریکودرما و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه لوبیا چیتی رقم صالح۲.**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | تعداد غلاف | تعداد دانه در غلاف | وزن ۱۰۰ دانه | عملکرد دانه | عملکرد بیولوژیک | شاخص برداشت | پروتئین دانه |
| بلوک | 2 | 22 ns | 2.2* | 108** | 358** | 1919** | 4.1 ns | 10 ns |
| شوری(S) | 1 | 327** | 25.5** | 1385** | 38082** | 99369** | 935** | 632** |
| تیمار زیستی (B) | 10 | 31** | 4.2** | 65** | 6304** | 14942** | 50.9** | 34** |
| **S×B** | 10 | 13 ns | 1.2 ns | 12 ns | 410* | 739** | 7.2 ns | 27** |
| خطا | 42 | 9.26 | 0.888 | 12.18 | 188.2 | 82.87 | 16.71 | 3.71 |
| CV% | | 21.8 | 22.7 | 12.3 | 6.8 | 1.3 | 14.6 | 9.7 |

**، * و ns، به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

**جدول ۳- اثر شوری بر میانگین صفات مورفولوژیک گیاه لوبیا چیتی رقم صالح۲.**

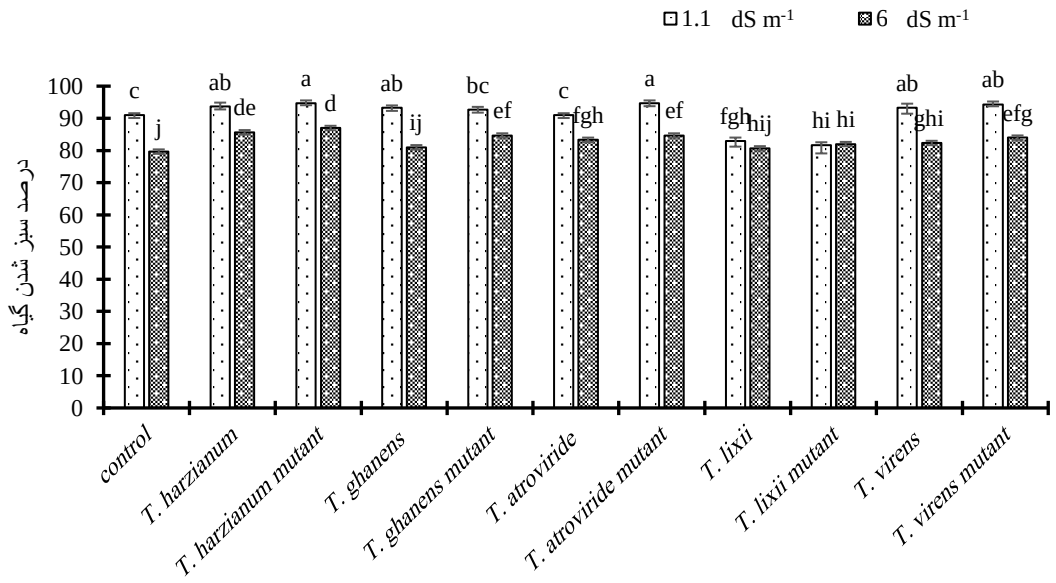
| تیمار | درصد سبز شدن | ارتفاع گیاه (cm) | تعداد شاخه فرعی | سطح برگ |
|---|---|---|---|---|
| شاهد | 91.2±0.80 a | 111.0±2.59 a | 4.19±0.456 a | 8988.5±298.8 a |
| شوری | 83.1±0.50 b | 99.4±1.98 b | 3.33±0.51 b | 8041.4±297.1 b |
| درصد تغییرات | -8.88 | -10.4 | -20.5 | -10.5 |

ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد معنی دار نیستند.

**ادامه جدول ۳- میانگین اثر شوری بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد گیاه لوبیا چیتی رقم صالح ۲.**

| تیمار | تعداد غلاف | تعداد بذر در غلاف | وزن ۱۰۰ بذر(g) | عملکرد دانه ($g\ m^{-2}$) | عملکرد بیولوژیک ($g\ m^{-2}$) | شاخص برداشت (٪) | پروتئین دانه ($mg\ g^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شاهد | 16.1±0.612 a | 4.76±0.585 a | 32.8±1.9 a | 225.7±14.5 a | 728.8±19.9 a | 31.6±0.77 a | 22.7±1.87 a |
| شوری | 11.6±0.686 b | 3.52±0.43 b | 23.7±2.1 b | 177.6±12.9 b | 651.2±22.1 | 24.1±0.79 b | 16.5±0.89 b |
| درصد تغییرات | −27.9 | −26.0 | −27.7 | −21.3 | −10.6 | −23.7 | −27.3 |

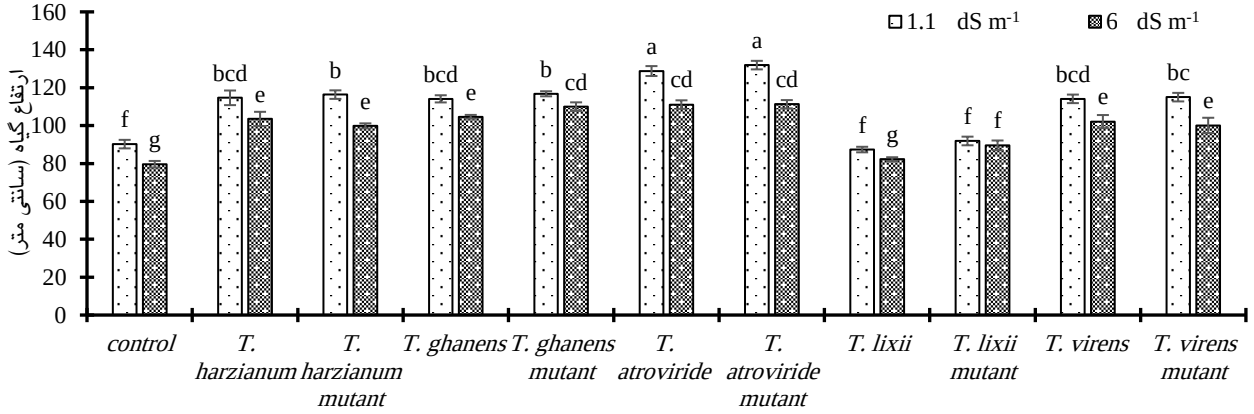
ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد معنی دار نیستند.




**شکل ۱- تاثیر گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما بر درصد سبز شدن گیاه لوبیا چیتی رقم صالح ۲ در شرایط شور و غیر شور. حروف مشترک در بالای ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند. (m=mutant)**

ارتفاع گیاه از جمله صفات مورفولوژیکی بود که شدیداً تحت تأثیر شوری و تیمار زیستی با گونه‌های تریکودرما قرار گرفت. گیاهان تیمار زیستی شده با گونه‌ی *T. atroviride* بیشترین ارتفاع را در شرایط شور و غیر شور حاصل کردند که نسبت به تیمار عدم تلقیح افزایش معنی‌دار را برای هر دو محیط نشان داد (شکل ۲). این پاسخ می‌تواند بیانگر یکی از اثر تعدیل‌کنندگی گونه‌های تریکودرما در خاک شور باشد. در سایر تیمارهای قارچی به جز گونه‌ی *T. lixii* افزایش رشد معنی‌دار در این صفت نسبت به شاهد مشاهده شد. نتایج مشابهی از افزایش رشد در روابط همزیستی تریکودرما و گیاهان زراعی و غیر زراعی مانند برنج، گندم، سورگوم، گوجه فرنگی، برنج، سویا، آفتابگردان، نخود، گزارش شده است (هارمان و همکاران ۲۰۰٤) با این حال، این اثر تحریک‌کنندگی رشد در گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است (استاز و همکاران ۱۹۸۸). هرگونه اختلال در سیستم جذب ریشه در اثر مسمومیت با یون‌هایی مثل سدیم سبب فعال شدن پاسخ‌های مقاومتی در گیاه می‌گردد که در طی آن گیاه باید میزان نمک در سیتوپلاسم خود را پایین نگاه دارد که این کار عدم توسعه ریشه، چوب پنبه‌ای شدن و کاهش رشد ریشه را در پی دارد که در نتیجه کاهش عمومی در رشد کل گیاه دیده می‌شود (گوپتا و همکاران

۲۰۲۲). در گیاه پنبه تنش شوری باعث کاهش ارتفاع بوته، طول و حجم ریشه و وزن خشک اندام هوایی و ریشه می‌شود که در راستای نتایج به دست آمده است (گئو ۲۰۲۲) همچنین، در تائید چنین نتایجی، هائو و همکاران (۲۰۲۱) کاهش در رشد و ارتفاع گیاهان نخود تحت تنش NaCl را به عنوان بارزترین نشانه آسیب شوری به گیاه گزارش کردند.

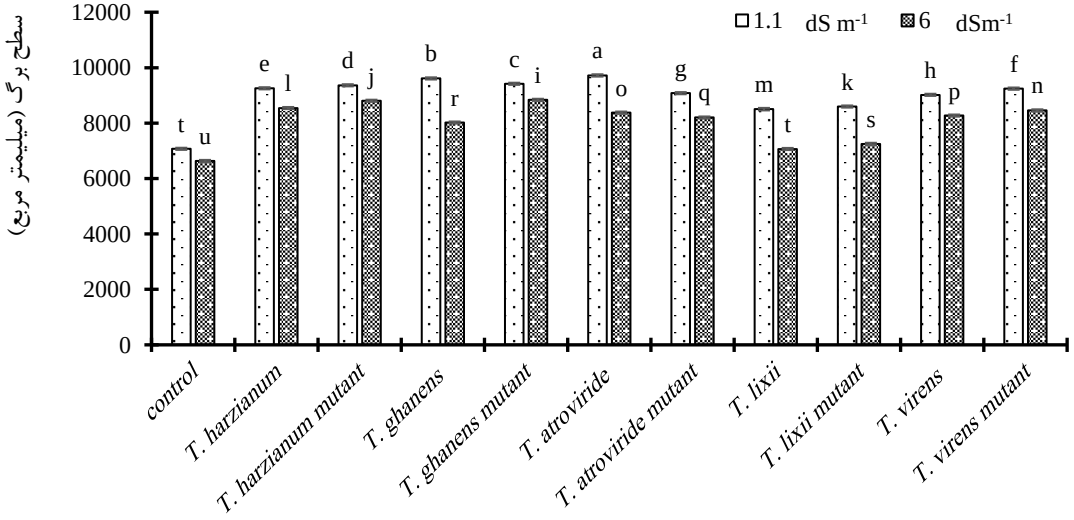



**شکل ۲- تأثیر گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما بر ارتفاع گیاه لوبیا چیتی رقم صالح ۲ در شرایط شور و غیر شور. حروف مشترک در بالای ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند. (m=mutant)**

همچنین مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی (جدول ٤) نشان داد، گیاهان تیمار شده با *T. harzianum* mutant و *T. harzianum* بیشترین تولید شاخه‌های فرعی در گیاه را داشتند که به طور معنی‌دار بیشتر از شاهد بود. به طور کلی در این صفت گونه‌های تریکودرما بجز *T. lixii* و موتانت آن باعث افزایش تعداد شاخه‌های فرعی و جانبی گیاه می‌شود. افزایش رشد گیاهان یکی از صفات مهم تریکودرما است (بونونی و همکاران ۲۰۲۰). در پژوهشی مشابه، افزایش تعداد شاخه گیاه کلزا در تلقیح با تریکودرما گزارش شده است (پوودا و همکاران ۲۰۲۰). همچنین در گیاه گوجه فرنگی مایه زنی تریکودرما باعث بهبود صفات مورفولوژیکی مانند تعداد شاخه نسبت به گیاهان شاهد شد (سانی و همکاران ۲۰۲۰). افزایش رشد گیاهانی همچون لوبیا، خیار، ذرت و کاهو با کاربرد تریکودرما گزارش شده است که می‌تواند به‌دلیل تولید متابولیت‌های ثانویه تحریک کننده‌ی رشد مانند اکسین باشد (عبدالخیر و همکاران ۲۰۱۹).

جهت درک بهتر ارتباط بین میزان تشعشع و فتوسنتز و در نهایت تولید زیست‌توده، تغییرات سطح برگ بررسی گردید. در تمامی تیمارها بهترین سطح برگ در شرایط غیر شور حاصل شد، ولی اثر مایه‌زنی قارچی هم در شرایط شور و غیر شور باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ در مقایسه با شاهد شد (شکل ۳). در این پژوهش تیمار *T. atroviride* بیشترین سطح برگ در شرایط غیر شور را ایجاد کرد و در شرایط شور متعلق به تیمار *T. ghanens m* بود. می‌توان اظهار داشت با افزایش شاخص سطح برگ و جذب بیشتر تشعشع خورشیدی، فتوسنتز بیشتری انجام شده و در نهایت عملکرد ماده خشک افزایش می‌یابد که منطبق با نتایج سایر پژوهندگان می‌باشد (قنبری و همکاران ۲۰۱۳۰). به نظر می‌رسد یکی از

مهمترین علل کاهش سطح برگ و رشد اندام‌های گیاهی در اثر افزایش شوری به علت تغییر میزان هورمون‌های رشد باشد (قاسمی و همکاران ۲۰۲۲). در گیاه *A. thaliana*، شوری بر رشد و نمو گیاهان از جمله طول ریشه اولیه، تشکیل ریشه‌های ثانویه و تشکیل ریشه‌های مویی تأثیر می‌گذارد (دنگ و همکاران ۲۰۲۲). این اثرات به طور معنی‌داری تحمل به شوری را در این گیاه افزایش داد. مکانیسم‌هایی که با تجمع اسیدآبسیزیک، اسید اسکوربیک، آنتی اکسیدان‌ها و L–پرولین[۲] ارتباط دارند شرایط را برای کنترل تنش فراهم می‌کنند (دنگ و همکاران ۲۰۲۲). همچنین بر طبق گزارش‌ها تجمع L-Pro توسط *T. asperelloides* T203 در *A. thaliana* تنظیم می‌شود (موسین و همکاران ۲۰۲۲). در بین متابولیت‌های ثانویه قارچ‌های تریکودرما، ایندول استیک اسید نقش مهمی در سازگاری با تنش شوری دارد و مکانیسمی است که با استفاده از آن ریزجاندارن در تحمل به تنش شوری، مسیر هورمونی را تغییر می‌دهند (اصلاحی و همکاران، ۲۰۲۰).




**شکل ۳- تأثیر گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما بر شاخص سطح برگ گیاه لوبیا چیتی رقم صالح ۲ در شرایط شور و غیر شور. حروف مشترک در بالای ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند. (m=mutant)**

**جدول ۴- اثر مایه‌زنی قارچ‌های تریکودرما بر میانگین صفات مورفولوژیک و عملکردی گیاه لوبیا چیتی رقم صالح۲.**

| تیمار | شاخص برداشت | وزن ۱۰۰ بذر(g) | تعداد بذر در غلاف | تعداد غلاف | تعداد شاخه فرعی |
|---|---|---|---|---|---|
| شاهد | 22.9±2.44 d | 22.8±0.58 ab | 4.28±0.58 abcd | 10.7±1.85 c | 2.83±0.27 i |
| *T. atroviride* | 23.4±1.92 cd | 28.1±0.31 ab | 3.71±0.31 bcde | 12.7±1.91 bc | 4.07±0.28 f |
| *T. atroviride* m | 28.4±1.74 abc | 31.1±0.41 ab | 4.01±0.41 bcde | 16.0±1.25 ab | 4.01±0.23 g |
| *T. ghanens* | 30.7±2.62 ab | 30.0±0.53 a | 5.28±0.53 a | 13.5±1.81 abc | 4.47±0.48 d |
| *T. ghanens* m | 28.1±2.92 abcd | 32.1±0.69 a | 4.86±0.69 ab | 17.5±1.06 a | 4.57±0.23 c |
| *T. harzianum* | 28.7±1.73 abc | 30.3± 0.56 a | 5.38±0.56 a | 16.1±1.27 ab | 4.63±0.25 b |
| *T. harzianum* m | 33.2±1.81 a | 31.5±0.73 a | 4.76±0.73 abc | 15.5±2.34 ab | 5.32±0.25 a |
| *T. lixii* | 27.5±2.56 bcd | 22.8±0.31 c | 2.95±0.31 e | 14.6±1.04 abc | 2.44±0.31 j |
| *T. lixii* m | 26.8±2.33 bcd | 25.5±0.31 c | 3.05±0.31 de | 10.6±1.72 c | 2.29±0.24 k |
| *T. virens* | 28.6±2.41 abc | 29.3±0.31 bc | 3.55±0.31 cde | 13.1±1.63 bc | 3.64±0.39 g |
| *T. virens* m | 28.2±2.70 abcd | 27.5± ab | 3.75±0.51 bcde | 12.2±2.03 bc | 3.12±0.67 h |

ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد معنی دار نیستند. (m=mutant)

[۲] L-Proline (L-Pro)

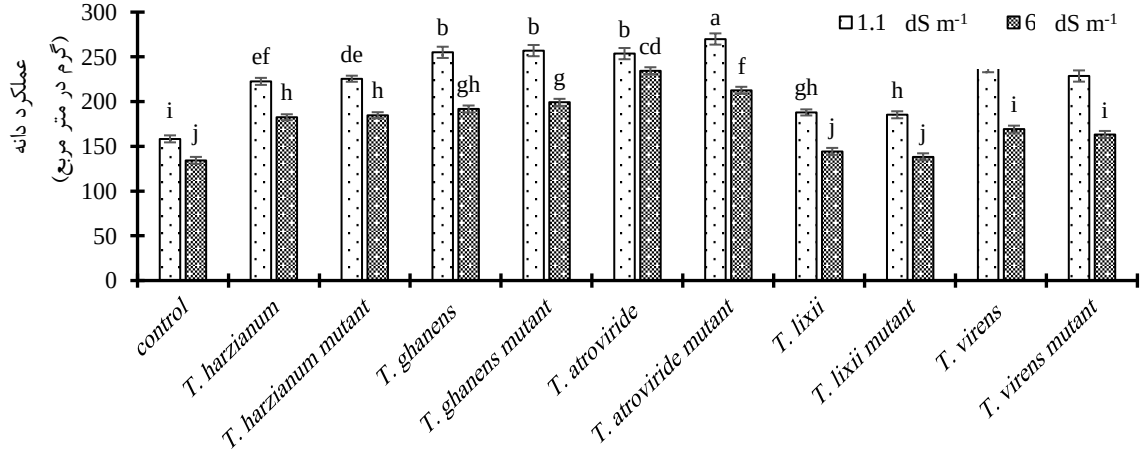
**عملکرد و اجزای عملکرد دانه**

همانند صفات مرفولوژیک، صفات عملکرد و اجزای عملکرد نیز تحت تأثیر مخرب شوری قرار گرفتند و به‌طور معنی دار کاهش یافتند (جدول ۳) و بیشترین میزان کاهش به ترتیب ۲۷/۷ درصد و ۹/۲۷ درصد مربوط به وزن دانه و تعداد غلاف بود. صرف نظر از اثر متقابل شوری در تیمار زیستی، عملکرد دانه در لوبیا چیتی، تابع تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه می‌باشد. طبق نتایج حاضر، گیاهان تیمار شده با گونه‌های *T. ghanens* و *T. harzianum* و موتانت‌های آن‌ها بیشترین تعداد غلاف در بوته، دانه در غلاف و وزن دانه را تولید نمودند (جدول ٤) که این میزان به طور معنی‌دار بیشتر از شاهد بود. دلیل این امر احتمالاً ناشی از افزایش تعداد شاخه‌های فرعی بوده است (جدول ٤). طبق مطالعه‌ها استفاده از تیمارهای رشدی، از طریق کاهش درصد ریزش گل‌ها، افزایش دوره گلدهی و باروری و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر، موجب افزایش تعداد غلاف در بوته می‌شوند (نصری و خلعتبری ۲۰۱۵). اثرات فیزیولوژیکی تریکودرما بر گیاهان بسیار پیچیده است. برای مثال تریکودرما هنگامی که به صورت بذرمال یا کاربرد خاکی استفاده می‌شود، تغییرات زیادی در پروتئوم گیاه ذرت ایجاد می‌کند که مرتبط با متابولیسم کربوهیدرات‌ها و سیستم‌های فتوسنتزی است که باعث می‌شود گیاه در حال رشد دارای انرژی و منبع کربن بیشتری باشد (کنترساس و همکاران ۲۰۱٦). همچنین گزارش شده است که کارآیی مصرف نیتروژن در گیاهان مایه‌زنی شده با تریکودرما افزایش یافت (راجش و همکاران ۲۰۱٦).

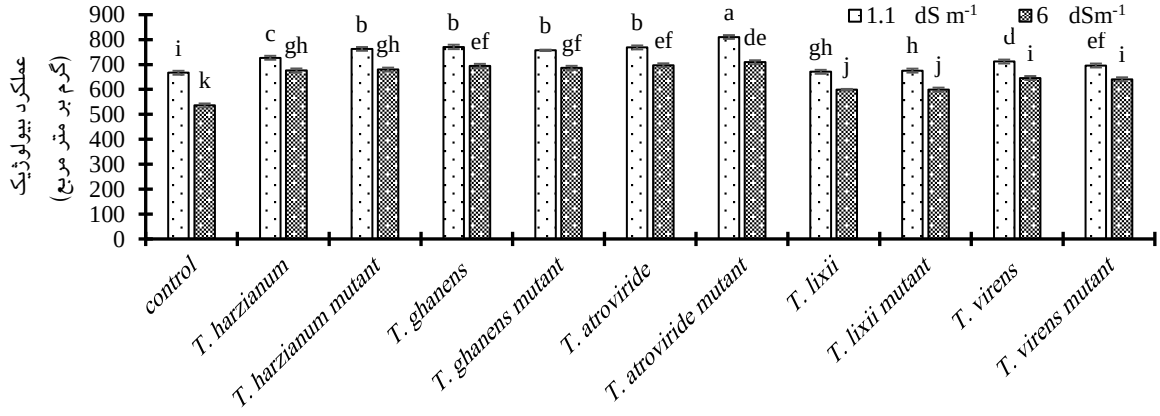
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بین گونه‌های مختلف تریکودرما از لحاظ عملکرد دانه در شرایط شور و غیر شور بود (جدول ۲). همچین اثر متقابل قارچ و شوری بر صفت عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال آماری یک درصد نیز معنی‌دار شد. همان‌طور که در شکل (٤) قابل مشاهده است، عملکرد دانه با مایه‌زنی گونه‌های تریکودرما بجز گونه‌ی *T. lixii* در شرایط شور و غیر شور افزایش یافته است (شکل ٤). موتانت *T. atroviride* با ۲۷۰ گرم در متر مربع بیشترین عملکرد را در شرایط غیر شور داشت که این میزان نسبت به شاهد ۷۰ درصد بیشتر بود. همچنین گونه‌ی *T. atroviride* بهترین عملکرد را در شرایط شور تولید کرد در حالی که در بین تمام تیمارها، تیمار شاهد کمترین عملکرد را در هر دو محیط داشت. مشابه همین نتایج در صفت عملکرد بیولوژیک دیده می‌شود (شکل ٥) با این تفاوت که بهترین تیمار در هر دو محیط شور و غیر شور برای این صفت از مایه زنی با *T. atroviride* m حاصل شد. نتایج حاصل در راستای گزارش‌های سایر پژوهشگران در ارتباط با توانایی تریکودرما برای افزایش رشد، نمو و عملکرد گیاهان است. برای مثال، جدایه‌های تریکودرما باعث افزایش طول ساقه، طول ریشه و وزن هزار دانه گندم می‌شوند (رودرش و همکاران ۲۰۰٥). همچنین گزارشی مبنی بر افزایش رشد گیاه توسط سویه *T. harzianum* با افزایش انحلال فسفات و عناصر ریزمغذی موجود است (علی و همکاران ۲۰۲۲). اغلب سویه‌های تریکودرما محیط اطراف خود را با ترشح اسیدهای آلی همچون اسید گلوکونیک، اسیدسیتریک و اسیدفوماریک، اسیدی می‌کنند و در نتیجه با حل کردن فسفات، ریزمغذی‌ها، آهن، منگنز و منیزیوم، به افزایش رشد گیاه کمک می‌کنند (علی و همکاران ۲۰۲۲). ال انشاسی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که *Trichoderma asperelloides* T203 میزان اسیدآمینه در گیاهان تلقیح یافته را افزایش می‌دهد. این پژوهشگران بر توانایی تخصیص و استفاده مجدد ازت، همراه با جذب نیتروژن در نتیجه‌ی مایه‌زنی تریکودرما تأکید کردند. در صورت وجود نیتروژن کافی کانوپی گیاهی سریع تشکیل یافته و بخش قابل‌ملاحظه‌ای از تشعشع خورشیدی در مراحل اولیه رشد رویشی جذب شده و در نتیجه عملکرد که حاصل فتوسنتز، تجمع ماده خشک و انتقال آن به دانه می‌باشد، افزایش می‌یابد. از

سویی یافته‌های حاصل از پیش‌تیمار ماش سبز با قارچ *P. indica* و *T. virens*، حاکی از افزایش در زیست‌توده اندام هوایی و ریشه نسبت به گیاهان شاهد بود (سلیمی و همکاران ۲۰۱٤) که همسو با نتایج این پژوهش بود. کاهش زیست‌توده با افزایش شوری افزایش می‌یابد که به علت تخریب فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیکی تحت شرایط شوری امری آشکار است (ابراهیموا و همکاران ۲۰۲۱) که در این آزمایش اثرات آن نیز دیده شد. یکی از یافته‌های مهم این آزمایش تعدیل اثرات شوری توسط گونه‌های *T. harzianum*، *T. ghanens* و *T.* atroviride به همراه موتانت‌های آن‌ها بود که دلایل آن به تغییرات گسترده در مرفولوژی و فیزیولوژی گیاه است که در متن به آن اشاره شد.

نتایج مقایسه میانگین شاخص برداشت نشان داد، که گونه‌های تریکودرما باعث افزایش شاخص برداشت می‌شود (جدول ٤) که این عامل می‌تواند به دلیل تغییرات غیر متناسب عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه توسط تیمارها باشد. بیشترین میزان شاخص برداشت را گیاهان تیمار شده با *T. harzianum* mutant (۳۳/۲) داشت، که با *T. harzianum* (۳۳/۲)، *T. ghanens* (۳۰/۷)، *T. ghanens* mutant (۲۸/۱)، *T. atroviride* mutant (۲۸/٤) *T. virens* (۲۸/٦) و *T. virens* mutant (۲۸/۲) تفاوت معنی‌داری نداشت، در حالی‌که کمترین شاخص برداشت مربوط به شاهد بود. بر اساس نظریات برخی پژوهندگان ریزجانداران موجود در خاک با برقراری روابط همیاری با گیاهان و با انجام فعالیت‌های مختلف نظیر تولید انواعی از متابولیت‌ها، تجزیه ترکیبات مختلف آلی، تولید مواد افزاینده رشد و افزایش قابلیت دسترسی مواد غذایی سبب بهبود رشد گیاه می‌گردند (محمود و همکاران ۲۰۲۱). نتایج این پژوهش نیز مؤید چنین نقشی برای قارچ تریکودرما است به طوری که گیاهان تیمار شده شاخص برداشت بهتری را نسبت به گیاهان کنترل نشان دادند.



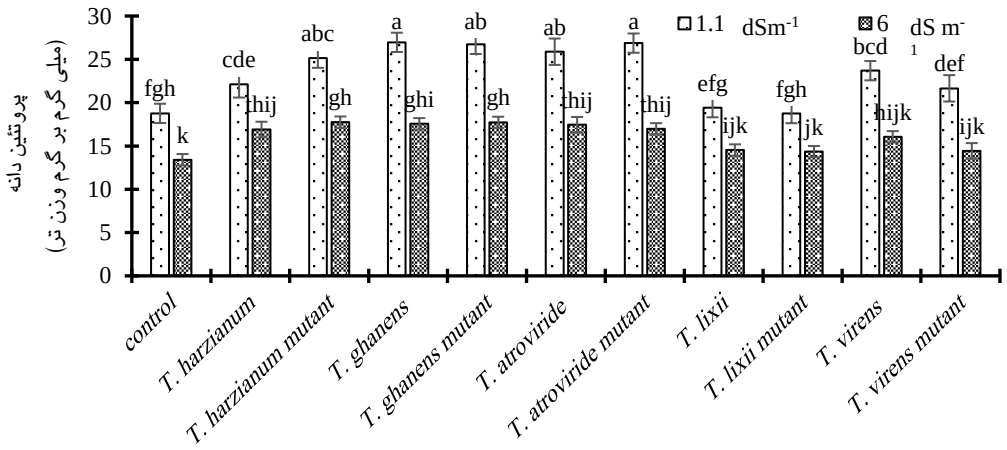

**شکل ۴- تأثیر گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما بر شاخص عملکرد دانه گیاه لوبیا چیتی رقم صالح ۲ در شرایط شور و غیر شور. حروف مشترک در بالای ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند. (m=mutant)**



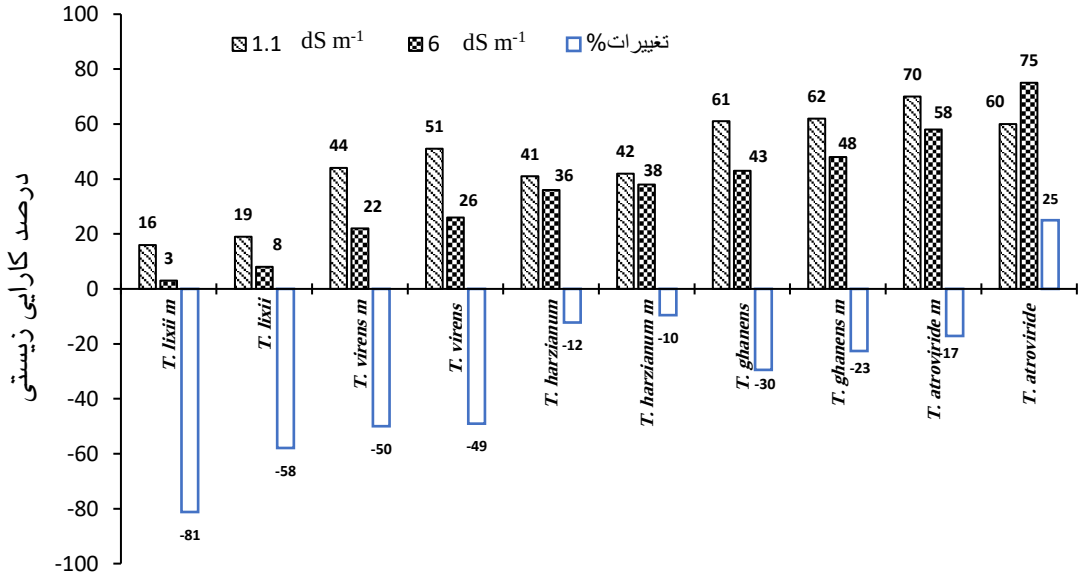

**شکل ۵- تاثیر گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما بر عملکرد بیولوژیک گیاه لوبیا چیتی رقم صالح ۲ در شرایط شور و غیر شور. حروف مشترک در بالای ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند. (m=mutant)**

در کنار تغییرات کمی، صفت کیفی پروتئین دانه در این آزمایش تحت تأثیر تیمارهای قارچی و شوری بود. پروتئین دانه در گیاهان تحت تنش شوری کاهش شدیدی نسبت به پروتئین دانه‌های گیاهان در شرایط غیر شور داشتند (شکل ٦). به نظر می‌رسد این امر مرتبط با کاهش جذب پتاسیم از ریشه گیاهان در شرایط شوری ملایم و نقش پتاسیم در سنتز پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها باشد (چن و همکاران، ۲۰۰۷). در شرایط شور و غیر شور گیاهان تیمار شده با *T. harzianum*، *T. ghanens* و *T. atroviride* و موتانت آن‌ها بیشترین پروتئین دانه را داشتند. در حالی که گیاهان تیمار شده با *T. lixii* و *T. virens* به همراه تیمار شاهد کمترین میزان پروتئین را تولید کردند. به نظر می‌رسد، بالا بودن میزان پروتئین در تیمارهای تریکودرما به دلیل افزایش غلظت نیتروژن در بخش‌های رویشی، انتقال مجدد و تجمع آن در دانه‌ها باشد (جاود و همکاران ۲۰۱۹).

بررسی کارایی همزیستی تریکودرما با گیاه لوبیا نشان داد که در شرایط بدون تنش این کارایی بین ١٦ تا ٧٠ درصد متغیر بوده و کمترین آن در *T. lixii* m و بیشترین آن در *T. atroviride* m مشاهده گردید (شکل ۷). به عبارت دیگر تلقیح گیاه با قارچ تریکودرما توانست عملکرد اقتصادی (دانه) را ١٦ تا ٧٠ درصد افزایش دهد. همچنین محاسبه این شاخص نشان داد که بجز گونه *T. atroviride*، کارایی همزیستی توسط شوری متاثر شده و میزان آن کاهش می‌یابد. محاسبه درصد تغییرات درصد کارایی همزیستی در شرایط شور و غیر شور نشان داد که بین ١٠ تا ٨١ درصد افت پیدا می‌کند (شکل ۷) به طوری که در شرایط شوری میزان افزایش عملکرد دانه در مقایسه با شرایط غیر شور در شرایط مایه زنی به دامنه ٣ تا ٥٨ درصد رسید. رفتار متفاوت *T. atroviride*با سایر گونه‌ها از لحاظ کارایی همزیستی در شرایط شور و غیر شور قابل بررسی بوده و نیازمند مطالعات تکمیلی می‌باشد. به طور کلی *T. atroviride* m در شرایط غیر شور و در شرایط شوری *T. atroviride* بیشترین کارایی همزیستی را از خود نشان دادند. ٤٠ تا ٩٩ درصد کارایی همزیستی برای قارچ‌های میکوریز در گیاهان مختلف بر اساس وزن خشک گیاه گزارش شده است (پلنچت و همکاران ۱۹۸۳). لذا به نظر می‌رسد توصیه‌های حمایتی زیستی در مورد قارچ مایکوریزا در شرایط مطلوب و نامطلوب بایستی با دقت و بررسی‌های بیشتر صورت پذیرد.




**شکل ۶- تاثیر گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما بر پروتئین دانه ی لوبیا چیتی رقم صالح ۲ در شرایط شور و غیر شور. حروف مشترک در بالای ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند. (m=mutant)**




**شکل ۷- درصد کارایی زیستی گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما در بهبود عملکرد دانه ی لوبیا چیتی رقم صالح ۲ در شرایط شور و غیر شور. درصد تغییرات، بیانگر تفاوت کارایی قارچ‌ها یا در شرایط شور و غیر شور است. (m=mutant)**

## نتیجه‌گیری کلی

در کل نتایج آزمایش نشان داد که رشد و نمو گیاه لوبیا چیتی تحت تأثیر تنش شوری، همزیستی با قارچ تریکودرما و اثر متقابل آن‌ها می‌باشد. تنش شوری با کاهش شدید در صفات رویشی و درصد سبز گیاه از ابتدای فصل رشد گیاه مورد پژوهش را تحت تأثیر قرار داد. این تنش با کاهش سطح برگ (سطح جذب کننده نور) در طول مدت زندگی گیاه احتمالاً میزان تولید مواد فتوسنتزی را کاهش داد که با کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک آشکار شد. در ضمن تحت تنش شوری تغییر در توزیع مواد فتوسنتزی باعث تغییر در شاخص برداشت شد. در کنار تأثیرپذیری صفات رویشی، عملکرد

دانه و پروتئین دانه نیز تحت تأثیر تنش کاهش یافت که به دلیل کاهش در اجزای عملکرد گیاه بود. تاثیر تنش در کاهش صفات زایشی بیش از صفات رویشی ارزیابی شد. گونه‌های تریکودرما مورد پژوهش به جز *T. lixii* باعث افزایش ارتفاع و سطح برگ گیاه شد که در نهایت منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک شد. روند بهبود توسط گونه‌های تریکودرما در نمو هم تداوم پیدا کرد به طوری که با تقویت اجزای عملکرد، عملکرد دانه نیز به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. بالا رفتن پروتئین محلول دانه در تیمارهای تریکودرما یکی دیگر از یافته‌های این آزمایش بود که می‌تواند به علت بهبود تغذیه به ویژه متابولیسم نیتروژن در این گیاه باشد. با توجه به افزایش شاخص برداشت و بالا رفتن عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک تحت تاثیر تریکودرما، آزمایش نشان دهنده تخصیص مواد بیشتر به دانه (تعداد و وزن) است که می‌تواند از مواد فتوسنتزی جاری یا انتقال مجدد مواد باشد.

از یافته‌های بسیار مهم دیگر این آزمایش، معنی‌دار شدن اثر متقابل شوری و تیمار قارچی بود که نشان داد اثر گونه‌های مختلف قارچ در شرایط شوری یکسان نیست. هرچند تحت تیمار شوری از پتانسیل قارچ‌ها در حمایت از عملکرد کاسته ولی عملکرد تولیدی بیش از شاهد بود. این مطلب نشان می‌دهد که انتخاب تیمار مناسب لوبیا می‌تواند تا حدی اثرات ناشی از شوری را جبران کند. لذا می‌توان با القای مقاومت به شوری توسط انتخاب تریکودرمای مناسب بر تولید لوبیا استفاده بهینه نمود. نتایج به طور کلی نشان داد که تیمار بذر با گونه‌های تریکودرما باعث بهبود درصد سبز شدن گیاه، صفات رویشی و زایشی می‌شود و می‌توان از این تیمارهای زیستی *T. harzianum*، *T. ghanens* و *T. atroviride* به همراه موتانت‌های آن‌ها برای افزایش عملکرد لوبیا چیتی در شرایط شور و غیر شور استفاده کرد.

## منابع مورد استفاده


Abd-El-Khair H, Elshahawy IE and Haggag HK, 2019. Field application of Trichoderma spp. combined with thiophanate-methyl for controlling *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum* in dry bean. Bulletin of the National Research Centre 43:1-9.

Ali S, Khan MJ, Anjum MM, Khan GR and Ali N, 2022. *Trichoderma harzianum* modulates phosphate and micronutrient solubilization in the rhizosphere. Gesunde Pflanzen. 74(4):853-62.

Anonymous, 2021. FAO Statistical Year Book. World Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome, 366.

Anonymous, 2021. Ministry of Agriculture Statistics and Information Office, Agricultural Census, Deputy of Planning and Budget. 19: 78-97

Anshu A, Agarwal P, Mishra K, Yadav U, Verma I, Chauhan S, Srivastava PK and Singh PC, 2022 Synergistic action of *Trichoderma koningiopsis* and *T. asperellum* mitigates salt stress in paddy. Physiology and Molecular Biology of Plants. 28(5):987-1004.

Arain U, Ujjan AA, Rajput AQ and Shahzad S, 2022. Synergism between *Trichoderma harzianum* Rifai and chemical fungicide for the control of *Fusarium oxysporum* Schltdl on mung Bean. Pakistan Journal of Phytopathology 34(1):117-25.

Bononi L, Chiaramonte JB, Pansa CC, Moitinho MA and Melo IS, 2020. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. Scientific Reports 10(1):2858.

Bradford MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical biochemistry 72(1-2):248-54.

Chen Z, Cuin TA, Zhou M, Twomey A, Naidu BP and Shabala S, 2007. Compatible solute accumulation and stress-mitigating effects in barley genotypes contrasting in their salt tolerance. Journal of Experimental Botany 58(15-16):4245-55.

Contreras-Cornejo HA, Macías-Rodríguez L, Del-Val EK and Larsen J, 2016. Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. FEMS Microbiology Ecology 92(4):fiw036.

Darikvand F, Bazgir A, Darvishnia M and Mirzaei H, 2015. Isolation and identification of *Trichoderma* fungi and investigation of its effect on bean plant growth. Agricultural Research Conference, Genetic Engineering and Medicinal Plant Iran, Jiroft.

Deng H, Li Q, Cao R, Ren Y, Wang G, Guo H, Bu S, Liu J and Ma P, 2023. Overexpression of SmMYC2 enhances salt resistance in *Arabidopsis thaliana* and *Salvia miltiorrhiza* hairy roots. Journal of Plant Physiology 280:153862.

El Enshasy HA, Ambehabati KK, Hanapi SZ, Dailin DJ, Elsayed EA, Sukmawati D and Malek RA, 2020. *Trichoderma* spp.: A Unique Fungal Biofactory for Healthy Plant Growth. Rhizosphere Microbes: Soil and Plant Functions 573-92.

El-Saadony MT, Desoky ES, Saad AM, Eid RS, Selem E and Elrys AS, 2021. Biological silicon nanoparticles improve *Phaseolus vulgaris* L. yield and minimize its contaminant contents on a heavy metals-contaminated saline soil. Journal of Environmental Sciences. 106:1-4.

Eslahi N, Kowsari M, Motallebi M, Zamani MR and Moghadasi Z, 2020. Influence of recombinant *Trichoderma* strains on growth of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by increased root colonization and induction of root growth related genes. Scientia Horticulturae. 261:108932.

Ghanbari AA, Shakiba MR, Toorchi M and Choukan R, 2013. Nitrogen changes in the leaves and accumulation of some minerals in the seeds of red, white and chitti beans (*'Phaseolus vulgaris'*) under water deficit conditions. Australian Journal of Crop Science 7(5):706-12.

Ghassemi-Golezani K and Farhadi N, 2021. The efficacy of salicylic acid levels on photosynthetic activity, growth, and essential oil content and composition of pennyroyal plants under salt stress. Journal of Plant Growth Regulation. 1-3.

Guo C, Liu L, Sun H, Wang N, Zhang K, Zhang Y, Zhu J, Li A, Bai Z, Liu X and Dong H, 2022. Predicting Fv/Fm and evaluating cotton drought tolerance using hyperspectral and 1D-CNN. Frontiers in Plant Science 13:1007150.

Gupta A, Mishra R, Rai S, Bano A, Pathak N, Fujita M, Kumar M and Hasanuzzaman M, 2022. Mechanistic insights of plant growth promoting bacteria mediated drought and salt stress tolerance in plants for sustainable agriculture. International Journal of Molecular Sciences 23(7):3741.

Hang X, Meng L, Ou Y, Shao C, Xiong W, Zhang N, Liu H, Li R, Shen Q and Kowalchuk GA, 2022. *Trichoderma*-amended biofertilizer stimulates soil resident Aspergillus population for joint plant growth promotion. Biofilms and Microbiomes 8(1):57.

Hao S, Wang Y, Yan Y, Liu Y, Wang J and Chen S, 2021. A review on plant responses to salt stress and their mechanisms of salt resistance. Horticulturae 7(6):132.

Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I and Lorito M, 2004. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature Reviews Microbiology 2(1):43-56.

Hidangmayum A and Dwivedi P, 2018. Plant responses to *Trichoderma* spp. and their tolerance to abiotic stresses: a review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 7(1):758-66.

Ibrahimova U, Kumari P, Yadav S, Rastogi A, Antala M, Suleymanova Z, Zivcak M, Tahjib-Ul-Arif MD, Hussain S, Abdelhamid M and Hajihashemi S, 2021. Progress in understanding salt stress response in plants using biotechnological tools. Journal of Biotechnology. 329:180-91.

Illescas M, Pedrero-Méndez A, Pitorini-Bovolini M, Hermosa R and Monte E, 2021. Phytohormone production profiles in *Trichoderma* species and their relationship to wheat plant responses to water stress. Pathogens 10(8):991.

Javed MR, Noman M, Shahid M, Ahmed T, Khurshid M, Rashid MH, Ismail M, Sadaf M and Khan F, 2019. Current situation of biofuel production and its enhancement by CRISPR/Cas9-mediated genome engineering of microbial cells. Microbiological Research 219:1-12.

Khan MU, Qasim M and Jamil M, 2002. Effect of different levels of zinc on the extractable zinc content of soil and chemical composition of rice. Asian Journal of Plant Sciences. 1: 20-21.

López-Millán AF, Ellis DR and Grusak MA, 2005. Effect of zinc and manganese supply on the activities of superoxide dismutase and carbonic anhydrase in *Medicago truncatula* wild type and *raz* mutant plants. Plant Science 168(4):1015-22.

Mahmud K, Missaoui A, Lee K, Ghimire B, Presley HW and Makaju S, 2021. Rhizosphere microbiome manipulation for sustainable crop production. Current Plant Biology 27:100210.

Mastouri F, Björkman T and Harman GE, 2012. *Trichoderma harzianum* enhances antioxidant defense of tomato seedlings and resistance to water deficit. Molecular Plant-Microbe Interactions 25(9):1264-71.

Mishra P, Mishra J and Arora NK, 2021. Plant growth promoting bacteria for combating salinity stress in plants–Recent developments and prospects: A review. Microbiological Research. 252:126861.

Musin KG, Gumerova GR, Baimukhametova EA and Kuluev BR, 2022. Growth and stress resistance of tobacco Hairy Roots with Constitutive Expression of ARGOS-LIKE Gene. Russian Journal of Plant Physiology. 69(5):92.

Nasri M, Khalatbari M, 2015. The effect of different values of nitrogen, potassium and zinc fertilizers on physiological characteristics of green bean (*Phaseolous vulgaris* gen. Sunray) in Iran. In Biological Forum 2:467-472). Research Trend.

Pedranzani HE, Gutiérrez M, Molina Arias SM, Zapico MZ and Ruiz-Lozano JM. 2021. Arbuscular mycorrhiza interaction with Medicago sativa plants: Study of abiotic stress tolerance in sustainable agriculture. Advances in Investigation of Agropecuaria 25(3):26-40.

Plenchette C, Fortin JA and Furlan V, 1983. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. Plant and Soil 70(2):199-209

Poveda J, 2020. *Trichoderma parareesei* favors the tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) to salinity and drought due to a chorismate mutase. Agronomy 10(1):118.

Pradhan PC, Mukhopadhyay A, Kumar R, Patanjali N, Kundu A, Kamil D, Bag TK, Aggarwal R, Bharadwaj C and Singh A, 2022. Performance evaluation of a novel dustable powder formulation of *Trichoderma viride* for seed treatment against Fusarium wilt in chickpea. Indian Phytopathology 75(4):1055-63.

Rajput VD, Minkina T, Kumari A, Harish, Singh VK, Verma KK, Mandzhieva S, Sushkova S, Srivastava S and Keswani C, 2021. Coping with the challenges of abiotic stress in plants: New dimensions in the field application of nanoparticles. Plants 10(6):1221.

Rezaloo Z, Shahbazi S and Askari H, 2019. Induction of resistance related responses of *Phaseolus vulgaris* to *Rhizoctonia solani* by bio-fungicides. Crop Biotechnology 9(26):65-79.

Rezaloo Z, Tohidloo G and shahbazi S, 2018. Study of yield, vegetative traits and seed germination of pinto bean produced from biopriming with *Trichoderma*. Research Journal of Agriculture and Plant Breeding 14(2): 39-47.

Rudresh DL, Shivaprakash MK and Prasad RD, 2005. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). Applied Soil Ecology 28(2):139-46.

Salimi NT, Seraj F, Pirdashti H and Yaghoubian Y, 2014. The effect of seed biopriming by *Piriformospora indica* and *Trichoderma virens* on the growth, morphological and physiological parameters of mung bean (*Vigna radiate* L.) seedlings. Iranian Journal of Seed Science and Research 1(2): 67-78. (In Persian with English abstract)

Sani MN, Hasan M, Uddain J and Subramaniam S, 2020. Impact of application of *Trichoderma* and biochar on growth, productivity and nutritional quality of tomato under reduced NPK fertilization. Annals of Agricultural Sciences 65(1):107-15.

Santander C, Ruiz A, García S, Aroca R, Cumming J and Cornejo P, 2020. Efficiency of two arbuscular mycorrhizal fungal inocula to improve saline stress tolerance in lettuce plants by changes of antioxidant defense mechanisms. Journal of the Science of Food and Agriculture 100(4):1577-87.

Savich VI, Artikova HT, Nafetdinov SS and Salimova KH, 2021. Optimization of plant development in case of soil salinization. The American Journal of Agriculture and Biomedical Engineering 3(02):24-9.

Senger M, Urrea-Valencia S, Nazari MT, Vey RT, Piccin JS and Martin TN, 2023. Evaluation of *Trichoderma asperelloides*-based inoculant as growth promoter of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.): A field-scale study in Brazil. Journal of Crop Science and Biotechnology 26(3):255-63.

Sofy M, Mohamed H, Dawood M, Abu-Elsaoud A and Soliman M, 2022. Integrated usage of *Trichoderma harzianum* and biochar to ameliorate salt stress on spinach plants. Archives of Agronomy and Soil Science 68(14):2005-26.

Sogoni A, Jimoh MO, Kambizi L and Laubscher CP, 2021. The impact of salt stress on plant growth, mineral composition, and antioxidant activity in *Tetragonia decumbens* mill.: An underutilized edible halophyte in south Africa. Horticulturae 7(6):140.

Soltabayeva A, Ongaltay A, Omondi JO and Srivastava S, 2021. Morphological, physiological and molecular markers for salt-stressed plants. Plants 10, 243.

Stasz TE, Harman GE, Weeden NF, 1988. Protoplast preparation and fusion in two biocontrol strains of *Trichoderma harzianum*. Mycologia 80(2):141-50.

Tripathi R, Keswani C and Tewari R, 2021. *Trichoderma koningii* enhances tolerance against thermal stress by regulating ROS metabolism in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. Journal of Plant Interactions 16(1):116-25.

Yang J, Kloepper JW and Ryu CM, 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. Trends in plant science. 14(1):1-4.

Zhang X, Zhang L, Ma C, Su M, Wang J, Zheng S and Zhang T, 2022. Exogenous strigolactones alleviate the photosynthetic inhibition and oxidative damage of cucumber seedlings under salt stress. Scientia Horticulturae 297:110962.

Zhao S, Zhang Q, Liu M, Zhou H, Ma C and Wang P, 2021. Regulation of plant responses to salt stress. International Journal of Molecular Sciences 22(9):4609.