تاثیر کاربرد کود فسفر، باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ گلوموس *موسه آ* و اثرات تلفیقی آن‌ها بر فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی اکسیدان، خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه گندم در شرایط دیم

رحیم ناصری[۱*]، مهرشاد براری[۱]، محمدجواد زارع[۱]، کاظم خاوازی[۲] و زهرا طهماسبی[۱]

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

به منظور بررسی اثر باکتری *سودوموناس* و قارچ میکوریزا بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و خصوصیات فیزیولوژیکی گندم در شرایط دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مکان در مزرعه دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام و ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل رقم گندم در دو سطح (کراس‌سبلان و ساجی) و تیمار منابع کودی در هشت سطح شامل: ۱- عدم مصرف کود شیمیایی فسفر، ۲- ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، ۳- باکتری *سودوموناس پوتیدا* (*Pseudomonas putida* (PSB))، ۴-*قارچ گلوموس موسه* (*Glomus mosseae* (GM))، ۵- PSB+GM ، ۶- PSB+GM + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، ۷- PSB +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۸-GM+ ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر بودند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدان و خصوصیات فیزیولوژیکی تاثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشت. به طوری که رقم ساجی در تیمار GM+ ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر موجب افزایش فعالیت‌های آسکوربات پراکسیداز (۱۴/۶ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)، پراکسیداز (۱۵/۴ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین)، سوپر اکسید دسموتاز (۲۳/۶ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین)، کلروفیل a (۴۴/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b (۴۳/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، میزان پرولین (۴/۵ میلی‌مول بر گرم وزن تر)، محتوای آب نسبی (۷۱/۳ درصد)، کارآیی مصرف آب (۶/۳ کیلوگرم بر میلی‌متر آب) و موجب کاهش میزان مالون دی آلدئید (۱۸ نانومول بر گرم وزن تر برگ) گردید و رقم کراس‌سبلان در تیمار شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی فسفر) دارای کمترین فعالیت‌های آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، سوپر اکسید دسموتاز و رنگیزه‌های فتوسنتزی بود. بنابراین با گزینش ارقام مناسب و پاسخ‌ده به منابع کودهای زیستی می‌توان با بالا بردن میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی سبب بهبود رشد و عملکرد دانه شد.

واژه‌های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز، پرولین، پراکسیداز، سوپراکسید دسموتاز، کارآیی مصرف آب، کلروفیل.

---

* نگارنده مسئول: *rahim.naseri@gmail.com* تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۷

مقدمه

فسفر یکی از عناصر مهم در تغذیه گیاهی بوده و پس از نیتروژن بیشترین مصرف را در دنیا دارد، اما به دلیل شیمی پیچیده فسفر در خاک، تقریبا ۲۰ درصد مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد و ۸۰ درصد آن در خاک تثبیت شده و به شکل غیر قابل دسترس گیاه تجمع می‌یابد (سپهر و همکاران، ۱۳۸۸). تأمین فسفر مورد نیاز گیاه به طور معمول از طریق استفاده از کودهای شیمیایی انجام می‌شود، با وجود این، مقادیر زیادی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی بعد از ورود به خاک نامحلول شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (منصوری، ۱۳۹۲). از طرفی رفتار خاص عنصر فسفر در اغلب خاک‌ها، هم خاک‌های آهکی و هم خاک‌های اسیدی ایجاب می‌نماید که جهت حفظ تولید، همه ساله کودهای حاوی فسفر مصرف شوند، ولی ناکامی این روش به دلیل پیچیدگی شیمی فسفر از یک طرف و دلایل زیست محیطی و اقتصادی از طرف دیگر در دو دهه اخیر (سپهر و همکاران، ۱۳۸۸) باعث شده تا توجه ویژه‌ای به قابلیت‌های ذاتی و متنوع موجودات خاکزی و به‌ویژه ریزجانداران در راستای سیاست کشاورزی پایدار مبذول شود. یکی از مهمترین و کاربردی‌ترین زمینه‌های مورد تحقیق در مطالعات مذکور، تلاش برای تولید کودهای زیستی می‌باشد (حسن‌پور و زند، ۱۳۹۳).

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد مانند باکتری‌های جنس ازتوباکتر، *آزوسپیریلوم* و *سودوموناس* ، گروه ویژه‌ای از میکروارگانیسم‌های خاک هستند که با فعالیت در سطح و یا داخل ریشه باعث افزایش رشد و کارآیی جذب آب و مواد غذایی گیاه می‌شوند (قربان‌پور و همکاران، ۱۳۹۳، آزادی و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از مهمترین روابط همزیستی در عالم حیات که در طی دوره تکامل به وجود آمده است، همزیستی میکوریزا می‌باشد که در آن، ریشه گیاه با قارچ به صورت یک واحد زنده فعالیت می‌کنند و از یکدیگر سود برده و به رشد یکدیگر کمک می‌کنند (قبولی و همکاران، ۱۳۹۰؛ آقابابائی و همکاران، ۱۳۹۰).

گزارش‌های متعددی در خصوص تغییرات فیزیولوژیکی ناشی از فعالیت زیستی در ریزوسفر گیاهان گزارش شده است. سونگ (۲۰۰۵) اظهار داشت که در اثر مایه‌زنی قارچ میکوریزا، محیط اطراف ریشه گیاه، سیستم ریشه‌ای توسعه و بهبود جذب آب و عناصر غذایی، سیستم دفاعی گیاه میزبان تقویت شده و موجب کاهش تنش گرما می‌گردد. چاکرابورتی و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که سطوح آنتی اکسیدانتی در گندم در تیمارهای مایه‌زنی شده با باکتری‌های افزاینده رشد زیاد می‌شود. افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دسموتاز در گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا در سایر گزارش‌ها نیز عنوان شده است (علی و همکاران، ۲۰۰۵؛ خلف الله و همکاران، ۲۰۰۸). شارما و دبی (۲۰۰۵) و تورکان و همکاران (۲۰۰۵) در گزارش‌های خود نشان دادند که اکسیژن‌های فعال باعث تخریب ماکرومولکول‌ها و پراکسیداسیون لیپیدهای غشا می‌شوند. گیاهان جهت مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از انواع اکسیژن فعال دارای فعالیت ضد اکسنده آنزیمی و غیر آنزیمی می‌باشند. ضد اکسنده‌های غیر آنزیمی شامل آب دوست‌ها (گلوتاتیون و آسکوربیک اسید) و

چربی دوست‌ها (توکوفرول و کاروتنوئیدها) می‌باشند. ضد اکسنده‌های آنزیمی شامل سوپراکسید دیسموتاز که واکنش تبدیل رادیکال سوپر اکسید را به پراکسید هیدروژن کاتالیز می‌کند. کاتالاز، آسکوربیت پراکسیداز و پراکسیداز که پراکسید هیدروژن تشکیل شده را به آب احیا می‌کنند (میتلر، ۲۰۰۲). با توجه به کاهش رشد و عملکرد دانه گندم دیم، با بررسی نقش باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر عملکرد دانه گندم تحت شرایط دیم می‌توان به نتایجی مفیدی دست یافت. از آنجا که تحقیقاتی در مورد کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر گندم دیم در کشور و به‌ویژه در استان ایلام گزارش نشده است، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و صفات فیزیولوژیکی گندم دیم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، خصوصیات فیزیولوژیکی و رشد گندم در شرایط دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مکان در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام (با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا برابر با ۱۱۷۴ متر) و ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله (با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و با طول جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه و ارتفاع ۹۷۵ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل رقم گندم در دو سطح (کراس‌سبلان و ساجی) و تیمار منابع کودی در هشت سطح شامل: ۱- عدم مصرف کود شیمیایی فسفر، ۲- ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، ۳- باکتری *سودوموناس پوتیدا* (*pseudomonas putida* (PSB))، ۴- *قارچ گلوموس موسه* (*Glomus mosseae* (GM))، ۵- PSB+GM ، ۶- PSB+GM + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، ۷- PSB +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۸- GM + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر بودند. ابعاد هر کرت ۸ مترمربع، تعداد خطوط ۸ ردیف و طول هر ردیف ۴ متر و فاصله هر تکرار ۱ متر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایش شامل هشت خط کاشت با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و طول ۴ متر در نظر گرفته شد. باکتری‌های حل کننده فسفات (باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۶۸) و قارچ میکوریزا (قارچ *گلوموس موسه*) مورد استفاده در این پژوهش از موسسه خاک و آب کرج تهیه گردید. قبل از کاشت گندم، به میزان هفت گرم مایه مایه‌زنی که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری سودوموناس زنده و فعال (مرادی و همکاران، ۱۳۹۰) و قارچ میکوریزا که هر گرم آن دارای ۱۵۰ اسپور زنده، بذرمال شده و پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور مایه‌زنی شده در شیارهای ایجاد شده انداخته و با خاک پوشانده شدند. مقدار بذر مصرفی برای هر هکتار ۱۲۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد. کودهای نیتروژن و فسفر بر اساس آزمون خاک (جدول ۱) مورد استفاده قرار گرفتند. کود نیتروژن به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در دو مرحله (در هنگام

کاشت و شروع ساقه‌دهی) به زمین داده شد. درمورد کود فسفره ۵۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل ۱۰۰٪ کود توصیه شده در زمان کاشت مصرف گردید. آمار هواشناسی محل مورد آزمایش در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است.

دو هفته بعد از گرده افشانی، مصادف با پر شدن دانه در مرحله آبکی (مرحله ۷۱ زیداکس) برگ پرچم پنج بوته به صورت تصادفی انتخاب و در داخل تانک ازت مایع گذاشته و سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز طبق روش ناکانو و آسادا (۱۹۸۱) با اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۹۰ نانومتر و در دمای اتاق مورد سنجش قرار گرفت. اندازه‌گیری سوپراکسید دیسموتاز طبق روش دیندسا (۱۹۸۱) انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ایلام

اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	روی	آهن	بافت خاک	منطقه
۷/۲	۰/۹۷	۱/۲۸	۰/۱۲	۳۱۰	۷/۲	۱	۹/۱	لومی شنی	ایلام
۷/۳۱	۰/۴۵	۱/۴	۰/۱۳	۲۷۰	۶/۲	۱	۵/۷	لومی رسی	سرابله

جدول ۲- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

ماه	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد)	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)	میزان بارش (میلی‌متر)	حداقل رطوبت نسبی (درصد)	حداکثر رطوبت نسبی (درصد)
مهرماه	۱۱	۲۷	۱۶۳/۵	۱۴	۴۱
آبان	۷/۵	۲۵/۶	۱۰۳/۳	۴۵	۸۴
آذر	۲/۷	۱۲/۷	۸۹/۹	۴۵	۸۹
دی	-۱	۱۰/۸	۱۵۱/۳	۴۲	۸۸
بهمن	۰/۲	۱۱	۹۳/۱	۴۳	۸۹
اسفند	۵	۱۵/۸	۳۲/۴	۴۳	۸۵
فروردین	۶/۴	۱۹/۸	۲۷/۲	۲۷	۷۴
اردیبهشت	۱۲/۸	۲۷/۱	۰	۲۱	۵۹
خرداد	۱۶/۹	۳۲/۴	۱۶۳/۵	۱۴	۳۹

جدول ۳- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

ماه	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد)	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)	میزان بارش (میلی‌متر)	حداقل رطوبت نسبی (درصد)	حداکثر رطوبت نسبی (درصد)
مهرماه	۱۲/۳	۳۰/۶	۰	۱۵	۳۸
آبان	۸	۱۹/۶	۱۵۶/۴	۴۵	۷۸
آذر	۳/۵	۱۳/۱	۱۰۰/۵	۵۴	۸۶
دی	-۰/۵	۱۰/۶	۸۵/۴	۵۲	۸۶
بهمن	۰/۹	۱۲	۹۵/۲	۵۳	۸۸
اسفند	۵	۱۷/۳	۷۵/۹	۴۶	۸۵
فروردین	۶/۵	۲۱/۵	۳۱/۸	۳۳	۷۸
اردیبهشت	۱۲/۷	۲۸/۸	۲۴/۸	۲۴	۶۵
خرداد	۱۳	۴۰/۴	۴	۱۶	۴۱

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز از روش مس‌آدام و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز طبق روش ناکانو و آساد (۱۹۸۱) با اسپکتروفتومتر مورد سنجش قرار گرفت. به منظور اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی آلدئید، مقدار ۰/۵ گرم از نمونه برگ تازه در طول موج ۵۳۲ نلنومتر اندازه‌گیری گردید (استوارت و بولی، ۱۹۸۰). جهت اندازه‌گیری پرولین از روش بیتث و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. برای تعیین محتوای نسبی آب برگ بوته‌ها از معادله استفاده شد (Soomro *et al*., 2011):

معادله ۱ $RWC= [(W_F-W_D)/(W_T-W_D)]*100$،

RWC= درصد محتوی نسبی آب برگ، W_F= وزن تر برگ، W_D= وزن خشک برگ، W_T= وزن آماس برگ.

به منظور سنجش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی از برگ پرچم پنج بوته به صورت تصادفی جهت اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کارتنوئید، نمونه‌برداری انجام گرفت. مقدار ۰/۵ گرم از بافت برگ که رگبرگ خشبی آن جدا شد. با افزایش استون ۸۰ درصد حجم نهایی به ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. از قسمت کاملا صاف شده محلول حاصل و برای کاهش ناخالصی‌های احتمالی ۱۸ میلی‌لیتر از این محلول در دستگاه سانتریفیوژ (مدل SIGMA ساخت آمریکا) با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه عصاره‌گیری شد (Arnon, 1967) و پس از سانتریفیوژ میزان جذب نور توسط عصاره حاصل از دستگاه اسپکتروفوتومتر و در طول موج‌های ۶۶۳ (کلروفیل a)، ۶۴۶ (کلروفیل b) و ۴۷۳ (کارتنوئید) استفاده شد. غلظت کلروفیل a، b و میزان کارتنوئید از طریق معادله‌های زیر بدست آمدند:

معادله ۲

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3\times A663 - 0.86\times A645)V / 100W$$

معادله ۳

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3\times A645 - 3.6\times A663)V / 100W$$

معادله ۴

$$\text{Carotenoid content} = 100\,(A470) - 3.27\,(mg\ chl.a) - 104\,(mg\ chl.b) / 227$$

V= حجم محلول صاف شده (محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ)، W= وزن تر نمونه (گرم)، A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر- W= وزن تر نمونه بر حسب گرم. برای محاسبه کارایی مصرف آب از معادله زیر استفاده گردید (قربانی و کامکار، ۱۳۸۹):

معادله ۵

$$WUE = \frac{GY}{AP}\times 100$$

WUE= کارآیی مصرف آب، GY= عملکرد دانه، AP= مقدار آب بارندگی.

به منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای بوته‌های موجود (نیم متر ازابتدا و انتها) در هرکرت به مساحت ۲/۲۵ متر مربع به صورت جداگانه کف بر و محاسبه گردید. اندازه‌گیری خصوصیات وابسته به ریشه در داخل مزرعه بعد از مرحله گرده‌افشانی با استفاده از استوانه‌ای فلزی با طول ۳۰ سانتی‌متر و عرض دو سانتی‌متر که از قبل با دستی طراحی شده بود صورت گرفت. بعد از برداشت ریشه‌ها از داخل خاک، آن‌ها را در داخل ظرف یکبار مصرف گذاشته و پس از انتقال به آزمایشگاه اقدام به شستشوی ریشه‌ها کرده و سپس ریشه‌ها را در داخل اتانول با غلظت ۹۸ درصد قرار داده و پس از انتقال به آزمایشگاه در داخل یخچال نگهداری شدند، سپس اقدام به اندازه‌گیری صفات ریشه گردید. طول ریشه‌ها توسط دست و با دقت بالا پس از قرار دادن در آب جهت شناور شدن آن‌ها توسط خط‌کش با دقت زیاد اندازه‌گیری شدند. محاسبه حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج از طریق معادله زیر انجام گرفت:

معادله ۶

$$A = B - C$$

A= حجم ریشه، B= حجم آب و ریشه، C= حجم آب خالی

غلظت منیزیم و آهن اندام‌های هوایی توسط دستگاه جذب اتمی و فسفر به روش کالیمتری (مینوچا و همکاران، ۱۹۹۴) اندازه‌گیری شدند (امامی، ۱۳۷۵). تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از برنامه آماری SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و نمودارها با نرم افزار اکسل ترسیم شدند.

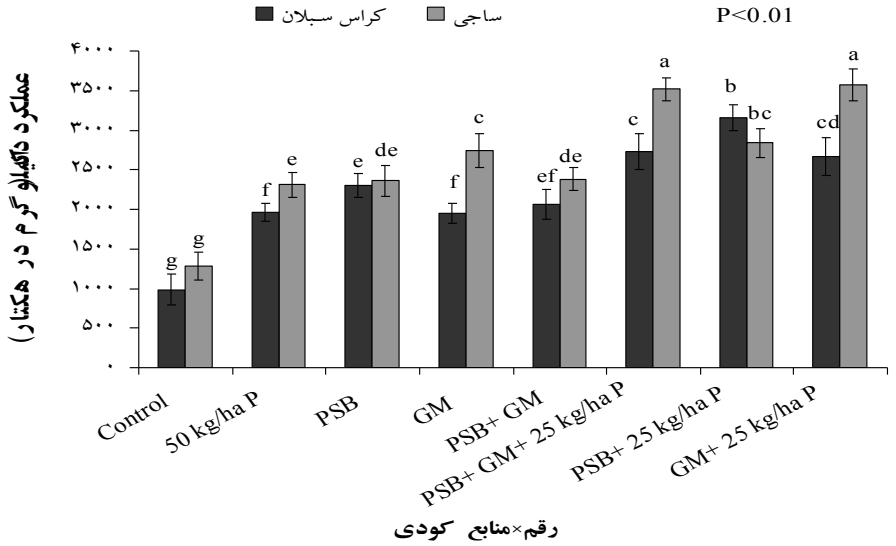
نتایج و بحث

عملکرد دانه: عملکرد دانه تحت تاثیر رقم، مخلوط کودهای شیمیایی و کود زیستی و همچنین برهمکنش آن‌ها اختلاف معنی‌داری نشان داد. اثر برهکنش رقم در کود زیستی نشان می‌دهد که رقم ساجی و قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر و باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ گلوموس موسه + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر با میانگن ۳۵۷۱/۶ و ۳۵۱۷/۸ کیلوگرم در هکتار و رقم کراس‌سبلان و باکتری سودوموناس + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر با میانگین ۳۱۵۸/۶ کیلوگرم درهکتار دارای بیشترین عملکرد دانه می‌باشند و کمترین عملکرد دانه در رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) با میانگین ۹۸۵/۰۱ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد موجب افزایش ۷۲ درصدی در عملکرد دانه گردید (شکل ۱). حمیدی و همکاران (۱۳۸۸) نشان

دادند که در اثر مایه‌زنی بذر ذرت علوفه‌ای با باکتری *سودوموناس*، تعداد برگ‌های بالایی بلال و تعداد برگ در هر بوته افزایش یافت. تان‌وار و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از تیمارهای مختلف کود فسفره و باکتری *باسیلوس* نشان دادند که اثر متقابل بین فسفر و کود زیستی معنی‌دار است و مایه-زنی با مایه تلقیح به علاوه کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره باعث تولید بالاترین عملکرد دانه گردید. افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی، با کاربرد توأم کودهای شیمیایی و جذب بیشتر آن‌ها توسط گیاه، در نتیجه افزایش رشد و فتوسنتز با افزایش سطح برگ گیاه از عوامل افزایش عملکرد دانه در تیمارهای تلفیقی می‌باشد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۰). تحقیقات دیگر نیز نشان داده که برخی از سویه‌های *سودوموناس* می‌توانند از طریق تولید مواد تنظیم کننده رشد گیاه و افزایش قابلیت جذب آب و عناصر غذایی به طور مستقیم نیز در افزایش رشد گیاه موثر شوند (Sharma, 2002). به نظر می‌رسد که میسیلیوم‌های قارچ با پراکنش در اطراف ریشه‌های گیاه میزبان سطح جذب آب بالاتری را فراهم آورده و باعث می‌شوند تا در شرایط یکسان گیاهان مایه‌زنی شده نسبت به گیاهان شاهد آب بیشتری را در اختیار داشته باشند. با توجه به نتایج محققان دیگر نیز قارچ میکوریزا در فراهمی و متابولیسم عناصر مورد نیاز گیاه تأثیر مهمی داشته و سبب می‌گردد تا میزان این عناصر در گیاهان مایه‌زنی شده افزایش یابد. این امر بخصوص در شرایط دیم برای گیاهان دارای اهمیت زیادی است. در آزمایش بث و همکاران (۲۰۰۵) کاربرد قارچ مایکوریزا باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی در گندم شد.

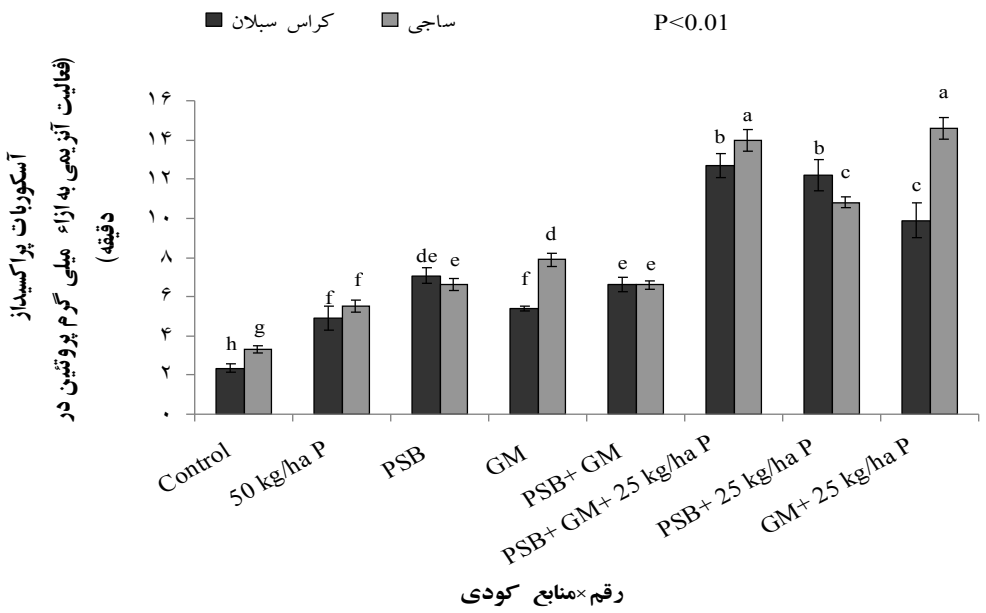
آسکوربات پراکسیداز: بر اساس نتایج واریانس مرکب داده‌های حاصل از دو مکان، اثر برهمکنش رقم×تیمار بر فعالیت آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. رقم ساجی و تیمار قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) دارای کمترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز بود، به طوری‌که موجب افزایش ۸۳/۹ درصدی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) گردید (شکل ۲). در این پژوهش همچنین اثر برهمکنش مکان×تیمار بر فعالیت آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار شد. در این پژوهش نشان داده شد که منطقه سرابله و تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین و منطقه ایلام و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) دارای کمترین فعالیت آسکوربات پراکسیداز بود (جدول۵). اثر برهمکنش اثر مکان×رقم×تیمار بر فعالیت آسکوربات پراکسیداز معنی دار گردید. با توجه به جدول اثر برهمکنش منطقه سرابله و رقم ساجی و تیمار باکتری *سودوموناس پوتید*+ قارچ *گلوموس موسه*+۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر بیشترین و منطقه ایلام و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) کمترین فعالیت آسکوربات پراکسیداز را داشتند (جدول ۷).

پراکسیداز: بر اساس نتایج واریانس مرکب دادهای حاصل از دو مکان، اثر برهمکنش رقم× منابع کودی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار گردید. رقم ساجی و تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز و رقم کراس سبلان در تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) دارای کمترین فعالیت آنزیم پراکسیداز بود، به طوری‌که باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر موجب افزایش ۷۳/۳ درصدی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۳). در این پژوهش همچنین مشاهده گردید که واکنش برهمکنش ارقام مورد استفاده و تیمار منابع کودی متفاوت می‌باشد. در این پژوهش رقم ساجی و کراس سبلان واکنش خوبی به باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه* نشان داد، به گونه‌ای که استفاده از کود شیمیایی فسفر به همراه باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه* در هر دو رقم موجب افزایش بسیار معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز گردید. اثر برهمکنش اثر مکان×رقم×منابع کودی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی دار گردید. با توجه به جدول اثر برهمکنش منطقه سرابله و رقم ساجی و تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* +۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر بیشترین و منطقه ایلام و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) کمترین فعالیت آنزیم پراکسیداز را داشتند (جدول ۷).

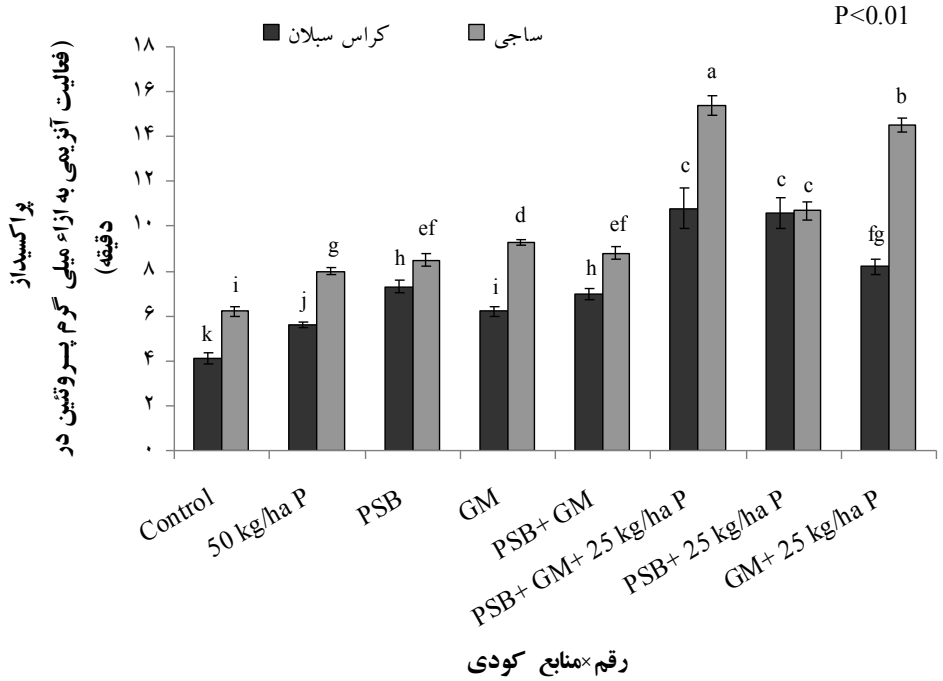


شکل ۱- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر عملکرد دانه

تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) (Control)، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (50 kg/ha P)، باکتری *سودوموناس پوتیدا* (PSB)، قارچ *گلوموس موسه* (GM)، باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه* (PSB+GM)، باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (PSB+GM+25 kg/ha P)، باکتری *سودوموناس پوتیدا*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (PSB+25 kg/ha P) و قارچ *گلوموس موسه*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (GM+25 kg/ha P).



شکل ۲- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید)



شکل ۳- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز
(برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید)

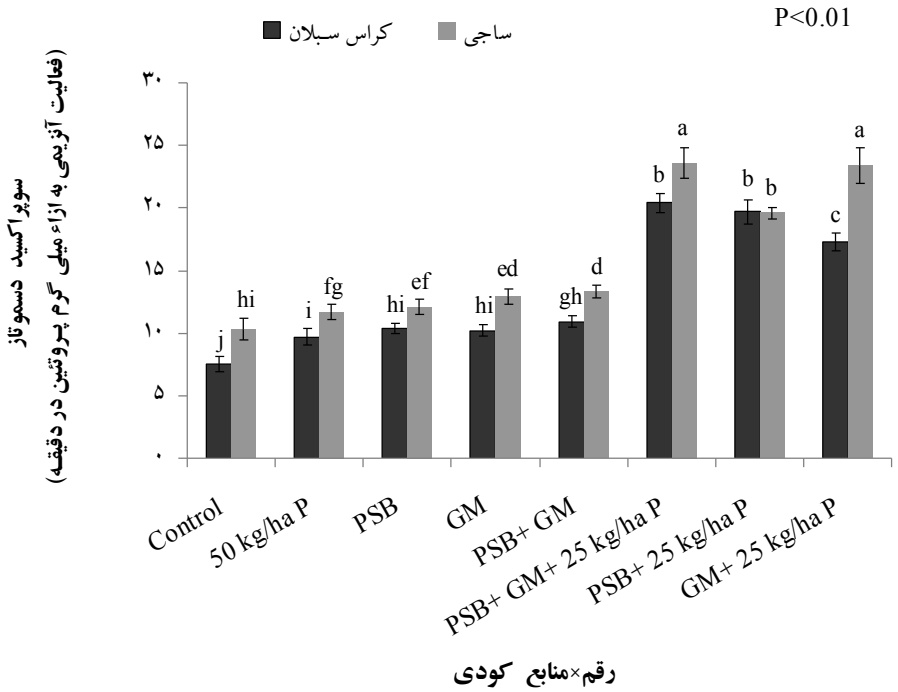
نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط دیم که معمولا نیاز آبی گندم دیم بویژه در مراحل حساس تامین نمی‌گردد گیاه با تنش‌های محیطی مواجه می‌گردد. گندم رقم ساجی نسبت به رقم کراس‌سبلان از توان بالایی در شرایط دیم برخوردار است و از فعالیت آنتی اکسیدانتی بالاتری برخوردار می‌باشد. زهو و همکاران (۲۰۱۱) افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دسموتاز

را در گیاه ذرت مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا گزارش دادند. آن‌ها پیشنهاد دادند که قارچ میکوریزا تولیدات آنتی اکسیدانتی را افزایش داده که نتیجه این افزایش آنتی اکسیدانتی موجب کم کردن گونه‌های اکسیژن فعال و محافظت سلول‌ها در برابر تنش اکسیداتیو می‌گردد. خلف‌الله و همکاران (۲۰۰۸) و پورسل و ریزلوزانو (۲۰۰۴) افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دسموتاز را در مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا در گزارش‌های خود عنوان کردند.

سوپر اکسید دسموتاز: بر اساس نتایج واریانس مرکب داده‌های حاصل از دو مکان، اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر سوپر اکسید دسموتاز معنی‌دار گردید. رقم ساجی و تیمار باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ گلوموس موسه + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دسموتاز و رقم کراس‌سبلان در تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) دارای کمترین فعالیت سوپر اکسید دسموتاز بود، به طوری‌که باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ گلوموس موسه + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر موجب افزایش ۷۳/۳ درصدی میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دسموتاز نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۴). سیستم‌های آنتی اکسیدانت آنزیمی، سلول‌ها را ازسمیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) محافظت می‌کند. سوخت و ساز رادیکال‌های آزاد اکسیژن وابسته به چندین آنزیم اکسیدان که از نظر ساختاری به هم مربوط هستند می‌باشند مانند سوپر اکسید دسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POD) و کاتالاز (CAT). بنابراین باکتری‌های محرک رشد با بالا بردن سطح آنتی اکسیدانی گیاه موجب حفاظت گیاه می‌گردد (پورابتهاج و همکاران، ۱۳۹۱). احتمالاً تولید متابولیت ها توسط باکتری‌های محرک رشد از جمله هورمون-های محرک رشد نقش ویژه‌ای در تحریک و بیان پروتئین‌های آنزیم‌های آنتی اکسیدان ایفا می‌کند. تنش اکسیداتیو ناشی از افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در سلول، یکی ازمهم‌ترین اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی بر گیاه و فرایندهای فیزیولوژیکی مهم گیاهی می‌باشد. با توجه به نقش مهم آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در حذف رادیکال سمی پراکسیدهیدروژن در شرایط تنش‌های مختلف، افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در تیمارهای باکتری‌های محرک رشد، می‌تواند عاملی مؤثر در حذف گونه های فعال اکسیژن باشد (سپهری و همکاران، ۱۳۹۴). احمدزاده و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تنش کم آبی در ارقام مختلف گندم نان سرعت فعالیت این آنزیم را افزایش داده است. این موضوع نشان می‌دهد که گیاهان برای مقابله با خشکی و از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان خود را افزایش می‌دهند.

تنش خشکی سبب کاهش صفات زراعی لوبیا قرمز و افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز شده است و همچنین بیان شده است که افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های فوق در شرایط تنش خشکی نشان‌دهنده اثر این آنزیم‌ها در کاهش خسارات تنش اکسیداتیو و نقش مهم آن‌ها در مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد (اردلانی و همکاران، ۱۳۹۳). افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز در گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا

در سایر پژوهش‌ها نیز عنوان شده است (پورسل و همکاران، ۲۰۰۳؛ علی و همکاران، ۲۰۰۵؛ خلف الله و همکاران، ۲۰۰۸). زهو و همکاران (۲۰۱۱) افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپر اکسید دسموتاز را در گیاه ذرت مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا گزارش دادند. در مطالعات ایسلام و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده شد که باکتری *سودوموناس* موجب افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پرکسیداز و همچنین موجب کاهش پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدید گردید. پورسل و همکاران (۲۰۰۳) نیز در گزارش‌های خود روی سویا مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا در معرض تنش خشکی نشان دادند که گیاه مایه‌زنی شده دارای آسیب اکسیداتیو کمتری از لیپیدها و پروتئین‌ها می‌باشد.

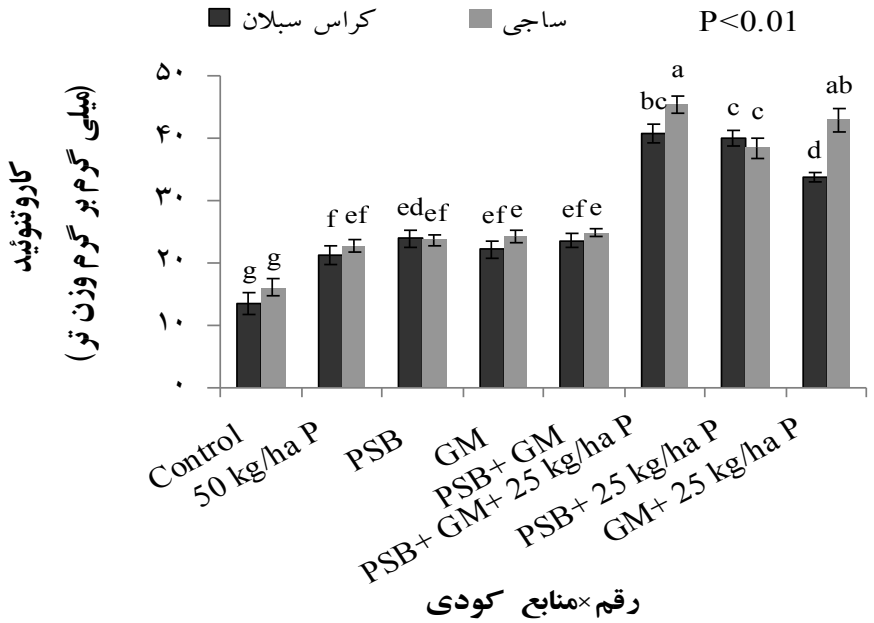


شکل ۴- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر سوپر اکسید دسموتاز
برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: بر اساس نتایج واریانس مرکب داده‌های حاصل از دو مکان، اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر میزان کارتنویید معنی‌دار گردید. رقم ساجی و تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه*+ ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین میزان کارتنویید و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) دارای کمترین میزان کارتنویید بود، به طوری که باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه*+ ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر موجب افزایش ۷۰/۲ درصدی میزان کارتنویید نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۵). کاربرد قارچ میکوریزا موجب بالابردن و کمک به رنگدانه‌های فتوسنتزی شده است (ژو و همکاران، ۲۰۱۲). اسرار و الهیندی (۲۰۱۱) نشان دادند قارچ میکوریزا به طور معنی‌داری موجب افزایش میزان کارتنویید در تمامی

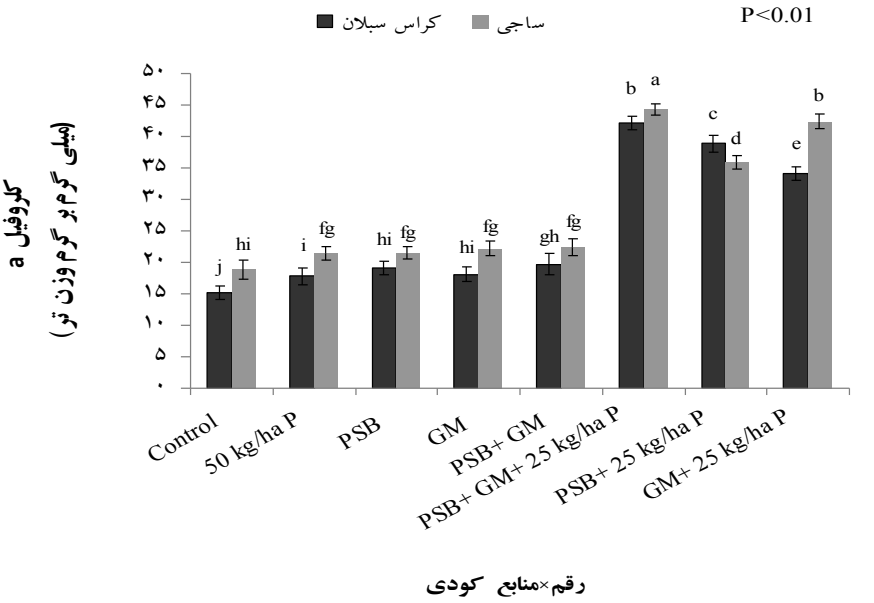
مراحل رشد گیاه میزبان می‌شود. همچنین آن‌ها عنوان کردند که قارچ میکوریزا افزایش ۶۰ درصدی رنگدانه‌های فتوسنتزی را سبب شده است. بر اساس نتایج واریانس مرکب دادهای حاصل از دو مکان، اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر میزان کلروفیل a معنی‌دار گردید. رقم ساجی و تیمار قارچ *گلوموس موسه*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر مایه‌زنی با باکتری افزاینده رشد و قارچ میکوریزا دارای بیشترین میزان کلروفیل a و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) دارای کمترین میزان کلروفیل a بود، به طوری‌که باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر موجب افزایش ۶۵/۶ درصدی میزان کلروفیل a نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۶). در این پژوهش نشان داده شد که منطقه سرابله و رقم ساجی بیشترین میزان کلروفیل a را دارا بود (جدول ۴). بر اساس نتایج واریانس مرکب دادهای حاصل از دو مکان، اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر کلروفیل b معنی‌دار گردید. رقم ساجی و تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین میزان کلروفیل b و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) دارای کمترین میزان کلروفیل b بود (شکل ۷). اثر برهمکنش اثر مکان×رقم بر کلروفیل b معنی دار شد. در این پژوهش نشان داده شد که منطقه سرابله و رقم ساجی بیشترین میزان کلروفیل b را دارا بود، به طوری‌که باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*+ ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر موجب افزایش ۶۳/۶ درصدی میزان کلروفیل b نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۴). افزایش میزان کلروفیل در رقم ساجی در مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه* را می‌توان به جذب بیشتر عناصری چون آهن و منیزیم نسبت داد که نقشی اساسی در ساختمان کلروفیل دارند (اسرار و الهندی، ۲۰۱۱؛ دولت‌آبادی و همکاران، ۲۰۱۲). به نظر می‌رسد که استقرار و رشد زودتر گندم رقم ساجی در ابتدای فصل رشد، سبب استفاده بیشتر از شرایط مساعد محیطی شده و از طرف دیگر، اجزای عملکرد گیاه کمتر تحت تأثیر تنش رطوبتی و حرارتی در اواخر فصل رشد قرار گرفته باشد. فتوسنتز یکی از فرایندهای فیزیولوژیکی حساس به تنش می‌باشد (وحید و همکاران، ۲۰۰۷) و کاهش فتوسنتز با کاهش رشد و عملکرد دانه در گندم همراه می‌باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ تالوکدر و همکاران، ۲۰۱۴). دلیل کاهش فتوسنتز در شرایط تنش را می‌توان به تخریب در عملکرد و ساختار کلروپلاست و کاهش در میزان کلروفیل (ژو و همکاران، ۱۹۹۵)، پیری زودرس برگ (تالوکدر و همکاران، ۲۰۱۴) و کاهش میزان سطح سبز برگ که در فاز زایشی گیاه رخ می‌دهد نسبت داد که اثر منفی بر عملکرد دانه می‌گذارند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۱). اسرار و الهیندی (۲۰۱۱) نشان دادند که تحت تنش کم آبی رنگدانه‌های کلروفیل تحت تاثیر قرار می‌گردند و این باعث کاهش میزان کلروفیل خواهد شد. افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل در گیاهانی مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا نسبت به تیمار شاهد در گزارش‌های اسرار و همکاران (۲۰۱۲) نیز عنوان شده است. در گزارش‌های سقفی و همکاران (۲۰۱۳) بر گندم نشان داده شد که باکتری

سودوموناس در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مایه‌زنی) موجب افزایش صفات فیزیولوژیکی گردید به طوری‌که بیشترین میزان شاخص کلروفیل، میزان کلروفیل a در مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس* مشاهده گردید.



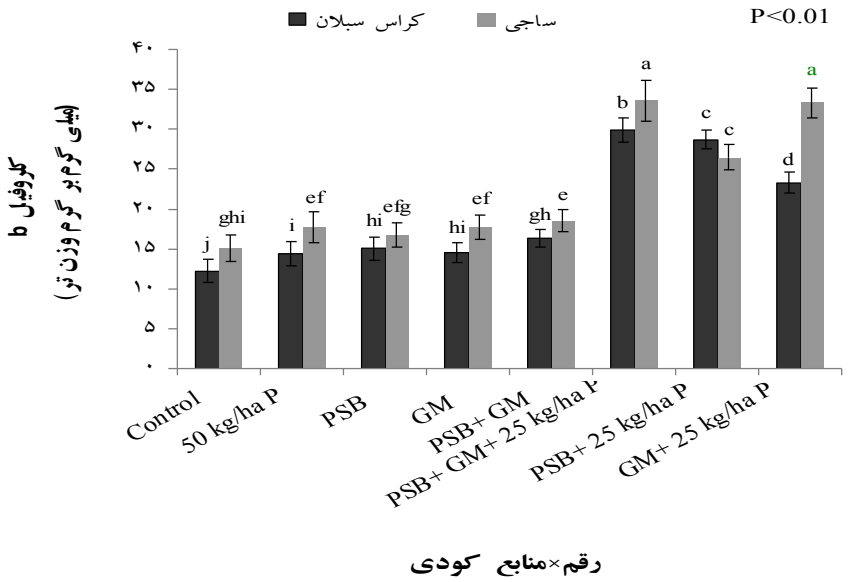
شکل ۵- اثر برهمکنش رقم ×منابع کودی بر میزان کارتنویید

برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید.



شکل ۶- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر میزان کلروفیل a

برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید.



شکل ۷- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر کلروفیل b

برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید.

حیدری و گلپایگانی (۲۰۱۱) عنوان کردند که تلقیح بذر گیاه دارویی ریحان با باکتری *سودوموناس* باعث افزایش میزان کلروفیل برگ می‌شود. در گزارش‌های زهید و همکاران (۲۰۱۳) نشان داده شد که باکتری حل کننده فسفات موجب افزایش میزان کلروفیل در ذرت می‌گردد. در گزارش‌های هیوکسن و همکاران (۲۰۰۵) افزایش میزان فتوسنتز در حضور قارچ میکوریزا نیز اعلام شده است که دلیل این موضوع را (بالا بودن میزان فتوسنتز) به بالا بودن میزان کلروفیل در تیمارهای مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا نسبت دادند.

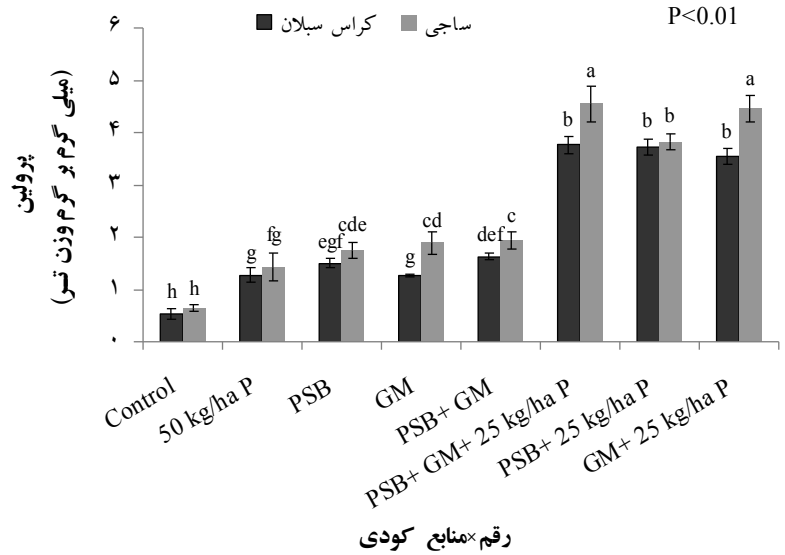
میزان پرولین: بر اساس نتایج واریانس مرکب داده‌های حاصل از دو مکان، اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر پرولین معنی‌دار گردید. رقم ساجی و تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین میزان پرولین و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) دارای کمترین میزان پرولین بود، به طوری‌که باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر موجب افزایش ۸۸/۳ درصدی میزان پرولین نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۸). در این پژوهش نشان داده شد که منطقه سرابله و رقم ساجی دارای بیشترین میزان پرولین را دارا بود (جدول ۴). در این پژوهش همچنین اثر برهمکنش مکان×منابع کودی بر میزان پرولین معنی‌دار شد. در این پژوهش نشان داده شد که منطقه سرابله و تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* + *قارچ گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین و منطقه ایلام و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) دارای کمترین میزان پرولین بود (جدول ۵). تجمع پرولین و سایر اسمولیت‌ها برای حفظ تورژسانس سلول‌های گیاهی، قسمتی از مکانیسم‌های مقاومت در برابر تنش خشکی است (هوآنگ و همکاران، ۲۰۰۰). نشان داده شده است که میکرو ارگانیسم‌های خاک دارای تاثیر معنی‌داری

بر میزان پرولین می‌باشند. در گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا میزان پرولین افزایش معنی‌داری از خود نشان داده است (اسرار و همکاران، ۲۰۱۲). قارچ میکوریزا سبب کاهش آب کشیدگی (پسابیدگی) در گیاهان مایه‌زنی شده و میزبان می‌گردد (رویزلوژانو و آزکون، ۱۹۹۷). در گزارش‌های سقفی و همکاران (۲۰۱۳) بر گندم نشان داده شد که باکتری *سودوموناس* در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مایه‌زنی) موجب افزایش صفات فیزیولوژیکی گردیده به طوری‌که بیشترین میزان پرولین در مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس* مشاهده گردید. در مطالعات انصاری و همکاران (۲۰۱۲) بر ذرت نشان داده شد که باکتری‌های حل کننده فسفات دارای اثر معنی‌داری بر صفات فیزیولوژیکی می‌باشد به گونه‌ای که باکتری *سودوموناس* موجب افزایش میزان پرولین گردید.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر مکان× رقم بر صفات مورد مطالعه

مکان	رقم	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
ایلام	کراس سبلان	۲۱/۷(±۲/۰۶)^{d}	۱۶/۸(±۱/۴)^{d}	۱/۹(±./۲۳)^{c}
	ساجی	۲۶/۰۸(±۲/۰۱)^{c}	۱۹/۲(±۱/۴۷)^{c}	۲/۲(±./۲۶)^{b}
سرابله	کراس سبلان	۲۹/۶(±۲/۲)^{b}	۲۱/۷(±۱/۴۲)^{b}	۲/۳(±./۲۷)^{b}
	ساجی	۳۱/۲(±۱/۲)^{a}	۲۵/۶(±./۶۵)^{a}	۲/۹(±./۳۲)^{a}

میانگین هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون LSD، در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

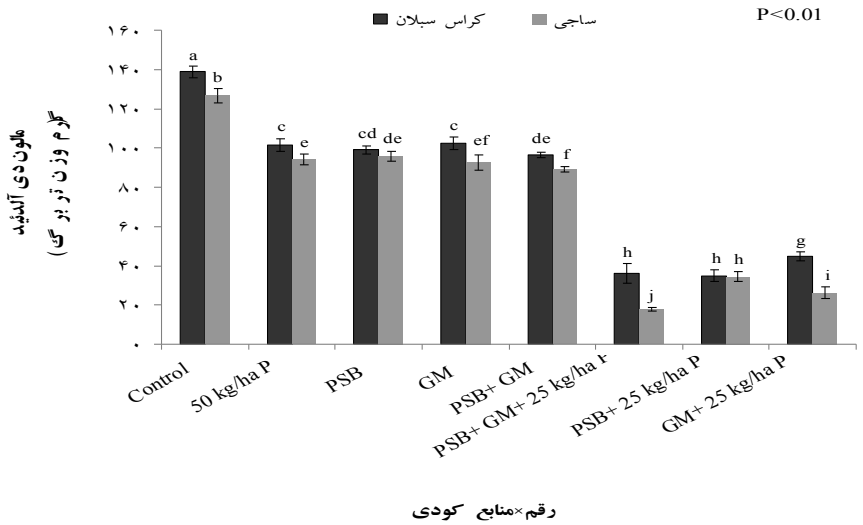


شکل ۸- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر میزان پرولین

برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید.

مالون دی آلدئید: بر اساس نتایج واریانس مرکب دادهای حاصل از دو مکان، اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر مالون دی آلدئید معنی‌دار گردید. رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) دارای بیشترین میزان مالون دی آلدئید و رقم ساجی و تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*+ ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر دارای کمترین میزان مالون دی آلدئید بود، به طوری‌که باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر موجب افزایش ۸۷ درصدی میزان مالون دی آلدئید نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۹). اثر برهمکنش اثر مکان×رقم×منابع کودی بر میزان مالون دی آلدئید معنی‌دار گردید. با توجه به جدول اثر برهمکنش، منطقه ایلام و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) بیشترین و منطقه سرابله و رقم ساجی و تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*+ ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر کمترین میزان مالون دی آلدئید داشتند (جدول ۷). در گزارش‌های سندیا و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان داده شد که نشت پذیری غشای گیاه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد و مایه‌زنی گیاه با باکتری‌های افزاینده رشد در مقایسه با تیمار عدم مایه‌زنی گیاه موجب کاهش نشت پذیری غشا می‌گردد. زهو و همکاران (۲۰۱۱) در گزارش‌های خود نشان داد که در شرایط خشکی نشت‌پذیری غشا افزایش می‌یابد. آن‌ها در آزمایش خود نشان دادند نشت‌پذیری غشا در گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا به دلیل کم کردن تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی کمتر بود.

در گزارش‌های وو و همکاران (۲۰۰۴) نشان داده شد که غلظت مالون دی آلدئید در تیمارهای مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا کمتر است. مالون دی آلدئید شاخصی از پراکسیداسیون لیپیدی غشای سلول است (احمد و همکاران، ۲۰۱۲). قارچ میکوریزا سبب بهبود جذب عناصر غذایی شده و همچنین حفاظت گیاه میزبان را در مقابل تنش‌های زیستی و غیر زیستی از جمله گرما و خشکی برعهده دارد (بورد و دودهان، ۲۰۱۲).



شکل ۹- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر مالون دی آلدئید

برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید.

در مطالعات ایسلام و همکاران (۲۰۱۴) روی گندم نشان داده شد که باکتری *سودوموناس* موجب کاهش مالون دی آلدئید گردید.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر برهمکنش مکان×منابع کودی بر صفات مورد مطالعه

منطقه	منابع کودی	آسکوربات پراکسیداز (واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین در دقیقه)	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
	عدم مصرف منابع کودی	۲/۶(±./۳۷)^{g}	./۴۴(±./۰۳۸)^{j}
	۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر	۴/۵(±./۲۷)^{f}	./۹۸(±./۱۱)^{i}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۶/۷(±./۲۹)^{de}	۱/۴(±./۰۵۶)^{h}
	قارچ *گلوموس موسه*	۶/۸(±./۷۲)^{de}	۱/۵(±./۱۱)^{gh}
ایلام	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*	۶/۱(±./۲۳)^{de}	۱/۶(±./۰۹۱)^{fgh}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۲(±./۵۴)^{bc}	۳/۶۱(±./۱۳)^{d}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۱/۳(±./۴۵)^{c}	۳/۵(±./۰۶۸)^{d}
	قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۱/۶(±./۹۴)^{c}	۳/۵۲(±./۲۴)^{d}
	عدم مصرف منابع کودی	۳/۰۳(±./۲)^{g}	./۷۳(±./۰۴۳)^{i}
	۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر	۵/۹(±./۴۸)^{e}	۱/۷(±./۱۷)^{efg}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۷(±./۴۱)^{d}	۱/۸(±./۱۶)^{ef}
سرابله	قارچ *گلوموس موسه*	۶/۵(±./۴۶)^{de}	۱/۶(±./۲۲)^{fgh}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*	۷/۱(±./۱۹)^{d}	۱/۹(±./۱۳)^{e}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۴/۸(±./۳۷)^{a}	۴/۷(±./۲۷)^{a}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۱/۸(±./۶۱)^{c}	۴/۰۴(±./۱۲)^{c}
	قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۲/۹(±۱/۱)^{b}	۴/۳(±./۲۹)^{b}

میانگین هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون LSD، در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

محتوای نسبی آب : بر اساس نتایج واریانس مرکب داده‌های حاصل از دو مکان، اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر محتوای نسبی آب معنی‌دار گردید. رقم ساجی و تیمار قارچ *گلوموس موسه*+۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) کمترین محتوای نسبی آب را دارا بودند، به طوری‌که قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر موجب افزایش ۵۶/۸ درصدی میزان محتوای آب نسبی نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۶). تیمار گیاهان با قارچ میکوریز نه تنها رشد گیاه و جذب مواد معدنی را افزایش می‌دهد، بلکه در شرایط تنش خشکی مقاومت بالایی را نیز به گیاه القا کند (بلترانو و رونکو، ۲۰۰۸). همچنین این

قارچ‌ها می‌توانند بر تعادل آبی گیاه در شرایط تنش اثر بگذارند (آیوگ و همکاران، ۲۰۰۱). محتوای نسبی آب بالا و نشت پذیری کمتر غشا در گیاهان تحت تنش خشکی بعنوان یک راهکار برای ممانعت از تنش ارایه شده است (پریا و همکاران، ۲۰۰۶). در پژوهش‌های سقفی و همکاران (۲۰۱۳) بر گندم نشان داده شد که باکتری *سودوموناس* در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مایه‌زنی) موجب افزایش صفات فیزیولوژیکی گردید به طوری‌که بیشترین سطح محتوای نسبی آب برگ در مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس* مشاهده گردید. دلیل بالابودن محتوای آب نسبی برگ در ژنوتیپ متحمل به خشکی، ممکن است به علت وجود ساز و کارهای کاهش دهنده تلفات آب از روزنه‌ها (بسته‌تر شدن روزنه‌ها)، افزایش غلظت شیره سلولی یا بدلیل جذب بیشتر آب از طریق توسعه ریشه باشد (قربانی‌جاوید و همکاران، ۱۳۸۵). در مطالعات نوید و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده شد که محتوای آب نسبی در خشکی کم و استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد موجب افزایش محتوای آب نسبی و کاهش نشت پذیری غشا گردید که دلیل این امر کاهش اثرات بازدارندگی خشکی روی ریشه‌ها و توسعه موثرتر سیستم ریشه برای جذب آب در تیمارهای مایه‌زنی شده عنوان گردید (زهیر و همکاران، ۲۰۰۸). در گزارشات محققان بیان شده است که مایه‌زنی با باکتری‌های افزاینده رشد موجب بهبود بیوماس گیاهی و بهتر شدن روابط آبی و موجب کاهش تلفات آب در گیاه گردید (ساندهیا و همکاران، ۲۰۱۰). محتوای نسبی آب و نشت پذیری غشا در گیاهان در معرض تنش خشکی به عنوان یک معیار مقاوم به تنش آبی در گیاهان نشان داده می‌شود (پرییرا و همکاران، ۲۰۰۶). تنش خشکی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمایی گیاه را متاثر می‌سازد که نتیجه آن تغییر در رشد، عملکرد و روابط آبی و مسیرهای متابولیکی گیاه است (اسرار و همکاران، ۲۰۱۱). در گزارش‌های اسرار و همکاران (۲۰۱۲) نشان داده شد که پتانسل آب و محتوابی آب نسبی برگ‌ها تحت تاثیر قارچ میکوریزا افزایش معنی‌داری از خود نشان می‌دهند. بالا بودن پتانسل آب و محتوابی نسبی آب برگ‌ها در گیاهان تلیقح شده با قارچ میکوریزا موجب کاهش رقابت بین اندام‌های هوایی جهت استفاده از آب خواهد شد.

کارآیی مصرف آب: بر اساس جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها کارآیی مصرف آب تحت تاثیر برهمکنش رقم×منابع کودی اختلاف معنی-داری از خود نشان داد. اثر برهکنش رقم×منابع کودی نشان داد که رقم ساجی و تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان کارآیی مصرف آب بودند، به طوری‌که باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر موجب افزایش ۷۴/۶ درصدی میزان میزان کارآیی مصرف نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۶). دلیل بالا بودن میزان کارآیی مصرف آب در گندم دیم رقم ساجی در حضور قارچ میکو ریزا را می توان به جذب بیشتر رطوبت به واسطه ریشه گسترده، زیست‌توده ریشه بالاتر و جذب عناصر غذایی بالاتر در این رقم نسبت داد. با توجه به نتایج

به دست آمده، می‌توان چنین بیان کرد که در نتیجه همزیستی قارچ‌های میکوریزا با ریشه، رشد ریشه و سطح جذب آن افزایش یافته و ضمن افزایش جذب عناصر غذایی (به‌ویژه افزایش محتوی فسفر خاک)، موجب جذب بیشتر آب از مناطق دورتر از ریشه گردیده و موجبات عملکرد بیشتر گیاه را فراهم آورده است که این افزایش جذب آب و عناصر غذایی در تیمارهای تحت تیمار کود زیستی بیشتر بوده است. به عبارت دیگر، در گیاهان میکوریزایی، مقدار تولید وعملکرد به ازای مقدار آب داده شده به گیاه بیشتر بود. این اطلاعات نشان می‌دهد که میکوریزا سبب افزایش تحمل گیاه به تنش شده و از افت عملکرد دانه جلوگیری نموده است (عامریان و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج آزمایش بر روی گندم نشان می‌دهد که گیاهان میکوریزایی به ازای تولید هر واحد ماده خشک، آب کمتری مصرف نموده و در نتیجه کارآیی مصرف آب بالاتری دارند (غازی و کاراکی، ۱۹۹۸). بلند نظر و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که همزیستی با میکوریزا کارآیی مصرف آب را افزایش داد. علی‌آبادی فراهانی و همکاران (۲۰۰۸) نیز علت افزایش نیز علت افزایش کارآیی مصرف آب از طریق همزیستی با میکوریزا را در افزایش جذب فسفر دانستند که باعث افزایش عملکرد زیستی و در نتیجه افزایش کارآیی مصرف آب می‌شود. مایه‌زنی گیاهان با باکتری‌های افزاینده رشد باعث افزایش مقاومت به تنش در گیاهان رشد یافته در مناطق خشک و نیمه خشک می‌گردد. نشان داده شده است که مایه‌زنی گیاهان با باکتری‌های افزاینده رشد موجب افزایش مقاوت به خشکی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌گردد (ساندهای و همکاران، ۲۰۱۰). اسرار و همکاران (۲۰۱۲) کارایی مصرف آب در تیمارهای مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا افزایش معنی‌داری از خود نشان داد. آن‌ها مشخص کردند که قارچ میکوریزا موجب افزایش رشد ریشه در جهت جذب رطوبت از خاک می‌شود. بیشتر بودن کارایی مصرف آب در گیاهان تلیقح شده با قارچ میکوریزا موجب کاهش رقابت بین اندام‌های هوایی جهت استفاده از آب خواهد شد.

طول و حجم ریشه: در این آزمایش طول ریشه تحت تاثیر برهمکنش رقم×منابع کودی معنی‌داری شد. بیشترین طول و حجم ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد قارچ *گلوموس موسه*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم کراس‌سبلان و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۶/۶ درصدی در طول ریشه گردید (شکل ۱۰). بیشترین حجم ریشه با متوسط ۳/۵ سانتی‌متر مکعب از رقم ساجی و تحت کاربرد قارچ *گلوموس موسه*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن با متوسط ۱/۹ سانتی‌متر مکعب از رقم کراس‌سبلان و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۵۳/۶ درصدی در حجم ریشه گردید (شکل ۱۱). ریشه‌های گسترده از طریق افزایش جذب رطوبت و متعاقب آن افزایش تعرق، در افزایش عملکرد دانه و ثبات آن موثر است. نشان داده شده است که مجموع طول ریشه مهمترین خصوصیت و صفت برای گیاه می‌باشد که گیاه را

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر صفات محتوای آب نسبی و کارآیی مصرف آب

رقم	منابع کودی	محتوای آب نسبی (درصد)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر میلی‌متر)
کراس سبلان	عدم مصرف منابع کودی	۳۰/۸(±۱/۴)^{m}	۱/۷ (±۰/۰۷۱)^{h}
	۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر	۳۶/۵(±۱/۳۸)^{k}	۳/۴(±۰/۲۹)^{g}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۴۸/۵(±۱/۳۸)^{g}	۴/۰۹(±۰/۳۷)^{ef}
	قارچ *گلوموس موسه*	۴۲/۵(±۱/۳۸)^{i}	۳/۴(±۰/۳۶)^{g}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*	۴۶/۵(±۱/۳۸)^{h}	۳/۶(±۰/۳۵)^{fg}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۶۱(±۱/۸)^{d}	۴/۸(±۰/۵۲)^{c}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۶۸/۸(±۱/۶۶)^{b}	۵/۶(±۰/۶۱)^{b}
	قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۵۶/۴(±۱/۶۶)^{e}	۴/۷(±۰/۵۴)^{cd}
ساجی	عدم مصرف منابع کودی	۳۲/۸(±۱/۴)^{l}	۲/۲(±۰/۱۹)^{h}
	۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر	۳۸/۶(±۱/۵۴)^{j}	۴/۱(±۰/۳۸)^{ef}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۴۶/۸(±۱/۲۲)^{h}	۴/۱(±۰/۴۳)^{ef}
	قارچ *گلوموس موسه*	۵۱/۵(±۲/۴۱)^{f}	۴/۸(±۰/۴۵)^{c}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*	۴۹/۶(±۱/۵۲)^{g}	۴/۲(±۰/۳۵)^{de}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۶۴/۸(±۲/۵۲)^{c}	۶/۲(±۰/۴۹)^{a}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۶۱/۱(±۱/۹۵)^{d}	۵/۰۵(±۰/۴۴)^{bc}
	قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۷۱/۳(±۲/۱)^{a}	۶/۳(±۰/۵۸)^{a}

میانگین هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون LSD، در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر برهمکنش مکان×رقم× منابع کودی بر صفات مورد مطالعه

منطقه	رقم	منابع کودی	پراکسیداز (واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین)	سوپر اکسید دسموتاز (واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین)	مالون دی آلدئید (نانومول بر گرم وزن تر برگ)
		عدم مصرف منابع کودی	۳/۷(±./۱۵)^{r}	۶/۴(±./۶۳)^{m}	۱۴۲/۷(±۴/۵)^{a}
		۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر	۵/۲(±./۱۵)^{p}	۸/۳(±./۲۹)^{l}	۱۰۷/۴(±۳/۶)^{d}
		باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۷(±./۱۵)^{klm}	۹/۶(±./۳۲)^{kl}	۹۹/۴(±۴/۵)^{ef}
		قارچ *گلوموس موسه*	۶/۱(±./۳۸)^{no}	۹/۳(±./۲۷)^{kl}	۱۰۶/۷(±۵/۵)^{d}
	کراس-		۶/۶(±./۲)^{mn}	۱۰/۳(±./۸۲)^{jk}	۹۶/۷(±۱/۶)^{efgh}
	سبلان	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*			
		باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۹/۱(±./۵۳)^{hij}	۱۸/۸(±./۳)^{d}	۲۸/۸(±۱/۳)^{l}
		باکتری *سودوموناس پوتیدا* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۹/۴(±./۴۵)^{ghi}	۱۷/۷(±./۴۶)^{d}	۲۹/۵(±۲/۷)^{l}
ایلام		قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۷/۷(±./۱۵)^{j}	۱۵/۹(±./۳۷)^{e}	۴۳/۶(±۳/۴)^{j}
		عدم مصرف منابع کودی	۵/۸(±./۱۴)^{op}	۸/۵(±./۲۳)^{l}	۱۳۱/۹(±۴/۷)^{b}
		۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر	۷/۳(±./۱۴)^{klm}	۱۰/۶(±./۴۴)^{jk}	۹۷/۹(±۴/۵)^{efgh}
		باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۷/۷(±./۰۶۶)^{k}	۱۱/۱(±./۱۶)^{ij}	۹۳/۳(±۴/۵)^{efghi}
		قارچ *گلوموس موسه*	۸/۹(±./۲۶)^{ij}	۱۲/۴(±./۸۶)^{fghi}	۸۶/۶(±۵/۵)^{i}
	ساجی	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*	۸/۶(±./۳)^{j}	۱۳/۷(±./۶۷)^{f}	۸۷/۲(±۱/۴)^{i}
		باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۴/۳(±./۰۶۶)^{c}	۲۱/۶(±./۵۶)^{bc}	۱۸/۵(±۱/۴)^{m}
		باکتری *سودوموناس پوتیدا* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۰/۰۳(±./۰۶۶)^{g}	۱۸/۷(±./۳۵)^{d}	۳۳/۴(±۵/۲)^{kl}
		قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۳/۳(±./۲۹)^{d}	۲۰/۸(±./۸۱)^{bc}	۲۰/۱(±۲/۹)^{m}

ادامه جدول ۷- مقایسه میانگین اثر برهمکنش مکان×رقم× منابع کودی بر صفات مورد طالعه

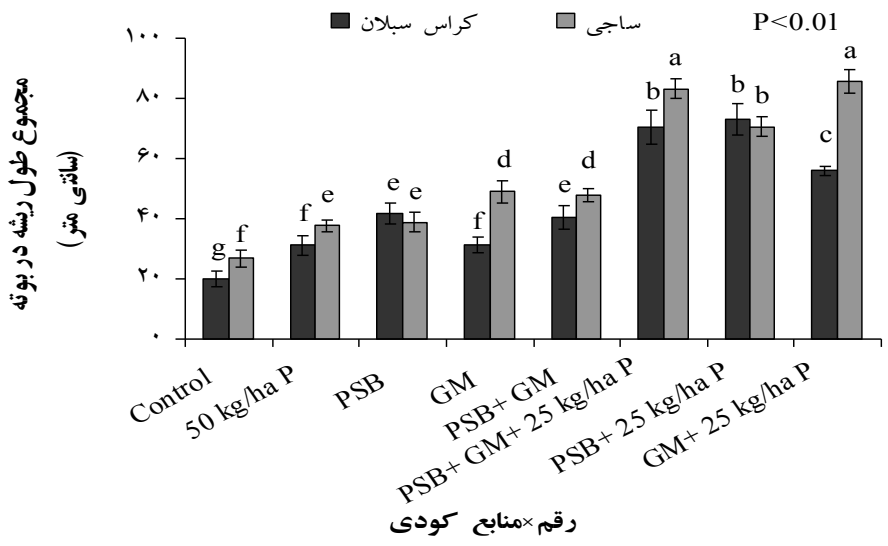
منطقه	رقم	منابع کودی	پراکسیداز (واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین)	سوپر اکسید دسموتاز (واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین)	مالون دی آلدئید (نانومول بر گرم وزن تر برگ)
		عدم مصرف منابع کودی	۴/۵(±./۲۹)^{q}	۸/۷(±./۳)^{l}	۱۳۴/۹(±۲/۵)^{b}
		۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر	۶/۰۶(±./۳۱)^{no}	۱۱/۰۶(±./۳۳)^{ij}	۹۵/۸(±۲/۵)^{efgh}
		باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۷/۷(±./۵)^{k}	۱۱/۲(±./۴)^{ij}	۹۹/۹(±۱/۸)^{e}
		قارچ *گلوموس موسه*	۶/۲(±./۳۳)^{no}	۱۱/۲(±./۳)^{ij}	۹۸/۳(±۲/۱)^{efg}
	کراس-		۷/۴(±./۳۶)^{kl}	۱۱/۲(±./۱۱)^{hij}	۹۲/۰۶(±۲/۳)^{fghi}
	سبلان	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*			
		باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۲/۵(±./۹)^{e}	۲۲/۰۶(±./۵۶)^{b}	۴۳/۷(±۷/۹)^{j}
		باکتری *سودوموناس پوتیدا* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۱/۸(±./۸۱)^{f}	۲۱/۷(±./۵۷)^{bc}	۴۰/۱(±۲/۸)^{jk}
سرابله		قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۸/۸(±./۵۲)^{ij}	۱۸/۸(±./۶۲)^{d}	۴۵/۹(±۳/۳)^{j}
		عدم مصرف منابع کودی	۶/۷(±./۳)^{lmn}	۱۲/۱(±./۶۲)^{ghi}	۱۲۱/۳(±۳/۷)^{c}
		۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر	۸/۶(±./۵۲)^{j}	۱۲/۷(±./۷۲)^{fgh}	۹۰/۵(±۲/۸)^{hi}
		باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۹/۳(±./۳۷)^{hij}	۱۳/۲(±./۸۸)^{fghi}	۹۸/۴(±۲/۳)^{efg}
		قارچ *گلوموس موسه*	۹/۷(±./۴۷)^{gh}	۱۳/۸(±./۸۵)^{fg}	۹۸/۵(±۲/۲)^{efg}
	ساجی	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*	۹/۰۶(±./۶۶)^{hij}	۱۲/۹(±./۸۹)^{fgh}	۹۱/۳(±۱/۸)^{ghi}
		باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۶/۵(±./۸۷)^{a}	۲۵/۹(±۱/۴)^{a}	۱۷/۴(±۱/۳)^{m}
		باکتری *سودوموناس پوتیدا* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۱/۴(±./۵۸)^{f}	۲۰/۶(±./۳۲)^{c}	۳۵/۷(±۱/۹)^{kl}
		قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۱۵/۸(±./۶۶)^{b}	۲۶/۰۳(±۱/۵)^{a}	۳۲/۱(±۱)^{l}

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر برهمکنش مکان× کود زیستی بر کارایی مصرف آب

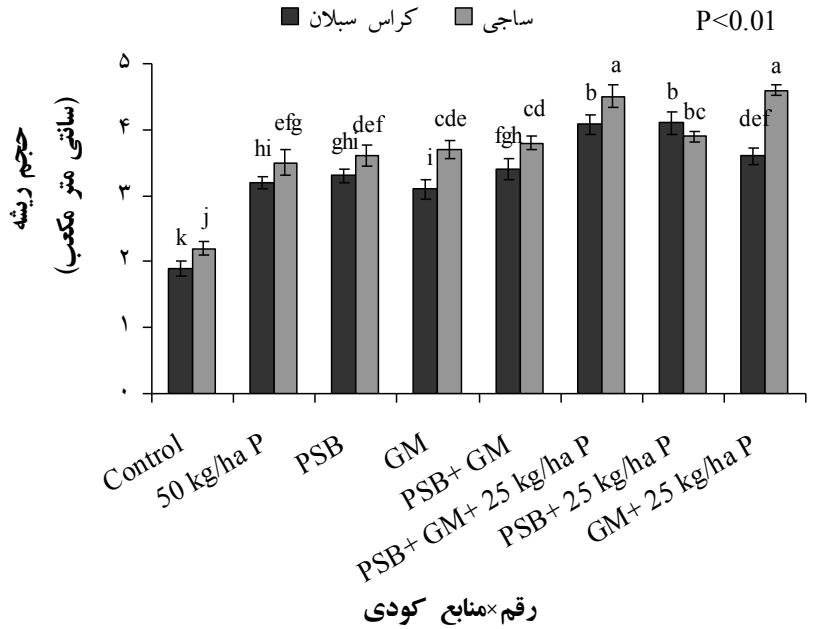
منطقه	منابع کودی	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر میلی‌متر)
	عدم مصرف منابع کودی	۱/۶(±۰/۱۷)^{g}
	۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر	۳/۴(±۰/۱۸)^{e}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۴/۰۳(±۰/۲۳)^{d}
	قارچ *گلوموس موسه*	۳/۴۷(±۰/۴۶)^{e}
ایلام	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*	۳/۶(±۰/۲۳)^{de}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۴/۸(±۰/۳۷)^{c}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۵/۵(±۰/۳۳)^{b}
	قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۴/۷(±۰/۵)c
	عدم مصرف منابع کودی	۲/۲(±۰/۱۷)^{f}
	۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر	۴/۰۶(±۰/۲۳)^{d}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۴/۱(±۰/۲۳)^{d}
سرا		۴/۸(±۰/۳۲)^{c}
بله	قارچ *گلوموس موسه*	
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*	۴/۱(±۰/۱۹)^{d}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۶/۲(±۰/۴۴)^{a}
	باکتری *سودوموناس پوتیدا* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۵/۰۲(±۰/۴)^{bc}
	قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر	۶/۳(±۰/۴۶)^{a}

میانگین هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون LSD، در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

قادر می‌سازد که آب بیشتری را از لایه پایین‌تر خاک جذب نماید (سراج و همکاران، ۲۰۰۴). قارچ میکوریزا از طریق تغییر در ساختار ریشه و افزایش طول ریشه موجب بهبود جذب آب می‌گردد (مانوهران و همکاران، ۲۰۰۸). باکتری‌های افزاینده رشد در محدوده ریشه، در واقع موجب کاهش تولید اتیلن در ریشه‌های تلیقح شده می‌شود که نتیجه آن تحریک و افزایش رشد ریشه است (شاهرونا و همکاران، ۲۰۰۸). قارچ‌های میکوریزا به دلیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به وسیله گیاهان می‌شوند. علاوه بر این به علت تأثیر قارچ میکوریزا روی هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان تلقیح نشده با میکوریز بیش‌تر می‌باشد (اسماعیل پور و امانی، ۱۳۹۳).



شکل ۱۰- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر مجموع طول ریشه دو رقم گندم دیم (نان و دوروم)
برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید.

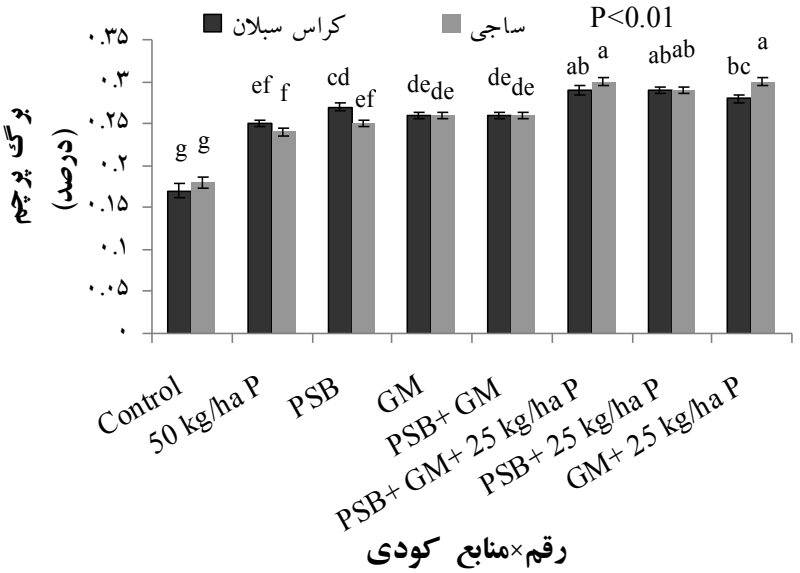


شکل ۱۱- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر حجم ریشه دو رقم گندم دیم (نان و دوروم)
برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید.

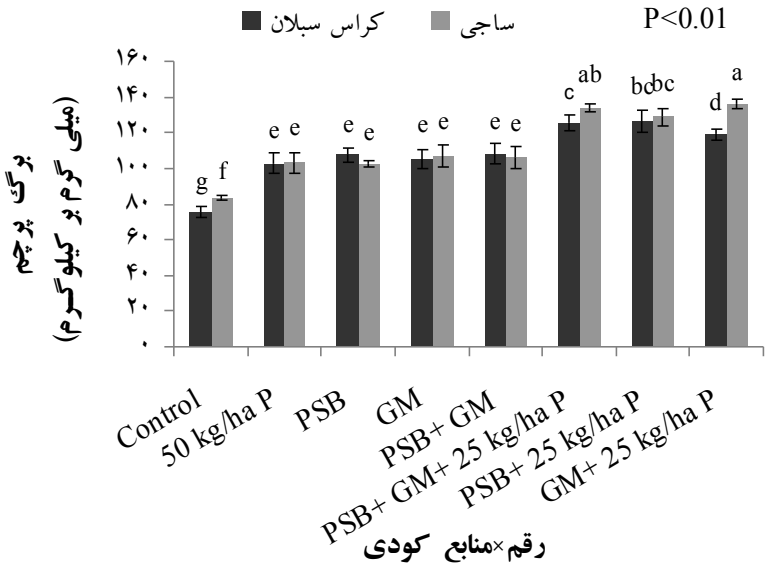
عناصر غذایی

عناصر منیزیم، آهن و فسفر با توجه به نتایج تجزیه واریانس مرکب تحت تاثیر برهمکنش رقم×منابع کودی معنی‌دار گردید. در هر دو رقم گندم دیم مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شد که باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه* دارای تاثیر معنی‌داری بر میزان عناصر منیزیم، آهن و فسفر در داخل اندام‌هایی هوایی و دانه بوده و موجب افزایش این عناصر شدند. بیشترین عناصر منیزیم، آهن و فسفر در برگ پرچم از رقم ساجی و

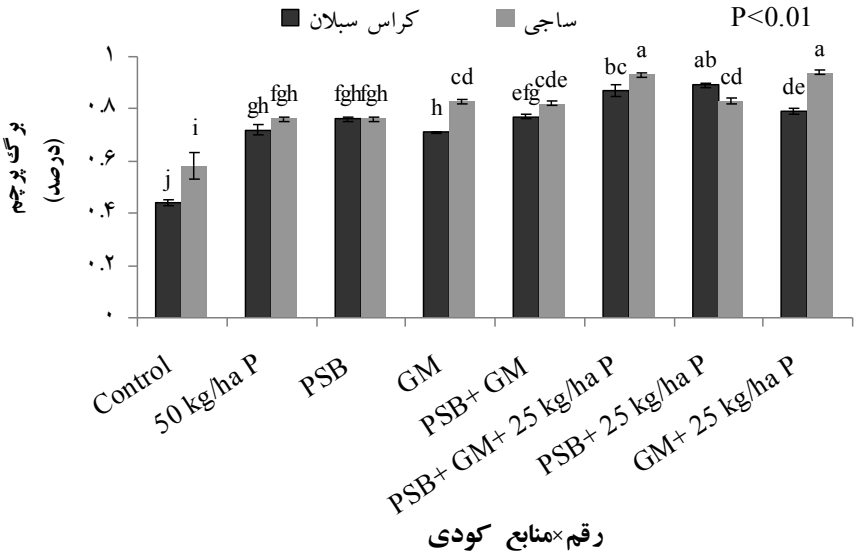
تحت کاربرد قارچ *گلوموس موسه*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم کراس‌سبلان و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد (شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴). در این پژوهش در هر دو رقم دیم مورد استفاده در این پژوهش به دلیل دارا بودن سیستم گسترده ریشه بیشتر نسبت به تیمار شاهد گیاه از حجم ریشه (شکل۱۱) بیشتری از خاک جهت جذب عناصر غذایی بهره‌مند شده و میزان عناصر غذایی بیشتری را به سمت اندام-های هوایی خود منتقل می‌کند.



شکل ۱۲- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر عنصر منیزیم در برگ پرچم دو رقم گندم دیم (نان و دوروم)
برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید



شکل ۱۳- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر عنصر آهن در برگ پرچم دو رقم گندم دیم (نان و دوروم)
برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید.



شکل ۱۴- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر عنصر فسفر برگ پرچم دو رقم گندم دیم (نان و دوروم)
برای توضیحات بیشتر به شکل ۱ مراجعه نمایید.

در رقم ساجی و کراس سبلان و تیمار استفاده از باکتری *سودوموناس پوتیدا* نیز موجب جذب بالاتر عناصر غذایی گردید که نشان می‌دهد باکتری *سودوموناس* ازطریق اسیدی کردن محیط اطراف ریشه موجب جذب عنصر منیزیم می‌گردد. یافته‌های این پژوهش با گزارش‌های وینال و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد، آن‌ها اظهار داشتند که باکتری *سودوموناس* میزان منیزیم را افزایش می‌دهد. باکتری *سودوموناس* با افزایش انشعابات ریشه و تارهای کشنده می‌توانند باعث افزایش جذب عناصر غذایی شوند، همچنین اسیدهای آلی تولید شده توسط این باکتری‌ها می‌توانند از طریق تشکیل کمپلکس‌های محلول با یون‌های فلزی باعث افزایش جذب این عناصر غذایی گردند (نیک مهر و همکاران،۱۳۹۳). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که رقم ساجی وتیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه* به دلیل داشتن طول ریشه (شکل ۱۰) و حجم ریشه (شکل ۱۱) بیشتر نسبت به تیمار شاهد توانست سطح بیشتری از ریزوسفر خاک را مورد استفاده قرار دهد و با جذب عناصر غذایی و انتقال آن به اندام‌های هوایی سبب افزایش غلظت آن در دانه می‌گردد. در گزارش‌های سایر پژوهشگران نشان داده شد که طول ریشه در جذب آب و عناصر غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (فیضی اصل و همکاران، ۱۳۹۳)، در این پژوهش رقم ساجی و قارچ *گلوموس موسه* دارای بیشترین طول ریشه بودند. بالا بودن طول ریشه در رقم ساجی نسبت به رقم کراس‌سبلان نشان دهنده تفاوت بین ارقام می‌باشد.

ویژگی‌های مهم ریشه گندم مانند سرعت رشد، عمق ریشه دوانی و تراکم آن (طول ریشه در واحد حجم خاک) از ویژگی‌های شناخته شده‌ای هستند که در جذب عناصر غذایی نقش مهمی دارد (کینگ و همکاران، ۲۰۰۳)، ازسویی دیگر جذب عناصر کم مصرف بخصوص آهن است مربوط به توانایی تولید سیدروفر گیاهان یا سیدروفرهای میکروبی باشد. سیدروفرها ترکیبات آلی با وزن مولکولی کم و با

میل ترکیبی شدید و اختصاصی برای کمپلکس شدن با برخی باکتری‌های حل کننده فسفات قادرانـد بـا مکانیسم‌هایی مانند تولید و ترشح اسیدهای آلی بخصوص ۲-کتواگزالیک، سیتریک، مالیک و سوکسینیک در حلالیت فسفاهای معدنی کم محلول موثر باشند، علاوه بر این بسیاری از این باکتری‌ها با تولید آنزیم‌های فسفاتاز آزاد شدن فسفر را از ترکیبات آلی فسفر را موجب می‌گردد. باکتری‌های حل کننده فسفات تولید هورمون‌هایی مثل اکسین و جیبرلیک اسید را موجب می‌گردد (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶). در مطالعات خسروجردی و همکاران (۱۳۹۲) نشان داده شده است که قارچ میکوریزا با جذب مواد مغذی از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه و کاوش خاک به‌وسیله هیف‌های خارجی در ریشه‌های مویی و کاهش فسفر آن ناحیه به جذب آن کمک می‌کند.

نتیجه گیری کلی

با توجه به اینکه در تولید گندم به صورت دیم کمبود آب مهمترین عامل محدود کننده به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر گزارشاتی مبنی بر اینکه میکروارگانیسم‌های ریزوسفری می‌توانند باعث افزایش مقاومت به تنش کم آبی در گیاهان شوند انتشار یافته است. اطلاعات زیادی در خصوص اثرات باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه* بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی رقم‌های مختلف گندم دیم موجود در ایران و بویژه ایلام وجود ندارد، لذا اجرای این پژوهش توانست اطلاعات جدیدی را در این خصوص ارایه دهد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر برهکنش رقم× منابع کودی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان معنی‌دار بود. واکنش ارقام مورد استفاده شده در مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* و *گلوموس موسه* در این پژوهش معنی‌دار و میزان کلروفیل، محتوای آب نسبی را افزایش داد. *باکتری سودوموناس پوتیدا* و *گلوموس موسه* در گندم همچنین موجب افزایش فعالیت آنزیمی سوپراکسید دسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز گردید. بنابراین نتایج بدست آمده نشان داد که ارقام دیم کشت شده نسبت به تلقیح با باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا واکنش مثبت و معنی‌داری از خود نشان می‌دهند. در این پژوهش رقم گندم ساجی بهمراه تیمار GM+ ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر به دلیل بیشتر بودن طول ریشه (۸۵/۶ سانتی‌متر)، حجم ریشه (۴/۶ سانتی‌متر مکعب) و بالا بودن میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و سوپر اکسید دسموتاز) و افزایش صفات فیزیولوژیکی (میزان کلروفیل a، b و محتوای نسبی آب) سبب بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه در شرایط کشت دیم گردید.

سپاسگزاری

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از کلیه همکاران به‌ویژه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام و گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه ایلام به جهت همکاری و در اختیار گذاشتن امکانات آزمایشگاهی و مزرعه‌ای اعلام می‌دارند.

منابع

آزادی صادق، سیادت سید عطاالله، ناصری رحیم، سلیمانی‌فرد عباس و میرزایی، امیر. ۱۳۹۲. کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژنه در ارقام گندم دوروم. مجله اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۷ (۲): ۱۲۹-۱۴۶.

آقابابائی فاطمه، رئیسی فایز و نادیان، حبیب اله. ۱۳۹۰. اثر همزیستی میکوریزایی بر جذب عناصر غذایی توسط برخی ژنوتیپ‌های تجاری گیاه بادام در یک خاک لوم شنی. مجله پژوهش های خاک ۲۵ (۲): ۱۳۷-۱۴۷.

اسماعیل پور، ب.، وامانی،ا، بررسی تأثیر تلقیح با قارچ میکوریز بر رشد و جذب عناصر غذایی کاهو رقم"سیاهو" (*Lactuca sativa* L.)، نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد چهارم، شماره دوم، ۴۹-۶۸ . ۱۳۹۳.

اردلانی شیوا، سعیدی محسن، جلالی هنرمند سعید، قبادی محمد اقبال و عبدلی مجید. ۱۳۹۳. پاسخ‌های فیزیولوژیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در ژنوتیپ‌های گندم نان تحت تنش خشکی پس از گرده افشانی. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ۶ (۲۱): ۴۵-۵۹.

امامی، ا، ۱۳۷۵. روش‌های آنالیز گیاهی، انتشارات تهران، ۲۳۱ صفحه.

پورابتهاج محمد، حبیبی داوود، پاکنژاد ا‌فرزاد، فاضلی فائزه و داوودی فرد مهدی. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد و محلول پاشی سیلیسیک اسید و اسیدهای آمینه بر فعالیت آنزی مهای آنتی اکسیدان در شرایط تنش خشکی در گیاه جو (*Hordeum vulgar* L.). مجله زارعت و اصلاح نباتات. ۸ (۲): ۱۴۷-۱۶۰.

حسن‌پور جواد و زند بهنام. ۱۳۹۳. نقش تلقیح بذر گندم (*Triticum aestivum* L) با کودهای زیستی در کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی. علوم و تحقیقات بذر ایران ۱ (۲): ۱-۱۲.

حسن‌زاده الناز، مظاهری داریوش، چایی چی محمدرضا و خاوازی، کاظم. ۱۳۸۶. کارایی مصرف باکتری‌های تسهیل کننده جذب فسفر و کود شیمیایی فسفر بر عملکرد و اجزا عملکرد جو. پژوهش و سازندگی ۷۷: ۱۱۱-۱۱۸.

حمیدی آیدین، چوکان رجب، اصغرزاده احمد، دهقان شعار مجید، قلاوند امیر و ملکوتی محمد جعفر ۱۳۸۸. اثر استفاده از باکتری های افزاینده رشد گیاه (PGPR) بر فنولوژی دورگ های دیررس ذرت (*Zea mays* L). مجله علوم زراعی ایران ۱۱ (۳): ۲۴۹-۲۷۰.

خسروجردی محبوبه، شاهسونی شاهین، قلیپور منوچهر و اصغری حمیدرضا. ۱۳۹۲. تأثیر تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزای بر جذب برخی عناصر معدنی توسط نخود در سطوح مختلف کود سولفات آهن. نشریه تولید گیاهان زراعی ۶ (۳): ۷۱-۸۷.

سپهر، ابراهیم، ملکوتی محمدجعفر، خلدبرین بهمن، کریمیان نجفعلی، صمدی عباس، رسولی عباس، نورقلی پور فریدون، رضایی حامد و خادمی زهرا. ۱۳۸۸. بررسی کارایی ارقام مختلف غلات از لحاظ جذب فسفر. مجله پژوهشهای خاک ۲۳ (۲): ۱۲۵-۱۳۴.

سپهری مژگان، جهاندیده مهجن آبادی وحیداله، اسدی رحمانی هادی، و صادقی حصنی علی. ۱۳۹۴. اثر باکتری Rhizobium leguminosarum *b.v.* phaseoli بر رشد فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان و جذب عناصر غذایی

گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) در شرایط تنش شوری. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۵ (۲): ۱۶۵-۱۸۰.

عامریان محمد رضا، یوسف ثانی، مریم السادات و کوچکی، عوض. ۱۳۹۳. تأثیر تلقیح با گونه‌های میکوریزا و سطوح آبیاری بر خصوصیات رشد، عملکرد، کارایی مصرف آب و برخی صفات گیاه ذرت (*Zea mays* L.)، نشریه بوم شناسی کشاورزی ۶ (۱): ۱۵۲-۱۶۱.

فیضی اصل ولی، فتوت امیر، آستارایی علیرضا و لکزیان امیر. ۱۳۹۳. تاثیر مقادیر و زمان مصرف نیتروژن بر برخی ویژگی‌های ریشه ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم. نشریه زراعت دیم ایران۲ (۱): ۴۱-۹۴.

قبولی مهدی، شهریاری فرج ا...، سپهری مژگان، مرعشی حسن و حسینی‌سالکده قاسم. ۱۳۹۰. تأثیر قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر برخی خصوصیات جو(*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش خشکی، نشریه بوم شناسی کشاورزی ۳ (۳): ۳۲۸-۳۳۶،۱۳۹۰.

قربانی، محمد حسین و کامکار بهنام. ۱۳۸۹. اثر فاصله ردیف و تراکم بر رطوبت خاک، تولید ماده خشک، عملکرد و کارایی مصرف آب در گندم در شرایط دیم. مجله پژوهش های تولید گیاهی ۷ (۳): ۱-۱۹.

قربانپور، منصور، حسینی ناصر، خدایی‌مطلق مهدی و سلگی موسی. ۱۳۹۳. تأثیر تلقیح باکتری‌های ریزوسفری سودوموناس بر رشد، کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی مریم گلی (*Salvia officinalis* L.). فصلنامه گیاهان دارویی ۱۳ (۴): ۸۹-۱۰۰.

قربانی‌جاوید، مجید، مرادی فواد، اکبری غلام‌عباس و الله دادی، ایرج. ۱۳۸۵. نقش برخی متابولیت‌ها در سازوکار تنظیم اسمزی در یونجه یکساله بریده [*Medicago laciniata* (L.) Mill] در تنش خشک. مجله علوم زراعی ایران ۸ (۲): ۹۰-۱۰۵.

مرادی میثم، سیادت سید عطاالله، خاوازی کاظم، ناصری رحیم، ملکی عباس و میرزایی امیر. ۱۳۹۰. اثر کاربرد کود زیستی و شیمیایی فسفر بر صفات کمی و کیفی گندم بهاره. نشریه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۵ (۱۸): ۶۶-۵۱.

منصوری، ایراندخت. ۱۳۹۲. بررسی واکنش لاین امیدبخش N_{8119} گندم به کاربردکود زیستی فسفات، به زراعی کشاورزی ۱۵ (۱): ۱۲۵-۱۳۴.

نیک مهر، سبحه و اخگر عبدالرضا. ۱۳۹۴. تاثیر کاربرد تلفیقی باکتری های حل کننده ی فسفات و کود فسفر بر رشد و عملکرد کنجد. آب و خاک. ۲۹ (۴): ۹۹۱-۱۰۰۳.

Ahmad P, Hakeem KR, Kumar A, Ashraf M, Akram NA. 2012. Salt-induced changes in photosynthetic activity and oxidative defense system of three cultivars of mustard (*Brassicajuncea* L.). African Journal of Biotechnology 11 (11): 2694–2703.

Ali MB, Hahn E, Paek K. 2005. Effects of temperature on oxidative stress defense systems, lipid peroxidation and lipoxygenase activity in Phalaenopsis. Plant Physiology and Biochemistry 43: 213–223.

Aliabadi Farahani H, Lebaschi H, Hussein M, Shiranirad A, Valadabadi A, Daneshian J. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency relative water content and praline accumulation rate of coriander (*Coriandrum Sativum* L.). Journal of Medicinal Plants Research 2 (6): 125-131.

Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.

Ansary MH, Asadi Rahmani H, Ardakani MR, Paknejad F, Habibi D, Mafakheri S. 2012. Effect of *Pseudomonas fluorescent* on Proline and Phytohormonal Status of Maize (*Zea mays* L.) under Water Deficit Stress. Annals of Biological Research 3 (2): 1054-1062.

Asrar AWA, Elhindi KM. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences 18:93–98.

Asrar AA, Abdel-Fattah G.M, Elhindi KM. 2012. Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (*Antirhinum majus* L.) plants grown under well-watered and water stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. Photosynthetica 50 (2): 305–316.

Auge RM, Duan X, Ebel RC, Stodola AJW. 2001. Nonhydraulic signalling of soil drying in mycorrhizal maize. Planta 193: 74-82.

Bates L.S., Waldren R.P, Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies Plant and soil 39 (1): 205-207.

Bath SA, Thenua OVS, Shivakumar BG, Malik JK. 2005. Performance of summer green gram [*Vigna radiate* (L.) Wilczek] as influenced by biofertilizers and phosphorus nutrition. *Haryana*. Journal of Agronomy 21:203-205.

Beltrano J, Ronco MG. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: effect on growth and cell membrane stability. Brazilian Society of Plant Physiology 20 (1): 29-37.

Bolandnazar S, Aliasgarzad N, Neishabury MR, Chaparzadeh N. 2007. Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficiet condition. Scientia Horticulturae 114: 11-15.

Borde M, Dudhane M, Jite P. 2012. Growth, water use efficiency and antioxidant defense responses of mycorrhizal and non mycorrhizal Allium sativum L. under drought stress condition. Annals of Plant Science 1:6–11.

Chakraborty U, Chakraborty BN, Chakraborty AP, Dey PL. 2013. Water stress amelioration and plant growth promotion in wheat plants by osmotic stress tolerant bacteria. World Journal of Microbiology and Biotechnology 29:789–803.

Dhindsa RS. 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. Journal of Experimental Botany 32 (1): 93-101.

Dolatabadi H., Mohammadi Goltapeh E, Moieni A, Varma A. 2012. Evaluation of different densities of auxin and endophytic fungi (*Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera*) on *Mentha piperita* and *Thymus vulgaris* growth. Journal of Biotechnology 11 (7):1644-1650.

Ghazi N, Karaki A L. 1998. Benefit-cost and water use efficiency of arbuscular mycorrhizal durum wheat grown under drought stress. Mycorrhizae 8, 41-45.

Heidari M, Golpayegani A. 2011. Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 23: 1-5.

Huixing, S. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. Electronic Journal of Biology 1:44–48.

Huang B, Gao H. 2000. Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivar. Crop Science 40: 196-203.

Islam F, Yasmeen T, Ali Q, Ali S, Arif MS, Hussain S, Rizvi H. 2014. Influence of Pseudomonas aeruginosa as PGPR on oxidative stress tolerance in wheat under Zn stress. Ecotoxicology and Environtal Safety 104, 285-93.

Khalafallah AA, Abo-Ghalia HH. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. Journal of Applied Sciences Research 4: 559–569.

King J., Gay A, Sylvester-Bradley R, Bingham I, Foulkes J, Gregory P, Robinson D. 2003. Modeling cereal root systems for water and nitrogen capture: Towards an economic optimum. Annals of Botany 91: 383–390.

Mac-Adam JW, Nelson CJ, Sharp RE. 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. Plant Physiology 99 (3): 872-878.

Manoharan P , Pandi M , Shanmugaiah V, Gomathinayagam S, Balasubramanian N. 2008. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizal fungus on the physiology and biochemical changes of five different tree seedlings grown under nursery conditions. African journal of biotechnology 7(19), 3431-3436.

Minocha R., Shortel WC, Longand SL, Minocha SC. 1994. A rapid Reliable procedure for extraction of cellular polyamines and inorganic ions form plant tissues. Plant Growth Regulation 13: 187-193.

Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science 7: 405-410.

Nakano Y, Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant Cell Physiology 22: 867-880.

Naveed M, Baqir Hussain M, Zahir ZA, Mitter B, Sessitsch A. 2014. Drought stress amelioration in wheat through inoculation with Burkholderia phytofirmans strain PsJN. Plant Growth Regulations 73:121–131.

Pereyra MA, Zalazar CA, Barassi, CA. 2006. Root phospholipids in Azospirillum inoculated wheat seedlings exposed to water stress. *Plant Physiol Biochem* 44:873–879.

Porcel R, Ruiz-Lozano JM. 2004. Arbuscularmycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. Journal of Experimental Botany 55: 1743–50.

Porcel R, Barea JM, Ruiz-Lozan JM. 2003. Antioxidant activities in mycorrhizal soybean plants under drought stress and their possible relationship to the process of nodule. *New Phytol*,157:135–143.

Ruiz-Lozano JM, Azcón R. 1997. Effect of calcium application on the tolerance of mycorrhizal lettuce plants to polyethylene glycol-induced water stress. Symbiosis 23: 9–22.

Saghafi K, Ahmadi J, Asgharzadeh A, Bakhtiari S. 2013. The effect of microbial inoculants on physiological responses of two wheat cultivars under salt stress. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 1 (4): 421-431.

Sandhya V, Ali SZ, Grover M, Reddy G. 2010. Venkateswarlu, B., Effect of plant growth promoting Pseudomonas spp. On compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth* Regulation 62:21–30.

Serraj R, Krishnamurty L, Kashiwagi J, Kumar JK, Chandra S, Crouch JH. 2004. Variation in root traits of chickpea (*Cicer aretinum* L.) grown under terminal drought. Field Crops Research 88: 115-127.

Sharma, A.K. 2002. Bio-fertilizers for sustainable agriculture. 1sd edition. Jodhpur: agrobios, Indian, 456p.

Sharma P, Dubey RS. 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regulation 46: 209-221.

Shaharoona B, Naveed M, Arshad M, Zahir ZA. 2008. Ferttilizer-dependent efficiency of *Pseudomonas* for improving growth, yield and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum L.*). Microbial Biotechnology 79: 147-155.

Soomro M., Markhand H, Soomro B.A. 2011. Screening Pakistani cotton for drought tolerance. Pakistan journal of botany 44 (1): 383-388.

Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in condition of drought stress and its mechanisms .Electronic Journal of Biology 1 (3): 44-48.

Stewart RR, Bewley J.D. 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. Plant Physiology 65 (2): 245-248.

Talukder ASMHM, McDonald GK, Gill GS. 2014. Effect of short-term heat stress prior to flowering and early grain seton the grain yield of wheat. Field Crops Research 160: 54–63.

Tanwar SPS, Sharma GL, Chahar MS. 2002. Effects of phosphorus abd biofertilizers on growth and productivity of black gram. Annuals of Agricultural Research 23 (3): 491-493.

Türkan BM, Özdem RF, Koca H. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Plant Science 168: 223-231.

Vinale F, Sivasithamparam K, Ghisalberti EL, Woo SL, Lorito M. 2008. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. Soil Biol. Biochem. 40: 1-10.

Wahid A, Gelani S, Ashraf M, Foolad M. 2007. Heat tolerance in plants: anoverview. Environmental and Experimental Botany 61: 199–223.

Wang X, Cai J, Jiang D, Liu F, Dai T, Cao W. 2011. Pre-anthesis high-temperatureacclimation alleviates damage to the flag leaf caused by post-anthesis heat stressin wheat. Journal of Plant Physiology 168: 585–593.

Wu Q, Xia R. 2004. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and osmotic adjustment matter content of trifoliate orange seedlings under water stress. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology 30: 583–588.

Zahid A, Muhammad AA, Shaukat A, Zaheer A, Abdul W, Bahadur A, Tahir H, Arshad I, Izhar W, Muhammad Zulfiqar A, Tariq S. 2013. Integrated Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Phosphate Solubilizing Bacteria and Chemical Fertilizers on Growth of Maize. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 6 (13): 913-921.

Zahir ZA, Munir A, Asghar HN, Arshad M, Shaharoona B. 2008. Effectiveness of rhizobacteria containing ACC-deaminase for growth promotion of peas (P*isum sativum*) under drought conditions. Journal of Microbiol Biotechnology 18:958–963.

Zhu X, Song F, Liu S. 2011. Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. Journal of Food, Agriculture and Environment 9: 583–587.

Zhu XC, Song FB, Liu SQ, Liu, TD, Zhou, X. 2012. Arbuscular mycorrhizae improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress. Plant, Soil and Environment 58:186–191.

Xu QA, Paulsen AQ, Guikema JA, Paulsen GM. 1995. Functional and ultrastruc-tural injury to photosynthesis in wheat by high-temperature during maturation.Environ. Journal of Experimental Botany 35, 43–54.

Effect of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal fungi on some activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics of wheat under dry land conditions

R. Naseri[1*], M. Barary[1], M.J. Zarea[1], K. Khavazi[2] , Z. Tahmasebi[1]

1-Department of Agronomy and Plant Breeding, Ilam University, Ilam, Iran
2- Water and Soil Research Institute, Agricultural Research Education and Extension (AREEO), Karaj, Iran

Abstract

In order to study the effect of phosphate solubilizing bacteria (PSB) and mycorrhizal fungi on activities of antioxidative enzymes and physiological characteristics of wheat under dry land conditions, an experiment was carried out using factorial arrangement based on randomized complete block design with three replications at two locations (Agricultural Research Station of Ilam University and Sarableh Agricultural and Research, Recourses Center) during 2013-2014 cropping season. Experiment factors consisted of wheat factor at two levels (Keras Sablan and Saji) and fertilizer sources treatment at eight levels including of 1- without application of phosphorous chemical fertilizer, 2- 50 kg/ha phosphorous chemical fertilizer, 3- *pseudomonas putida* (PSB), 4- *Glomus mosseae* (GM), 5-PSB+GM, 6-PSB+GM+25 kg/ha phosphorous chemical fertilizer, 7- PSB+ 25 kg/ha phosphorous chemical fertilizer and 8- GM+25 kg/ha phosphorous chemical fertilizer. Results indicated that interaction effect of cultivar×fertilizer sources on some activities of antioxidative enzymes and physiological characteristics were effect at 1% probability level. So that, Saji cultivar×*Glomus mosseae*+25 kg/ha phosphorous chemical fertilizer had the highest APX (14.6 u/mg protein), POD (15.4 u/mg protein), SOD (23.6 u/mg protein), chlorophyll a (44.3 mg mL^{-1}), chlorophyll b (43.6 (mg mL^{-1}), proline (4.5 µm g^{-1}), RWC (71.3%), WUE (6.3 kg/mm) and decreased MAD (18 µmolg^{-1}d.w) and Keras Sabalan cultivar and check treatment (without application of phosphorous chemical fertilizer) had the lowest APX, POD, SOD and photosynthetic pigment. Therefore, with the selection of suitable and responding cultivar to bio-fertilizers sources can lead to improvement of growth and grain yield by increasing the activities of antioxidative enzymes and physiological characteristics under dry land conditions.

Keywords: APX, Chlorophyll, POD, Proline, SOD, Water use efficiency

[*] *Corresponding author: rahim.naseri@gmail.com* *Received: 2016/11/12 Accepted: 2017/08/29*