نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال دوازدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۱/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۶۳ تا ۷۵

اثر تلفیقی مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد مولد اکسین و تریپتوفان بر رشد گندم در شرایط تنش رطوبتی

اسماعیل کریمی[۱*]، زهرا محمدی[۲] و عزت اله اسفندیاری[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲)

چکیده

اکسین تولید شده توسط باکتری‌های محرک رشد در ریزوسفر گندم می‌تواند به بهبود عملکرد آن در شرایط بروز تنش کم‌آبی کمک کند. با توجه به وقوع تنش‌های کم‌آبی در کشور و تأثیر سوء آن بر عملکرد گندم، جهت بررسی این موضوع آزمایشی گلخانه‌ای به روش هیدروپونیک به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با تیمارهایی شامل دو نوع باکتری محرک رشد (*Bacillus simplex* 40، *Bacillus simplex* 52)، دو سطح رطوبتی (۵۰ و ۸۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در پرلیت) و دو سطح تریپتوفان (کاربرد و عدم کاربرد) در سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در دانشگاه مراغه طراحی شد. نتایج به‌دست آمده نشان دادند که در شرایط تنش رطوبتی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کاربرد تریپتوفان بدون مایه‌زنی باکتریایی باعث افت ۵ درصد عملکرد ماده خشک گندم شد. مایه‌زنی باکتری *Bacillus simplex* 40 بدون کاربرد تریپتوفان در حالی باعث افزایش ۲۵ درصد این صفت شد، که افزودن تریپتوفان باعث کاهش ۱۷ درصد عملکرد این صفت نسبت به این تیمار شد. تحت شرایط تنش فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمارهای مایه‌زنی شده با باکتری *Bacillus simplex* 40 نسبت به شاهد ۳۳ درصد و فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز ۲/۳ برابر افزایش فعالیت داشت. از این رو، با استناد به یافته‌های این پژوهش به لحاظ فیزیولوژیکی باکتری مذکور توانست با بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی در شرایط بروز تنش اکسیداتیو منتج از تنش رطوبتی باعث بهبود عملکرد ماده خشک شود. کاربرد تریپتوفان تأثیر چشمگیری بر افت عملکرد داشت که می‌توان این موضوع را ناشی از زیادی کاربرد غلظت آن ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ایجاد اختلال هورمونی در گندم دانست.

واژه‌های کلیدی: اکسین میکروبی، وزن خشک برگ، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز

۱ و ۲. به‌ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه مراغه، مراغه ایران
۳. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: sm_ka80@yahoo.com

مقدمه

مطابق برآوردهای انجام شده در حدود ۴۰ درصد از اراضی کره زمین در مناطق نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند که خشکسالی و تنش ناشی از آن مهم‌ترین و رایج‌ترین تهدید محیطی محسوب شده و با کاهش تولید محصولات کشاورزی امکان به‌خطر افتادن امنیت غذایی مردم در این مناطق را افزایش می‌دهد (۱۲). استفاده از پتانسیل باکتری‌های محرک رشد گیاهان برای حفظ و تولید بهینه محصولات کشاورزی، از جمله گندم، در شرایط کمبود آب از سوی دانشمندان کشاورزی به‌دلیل ارزانی و پاسخ‌دهی سریع، یکی از راهکارهای مطرح شده است که احتمال می‌رود با تغییرات هورمونی در گیاه، بهبود عملکرد سازوکارهای دفاعی گیاه، افزایش تجمع اسمولیت‌ها و یا ترشح پلیمرهای خارج سلولی توسط باکتری، سبب سازگاری بیشتر گیاهان به خشکی شوند (۲۱ و ۲۴). باکتری‌های محرک رشد گیاه انواع هورمون‌ها مانند آبسیزیک اسید، اتیلن، جیبرلین، اکسین، سیتوکینین و سالسیلیک اسید را تولید می‌کنند، که می‌توانند رشد گیاه را به‌صورت مستقیم تحت تأثیر قرار دهند (۲ و ۲۰). تولید هورمون اکسین در بین سازوکارهای مذکور بسیار مورد توجه است چرا که اکسین رابطه قابل توجهی با توسعه سیستم ریشه گیاه در شرایط تنش‌های محیطی مانند کم‌آبی داشته و تغییر در متابولیسم آن نقش مهمی در تغییرات وابسته به تنش در مورفولوژی ریشه بازی می‌کند (۱۵). تنش کم‌آبی سبب کاهش تولید اکسین و افزایش تولید اتیلن و آبسزیک اسید درونی در گیاهان زراعی می‌شود. برای کاهش اثرات تنش کم‌آبی، گیاهان متحمل مقدار اکسین درونی خود را افزایش می‌دهند (۱). گزارش شده است که کاربرد خارجی تریپتوفان سبب افزایش سطوح درونی اکسین شده، بنابراین به‌طور غیرمستقیم سبب افزایش بقای گیاه در شرایط تنش کم‌آبی می‌شود (۲۲ و ۲۳)، تریپتوفان پیش‌ماده ساخت اکسین است. اکسین یک نقش کلیدی اما غیر مستقیم در افزایش تحمل به تنش کم‌آبی دارد زیرا با شکستن غالبیت انتهایی سبب القا تشکیل ریشه‌های جدید می‌شود. همچنین سبب افزایش فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای، مقدار تعرق و کارایی کربوکسیلاسیون در گیاهان زراعی تحت تنش کم آبی می‌شود (۱۶).

بالغ بر ۸۰ درصد باکتری‌های ریزوسفری قادر به تولید اکسین هستند (۳). میزان تولید اکسین در ریزوسفر به نوع باکتری، گیاه میزبان و وجود تریپتوفان به‌عنوان پیش‌ماده ساخت اکسین بستگی داشته و تغییرپذیری تولید آن در پاسخ به این عوامل به‌ویژه تریپتوفان می‌تواند به‌عنوان یک نکته مهم و کاربردی در زمینه بهره‌برداری از این متابولیت میکروبی بسیار مورد توجه قرار گیرد (۳۱). مصطفی و همکاران (۱۸) معتقدند که تحت شرایط تنش، تریپتوفان با تنظیم باز و بسته شدن روزنه سبب مقاومت گیاه به تنش می‌شود. بنابراین سبب کاهش افت آب به‌وسیله تعرق و کمک به حفظ فشار آماس گیاه برای حفظ فتوسنتز در شرایط تنش می‌شود. گزارش شده است که کاربرد تریپتوفان به میزان ۱۵ میلی‌گرم در لیتر سبب تحمل گیاهچه‌های ذرت به تنش کم‌آبی شده است. محتوای نسبی رطوبت، شاخص پایداری غشا، مقدار کلروفیل و مقدار عنصر پتاسیم گیاه ذرت در مقایسه با گیاهان تیمار نشده افزایش یافت (۲۲). حسن و بانو (۱۰) در طی آزمایشی اثر کاربرد اسید آمینه تریپتوفان به میزان ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در تولید اکسین به همراه باکتری *Pseudomonas* بر گیاه گندم را مثبت ارزیابی کردند و مشاهده کردند که ارتفاع بوته، وزن تر برگ، وزن خشک برگ و میزان کلروفیل در برگ‌ها افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد داشته است. نوید و همکاران (۱۹) در آزمایش مشابهی بر گیاه ذرت با استفاده از مقدار 10^{-5} مولار تریپتوفان به همراه باکتری محرک رشد افزایش قابل‌توجهی را در ارتفاع بوته، زیست توده خشک اندام هوایی، زیست توده خشک ریشه و مقدار عنصر غذایی نیتروژن در گیاه نسبت به شاهد گزارش کردند. همچنین، اعتصامی و همکاران (۹) با کاربرد باکتری ریزوبیوم به همراه تریپتوفان به مقدار ۱ گرم در کیلوگرم بر روی گیاه گندم در شرایط تنش آزمایشی را انجام دادند و افزایش معنی‌دار در تیمارهای اعمال شده نسبت به شاهد در مقدار عناصر غذایی پرمصرف نظیر نیتروژن، پتاسیم و فسفر، وزن خشک ریشه و اندام هوایی نتیجه گرفتند. هیدرولیز پروتئین‌های

موجود در ماده آلی خاک عمده‌ترین و در برخی مواقع به‌صورت جزئی ترشحات ریشه گیاه میزبان از منابع تامین تریپتوفان در خاک هستند. مصطفی و همکاران (۱۸) معتقدند که محدودیت در تأمین تریپتوفان در اثر کمبود ماده آلی خاک یا ترشح محدود از ریشه گیاه، عامل اصلی کاهش تولید اکسین توسط ریزوباکتری‌ها بوده و کاربرد خارجی تریپتوفان را در رفع موانع یاد شده مؤثر می‌دانند. با عنایت به اینکه ماده آلی خاک منبع اصلی تأمین تریپتوفان مورد نیاز برای بیوسنتز اکسین توسط ریزوباکتری‌ها بوده و میزان ماده آلی بخش قابل توجهی از خاک‌های کشور کمتر از نیم درصد است، احتمال محدودیت در عرضه این اسید آمینه دور از انتظار نیست. لذا با عنایت به نقش پراهمیت اکسین میکروبی در ایجاد مقاومت به تنش کم‌آبی که معضل عمده کشور ناشی از شرایط اقلیمی آن است، در این پژوهش تلاش شد تا اثر کاربرد خارجی تریپتوفان بر تولید اکسین توسط باکتری‌های یاد شده با هدف شناخت اولیه از الگوی رفتاری باکتری انتخاب شده و اثرگذاری آنها بر رشد و نمو گندم در شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی شده بررسی شود.

مواد و روش‌ها

انتخاب باکتری‌ها

در این مطالعه باکتری‌های آزادزی 40 *Bacillus simplex*، *Bacillus simplex* 52 که بر اساس مطالعه کریمی و همکاران (۱۳) دارای توان تولید اکسین در محیط کشت LB حاوی ۵mM تریپتوفان و در حضور ترشحات ریشه گندم به علاوه ۵mM تریپتوفان بودند، استفاده شد. باکتری‌های مذکور از ریشه گرامینه‌های غیر زراعی شامل گیاهان چچم (*Lolium temulentum*)، یولاف وحشی (*Avena fatua*)، جومیش (*Bromus tectorum*)، جوموشک (*Hordeum murinum*) و علف گندمی ریشک‌دار (*Agropyron caninum*) جداسازی، خالص‌سازی و شناسایی ژنتیکی شده بودند (۱۳) و در آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشگاه مراغه نگهداری می‌شدند. به‌منظور مایه‌زنی بذور گندم، یک لوپ از اسلنت حاوی باکتری در ۲۵۰ میلی‌لیتر محیط کشت TSB مایه‌زنی شده و پس از رسیدن تراکم باکتری، به میزان 10^8 سلول در میلی‌لیتر (تخمین با روش مک فارلند)، سوسپانسیون باکتریایی در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. رسوب حاصل، به آرامی در ۲۵۰ میلی‌لیتر محلول کلرید سدیم ۰/۱ درصد، مجددا سوسپانسیون شده و برای بذر مال کردن بذور استفاده شد (۱۳).

کشت و مطالعات گلخانه‌ای

آزمایش گلدانی به‌صورت کنترل شده از نظر شرایط محیطی، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در چهار تکرار در اتاق کشت آزمایشگاه بیولوژی دانشگاه مراغه (۴۶/۲۷۳۵° N,۳۷/۳۷۷۸ °E) در حضور نور با شدت ۲۰۰۰۰ لوکس و دمای ۲± ۲۸ درجه سانتی‌گراد به اجرا درآمد. تیمارهای ۱۲ گانه مورد مطالعه در ۳ تکرار عبارت بودند از: ۱- باکتری‌ها در سه سطح و شامل بدون مایه‌زنی، *Bacillus simplex* 40 (B1)، *Bacillus simplex* 52 (B2)، ۲- اسید آمینه تریپتوفان (شرکت مرک، کشور آلمان) در دو سطح: عدم کاربرد و کاربرد آن با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر که به‌ترتیب با علایم اختصاری TRP- و TRP+ نام‌گذاری شدند و ۳- سطوح آبی شامل ۸۰ و ۵۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در پرلیت مورد استفاده که به‌ترتیب با علائم اختصاری W0 و W1 بیان می‌شوند. مایه‌زنی باکتریایی به‌صورت بذرمال و افزودن تریپتوفان همراه با محلول هوگلند انجام شد. رطوبت گلدان‌ها نیز به شکل وزنی و با ترازوی دقیق انجام شد.

بذور گندم کوهدشت جهت ضدعفونی به مدت ۱۰ دقیقه در هیپوکلرید سدیم ۵ درصد غوطه‌ور شده و با آب مقطر استریل سه بار شستشو شدند. پس از آن به مدت ۴۵ ثانیه با الکل ۷۰ درصد مجددا ضدعفونی و سپس با آب مقطر استریل دوباره به‌طور کامل آبکشی شدند. این بذور پس از اعمال تیمارهای باکتریایی به‌صورت بذرمال با تراکم ۷ بذر در گلدان‌های یک کیلویی محتوی پرلیت استریل، کشت شدند. برای آبیاری گیاهچه‌های حاصل تا اتمام ذخایر بذر از محلول

یک دوم هوگلند و با رسیدن گیاهچه‌ها به مرحله ۳ برگی (مرحله ۱۳ بر اساس کد زادکس) از محلول هوگلند کامل استفاده شد. همزمان با این عمل اعمال تیمارهای رطوبتی با روش وزنی و با استفاده از ترازو شروع و تا آخر آزمایش (مرحله ۹۵ بر اساس کد زادکس) ادامه یافت. کاربرد تریپتوفان بعد از بلوغ برگ دوم و ظهور برگ سوم در مرحله ۱۳ بر اساس کد زادکس شروع و به فواصل زمانی ۱۰ روز و در طی مدت آزمایش ۳ بار تکرار شد.

بعد از ظهور سنبله، نمونه‌برداری از تیمارها انجام و ارتفاع بوته، وزن‌تر و خشک برگ، ساقه و سنبله اندازه‌گیری شدند.

استخراج و سنجش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز

جهت استخراج آنزیم کاتالاز و آنزیم گایاکول پراکسیداز، ۰/۵ گرم از نمونه برگی با استفاده از هاون چینی سرد و نیتروژن مایع هموژن شده و سپس به آن ۵ میلی‌لیتر از بافرفسفات سرد (pH=7.5) محتوی EDTA ۰/۵ میلی‌مولار اضافه گشت. هموژن‌ها پس از انتقال به لوله‌های آزمایش در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد (۱۹). استخراج آنزیم آسکوربات پراکسیداز مشابه آنزیم‌های ذکر شده بود با این تفاوت که به محلول استخراج، پلی وینیل پیرولیدین (۵ درصد، وزنی–حجمی) و آسکوربات ۲ میلی‌مولار اضافه گشت. اندازه‌گیری آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز به‌ترتیب طبق روش ابی (۲)، تانک و تانگ و نیوتن (۲۷) انجام شد. همچنین، میزان پروتئین محلول با روش برادفورد (۸) اندازه‌گیری شد.

اندازه گیری میزان مالون دی آلدهید

برای اندازه‌گیری میزان مالون دی آادهید از روش هیس و پارکر استفاده شد (۱۱). برای این منظور ۰/۱ گرم برگ تازه در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید ۰/۱ درصد سائیده شد. عصاره‌ی حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۱۵۰۰۰، سانتریفیوژ شد. ۲۵۰ میکرولیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ با ۷۵۰ میکرولیتر محلولی که حاوی تری کلرو استیک اسید۲۰ درصد و تیوباربیتوریک اسید ۰/۵ درصد بود، مخلوط شد. مخلوط حاصل ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در حمام آبی قرار داده شد. سپس بلافاصله در یخ سرد شده و دوباره به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۱۵۰۰۰ سانتریفیوژ شد. میزان جذب این محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر، خوانده شد. جذب بقیه رنگیزه‌های غیر اختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از مقدار حاصل کسر شد. برای محاسبه میزان مالون دی آلدئید، از ضریب خاموشی معادل $155 Mm^{-1} Cm^{-1}$ استفاده شده و به صورت نانومول بر گرم وزن تر برگ گزارش شد.

تجزیه آماری

داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش پس از آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTATC تجزیه آماری شدند. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

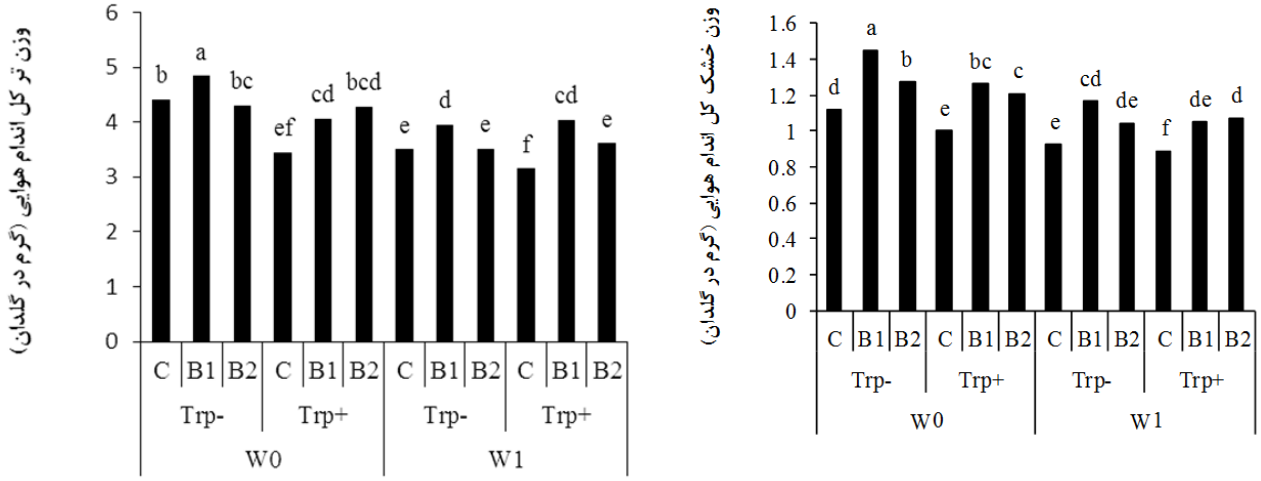
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثرات برهم‌کنش رطوبت × تریپتوفان × باکتری بر وزن خشک کل اندام هوایی، وزن خشک برگ، وزن خشک سنبله، وزن تر برگ و وزن‌تر سنبله در سطح احتمال یک درصد و بر وزن خشک ساقه، وزن تر کل اندام هوایی گندم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد.

کاربرد تریپتوفان به‌تنهایی به‌ترتیب باعث افت ۱۰ و ۵ درصد عملکرد ماده خشک گندم در شرایط رطوبتی ۸۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با تیمارهای شاهد شد. بیشترین میزان ماده خشک گندم با ۲۷ درصد افزایش در شرایط ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و به میزان ۲۵ درصد در شرایط ۵۰ درصد ظرفیت زراعی متعلق به مایه‌زنی باکتری B1 بود که تلفیق آن با افزودن تریپتوفان به‌ترتیب موجب افت ۲۰ درصد و

جدول ۱. تجزیه واریانس اثرات تیمار های اصلی و برهمکنش آنها بر برخی از صفات گیاه گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات												
		وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	وزن خشک سنبله	مساحت برگ پرچم	طول ساقه	وزن‌تر کل اندام هوایی	وزن‌تر ساقه	وزن‌تر برگ	وزن تر سنبله	کاتالاز	گایاکول پراکسیداز	غلظت مالوندی‌آلدئید	عدد اسپد (کلروفیل)
باکتری	۲	۰/۱۲**	۰/۰۲**	۰/۰۵**	۰/۰۰**	۱۱/۵ns	۵/۴۸ns	۰/۳۸**	۰/۱۳**	۰/۴۰**	۰/۱۱**	۰/۰۰**	۲/۰۵**	۹/۵۷ns	۱۲/۳ns
تریپتوفان	۱	۰/۰۶**	۰/۰۳**	۰/۰۰ns	۰/۰۱**	۱/۶۸ns	۷۰/۳**	۰/۲۴**	۰/۲۵**	۰/۲۷**	۰/۰۱ns	۰/۰۰**	۰/۰۰ns	۱۶۹**	۲/۶۱ns
رطوبت	۱	۰/۵۲**	۰/۰۶**	۰/۱۴**	۰/۰۱**	۹۰/۱**	۵/۷۳ns	۰/۲۵**	۴/۶۹**	۰/۷۲**	۰/۵۶**	۰/۰۰**	۰/۲۷ns	۳۸۰**	۳۱/۹ns
تریپتوفان×باکتری	۲	۰/۱۸**	۰/۰۰*	۰/۰۶**	۰/۰۱**	۸/۴۲ns	۴/۲۶ns	۰/۴۸**	۰/۰۲ns	۰/۰۱ns	۰/۴۷**	۰/۰۰ns	۰/۵۰*	۱۳/۹ns	۱/۲۶ns
رطوبت × باکتری	۲	۰/۰۵**	۰/۰۰*	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۲/۱۶ns	۱۰/۸*	۰/۰۸ns	۰/۰۱ns	۰/۱۴**	۰/۰۱ns	۰/۰۰**	۰/۵۷*	۶/۴۰ns	۱۶/۱ns
تریپتوفان×رطوبت	۱	۰/۰۱ns	۰/۰۰ns	۰/۰۰ns	۰/۰۰*	۶/۵۶ns	۰/۶۰ns	۰/۸۹**	۰/۱۰*	۰/۱۲**	۰/۰۷**	۰/۰۰ns	۰/۲۱ns	۳۹۲**	۳/۰۵ns
رطوبت×تریپتوفان × باکتری	۲	۰/۰۲**	۰/۰۰*	۰/۰۱**	۰/۰۰**	۰/۲۸ns	۰/۴۶ns	۰/۱۶*	۰/۰۱ns	۰/۰۵**	۰/۰۴**	۰/۰۰ns	۰/۱۹ns	۰/۵۰ns	۱/۵۰ns
خطای باقیمانده	۳۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۵/۶۳	۲/۵۹	۰/۰۵	۲۵/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۱۲	۷/۵۶
ضریب تغییرات (درصد)	–	۴/۶	۶/۸	۹/۴	۱۰/۳	۱۰/۶	۹/۰	۵/۷	۱۲/۷۵	۶/۷	۸/۷	۱۲/۷	۱۳/۴	۲۹	۲۷

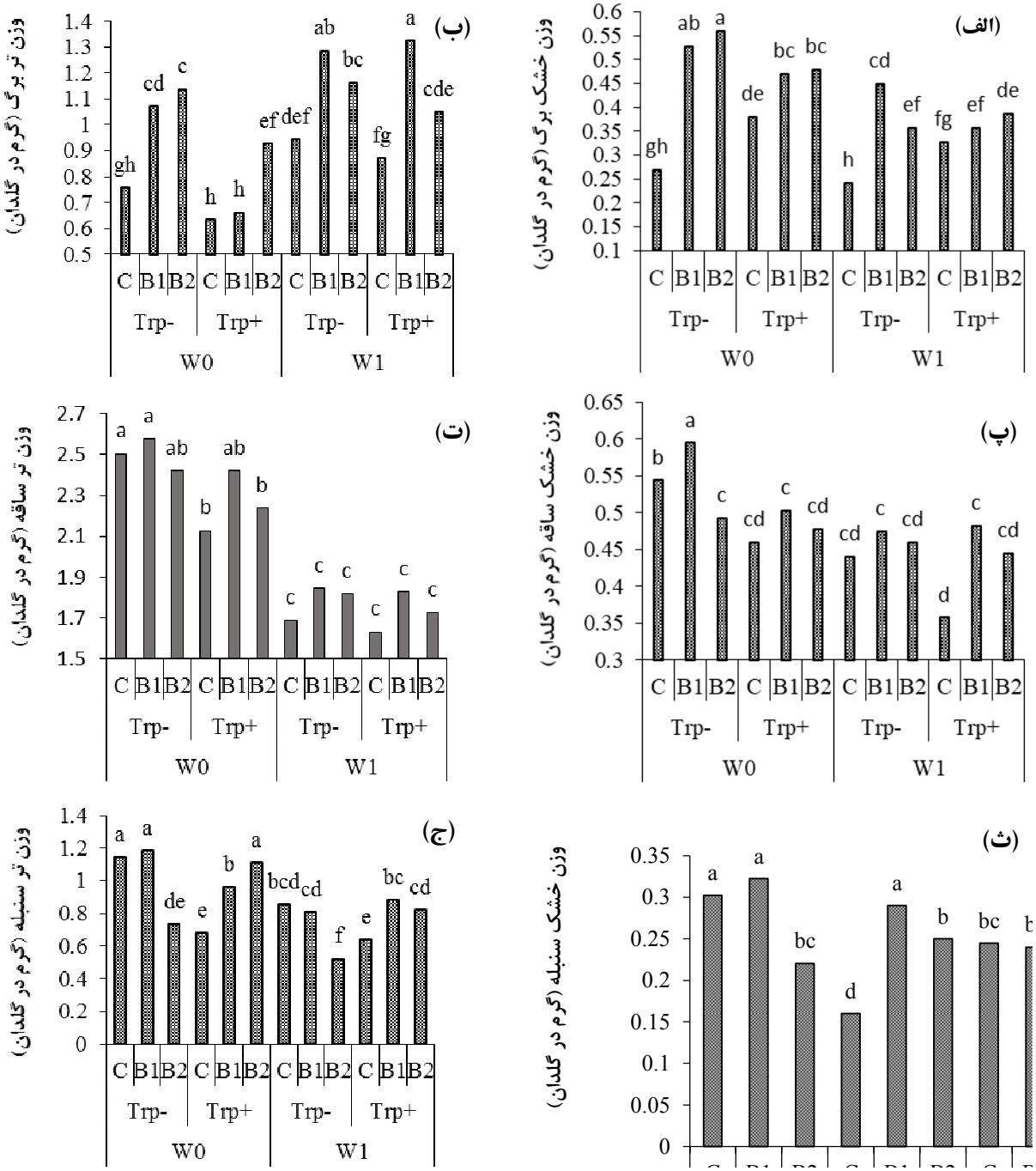
ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم وجود تغییرات معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند.



شکل ۱. تأثیر مایه‌زنی باکتری بر میانگین وزن تر و خشک برگ (گرم در گلدان) در رطوبت‌های مختلف در حضور و عدم حضور تریپتوفان. W0 معادل با ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و W1 معادل با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، (Trp–) و (Trp+) به‌ترتیب بیانگر غلظت صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تریپتوفان، C تیمار بدون مایه‌زنی باکتریایی، B1 باکتری (*Bacillus simplex*, 40-1) و B2 باکتری (*Bacillus simplex*,52-2). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار هستند.

۱۷ درصد عملکرد ماده خشک گندم در مقایسه با این تیمار در شرایط رطوبتی مذکور شد. عملکرد ماده خشک گندم در تیمار مایه‌زنی با باکتری B2 در شرایط مختلف رطوبتی در اثر کاربرد یا عدم کاربرد تریپتوفان تغییری نیافت (شکل ۱). وزن‌تر کل اندام هوایی در شرایط رطوبتی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد تریپتوفان ۲۹ درصد کاهش یافت. مایه‌زنی باکتریایی B1 باعث افزایش ۹ درصد و تلفیق این تیمار با افزودن تریپتوفان باعث کاهش ۱۶ درصد عملکرد وزن تر در قیاس با مایه‌زنی باکتری B1 شد. در شرایط تنش رطوبتی کاربرد تریپتوفان باعث افت ۱۱ درصد عملکرد وزن تر شد. همچنین در طول این شرایط مایه‌زنی باکتریایی B1 باعث افزایش ۱۲ درصدی عملکرد وزن تر گندم شد.

تفکیک عملکرد ماده خشک کل به وزن برگ و ساقه و سنبله نشان داد (شکل ۲) که در شرایط ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای کاربرد تریپتوفان باعث افزایش ۲۸ درصد و مایه‌زنی باکتریایی (هر دو باکتری) به‌طور متوسط باعث افزایش ۹۰ درصد وزن خشک برگ شد. کاربرد تلفیقی تریپتوفان به همراه مایه‌زنی باکتریایی نیز به‌طور متوسط باعث افزایش ۷۰ درصد وزن خشک برگ شد. در شرایط ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای کاربرد تریپتوفان باعث افزایش ۲۵ درصد، مایه‌زنی با باکتری B1 موجب افزایش ۸۰ درصد و باکتری B2 باعث افزایش ۳۱ درصد وزن خشک برگ در مقایسه با تیمار شاهد شدند (شکل ۲- الف). وزن تر برگ در اثر کاربرد تریپتوفان در شرایط ۸۰ درصد ظرفیت زراعی ۱۶ درصد کاهش یافت. مایه-زنی باکتریایی توانست ۳۰ درصد این صفت را افزایش دهد که در اثر افزودن تریپتوفان ۳۹ درصد کاهش یافت. کاربرد تریپتوفان با باکتری B2 نیز باعث افت ۱۹ درصد وزن تر برگ شد. در شرایط تنش رطوبتی کاربرد تریپتوفان تأثیری بر عملکرد وزن تر برگ نداشت ولی مایه‌زنی باکتریایی به‌طور متوسط توانست ۲۰ درصد وزن تر برگ را افزایش دهد (شکل ۲- ب). وزن خشک ساقه در شرایط رطوبتی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با افزودن تریپتوفان در مقایسه با تیمار شاهد ۱۵ درصد کاهش یافت. مایه‌زنی باکتری B1 و B2 به‌ترتیب باعث افزایش ۲۲ درصد و ۷ درصد این صفت شدند. کاربرد تلفیقی مایه‌زنی باکتریایی به‌همراه افزودن تریپتوفان باعث کاهش وزن خشک ساقه شد (شکل ۲- پ). کاربرد تریپتوفان باعث کاهش



شکل ۲. تأثیر مایه‌زنی باکتری بر میانگین وزن خشک برگ (الف)، وزن تر برگ (ب)، وزن خشک ساقه (پ)، وزن تر ساقه (ت)، وزن خشک سنبله (ث) و وزن تر سنبله (ج) در رطوبت‌های مختلف در حضور و عدم حضور تریپتوفان. W0 معادل با ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و W1 معادل با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، (-Trp) و (+Trp) به‌ترتیب بیانگر غلظت صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تریپتوفان، C تیمار بدون مایه‌زنی باکتریایی، B1 باکتری (*Bacillus simplex, 40*) و B2 باکتری (*Bacillus simplex,52*).
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار هستند.

۱۴ درصد وزن تر ساقه در شرایط نرمال رطوبتی شد. سایر تیمارها بر این صفت بی‌تأثیر بودند (شکل ۲- ت). وزن خشک سنبله در شرایط نرمال رطوبتی با کاربرد تریپتوفان ۹۰ درصد کاهش یافت. مایه‌زنی باکتری B1 بر این صفت بی‌تأثیر بوده ولی مایه‌زنی باکتری B2 باعث کاهش ۲۷ درصد این صفت شد. هیچ یک از تیمارهای آزمایشی تأثیری بر وزن خشک سنبله در شرایط ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با شاهد نداشتند (جدول ۲- ث). افزودن تریپتوفان در شرایط نرمال و تنش رطوبتی باعث کاهش وزن تر سنبله در مقایسه با تیمار شاهد مربوطه شد. مایه زنی باکتریایی موجب تغییر تاثیر تریپتوفان بر این صفت شد (شکل ۲- ج).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) همچنین نشان داد که از میان تیمارهای آزمایشی مساحت برگ پرچم فقط تحت تأثیر تیمارهای رطوبتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده و تنش کم‌آبی سبب کاهش ۸ درصد مساحت برگ پرچم نسبت به شاهد شد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند) و مقادیر آن در شرایط ۸۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب عبارت بودند از: ۲۳/۸ و ۲۱ سانتی‌متر. تأثیر تیمارهای آزمایشی بر عدد اسپد (کلروفیل) در شرایط این آزمایش معنی‌دار نبود (جدول ۱). هنگام رویارویی گیاه با تنش کم‌آبی، سیگنال هورمونی اسید آبسیزیک باعث بسته شدن روزنه‌های برگ می‌شود. با بسته شدن روزنه، تعرق از برگ‌های گیاه کاهش می‌یابد. تعرق عامل خنک شدن گیاه بوده و باعث کشیدن آب و عناصر غذایی از خاک به داخل گیاه می‌شود. بنابراین تنش بلند مدت با کاهش ظرفیت گیاه در تنظیم دمای گیاه سبب می‌شود که گیاهان کمبود آب و عناصر غذایی را تجربه کرده و ممکن است فتوسنتز را کاهش دهند. کاهش فتوسنتز و پیری زودرس اندام‌های فتوسنتز باعث کاهش تولید ماده خشک و عملکرد بیولوژیک شده و همین امر باعث می‌شود تا سایر اجزای عملکرد نیز تحت تاثیر قرار گیرند (۱ و ۲۶). بنابراین به‌نظر می‌رسد که میزان اسید آبسیزیک در کنترل این امر بسیار مهم است. بر طبق نتایج تامور و همکاران (۲۶) مایه‌زنی باکتریایی و کاربرد تلفیقی تریپتوفان در غلظت یک میکروگرم بر لیتر باعث افزایش هورمون‌های آبسیزیک و ایندول استیک در برگ‌ها شده و عملکرد گندم را در شرایط تنش شوری بهبود می‌بخشد. برطبق بررسی‌های تسوکانوا و همکاران (۲۸)، نقش باکتری‌های محرک رشد در توزیع آسیمیلات‌ها در قسمت‌های مختلف گیاهان با تأثیر آنها بر همئوستازی هورمون‌های گیاهی مرتبط بوده و با ایجاد تغییرات در میزان تولید هورمونهای گیاهی اتفاق می‌افتد. که می‌تواند به‌عنوان دلیلی برای تغییرات مشاهده شده در وزن قسمت‌های مختلف گندم در تیمارهای این مطالعه در نظر گرفته شود.

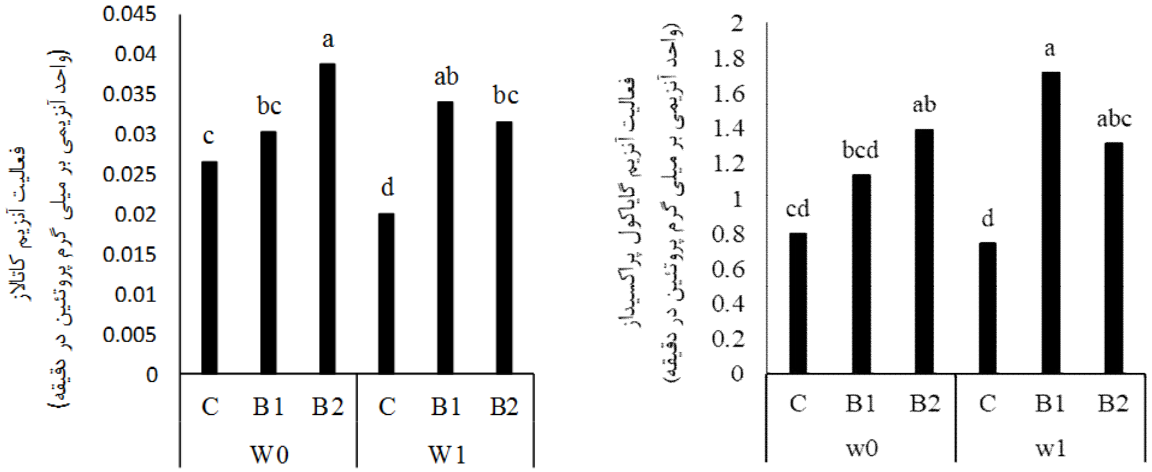
آنزیم‌های آنتی اکسیدان و میزان مالون دی آلدئید

فعالیت آنزیم کاتالاز و گایاکول پراکسیداز تحت تأثیر اثرات متقابل رطوبت در باکتری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. تحت شرایط تنش بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمارهای مایه‌زنی شده با باکتری‌های B1 و B2 با مقدار متوسط ۰/۰۳ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه نسبت به شاهد با مقدار ۰/۰۲، ۳۳ درصد افزایش یافت. همچنین، بیشترین میزان آنزیم گایاکول پراکسیداز با مقدار متوسط ۱/۵ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه نیز در تیمارهای مذکور مشاهده شد که نسبت به شاهد ۲/۳ برابر افزایش فعالیت داشت (شکل ۳).

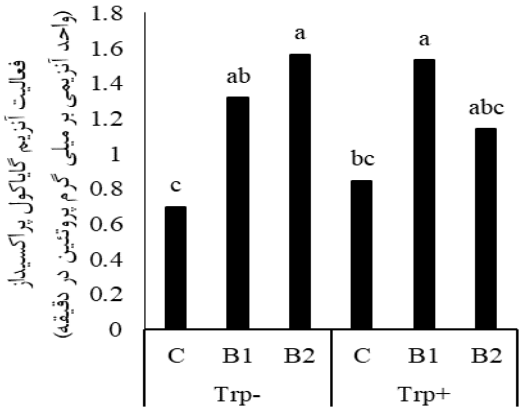
همچنین، در خصوص آنزیم کایاگول پراکسیداز اثر متقابل کاربرد تریپتوفان و مایه‌زنی باکتریایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و کاربرد تریپتوفان باعث افزایش فعالیت این آنزیم در تیمار مایه‌زنی با باکتری B1 شد (شکل ۴).

بررسی غلظت مالون دی آلدئید نشان داد که اثر برهم‌کنش رطوبت و کاربرد تریپتوفان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده و کاربرد تریپتوفان بر غلظت آن در شرایط تنش بی اثر بوده و در شرایط نرمال نیز باعث افزایش ۱۰۰ درصد تولید آن در مقایسه با شاهد شد (شکل ۵).

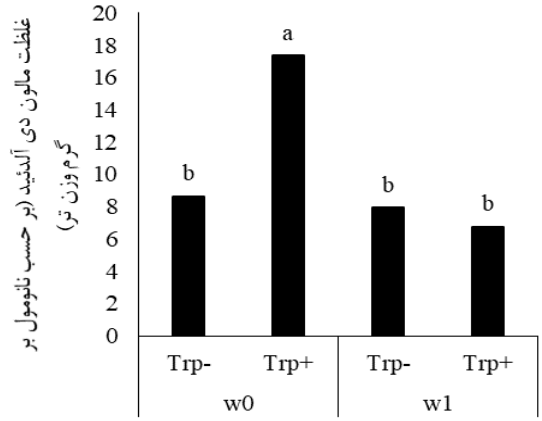
کاربرد باکتری *Bacillus edaphicus* توانسته است جذب پتاسیم را در شرایط کمبود این عنصر و همچنین، تنش فلزات



شکل ۳. مقایسه میانگین تأثیر مایه‌زنی باکتریایی بر میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاگول پراکسیداز (واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در رطوبت‌های مختلف، W0 معادل با ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و W1 معادل با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، (-Trp) و (+Trp) به ترتیب بیانگر غلظت صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تریپتوفان، C تیمار بدون مایه‌زنی باکتریایی و شاهد، B1 باکتری (*Bacillus simplex* 40) و B2 باکتری (*Bacillus simplex* 52). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار هستند.



شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر مایه‌زنی باکتریایی بر میزان فعالیت آنزیم گایاگول پراکسیداز (واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در اثر افزودن تریپتوفان، (Trp–) و (Trp+) به‌ترتیب بیانگر غلظت صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تریپتوفان، C تیمار بدون مایه‌زنی باکتریایی و شاهد، B1 باکتری (*Bacillus simplex* 40) و B2 باکتری (*Bacillus simplex* 52). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار هستند.



شکل ۵. مقایسه میانگین تأثیر کاربرد تریپتوفان بر غلظت مالون دی آلدئید در رطوبت‌های مختلف، W0 معادل با ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و W1 معادل با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، (Trp–) و (Trp+) به‌ترتیب بیانگر غلظت صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تریپتوفان. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار هستند.

سنگین به‌ترتیب در کتان و کلزا بهبود بخشیده و با تقویت سیستم آنتی اکسیدانی باعث رشد آنها شود (۶). مطالعه اسپرنگر و همکاران (۲۵) نشان داد که کاربرد باکتری محرک رشد می‌تواند جوانه‌زنی، رشد و توسعه ریشه، وزن خشک ریشه و ساقه، شاخص سطح برگ، محتوای کلروفیل، میزان پروتئین و جذب عناصر را در سیب زمینی متأثر سازد.

تامور و همکاران (۲۶) گزارش کردند که مایه‌زنی گندم با باکتری ودوموناس می‌تواند به‌ترتیب ۵۷ و ۵۹ درصد فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز را در شرایط تنش افزایش دهد که در حضور تریپتوفان مجددا ۲۹ درصد افزایش بیشتری نشان دادند. بر طبق گزارش این پژوهشگران در شرایط مشابه باکتری *Bacillus cereus* توانست فعالیت کاتالاز را ۴۴ درصد و فعالیت پراکسیداز را ۹۶ درصد افزایش دهد، افزودن تریپتوفان به‌همراه این باکتری منجر افزایش ۵۵ درصد در فعالیت کاتالاز و افزایش ۱۶ درصد در شرایط تنش شوری شد. آنها دلیل این افزایش را با افزایش تجمع پرولین درشرایط فوق مرتبط دانستند. یاسمین و همکاران (۳۰) گزارش کردند که مایه‌زنی باکتری‌های *Bacillus pumilus* و *Pseudomonas* به ذرت در شرایط تنش رطوبتی به‌ترتیب باعث افزایش ۱۳۵، ۱۲۸ و ۱۳۵ درصد فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش رطوبتی شده است. افزودن تریپتوفان در غلظت $۲/۳ \times ۱۰^{-۳}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک منجر به افزایش عملکرد آنزیم‌های مذکور شد. در شرایط تنش کم‌آبی در طی فرایندهای متعددی تولید انواع اکسیژن فعال صورت می‌گیرد که منجر به بروز تنش اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی می‌شود. در این حالت سازوکارهای دفاعی گیاه که از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و آنتی‌اکسیدان‌ها تشکیل شدند، فعال شده و از ساختارهای حیاتی گیاه در این شرایط حمایت می‌کنند (۱). مطالعات انجام شده توسط واردهارجولا و همکاران (۲۹) نشان داده است که مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد منجر به بهبود عملکرد فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شده و در نهایت سازگاری گیاه به تنش خشکی را افزایش داده است. در آزمایشی مشابه با تیمارهای این آزمایش تامور و همکاران (۲۶) نشان دادند که مایه‌زنی باکتری‌های *Pseudomonas sp* و *Bacillus cereus* می‌توانند در شرایط تنش شوری عملکرد گندم را افزایش دهند، در تیمارهای باکتریایی جذب عناصر غذایی، منیزیم، کلسیم، آهن، فسفر و نیترات نسبت به شاهد افزایش یافته بود. همچنین وزن تر گیاه، محتوای کلروفیل در برگ‌ها، میزان پرولین و قند در برگ‌ها، میزان هورمون‌های اسید آبسیزیک و ایندول استیک اسید در برگ‌ها نیز نسبت به شاهد افزایشی بود. افزودن تریپتوفان به تیمارهای باکتریایی فوق در غلظت یک میکروگرم بر لیتر عملکرد بهتری را در بر داشت. هر چند افزودن تریپتوفان به تنهایی نیز منجر به بهبود شرایط گیاه در مقایسه با شاهد شد اما تلفیق با مایه‌زنی باکتریایی نتایج بهتری را در پی داشت.

تنش خشکی معمولاً باعث افزایش اکسیداسیون چربی‌ها (میزان مالون دی آلدئید) می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد که از بین تیمارهای آزمایشی اثر برهم‌کنش تریپتوفان × رطوبت بر آن معنی‌دار بوده و کاربرد تریپتوفان در شرایط نرمال رطوبتی باعث افزایش غلظت مالون دی آلدئید شد. در شرایط تنش رطوبتی تیمارهای آزمایشی نتوانستند میزان این صفت را تغییر دهند. بر طبق یافته های بتول و همکاران (۵) مایه‌زنی گوجه فرنگی با باکتری *Bacillus Subtilis* سویه HAS31 موجب کاهش میزان مالون دی آلدئید در شراط تنش رطوبتی شده است. ارشد و همکاران (۴) اثر کاربرد غلظت‌های مختلف تریپتوفان $۱۰^{-۷}$ تا $۱۰^{-۱}$ گرم بر کیلوگرم خاک را بر گیاه کتان مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنها نشان داد که در تمامی غلظت‌های مورد مطالعه عملکرد ماده خشک در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. بیشترین میزان ماده خشک با مقدار گرم بر گیاه به میزان ۶۱/۵ در تیمار $۱۰^{-۶}$ تریپتوفان در مقابل ۴۹/۲ در تیمار شاهد به‌دست آمد. این پژوهشگران دلیل افزایش عملکرد را با تبدیل تریپتوفان به اکسین توسط جمعیت میکروبی ریزوسفر و اثرات مثبت اکسین مرتبط دانستند. علاوه بر این جذب مستقیم تریپتوفان توسط گیاه و تبدیل آن به اکسین از دلایل دیگر این پژوهشگران عنوان شد. مارتنز و همکاران (۱۷)

با نشان‌دار کردن تریپتوفان و کاربرد خاکی آن تبدیل آن به اکسین را اثبات کردند.

نکته دیگری که بایستی به آن توجه داشت تأثیر افزایشی غلظت بالای اکسین بر میزان تولید اتیلن است (۷) و همین امر می‌تواند به کاهش عملکرد در گیاهان بر اثر افزودن اکسین خارجی مد نظر قرار گیرد، اما با توجه به اینکه باکتری‌های مورد مطالعه در این تحقیق دارای توان تجزیه آمینوسیکلوپروپان به عنوان پیش ماده تولید اتیلن بودند (۱۳) اظهار نظر در خصوص آن نیازمند مطالعات تکمیلی خواهد بود.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس یافته‌های این پژوهش مایه‌زنی باکتری‌های *Bacillus simplex* 40 و *Bacillus simplex* 52 در شرایط بدون تنش رطوبتی و تنش رطوبتی توانستند عملکرد ماده خشک گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهند. *Bacillus simplex* 40 عملکرد بهتری نسبت به *Bacillus simplex* 52 داشت. افزودن تریپتوفان در غلظت مورد استفاده در این پژوهش چه به تنهایی و چه همراه با تلفیق مایه‌زنی باکتریایی منجر به کاهش عملکرد در مقایسه با شاهدهای مربوطه شد. با توجه به ارتباط بین تولید اکسین و تریپتوفان می‌توان این امر را ناشی از زیادی تولید اکسین عنوان کرد. بنابراین، این غلظت برای تریپتوفان توصیه نمی‌شود. راهکارهای زیستی همسو با محیط زیست و کشاورزی پایدار بوده و آینده خوبی را برای کره زمین رقم خواهند زد، لذا پیشنهاد می‌شود مطالعات مشابه با استفاده از یافته‌های این پژوهش مورد آزمون قرار بگیرند.

منابع مورد استفاده

1. Abdoli, M., M. Saeidi, S. Jalali-Honarmand and M. Azhand. 2013. The effect of foliar application of Indole-3-Acetic Acid (IAA) and roles of ear photosynthesis on grain yield production of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) under post anthesis water deficit. *International Journal of Sciences*: *Basic and Applied Research* 4: 1406-1413.
2. Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. *Methods in Enzymology* 105: 121-126.
3. Ahemad, M. and M. Kibret. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *Journal of King Saud University Science* 26: 1-20.
4. Arshad, M., H. Altaf and S. Abdul. 1995. Effect of soil applied L□tryptophan on growth and chemical composition of cotton .Journal *of Plant Nutrition* 18: 317-329.
5. Batool, T., S. Ali and M. F. Seleiman. 2020. Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. *Scientific Reports* 10: 16975.
6. Beckers, G. J. and U. Conrath. 2007. Priming for stress resistance: from the lab to the field. *Current Opinion in Plant Biology* 10: 425-431.
7. Bottcher, C., C. A. Burbidge and P. K. Boss. 2013. Interactions between ethylene and auxin are crucial to the control of grape (*Vitis vinifera* L.) berry ripening. *BMC Plant Biology* 13: 222.
8. Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry* 72: 248-254.
9. Etesami, H., H. A. Alikhani and A. A. Akbari. 2009. Evaluation of plant growth hormones production (IAA) ability by Iranian soils rhizobial strains and effects of superior strains application on wheat growth indexes. *World Applied Science Journal* 6: 1576-1584.
10. Hassan, T. and A. Bano. 2015. The stimulatory effects of L-tryptophan and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on soil health and physiology of wheat. *Journal of soil science and plant nutrition* 15: 190-201.
11. Heath, R. L. and L. Packer. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 125: 189-198.
12. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Cambridge.
13. Islam, S., A. M. Akanda, A. Prova, M. T. Islam and M. M. Hossain. 2016. Isolation and identification of plant growth promoting rhizobacteria from cucumber rhizosphere and their Effect on plant growth promotion and disease suppression. *Frontiers in Microbiology* 6: 1360.

14. Karimi, E., N. Aliasgharzad, M. R. Neyshabouri and E. Esfandiari. 2019. Isolation, molecular identification, and assessing plant growth promoting activities of biofilm forming bacteria from gramineae rhizosphere in north west of Iran. *Applied Soil Research* 7: 14-28.
15. Khan, N., S. Ali, H. Tariq, S. Latif, H. Yasmin, A. Mehmood and M. A. Shahid. 2020. Water conservation and plant survival strategies of rhizobacteria under drought stress. *Agronomy* 10: 1683.
16. Kumar, B., D. M. Pandey, C. L. Goswami and S. Jain. 2001. Effect of growth regulators on photosynthesis, transpiration and related parameters in water stressed cotton. *Biologia Plantarum* 44: 475-478.
17. Martens, D. A. and W. T. Frankenberger. 1992. Assimilation of 3'-14C-indole-acetic acid and tryptophan by wheat varieties from nutrient media. In: Proceedings 19th Annual Meeting. Plant Growth Regulator Society of America. San Francisco, CA. pp. 99-100.
18. Mustafa, A., M. Imran, M. Ashraf and K. Mahmood. 2018. Perspectives of using L-tryptophan for improving productivity of agricultural crops: A review. *Pedosphere* 28: 16-34.
19. Naveed, M., M. A. Qureshi, Z. A. Zahir, M. B. Hussain, A. Sessitsch and B. Mitter. 2015. L-Tryptophan-dependent biosynthesis of indole-3-acetic acid (IAA) improves plant growth and colonization of maize by *Burkholderia phytofirmans* PsJN. *Annals of microbiology* 65: 1381-1389.
20. Pavlova, A., M. Leontieva, T. Smirnova, G. N. Kolomeitseva and A. Tsavkelova. 2017. Colonization strategy of the endophytic plant growth-promoting strains of *Pseudomonas fluorescens* and *Klebsiella oxytoca* on the seeds, seedlings and roots of the epiphytic orchid, *Dendrobium nobilelindl*. *Journal of Applied Microbiology* 123: 217-232.
21. Prasad, M., R. Srinivasan, M. Chaudhary and L. K. Jat. 2019. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) for Sustainable Agriculture. Elsevier, Amsterdam.
22. Rao, S. R., A. Qayyum, A. Razzaq, M. Ahmad, I. Mahmood and A. Sher. 2012. Role of foliar application of salicylic acid and l-tryptophan in drought tolerance of maize. *Journal of Animal and Plant Sciences* 22: 768-772.
23. Sairam, R., K. Veerabhadra Rao and G. C. Srivastava. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* 163: 1037-1046.
24. Selvakumar, G., P. Panneerselvam and A. N. Ganeshamurthy. 2012. Bacterial Mediated Alleviation of Abiotic Stress in Crops. pp. 205–224. In: Bacteria in Agrobiology: Stress Management. Springer, Berlin.
25. Sprenger, H., E. Alexander, S. Sylvia, R. Katharina, T. Anja, L. Mai, W. Dirk and K. Dirk. 2018. Metabolite and transcript markers for the prediction of potato drought tolerance. *Plant Biotechnology Journal* 16: 939-950.
26. Tamoor, U. H. and A. Bano. 2014. Role of plant growth promoting rhizobacteria and L-tryptophan on improvement of growth, nutrient avail-ability and yield of wheat (*Triticum aestivum*) under salt stress. *International Journal of Academic and Applied Research* 4: 30-39.
27. Tang, W. and R. J. Newton. 2005. Polyamines reduce salt-induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine. *Plant Growth Regulation* 46: 31-43.
28. Tsukanova, K. A., V. K. Chebotar, J. J. M. Meyer, T. N. Bibikova. 2017. Effect of plant growth-promoting Rhizobacteria on plant hormone homeostasis. *South African Journal of Botany* 113: 91-102.
29. Vardharajula, S., A. S. Zulfikar, M. Grover, G. Reddy and V. Bandi .2011. Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus* spp., effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. *Journal of Plant Interaction* 6: 1-14.
30. Yasmin, H., A. Nosheen, R. Naz, A. Bano and R. Keyani. 2017. L-tryptophan-assisted PGPR-mediated induction of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Interactions* 12: 567-578.
31. Zhao, Y., 2010. Auxin biosynthesis and its role in plant development. *Annual Review of Plant Biology* 61: 49-64.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 12, No. 2, Summer 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Co-Application of Auxin-Producing Plant Growth Promoting Bacteria and Tryptophan on Wheat Growth under Water Stress Conditions

E. Karimi[1*], Z. Mohammadi[2], and E. Esfandiari[3]

(Received: May 12-2021; Accepted: January 12-2022)

Abstract

Auxin produced by plant growth-promoting bacteria (PGPR) in the wheat rhizosphere, can improve plant yield under water deficit stress condition. To investigate this issue, a completely randomized factorial design with three replications was conducted under greenhouse condition at the University of Maragheh, Eastern-Azarbayjan, Iran during 2019. Treatments were two types of growth-promoting bacteria (*Bacillus simplex* 40*, Bacillus simplex* 52); two moisture levels (50% and 80% of water holding capacity in perlite) and two levels of tryptophan (0 mg L^{-1} and 100 mg L^{-1}). Under the condition of 50% of water holding capacity, the application of tryptophan without bacterial inoculation decreased wheat dry matter yield by 5%. Inoculation of *Bacillus simplex* 40 in the absence of tryptophan led to 25% increase in wheat dry matter yield while application of tryptophan reduced the trait by 17%. Under the stress condition, catalase enzyme activity increased by 33% and guaiacol peroxidase activity increased by 2.3% in inoculation treatments compared to control treatments. In conclusion, bacterial inoculation was able to increase wheat dry matter yield by improving the wheat antioxidant system under drought-induced oxidative stress. Furthermore, the decrease in wheat dry matter in the presence of tryptophan treatment may be attributed to probable hormonal disorders in wheat caused by high concentration of applied tryptophan.

Keywords: Microbial auxin, Leaf dry weight, Catalase, Guaiacol peroxidase

1, 2. Assistant Professor and Former MSc Students, Respectively, Department of Soil Science and Engineering, Maragheh University, Maragheh, Iran.
3. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Maragheh University, Maragheh, Iran.
*: Corresponding Author, Email: sm_ka80@yahoo.com