



# تأثیر ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد بر پاسخ‌های بیوشیمیایی گندم تحت تنش کم آبی در مرحله ساقه‌رفتن

اسماعیل بخشنده<sup>۱\*</sup>، اشرف رمضانپور احمدچالی<sup>۲</sup>، فاطمه حسینی سنه‌کوری<sup>۳</sup>، نجمه میرزاآقاپور<sup>۴</sup>، محجوبه اسماعیل‌زاده مریدانی<sup>۵</sup>، سید حمیدرضا هاشمی پطرودی<sup>۶</sup>

<sup>۱\*</sup> گروه زراعت و اصلاح برنج، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری  
<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری  
<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری  
<sup>۴</sup> کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران  
<sup>۵</sup> دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه گیلان، گیلان  
<sup>۶</sup> گروه مهندسی ژنتیک و بیولوژی، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

## نتایج و بحث

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس تمامی صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمارهای تلقیح قرار گرفتند (جدول ۱). همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تلقیح باکتریایی سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسیددیسموگاز نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح) شد (جدول ۱). به عبارت دیگر، تلقیح جداگانه باکتری *B. subtilis* و تلقیح ترکیبی به ترتیب سبب افزایش ۶۹/۰ و ۵۵/۲ درصدی آنزیم کاتالاز و ۵۰/۰ و ۲۰/۱ درصدی سوپراکسیددیسموگاز نسبت به شاهد شدند اما بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول‌پراکسیداز تأثیری مشابهی داشته و هر دو تیمار در یک گروه آماری قرار داشتند. علاوه بر این، در بین تیمارهای مورد مطالعه، تلقیح جداگانه باکتری *B. subtilis* با کاهش ۵۶/۲ درصدی فعالیت مالون‌دی‌آلدئید و ۴۸/۷ درصدی پراکسیددهیدروژن بیشترین تأثیر را بر کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و بهبود شرایط ناشی از تنش را داشت.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثر باکتری افزایش‌دهنده رشد *Bacillus subtilis* و *Ensifer sp.* بر صفات بیوشیمیایی گندم (رقم احسان) تحت تأثیر تنش کم آبی در مرحله ساقه‌رفتن.

منابع تغییرات	درجه آزادی	کاتالاز	گایاکول‌پراکسیداز	سوپراکسیددیسموگاز	پروکسیداز	مالون‌دی‌آلدئید	پراکسیددهیدروژن
باکتری افزایش‌دهنده رشد	۳	۰/۳۰۴**	۹/۳۵۷**	۰/۰۵۳**	۰/۱۷۱**	۱۴/۳۲**	۰/۱۵۷**
ضریب تغییرات (درصد)	-	۷/۰۲	۵/۰۵	۹/۰۷	۶/۳۱	۶/۳۹	۱۰/۹
تیمارها	واحد آنزیمی	واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه					
شاهد (بدون تلقیح)	۱/۰۶۷ <sup>c</sup>	۱۱/۲۴ <sup>b</sup>	۰/۶۴۴ <sup>b</sup>	۲/۰۹۹ <sup>b</sup>	۲/۰۰۰ <sup>a</sup>	۱/۰۵۱ <sup>a</sup>	
<i>Bacillus subtilis</i>	۱/۸۰۴ <sup>b</sup>	۹/۳۰۲ <sup>c</sup>	۰/۹۶۶ <sup>a</sup>	۶/۱۸۵ <sup>a</sup>	۰/۴۳۸ <sup>d</sup>	۰/۵۳۹ <sup>c</sup>	
<i>Ensifer sp.</i>	۱/۵۲۲ <sup>b</sup>	۱۳/۳۷ <sup>a</sup>	۰/۷۶۶ <sup>b</sup>	۶/۶۸۸ <sup>a</sup>	۰/۶۹۵ <sup>b</sup>	۰/۹۷۰ <sup>a</sup>	
( <i>B. subtilis</i> + <i>Ensifer sp.</i> )	۱/۶۵۷ <sup>b</sup>	۱۰/۱۰ <sup>c</sup>	۰/۷۷۷ <sup>b</sup>	۶/۴۷۹ <sup>a</sup>	۰/۵۷۷ <sup>c</sup>	۰/۷۶۵ <sup>b</sup>	

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

نتایج مشابهی نشان داد که تلقیح باکتری *B. Amyloliqefaciens* در گیاه ارزن دم‌روباهی موجب افزایش درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهی، میزان پروکسیداز، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و سوپراکسیددیسموگاز و کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید شد. ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد با تولید ACC دی‌آمیناز اثرات ناشی از تنش کم آبی را کاهش داده و از این طریق موجب بقاء، رشد و توسعه گیاه می‌شوند. همچنین، تحت تنش خشکی شدید تلقیح باکتری *B. Subtilis* در گیاه *Solanum tuberosum* توانسته فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، سوپراکسیددیسموگاز و گایاکول‌پراکسیداز را به ترتیب ۶۸، ۶۳ و ۵۱ درصد نسبت به گیاهان بدون تلقیح افزایش دهد. بنابراین، تقویت فعالیت آنتی‌اکسیدانی یکی از سازوکارهای است که ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد از این طریق موجب افزایش تحمل گیاه میزبان در شرایط تنش می‌شوند.

## منابع

Esmailzadeh-Moridani, M., Esfahani, M., Aalami, A., Moumeni, A., and Khaledian, M. (2022). Profiling the physiological response of upland and lowland rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to water deficit. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 25(3): 289-300. doi:10.1007/s12892-021-00131-3.

Kasim, W.A., Osman, M.E., Omar, M.N., and Salama, S. (2021). Enhancement of drought tolerance in (*Triticum aestivum* L.) seedlings using (*Azospirillum brasilense* NO40) and (*Stenotrophomonas maltophilia* B11). *Bulletin of the National Research Centre* 45(1): 95. doi:10.1186/s42269-021-00546-6.

Yaghoobian, Y., Goltapeh, E.M., Pirdashti, H., Esfandiari, E., Feiziasl, V., Dolatabadi, H.K., Varma, A., and Hassim, M.H. (2014). Effect of (*Glomus mosseae*) and (*Piriformospora indica*) on growth and antioxidant defense responses of wheat plants under drought stress. *Agricultural Research* 3(3): 239-245. doi:org/10.1007/s40003-014-0114-x.

## چکیده

این مطالعه به منظور بررسی تأثیر چهار سطح تلقیح با باکتری (*Ensifer sp.*, *Bacillus subtilis*) (بدون تلقیح) بر رشد گندم تحت تنش کم آبی در مرحله ساقه‌رفتن به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار هدفگذاری شده است. طبق نتایج، تلقیح باکتری بر تمامی صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده اثر معناداری داشت. به طوری که تلقیح جداگانه باکتری *Ensifer sp.*، *B. subtilis* و تیمار ترکیبی به ترتیب موجب افزایش ۶۹، ۴۲/۶، ۵۵/۲ درصدی آنزیم کاتالاز، و کاهش ۵۶/۲، ۳۰/۵، ۴۲/۳ درصدی محتوای مالون‌دی‌آلدئید نسبت به شرایط شاهد (بدون تلقیح) شدند. در مجموع، ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد با افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌توانند تأثیر بسزایی در بهبود رشد و عملکرد گندم در شرایط تنش کم آبی ایفا نمایند.

## مقدمه

گندم با نام علمی (*Triticum aestivum* L.) نقش کلیدی در امنیت غذایی جهان دارد. این گیاه به عنوان یکی از گسترده‌ترین غلات کشت شده در سراسر جهان با بیش از ۲۱۵ میلیون هکتار سطح زیرکشت با تولید سالانه بیش از ۷۵۰ میلیون تن می‌باشد. با رشد جمعیت جهان و تشدید الگوهای ناپایدار اقلیمی، تضمین تولید پایدار گندم بیش از هر زمان دیگری ضروری است. کمبود آب که بیش از ۴۰ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار داده، یکی از بزرگترین چالش‌های تولید این محصول به شمار می‌رود. کسر آب قابل تعرق خاک (FTSW) رایج‌ترین روش پایش آب خاک می‌باشد که طبق آن پایین‌ترین حد رطوبت قابل استفاده خاک به عنوان میزان آبی در نظر گرفته می‌شود که تعرق گیاهان طی روند تدریجی خشک شدن خاک، به کمتر از ۱۰ درصد گیاهان آبیاری کامل برسد. همچنین، آستانه تعرق برای اکثر گونه‌های گیاهی در بسیاری از شرایط، در دامنه FTSW برابر با ۰/۳ تا ۰/۴ گزارش شده است. استفاده از باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه (PGPR) می‌تواند از طریق مجموعه‌ای از سازوکارهای مختلف رشد گیاه میزبان را در زمان رویارویی تنش خشکی به طور مؤثری بهبود بخشد. در همین راستا کاربرد باکتری *Bacillus pumilus* باعث افزایش طول ریشه، انباشت متابولیت‌ها و تقویت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شده و در عین حال تولید پراکسیددهیدروژن و رادیکال سوپراکسید را کاهش داد بنابراین بررسی نقش باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد در بهبود آسیب‌های حاصل از کمبود آب بر صفات بیوشیمیایی از جمله اهداف پژوهش حاضر می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۱ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح تلقیح باکتری، تلقیح جداگانه *Ensifer sp.*، *Bacillus subtilis*، ترکیبی (*B. subtilis* + *Ensifer sp.*) و شاهد (عدم تلقیح باکتری) بر رشد گندم (رقم احسان) تحت شرایط تنش کم آبی تدریجی در مرحله ساقه‌رفتن بود. در این آزمایش از گلدان‌هایی با ظرفیت هفت کیلوگرم خاک استفاده شد. متناسب با نتایج آزمون خاک به هر گلدان پنج گرم کود NPK به نسبت ۲۰:۲۰:۲۰ اضافه شد. صد میلی‌لیتر از سوسپانسیون تیمارهای باکتری مورد نظر با جمعیت ۱۰<sup>۷</sup> کلونی در میلی‌لیتر طی دو مرحله قبل و بعد از کشت به هر گلدان اضافه شد. در هر گلدان شش بذر کشت شد و در مرحله سه برگی به سه گیاهچه با خصوصیات ظاهری مشابه تنک شد. برای جلوگیری از خروج آب از گلدان‌های بدون زهکش و جهت جلوگیری از تبخیر سطحی خاک از پرلیت استفاده گردید. برای آبیاری، ظرف آب معدنی ۵۰۰ میلی‌لیتری به صورت وارونه در هر گلدان تعبیه شد. گلدان‌ها تا قبل از شروع تنش (اوایل مرحله ساقه‌رفتن (۷۰ روز بعد از کاشت)؛ زمان پیدایش اولین گره بر روی ساقه) در شرایط مطلوب آبیاری (در حد ظرفیت زراعی) نگهداری شدند. پس از شروع اعمال تنش در اوایل مرحله ساقه‌رفتن، گلدان‌ها روزانه با ترازوی الکترونیکی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و مقدار کاهش وزن گلدان به عنوان تعرق روزانه ثبت شد با افزودن آب تعرق یافته به صورت روزانه، رطوبت خاک گلدان‌های تحت آبیاری کامل (بدون تنش) در حد ظرفیت زراعی حفظ شد. انتهای مرحله تنش زمانی در نظر گرفته شد که میزان تعرق به ۱۰ درصد تعرق روز اول پس از شروع تنش برسد. در انتهای مرحله تنش (۱۴ روز بعد)، برای اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی جمع‌آوری نمونه‌برگی به روش پیشنهادی شده توسط یعقوبیان و همکاران (۲۰۱۴) توسط انجام شد.