



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره پنجم، شماره اول، بهار و تابستان
۹۷
<http://arpe.gonbad.ac.ir>

اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر خصوصیات ریشه و فعالیت برخی از آنژیم‌های آنتی‌اکسیدان گندم در شرایط دیم

رحیم ناصری^{۱*}، مهرشاد بارایی^۲، محمد جواد زارع^۳، کاظم خوازی^۴، زهرا طهماسبی^۵

^۱استادیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

^۳دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

^۴استاد موسسه تحقیقات خاک و آب کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۱۲

چکیده

مقدمه: گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی نواحی معتدل است. این گیاه زراعی در جاهایی کشت می‌شود که دمای بالا موجب محدودیت تولید می‌گردد. دمای بالا و وقوع تنش در ارتباط با گرم شدن جهانی بوده و خطری برای کاهش عملکرد گندم محسوب می‌گردد. اعمال تنش سبب تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در گیاه می‌گردد که به موجب آن ROS‌ها می‌توانند موجب سرعت و اکسیداسیون مخرب اجزای سلولی گرددند. بنابراین گیاهان با ایجاد یک سیستم دفاعی پویا مثل کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون و اسید‌آسکوربیک سبب جاروب کردن ROS‌ها می‌گرددند. از سویی قارچ میکوریزا به وسیله القا ریشه‌های توسعه یافته موجب کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه می‌گردد. مکانیسم‌های ممکن برای بهبود مقاومت به خشکی در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا شامل افزایش هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه، تنظیم وزنه‌ای، جذب آب در سطوح پایین رطوبت خاک، تنظیم اسمزی و نگهداری فشار تورگر حتی در شرایط پتانسیل آب بافتی، افزایش فعالیت فتوسنتری، تجمع پرولین، کربوهیدرات و افزایش وضعیت تغذیه‌ای می‌باشد. علاوه‌بر این باکتری‌های حل‌کننده فسفات نیز نقش مهمی را در تغذیه فسفری از طریق افزایش قابلیت آن به گیاه به‌واسطه رهاسازی فسفات از فرم غیرآلی به آلی از طریق حل‌کردن و معدنی شدن بر عهده دارد.

*نویسنده مسئول: rahim.naseri@gmail.com

اثر باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر خصوصیات ریشه و ...

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی اثر باکتری سودوموناس و قارچ میکوریزا بر سیستم ریشه و فعالیت برخی آنژیم‌های آنتی‌اکسیدان گندم دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل رقم گندم در دو سطح (کراس‌سبلان و ساجی) و تیمار منابع کودی در هشت سطح شامل: ۱) تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۲) ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، ۳) باکتری سودوموناس پوتیدا، ۴) قارچ گلوموس موسه، ۵) باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ گلوموس موسه، ۶) باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ گلوموس موسه + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، ۷) باکتری سودوموناس پوتیدا + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۸) قارچ گلوموس موسه + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر بودند.

نتایج: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر برهم‌کنش رقم × منابع کودی بر خصوصیات ریشه و فعالیت برخی آنژیم‌های آنتی‌اکسیدان و خصوصیات فیزیولوژیکی تأثیر معنی‌دار داشت؛ به طوری که رقم ساجی در تیمار قارچ گلوموس موسه + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر موجب افزایش وزن تر ریشه (۵/۲ گرم)، وزن خشک ریشه (۰/۳۰۸ گرم)، محتوای آب ریشه (۴/۶ گرم)، حجم مخصوص ریشه (۰/۰۰۰۵۷ گرم وزن خشک ریشه بر سانتی‌متر مکعب حجم خاک) و تراکم حجم ریشه (۹/۷ گرم وزن تر ریشه بر سانتی‌متر مکعب حجم خاک) گردید. آنژیم گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز و قندهای محلول تحت تأثیر اصلی رقم و منابع کودی معنی‌دار گردید. رقم ساجی دارای بیشترین آنژیم گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز و قندهای محلول بود. در بین تیمارهای منابع کودی نیز باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ گلوموس موسه + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین میزان فعالیت آنژیم گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز و قندهای محلول در برگ بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش بیانگر اثر مثبت و معنی‌دار باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر سیستم ریشه و برخی صفات فیزیولوژیک در گندم در شرایط دیم بود. باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا موجب افزایش وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، محتوای آب ریشه، حجم مخصوص ریشه و تراکم حجم ریشه نسبت به تیمار کنترل گردیدند، که این افزایش ریشه موجب بهبود رشد گیاه از طریق افزایش فعالیت خصوصیات فیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی شد. با توجه به این که کشت گندم دیم با تنش خشکی و گرما مواجه می‌گردد، رقم ساجی و استفاده از قارچ میکوریزا می‌تواند از طریق بهبود سیستم ریشه‌دهی و افزایش سطح آنتی‌اکسیدانتی گیاه بهترین نتیجه را در شرایط دیم از خود نشان دهد.

واژه‌های کلیدی: پراکسید هیدروژن، تراکم حجم ریشه، حجم مخصوص ریشه، کاتالاز

مقدمه

گیاهان جهت مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از انواع اکسیژن فعال، دارای فعالیت ضد اکسندگی آنزیمی و غیر آنزیمی می‌باشند. ضد اکسنددهای غیر نزیمی شامل آب دوست‌ها (شامل گلوتاتیون و اسید آسکوربیک) و چربی دوست‌ها (شامل توکوفرول و کاروتونوئیدها). ضد اکسنددهای آنزیمی نیز شامل سوپراکسید دیسموتاز می‌باشد که واکنش تبدیل رادیکال سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن را کاتالیز می‌کند و کاتالاز، آسکوربیک پراکسیداز و پراکسیداز که پراکسید هیدروژن تشکیل شده را به آب احیا می‌کنند (Mittler, 2002).

یکی از مهم‌ترین روابط هم‌زیستی در عالم حیات که در طی دوره تکامل به وجود آمده است، مزیستی میکوریزی می‌باشد که در آن، ریشه گیاه با قارچ به صورت یک واحد زنده فعالیت می‌کنند و از یکدیگر سود برد و به رشد یکدیگر کمک می‌کنند (Ghabouli *et al.*, 2011). قارچ میکوریزا در محیط اطراف ریشه گیاه با توسعه توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی، تقویت سیستم دفاعی گیاه میزبان را تقویت نموده و موجب کاهش تنش گرمایی می‌گردد (Song, 2005). افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گندم مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا گزارش شده است (Ali *et al.*, 2005; Khalafallah *et al.*, 2008). قارچ میکوریزا سبب بهبود جذب عناصر غذایی و همچنین محافظت گیاه میزبان در مقابل تنش‌های زیستی و غیرزیستی از جمله گرما و خشکی می‌شود (Borde *et al.*, 2012). زو و همکاران (Zhu *et al.*, 2011) افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را در گیاه ذرت تلقیح شده با قارچ میکوریزا گزارش کردند. آن‌ها پیشنهاد دادند که قارچ میکوریزا تولیدات آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده که نتیجه این افزایش آنتی‌اکسیدانی موجب کم‌کردن گونه‌های اکسیژن فعال و محافظت سلول‌ها در برابر تنش اکسیداتیو می‌گردد.

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد مانند باکتری‌های جنس از توباكتر^۲، آزوسپریلیوم^۳ و سودوموناس^۴ 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 (Ghorbanpour *et al.*, 2014). گزارش‌های متعددی در خصوص تغییرات فیزیولوژیکی ناشی از فعالیت زیستی در ریزوسفر گیاهان گزارش شده است.

² *Azotobacter*

³ *Azospirillum*

⁴ *Pseudomonas*

چاکرابورتی و همکاران (Chakraborty *et al.*, 2013) نشان دادند که سطوح آنتی‌اکسیدانی در گندم در تیمارهای مایه‌زنی شده با باکتری‌های ریزوسفری محرك رشد زیاد می‌شود. در مطالعات ناصری و همکاران (Naseri *et al.*, 2017) و اسلام و همکاران (Islam *et al.*, 2014) نشان داده شد که باکتری سودوموناس موجب افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پرکسیداز و همچنین موجب کاهش پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید گردید. در گزارش‌های نوید و همکاران (2014) (Naveed *et al.*, 2014) بر گندم نشان داده شد که نشت‌پذیری غشاء در تیمارهای عدم تلقیح با باکتری‌های ریزوسفری محرك رشد افزایش یافت.

با بررسی نقش باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر خصوصیات رشدی گندم در شرایط دیم می‌توان به نتایجی مفیدی دست یافت. با توجه به این‌که تحقیقاتی در مورد کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر گندم دیم در کشور و استان ایلام گزارش نشده است، آزمایش حاضر با هدف بررسی نقش باکتری سودوموناس پوتیدا و قارچ گلوموس موسه بر خصوصیات ریشه و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گندم دیم در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر سیستم ریشه و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گندم در شرایط دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار 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 ۱۷۴ متر) در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ اجرا شد (جدول ۱).

تیمارهای آزمایشی شامل عامل رقم گندم در دو سطح (کراس‌سبلان و ساجی) و تیمار منابع کودی در هشت سطح شامل: ۱) تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) (Control)، ۲) ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (50 kg/ha P)، ۳) باکتری سودوموناس پوتیدا (*Pseudomonas putida*)، ۴) باکتری سودوموناس (strain 168 (PSB)، ۵) قارچ گلوموس موسه (*Glomus mosseae* (GM)، ۶) باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ گلوموس موسه (PSB + GM)، ۷) باکتری سودوموناس پوتیدا + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (PSB + GM + 25 kg/ha P)، ۸) باکتری سودوموناس پوتیدا + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (PSB + 25 kg/ha P) و ۹) قارچ گلوموس موسه + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (GM + 25 kg/ha P).

جدول ۱- مقدار متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقی داشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳

Table 1- Monthly mean value of precipitation and relative humidity in Agriculture Research Field Staion of Ilam University during 2013-2014 cropping seasons

Month	ماه	حداکثر دما (درجه سانتی گراد)	حداقل دما (درجه سانتی گراد)	حداکثر رطوبت (درصد)	حداقل رطوبت (درصد)	میزان بارش (میلی متر)	Precipitation (mm)	Min. RH (%)	Max. RH (%)
Oct.	مهرماه	11	27	0	14			41	
Nov.	آبان	7.5	25.6	163.5	45			84	
Dec.	آذر	2.7	12.7	103.3	45			89	
Jan.	دی	-1	10.8	89.9	42			88	
Feb.	بهمن	2	11	151.3	43			89	
Mar.	اسفند	5	15.8	93.1	43			85	
Apr.	فروردین	6.4	19.8	32.4	27			74	
May	اردیبهشت	12.8	27.1	27.2	21			59	
Jun.	خرداد	16.9	32.4	0	14			39	

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. باکتری سودوموناس پوتیدیا سویه ۱۶۸ (به صورت محلول) و قارچ گلوموس موسه (به صورت پودر) مورد استفاده در این پژوهش از بخش تحقیقات بیولوژی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد (جدول ۲). قبل از کشت، جهت تلقیح بذور گندم به میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای ^۷۱۰ عدد باکتری سودوموناس زنده و فعال و قارچ گلوموس موسه که هر گرم آن دارای ۱۵۰ اسپور زنده بود، استفاده گردید.

بذرو پس از ضدعفونی شدن با باکتری سودوموناس پوتیدیا و قارچ گلوموس موسه به مدت چند دقیقه آغشته شد تا مایه تلقیح به کمک صمع عربی بذر به خوبی سطح بذور را (تلقیح به صورت بذرمال) پوشش دهد. بذور تیمار شده به مدت ده دقیقه روی سطح تمیز، در سایه قرار داده شدند تا خشک شوند. پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور تلقیح شده در شیارهای ایجاد شده قرار داده شدند. مقدار بذر مصرفی برای هر هکتار ۱۲۰ کیلوگرم بود. کودهای نیتروژن و فسفر براساس آزمون خاک (جدول ۳) مورد استفاده قرار گرفتند. کود نیتروژن به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقدهی) به زمین داده شد. در مورد کود فسفره ۵۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 از منبع سوبر فسفات تریپل ۱۰۰ درصد کود توصیه شده در زمان کاشت مصرف گردید.

اندازه‌گیری خصوصیات وابسته به ریشه در داخل مزرعه بعد از مرحله گردیده افشاری با استفاده از استوانه‌ای فلزی با ابعاد طول ۳۰ سانتی‌متر و عرض دو سانتی‌متر که از قبل به صورت 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 در داخل یخچال نگهداری شدند، سپس اقدام به اندازه‌گیری صفات ریشه گردید. وزن تر ریشه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم وزن گردید. پس از اندازه‌گیری صفات مربوط به ریشه، ریشه‌های مورد آزمایش در داخل دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت گذاشته شدند و مجددًا توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم وزن شدند.

طول مخصوص ریشه که محاسبه آن به صورت زیر انجام گرفت (Mahanta *et al.*, 2014).

$$SRL = \frac{RL}{DRW}$$

SRL = طول مخصوص ریشه، RL = طول ریشه و DRW = وزن خشک ریشه

محاسبه محتوای آب ریشه به صورت زیر صورت گرفت (Hasanabadi *et al.*, 2010).

$$RWC = \frac{FRW - DRW}{DRW}$$

جدول ۲- خصوصیات باکتری سودوموئاس پوتیدا (سود ۱۶۸)

جنس، گونه و سریه ^۴	Genus, species and strain	Siderophore production	IAA production (mg/L)	Phosphate solubilizing ability	ACC deaminase
<i>Pseudomonas putida</i> strains 168		0.70	9.8	+	+

۱۶۹

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در در مزرعه تحقیقاتی داشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳

Soil texture	آهن Fe	بافت خاک Zn	آهن Cu	منیزیم Mn	منگنز Mg	پتاسیم قابل جذب Available P	فسفر قابل جذب Available K	نیتروژن کل Total N	کربن آلی Organic carbon (%)	هدايت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیت خاک pH
لرمی-شی Sandy loam	9.16	1	1	5.04	3.6	7.2	310	0.12	1.28	0.97	7.2

اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر خصوصیات ریشه و ...

محاسبه محتوای آب ریشه به صورت زیر صورت گرفت (Hasanabadi *et al.*, 2010)

$$RWC = \frac{FRW - DRW}{DRW}$$

RWC = محتوای آب ریشه، RFW = وزن تر ریشه و DRW = وزن خشک ریشه
حجم مخصوص ریشه از طریق رابطه زیر به دست آمد (Hasanabadi *et al.*, 2010)

$$SRM = \frac{RDW}{SV}$$

SRM = حجم مخصوص ریشه، DRW = وزن خشک ریشه و SV = حجم خاک

محاسبه تراکم حجم ریشه به صورت زیر انجام گرفت (Hajabbasi, 2001)

$$RMD = \frac{FRW}{SV}$$

RMD = تراکم حجم ریشه، FRW = وزن تر ریشه و SV = حجم خاک

محاسبه چگالی ریشه به صورت زیر انجام گرفت (Akhavan *et al.*, 2012)

$$RD = \frac{RDW}{RV}$$

RD = چگالی ریشه، RDW = وزن خشک ریشه و RV = حجم ریشه

برای اندازه‌گیری صفات آنتی‌اکسیدانی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو هفته بعد از مرحله گردهافشانی از برگ پرچم نمونه‌برداری انجام گرفت. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز به روش چانس و مهلهی (Chance and Maehly, 1955) و آنزیم کاتالاز به روش ابی (Aebi, 1984) صورت گرفت. استخراج پراکسید هیدروژن و سنجش آن به روش لرت و ولیکوا (Loreto and Sheligl, 1986) انجام شد. برای اندازه‌گیری قندهای محلول از روش شلیگل (Velikova, 2001) استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) صورت گرفت.

نتایج و بحث

وزن تر ریشه: در این پژوهش وزن تر ریشه تحت تأثیرات ساده و برهمنکنش رقم × منابع کودی معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین وزن تر ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد GM + 25 kg/ha P و کمترین وزن تر ریشه از رقم کراس‌سبلان حاصل شد، که نسبت به تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۵۷ درصدی در وزن تر ریشه گردید. در این پژوهش واکنش ارقام مورد استفاده به کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در شرایط دیم متفاوت بود.

همان طور که نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد رقم کراس سبلان واکنش بهتری به باکتری سودوموناس پوتیدا (افزایش ۵۲٪ درصدی وزن تر ریشه) و رقم ساجی نیز واکنش بهتری به قارچ گلوموس موسه (افزایش ۵۰ درصدی وزن تر ریشه) از خود نشان می دهند (جدول ۵).

بانرجی و همکاران (Banerjee *et al.*, 2006) و ویسی و باس (Vessey and Buss, 2002)

افزایش وزن ریشه در غلات را به دلیل تلقیح بذر با باکتری های ریزوسفری محرک رشد گزارش نمودند. آن ها اظهار داشتند که تأثیر مواد تنظیم کننده رشد تولید شده به وسیله باکتری های ریزوسفری محرک رشد بر رشد ریشه از طریق پارامترهایی بروز می کند که مهم ترین آن ها افزایش وزن و انشعابات ریشه و افزایش تارهای موبین ریشه می باشد، که از میان آن ها افزایش وزن ریشه عمومی تر می باشد. مطالعات نشان داده است که قارچ میکوریزا موجب جذب بیشتر آب در شرایط تنفس خشکی می گردد، که دلیل این موضوع را تغییر ساختار ریشه و رشد بهتر ریشه از جمله افزایش تعداد ریشه بیان شد (Khalvati *et al.*, 2005).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربوطات) اثر رقم و منابع کودی بر صفات ریشه دو رقم گندم دیم

Table 4- Analysis of variance (MS) effect of cultivar and fertilizer sources on root traits in

two dryland wheat cultivars

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	وزن تر Fresh weight	وزن خشک Dry weight	طول مخصوص Special lenght	محتوای آب Water content
تکرار Replications	2	0.83**	0.007**	20772.1**	0.83**
رقم Cultivar (C)	1	1.4**	0.017**	2333.2*	1.45**
منابع کودی Fertilizer sources (FS)	7	2.3**	0.014**	13612**	3.36**
رقم × منابع کودی C × FS	7	0.23**	0.001*	610.3ns	0.23**
خطا Error	30	0.04	0.0004	471.6	0.04
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.3	9.2	11.2	5.3

* و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر خصوصیات ریشه و ...

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر برهمکنش رق^ه × منابع کوئنی بر صفات ریشه دو رقم گندم دیم
Table 5- Mean comparison of interaction effect of cultivar × fertilizer sources on root traits in two dryland wheat cultivars

نام Cultivar	منابع کوئنی Fertilizer sources	وزن تر (گرم) Fresh weight (g)	وزن خشک (گرم) Dry weight (g)	محتوای آب (٪) Water content (%)	
				گراسبلان Keras Sabalan	ساجی Saji
گراسبلان Keras Sabalan	Control	2.2 (± 0.05) ^a	0.106 (± 0.003) ^a	2.1 (± 0.053) ^e	
	50 kg/ha P	3.8 (± 0.021) ^f	0.175 (± 0.017) ^f	3.8 (± 0.21) ^{cd}	
	PSB	4.04 (± 0.041) ^{ef}	0.200 (± 0.003) ^{ef}	3.9 (± 0.042) ^{bcd}	
	GM	3.8 (± 0.046) ^f	0.176 (± 0.003) ^f	3.7 (± 0.047) ^d	
	PSB + GM	4.07 (± 0.011) ^{de}	0.200 (± 0.0089) ^{ef}	4.02 (± 0.11) ^{bc}	
	PSB + GM + 25 kg/ha P	4.5 (± 0.027) ^{bc}	0.253 (± 0.028) ^{bc}	4.4 (± 0.27) ^a	
	PSB + 25 kg/ha P	4.6 (± 0.010) ^b	0.260 (± 0.011) ^b	4.6 (± 0.10) ^a	
	GM + 25 kg/ha P	4.1 (± 0.011) ^{de}	0.223 (± 0.0088) ^{de}	4.1 (± 0.11) ^b	
	Control	2.6 (± 0.05) ^g	0.134 (± 0.007) ^g	2.2 (± 0.051) ^e	
	50 kg/ha P	4.1 (± 0.031) ^{de}	0.217 (± 0.027) ^{de}	3.7 (± 0.31) ^d	
ساجی Saji	PSB	4 (± 0.05) ^{ef}	0.220 (± 0.010) ^{de}	3.9 (± 0.056) ^{cd}	
	GM	4.3 (± 0.011) ^{cd}	0.233 (± 0.012) ^{cd}	3.9 (± 0.11) ^{bcd}	
	PSB + GM	4.4 (± 0.021) ^{de}	0.243 (± 0.020) ^{bcd}	4.02 (± 0.21) ^{bc}	
	PSB + GM + 25 kg/ha P	5.06 (± 0.038) ^a	0.290 (± 0.035) ^a	4.4 (± 0.38) ^a	
	PSB + 25 kg/ha P	4.4 (± 0.09) ^{de}	0.255 (± 0.013) ^{bc}	4.1 (± 0.088) ^b	
	GM + 25 kg/ha P	5.2 (± 0.017) ^a	0.308 (± 0.009) ^a	4.6 (± 0.17) ^a	
	Control	2.6 (± 0.05) ^g	0.134 (± 0.007) ^g	2.2 (± 0.051) ^e	
	50 kg/ha P	4.1 (± 0.031) ^{de}	0.217 (± 0.027) ^{de}	3.7 (± 0.31) ^d	
	PSB	4 (± 0.05) ^{ef}	0.220 (± 0.010) ^{de}	3.9 (± 0.056) ^{cd}	
	GM	4.3 (± 0.011) ^{cd}	0.233 (± 0.012) ^{cd}	3.9 (± 0.11) ^{bcd}	

میانگین‌هایی که در هر سطح حرف مشترک می‌باشند، برابر از میانگین‌هایی که در هر سطح دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the 5% probability level (LSD Test).

تحقیقین نشان داده‌اند که مکانیسم‌های ممکن در مقاومت به خشکی توسط قارچ میکوریزا از طریق افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه (Robert *et al.*, 2008)، افزایش جذب در شرایط سطوح پایین رطوبت خاک و انتقال توسط هیف‌ها (Fagbola *et al.*, 2001)، تنظیم اسمزی از طریق نگهداری فشار تورگر، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تجمع پرولین و کربوهیدرات‌ها، بهبود وضعیت عناصر غذایی، بالا بردن ظرفیت آنتی اکسیدانی، بهبود روابط آبی می‌گردد (Asrar *et al.*, 2011). حضور کودهای زیستی می‌تواند باعث بهبود خصوصیات خاک و افزایش دستررسی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین عناصر ریز مغذی شود که این اثرات در حضور کودهای شیمیایی تشدید می‌شود (Eydizadeh *et al.*, 2010). همچنین این کودها از طریق گسترش ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی موجب افزایش اجزای عملکرد دانه در گندم می‌گردد (Amiri Farsani *et al.*, 2013).

وزن خشک ریشه: در نتایج حاصل از بررسی نشان داده شد که اثرات ساده و همچنین اثر برهم‌کنش رقم × منابع کودی از نظر وزن خشک ریشه تفاوت معنی‌داری دارند (جدول ۴). بیشترین وزن خشک ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد P + 25 kg/ha و کمترین وزن خشک ریشه از رقم کراس‌سبلان حاصل شد، که نسبت به تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۶۵/۵ درصدی در وزن خشک ریشه گردید (جدول ۵). در این پژوهش واکنش ارقام مورد استفاده به کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در شرایط دیم متفاوت بود. همان‌طور که نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد رقم کراس‌سبلان واکنش بهتری به باکتری سودوموناس پوتیدیا (افزایش ۵۹/۲ درصدی وزن خشک ریشه) و رقم ساجی نیز واکنش بهتری به قارچ گلوموس موسه (افزایش ۵۶/۴ وزن خشک ریشه) از خود نشان می‌دهند (جدول ۵).

خلوتی و همکاران (Khalvati *et al.*, 2005) گزارش کردنده که میزان وزن خشک ریشه گندم کلونیزه شده با میکوریزا در مقایسه با تیمار کنترل بیشتر بود. مطالعات همچنین نشان داد که تغییرات فتوهورمونی بهدلیل استفاده از باکتری‌های ریزوسفری محرك رشد سبب افزایش طول ریشه، سطح ریشه (Shahroona *et al.*, 2006) و وزن خشک ریشه (Shahroona *et al.*, 2008) (Shahroona *et al.*, 2008) خواهد شد. عبدالعزیز و همکاران (Abdelaziz *et al.*, 2007) و القادبن و همکاران (EL-Ghadban *et al.*, 2002) افزایش عناصر پرمصرف را ناشی از افزایش سطح جذبی ریشه به ازای هر واحد از حجم خاک، افزایش جذب آب و فعالیت فتوسنتزی بیان کردند که مستقیماً روی فرآیندهای فیزیولوژیکی و مصرف کربوهیدرات‌ها مؤثر است.

طول مخصوص ریشه: صفت طول مخصوص ریشه براساس جدول تجزیه واریانس تحت تأثیر اثرات اصلی رقم و منابع کودی معنی‌دار گردید (جدول ۴). در این پژوهش رقم ساجی دارای بیشترین طول مخصوص ریشه بود (جدول ۶). تیمارهای P + 25 kg/ha و PSB + GM شاهد (عدم مصرف هیچ

اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر خصوصیات ریشه و ...

منبع کودی) به ترتیب بیشترین و کمترین طول مخصوص ریشه را دارا بودند (جدول ۶). گیاه هنگام مواجه با تنفس خشکی برای این که توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد، ماده خشک بیشتری را به سیستم ریشه‌ای، در نتیجه تغییراتی در خصوصیات مرفو‌لوزیکی ریشه‌ها مانند طول مخصوص ریشه اختصاص می‌دهد (Shaban *et al.*, 2012). تلقیح گیاه بادرشبو با میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش جذب پتاسیم و افزایش غلظت این عنصر در گیاه شد که شاید این مسئله به اثرات مفیدی که این میکروارگانیسم‌ها (سودوموناس و میکوریزا) در افزایش فتوسنتز، رشد گیاه، افزایش تراکم، طول ریشه‌های موئین و سطح جذبی ریشه گیاه دارند، مرتبط باشد (Rahim Zadeh *et al.*, 2013).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر ساده رقم و منابع کودی بر طول مخصوص ریشه و چگالی ریشه دو رقم گندم دیم

Table 6- Mean comparison of simple effects of cultivar and fertilizer sources on root special length and root density in two dryland wheat cultivars

تیمارها Treatments	طول مخصوص Special density (cm root/g root DW)	چگالی Density (g root DW/cm ³ root volume)
رقم Cultivar		
Keras Sabalan	185.9 (± 11.2) ^b	0.064 (± 0.00081) ^b
Saji	199.8 (± 12.4) ^a	0.067 (± 0.0010) ^a
منابع کودی Fertilizer sources		
Control	138.4 (± 12.2) ^c	0.058 (± 0.0011) ^a
50 kg/ha P	151.3 (± 12.3) ^b	0.064 (± 0.0011) ^b
PSB	164.7 (± 17.6) ^b	0.066 (± 0.0013) ^b
GM	164.3 (± 14.6) ^b	0.063 (± 0.0017) ^b
PSB + GM	165.7 (± 9.1) ^b	0.067 (± 0.0019) ^b
PSB + GM + 25 kg/ha P	285.8 (± 20.4) ^a	0.067 (± 0.0034) ^a
PSB + 25 kg/ha P	251.9 (± 20.48) ^a	0.067 (± 0.0025) ^a
GM + 25 kg/ha P	237.5 (± 18.06) ^a	0.067 (± 0.0015) ^a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test)

محتوای آب ریشه: بر اساس جدول تجزیه واریانس صفت محتوای آب ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده و برهم‌کنش رقم × منابع کودی قرار گرفتند (جدول ۴). بیشترین محتوای آب ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد GM+25 kg/ha P و کمترین محتوای آب ریشه از رقم کراس‌سبلان

حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) به ترتیب موجب افزایش ۵۴/۳ درصدی در محتوای آب ریشه گردید (جدول ۵). در این پژوهش واکنش رقم‌های دیم مورد استفاده در واکنش به استفاده از باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا تفاوت داشتند، به طوری که رقم کراس‌سبلان نسبت به باکتری سودوموناس پوتیدا (افزایش ۵۴/۳ درصدی محتوای آب ریشه) و رقم ساجی نیز نسبت به قارچ گلوموس موسه (افزایش ۵۰ درصدی محتوای آب ریشه) از خود واکنش بهتری نشان دادند.

حجم مخصوص ریشه: حجم مخصوص ریشه تحت تأثیر اثرات ساده و برهمنکنش رقم × منابع کودی معنی‌دار گردید (جدول ۷). بیشترین حجم مخصوص ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد $GM + 25 kg/ha P$ و کمترین حجم مخصوص ریشه از رقم کراس‌سبلان حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۶۶/۶ درصدی در حجم مخصوص ریشه گردید (جدول ۸). در این پژوهش رقم دیم کراس‌سبلان واکنش بهتری به باکتری سودوموناس پوتیدا (افزایش ۶۰/۴ درصدی حجم مخصوص ریشه) و رقم دیم ساجی نیز واکنش مناسب‌تری به قارچ گلوموس موسه (افزایش ۵۷/۸ درصدی حجم مخصوص ریشه) از خود نشان دادند.

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رقم و منابع کودی بر ریشه دو رقم گندم دیم

Table 7- Analysis of variance (MS) effect of cultivar and fertilizer sources on root traits in two dryland wheat cultivars

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	حجم مخصوص Special density	تراکم حجم Mass density	چگالی Density
تکرار Replications	2	2.49**	0.0000029**	0.00016**
رقم Cultivar (C)	1	5.9**	0.0000051**	0.00011*
منابع کودی Fertilizer sources (FS)	7	4.9**	0.000011**	0.00020*
رقم × منابع کودی C × FS	7	3.5**	0.00000081*	0.00001ns
خطا Error	30	1.4	0.00000016	0.000018
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.2	5.2	6.5

ns, * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. ns, *, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

اثر باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر خصوصیات ریشه و ...

جدول -۸ مقایسه میانگین اثر برهم کش رقم × متابع کودی بر صفات ریشه دو گندم دیم
Table 8- Mean comparison of interaction effect of cultivar × fertilizer sources on root traits in two dryland wheat cultivars

ردیف Cultivar	منابع کودی Fertilizer sources	جیوه مخصوص Special density (g root dry weight/cm ³ soil)	(g root fresh weight/cm ³ soil)	زیگام (جیوه) ریشه Mass density	
				4.1 (± 0.0001) ^f	
کراس سبلان	Control	0.00019 (± 0.00001) ^j		4.1 (± 0.0001) ^f	
	50 kg/ha P	0.00032 (± 0.00003) ^g		7.2 (± 0.0004) ^d	
	PSB	0.00037 (± 0.00002) ^f		7.4 (± 0.00008) ^{cd}	
	GM	0.00032 (± 0.00001) ^g		7.1 (± 0.00009) ^d	
	PSB + GM	0.00037 (± 0.00002) ^f		7.5 (± 0.00002) ^{cd}	
	PSB + GM + 25 kg/ha P	0.00046 (± 0.00005) ^c		8.3 (± 0.00051) ^{bcd}	
Keras	Control	0.00048 (± 0.00002) ^b		8.6 (± 0.00019) ^{abc}	
	50 kg/ha P	0.00041 (± 0.00002) ^d		7.7 (± 0.00021) ^{cd}	
	PSB	0.00021 (± 0.00001) ^a		4.8 (± 0.00001) ^e	
	GM + 25 kg/ha P	0.0004 (± 0.00005) ^e		7.6 (± 0.00059) ^{cd}	
	PSB + GM	0.00044 (± 0.00002) ^e		7.4 (± 0.00001) ^{cd}	
	PSB + GM + 25 kg/ha P	0.00043 (± 0.00002) ^d		8 (± 0.00021) ^{bcd}	
Saji	Control	0.00045 (± 0.00004) ^c		8.1 (± 0.00039) ^{bcd}	
	50 kg/ha P	0.00053 (± 0.00007) ^a		9.3 (± 0.00071) ^{ab}	
	PSB	0.00047 (± 0.00002) ^b		8.2 (± 0.00017) ^{bcd}	
	PSB + GM	0.00057 (± 0.00002) ^a		9.7 (± 0.00033) ^a	
	PSB + GM + 25 kg/ha P				
	GM + 25 kg/ha P				

میانگین‌هایی که در هر سطح دارای حرف مشترک می‌باشند، برواسان از میان LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the 5% probability level (LSD Test).

قارچ میکوریزا افزایش جذب عناصر غذایی را از راه افزایش انشعابات ریشه گیاه و ریسه قارچ در یک محدوده معین از خاک ممکن می‌سازد و از این طریق موجب تغییراتی در روابط آبی گیاه و بهبود مقاومت به کم آبی و یا تحمل در گیاه میزان می‌شود. از جمله این تغییرات، افزایش هدایت هیدرولیکی آب در درون گیاهان میکوریزایی است که می‌تواند به دلایل زیر باشد: افزایش مجموع سطح ریشه بهدلیل ایجاد پوشش وسیع میسلیومی در منطقه ریشه و تارهای کشنده، نفوذ هیف به درون کوتکس ریشه و از آن جا به منطقه آندودرم یک مسیر کم مقاومتی را در عرض ریشه برای حرکت آب فراهم آورده و آب با مقاومت کمتری در عرض ریشه تا رسیدن به آوند چوبی رو بخواهد، هیف از راه افزایش جذب عناصر غذایی مقاومت به انتقال آب را در ریشه کاهش می‌دهد و ذخیره آب در هیف و انتقال آن به گیاه در زمان تنفس خشکی زیاد می‌کند (Shahhosseini *et al.*, 2012).

تراکم حجم ریشه: این صفت تحت تأثیر اثرات ساده و برهمنکنش رقم × منابع کودی معنی‌داری گردید (جدول ۷). بیشترین تراکم حجم ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد $GM + 25 \text{ kg/ha P}$ و کمترین تراکم حجم ریشه از رقم کراس‌سبلان حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۵۷ درصدی در تراکم حجم ریشه گردید (جدول ۸). همان‌گونه که نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد رقم کراس‌سبلان واکنش بهتری به باکتری سودوموناس پویید/ (افزایش $52/3$ درصدی تراکم حجم ریشه) و رقم ساجی نیز واکنش بهتری به قارچ گلوموس موسه (افزایش $50/5$ درصدی تراکم حجم ریشه) از خود نشان دادند. مانسک و همکاران (Manske *et al.*, 1995) بذرهای ارقام مختلف گندم را با قارچ میکوریزا تلقیح نمودند، نتایج نشان داد که قارچ میکوریزا با تولید انواع هورمون‌های گیاهی، رشد طولی و تراکم رشد ریشه‌های گندم را افزایش داده و میزان آسودگی ریشه‌های گندم را به قارچ میکوریزا در همه رقم‌ها به طور قابل مشاهده افزایش داد چگالی ریشه: براساس جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی رقم و منابع کودی بر چگالی ریشه گندم تأثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۷). در این پژوهش رقم ساجی دارای بیشترین چگالی ریشه بود (جدول ۶). همان‌طوری که جدول مقایسات ساده نشان می‌دهد، تیمار $PSB+GM+25 \text{ kg/ha P}$ و تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) به ترتیب بیشترین و کمترین چگالی ریشه را دار بودند (جدول ۶).

نتایج تحقیقات بر گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی نشان داده است که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزایی است، که این امر در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزایی می‌باشد (Song and Rejali, 2011). سونگ (Song, 2005) گزارش نمود در اثر تلقیح قارچ میکوریزا، ریزوسفر خاک بهبود یافته و در اثر توسعه سیستم

اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر خصوصیات ریشه و ...

ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی، سیستم دفاعی گیاه میزبان تقویت شده و خطرات اکسیداسیون کاهش می‌یابد. این نتیجه نشان‌دهنده آن است که در شرایط خشکی و گرمای، گیاه برای تأمین رطوبت مورد نیاز خود و جذب آب از مناطق دورتر از ریشه، طول ریشه خود را افزایش می‌دهد. استنباط می‌شود قارچ گلوموس موسه به گیاه گندم کمک کرده و با گسترش طول ریشه و افزایش سطح جذب ریشه، موجبات جذب آب و عناصر غذایی بیشتر برای گیاه را در شرایط دیم فراهم می‌آورند.

گلوتاتیون پراکسیداز: در این پژوهش نشان داده شد که گلوتاتیون پراکسیداز تحت تأثیر عوامل اصلی رقم و منابع کودی معنی‌دار گردید (جدول ۹). در این پژوهش رقم ساجی دارای بیشترین فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز بود. در تیمار منابع کودی بیشترین فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز در تیمار PSB + GM + 25 kg/ha P و کمترین فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز در تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) مشاهده گردید، بهطوری که نسبت به تیمار کنترل موجب افزایش ۶۳ درصدی میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز گردید (جدول ۱۰). قارچ میکوریزا در شرایط تنفس خشکی، ریزوسفر خاک را بهبود بخشیده و در اثر توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی، سیستم دفاعی گیاه میزبان را تقویت و خطرات اکسیداسیون را کاهش می‌دهد (Song, 2005).

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مریعات) اثر رقم و منابع کودی بر صفات فیزیولوژیکی دو رقم گندم دیم
Table 9- Analysis of variance (MS) effect of cultivar and fertilizer sources on physiological traits in two dryland wheat cultivars

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	گلوتاتیون پراکسیداز Glutathione peroxidases	کاتالاز Catalases
تکرار Replications	2	0.098	1.4
رقم Cultivar (C)	1	0.23**	24.2**
منابع کودی Fertilizer sources (FS)	7	0.76**	27.02**
رقم × منابع کودی C × FS	7	0.029 ^{ns}	2.3 ^{ns}
خطا Error	30	0.023	3.2
ضریب تغییرات CV (%)	-	17.9	3.08

* و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.
ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

کاتالاز: در این پژوهش مشاهده گردید که فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر عوامل اصلی رقم و منابع کودی معنی دار نشد (جدول ۹). در این پژوهش رقم ساجی دارای بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز بود. در تیمار منابع کودی نیز بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار P + 25 kg/ha GM + PSB در تیمار ۶۲/۵ درصدی افزایش آنزیم کاتالاز در تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) مشاهده گردید؛ به گونه‌ای نسبت به تیمار کنترل موجب افزایش ۶۲/۵ درصدی در فعالیت آنزیم کاتالاز شد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰ - مقایسه میانگین اثر ساده رقم و منابع کودی بر صفات فیزیولوژیکی دو رقم گندم دیم

Table 10- Mean comparison of simple effects of cultivar and fertilizer sources on physiological traits in two dryland wheat cultivars

تیمارها Treatments	گلوتاتیون پراکسیداز Glutathione peroxidases (mg protein/min)	آنزیم کاتالاز Catalases (mg protein/min)
رقم Cultivar		
کراس سبلان	0.78 (± 0.068) ^b	7.1 (± 0.47) ^b
ساجی	0.92 (± 0.083) ^a	8.5 (± 0.57) ^a
منابع کودی Fertilizer sources		
Control	0.46 (± 0.039) ^d	4.2 (± 0.33) ^d
50 kg/ha P	0.55 (± 0.025) ^{cd}	6.2 (± 0.49) ^d
PSB	0.65 (± 0.02) ^c	7.5 (± 0.29) ^c
GM	0.68 (± 0.052) ^c	7.6 (± 0.67) ^c
PSB+GM	0.7 (± 0.021) ^c	7.5 (± 0.45) ^c
PSB+GM+25 kg/ha P	1.4 (± 0.099) ^a	11.1 (± 0.87) ^a
PSB+25 kg/ha P	1.09 (± 0.086) ^b	9.8 (± 0.44) ^{ab}
GM+25 kg/ha P	1.2 (± 0.14) ^b	8.6 (± 1.6) ^b

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

عدم افزایش کافی در میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در رقم کراس سبلان منجر به کاهش توانای گیاه جهت تحمل صدمات ناشی از شرایط دیم گردید؛ لذا رقم ساجی با افزایش بیشتر سطح برگ در شرایط دیم بهره برده تا با تجمع کلروفیل در سطح برگ و حفظ مقادیر بالاتر محتوای آب نسبی به نحوی امکان استفاده بیشتر از انرژی نورانی را برای خود فراهم نموده و از توقف فرآیند

فتوستز در شرایط دیم جلوگیری به عمل آورد. اکسیژن‌های فعال باعث تخریب ماکرومولکول‌ها و پراکسیداسیون لیبیدهای غشاء می‌شوند (Sharma and Dubey, 2005). نتایج تحقیقات نشان داد که افزایش سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز بهدلیل کاهش اثرات پراکسیداسیون در هنگام تنش‌های مختلف در گیاهان زراعی گندم، جو، سویا و نخود در مقاومت گیاه به تنش نقش مهمی ایفا می‌کند (Esfandiari *et al.*, 2007). این آنزیم با زدودن انواع گونه‌های اکسیژن فعال و جلوگیری از تخریب غشاء سلولی به بقای گیاه کمک می‌کند (Jiang and Zhang, 2001).

در گزارشات چاکرابورتی و همکاران (Chakraborty *et al.*, 2013) نشان داده شد که میزان فعالت آنتی‌اکسیدانت‌ها در حضور باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد زیاد گردید. احتمالاً با ادامه رشد گیاه و ادامه شرایط تنش خشکی ژنوتیپ محلی نتوانسته است خسارات ناشی از آن را در حد بالا تحمل کند و به‌خاطر ورود به مرحله مرگ سلولی و افت شدید فعالیت آنزیم‌های حیاتی، سرعت فعالیت کاتالاز کاهش یافته است (Navabpour *et al.*, 2004).

کاتالاز از سلول‌ها در برابر پراکسید هیدروژن تولید شده توسط خود آن‌ها محافظت می‌کند. یافته‌های بیوشیمیایی نشان می‌دهند که کاتالاز در دو اندامک پراکسیزوم و گلی اکسیزوم مستقر می‌باشد (Althabegoiti *et al.*, 2008). نشان داده شده است که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد از طریق تولید فاکتورهای آنتی‌اکسیدانی یا تعدیل کردن فتوستز، خسارت گونه‌های اکسیژن فعال را کاهش و می‌توانند گیاه را در برابر حضور این گونه‌های اکسیژن فعال حمایت و از آسیب آن به گیاه جلوگیری نمایند (Young *et al.*, 2013). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان (گندم و سویا) تلقیح شده با قارچ میکوریزا در سایر گزارش‌ها نیز عنوان شده است (Khalafallah and Abo-Ghalia, 2008; Porcel and Ruiz-Lozano, 2004).

پراکسید هیدروژن: مطابق نتایج، اثر رقم، منابع کودی و اثر متقابل این دو بر پراکسید هیدروژن معنی‌دار گردید (جدول ۱۱). بیشترین پراکسید هیدروژن از رقم کراس‌سبلان در تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) و کمترین آن از رقم ساجی و تحت کاربرد P GM + 25 kg/ha حاصل شد، که نسبت به تیمار GM + 25 kg/ha P موجب افزایش ۸۸/۷ درصدی در میزان پراکسید هیدروژن گردید (جدول ۱۲).

همان‌طور که نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد رقم کراس‌سبلان واکنش بهتری به باکتری سودوموناس پوتیدا و رقم ساجی نیز واکنش بهتری به قارچ گلوموس موسه از خود نشان دادند و در حضور باکتری و قارچ از میزان پراکسید هیدروژن کاسته شد و موجب افزایش مقاومت گیاه به شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی و گرمای شدند. افت فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در رقم کراس‌سبلان احتمالاً بهدلیل عدم تعادل بین فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها؛ سبب عملکرد ضعیف آن شده

است. بدین ترتیب با تجمع پراکسید هیدروژن، نقاط کلیدی متابولیسم و مکانیسم‌های دفاعی سلول مورد حمله قرار گرفته و این عوامل سبب می‌شود تا این رقم نسبت به رقم ساجی به شرایط دیم حساس‌تر باشد. واکنش ارقام ساجی و کراس‌سبلان متفاوت بود، به طوری‌که در رقم کراس‌سبلان با گذشت زمان و افزایش سن گیاه فعالیت این آنزیم‌ها کاهش یافت.

جدول ۱۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رقم و منابع کودی بر صفات فیزیولوژیکی دو رقم گندم دیم

Table 11- Analysis of variance (MS) effect of cultivar and fertilizer sources on physiological traits in two dryland wheat cultivars

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	پراکسید هیدروژن Hydrogen peroxide	قندهای محلول برگ Soluble sugars
تکرار Replications	2	0.044	2.6
رقم Cultivar (C)	1	1.7**	4.06**
منابع کودی Fertilizer sources (FS)	7	12.09**	9.8**
رقم × منابع کودی $C \times FS$	7	0.38**	0.29 ^{ns}
خطا Error	30	0.00095	0.26
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.8	17.8

ns, * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.
ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

احتمالاً با ادامه رشد گیاه و ادامه شرایط خشکی و گرما در شرایط دیم رقم کراس‌سبلان نتوانسته است خسارات ناشی از آن را در حد بالا تحمل کند و به خاطر ورود به مرحله مرگ سلولی و افت شدید فعالیت آنزیم‌های حیاتی، سرعت فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها کاهش یافته است. تنش‌های اکسیداتیو مسئول تولید گونه‌های اکسیژن فعال در گیاهان شناخته شده‌اند. گونه‌های اکسیژن فعال می‌توانند موجب از بین بردن بیومولکول‌ها مثل لیپید غشا، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئوئیک گردند. با افزایش گونه‌های اکسیژن فعال در داخل گیاه مرگ سلول رخ می‌دهد (Rasool *et al.*, 2013; Ahmad *et al.*, 2013; ..زو و همکاران (Zhu *et al.*, 2011) در گزارش‌های خود نشان داد که در شرایط خشکی

اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر خصوصیات ریشه و ...

نشت‌پذیری غشاء افزایش می‌یابد. آن‌ها در آزمایش خود نشان دادند نشت‌پذیری غشاء در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا بهدلیل کم کردن تنفس اکسیداتیو ناشی از تنفس خشکی کم‌تر بود.

جدول ۱۲ - مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش رقم × منابع کودی بر پراکسید هیدروژن دو رقم گندم دیم

Table 12- Mean comparison of interaction effect of cultivar × fertilizer sources on hydrogen peroxide in two dryland wheat cultivars

رقم Cultivar	منابع کودی Fertilizer sources	پراکسید هیدروژن Hydrogen peroxide (mMol/g leaf fresh weigh)
کراس سبلان Keras Sabalan	Control	5.8 (± 0.20) ^a
	50 kg/ha P	2.5 (± 0.066) ^c
	PSB	2.2 (± 0.066) ^{de}
	GM	2.3 (± 0.066) ^d
	PSB + GM	2.1 (± 0.066) ^e
	PSB + GM + 25 kg/ha P	0.87 (± 0.07) ^h
	PSB + 25 kg/ha P	0.89 (± 0.12) ^h
ساجی Saji	GM + 25 kg/ha P	0.89 (± 0.04) ^h
	Control	4.2 (± 0.088) ^b
	50 kg/ha P	2.3 (± 0.11) ^{def}
	PSB	2.1 (± 0.14) ^{def}
	GM	2.06 (± 0.13) ^f
	PSB + GM	1.9 (± 0.066) ^g
	PSB + GM + 25 kg/ha P	0.66 (± 0.088) ⁱ
میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.	PSB + 25 kg/ha P	0.69 (± 0.086) ⁱ
	GM + 25 kg/ha P	0.65 (± 0.073) ⁱ

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

قندهای محلول برگ: در این پژوهش مشاهده گردید که قندهای محلول برگ تحت تأثیر عوامل اصلی رقم و منابع کودی معنی‌دار شد (جدول ۱۱). در این پژوهش رقم ساجی دارای بیشترین میزان قندهای محلول بود. در تیمار منابع کودی نیز نیز بیشترین میزان قندهای محلول در تیمار PSB+GM+25 kg/ha P و کمترین میزان قندهای محلول در تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) مشاهده گردید؛ به طوری که تیمار PSB+GM+25 kg/ha P موجب افزایش ۷۱/۴ درصدی شد (جدول ۱۳). بالا بودن غلظت قندهای محلول در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در شرایط تنفس، حکایت از نقش مطلوب قارچ میکوریزا در بالا بردن مقاومت خشکی در گیاه میزان دارد

(Subramanian and Charest, 1995). با توجه به پایین بودن میزان بارندگی‌ها (جدول ۲) در منطقه ایلام که بعد از اسفندماه گندم دیم معمولاً نیاز مبرمی به آب دارد، و از آن جایی که میزان بارندگی معمولاً به آن حدی نیست که نیاز گندم را به آب برطرف نماید، بنابراین استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا از طریق افزایش صفات فیزیولوژیکی از جمله قندهای محلول برگ موجب کاهش اثرات کم‌آبی در شرایط دیم و افزایش رشد گیاه می‌گردد. پورسل و ریزولوزانو (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004) نیز افزایش قندهای محلول را در گیاه سویا تلخیح شده با قارچ میکوریزا گزارش کردند.

جدول ۱۳- مقایسه میانگین اثر ساده رقم و منابع کودی بر قندهای محلول دو رقم گندم دیم

Table 13- Mean comparison of simple effect of cultivar and fertilizer sources on soluble sugars in two dryland wheat cultivars

تیمارها Treatments	قندهای محلول soluble sugars (mg/g leaf dry weight)
رقم Cultivar	
کراس‌سبلان	2.5 (± 0.21) ^b
ساجی	3.1 (± 0.27) ^a

منابع کودی Fertilizer sources	
Control	1.2 (± 0.21) ^d
50 kg/ha P	1.8 (± 0.19) ^c
PSB	2.05 (± 0.095) ^b
GM	2.2 (± 0.25) ^b
PSB+GM	2.3 (± 0.16) ^b
PSB+GM+25 kg/ha P	4.5 (± 0.42) ^a
PSB+25 kg/ha P	4.2 (± 0.33) ^a
GM+25 kg/ha P	4.3 (± 0.41) ^a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه در تولید گندم به صورت دیم کمبود آب مهم‌ترین عامل محدودکننده بهشمار می‌رود. اطلاعات زیادی در خصوص اثرات باکتری سودومونناس پوتیدا و قارچ گلوموس موسه بر

ویژگی‌های فیزیولوژیکی رقم‌های مختلف گندم دیم موجود در ایران و بهویژه 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 برهمنکنش 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 فعالیت برخی آنزیم‌های اکسیدانت را افزایش داد. باکتری سودوموناس پوتیدا و قارچ گلوموس موسه در گندم هم‌چنین موجب افزایش خصوصیات ریشه گردید. بنابراین نتایج به‌دست آمده نشان داد که ارقام دیم کشت شده نسبت به تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا واکنش مثبت و معنی‌داری از خود نشان می‌دهند. در این پژوهش رقم گندم ساجی به‌همراه تیمار GM+25 kg/ha P به‌دلیل بیشتر بودن وزن تر و خشک ریشه، محتوای آب ریشه، حجم مخصوص ریشه و تراکم حجم ریشه و بالا بودن میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (گلوتاکتون پراکسیداز و کاتالاز) و افزایش صفات فیزیولوژیکی (قندهای محلول برگ) در شرایط کشت دیم مثبت ارزیابی گردید.

منابع

- Abdelaziz M., Pokluda R., Abdelwahab M. 2007. Influence of compost, microorganisms and NPK fertilizer upon growth, chemical composition and essential oil production of *Rosmarinus officinalis* L. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici cluy- Napoca, 35: 86-90.
- Aebi H. 1984. Catalase in vitro. Methods in enzymology, 105: 121-126.
- Ahmad P., Ashraf M., Azooz M.M., Rasool S., Akram N.A. 2013. Potassium starvation-induced oxidative stress and antioxidant defense responses in *Brassica juncea*. Journal of Plant Interactions, 9: 1-9.
- Akhavan S., Shabani M., Esfahani M. 2012. Soil compaction and texture effects on the growth of roots and shoots of wheat. Journal of Water and Soil, 26 (1): 725-735. (In Persian).
- Ali M.B., 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.
- Althabegoiti M.J., López-García S.L., Pérez-Jiménez J., Lodeiro A.R. 2008. Strain selection for improvement of *Bradyrhizobium japonicum* competitiveness for nodulation of soybean. FEMS Microbiology Letters, 282: 115-123.
- Amiri Farsani F., Chorom M., Enayatizamir N. 2013. Effect of biofertilizer and chemical fertilizer on wheat yield under two soil types in experimental greenhouse. Soil and Water, 27 (2): 441-451. (In Persian).

- Asrar A.W.A., Elhindi K.M. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences, 18: 93-98.
- Banerjee M., Yesmin R.L., and Vessey J.L. 2006. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. In: Handbook of microbial biofertilizers. Eds., Rai, M., K., Food Production Press, U.S.A. Pp: 137-181.
- 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 B.N., Chakraborty A.P., Dey P.L. 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.
- Chance B., Maehly A.C. 1955. Assays of Catalases and Peroxidases. In: Methods in Enzymology. (Colowick S.P., Kaplan N.O., eds.). Academic Press, New York, II, Pp: 764-775.
- EL-Ghadban E.A., Ghallab A.M., Abdelwahab A.F. 2002. Effect of organic fertilizer (Biogreen) and biofertilization on growth, yield and chemical composition of Marjoram plants growth under newly reclaimed soil conditions. 2nd Congress of Recent Technologies in Agriculture, 2: 334-361.
- Esfandiari E., Shakiba M.R., Mahboob S.A., Alyari H., Toorchi M. 2007. Water stress, antioxidant enzyme activity and lipid peroxidation in wheat seedling. Journal of Food, Agriculture and Environment, 5: 149-153.
- Eydizadeh K., Mahdavi Damghani A., Sabahi H., Soufizadeh S. 2010. Effect of integrated application of biofertilizer and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. Journal of Agroecology, 2 (2): 292-301. (In Persian).
- Fagbola O., Osonubi O., Mulongox K., Odunfa S.A. 2001. Effects of drought stress and arbuscular mycorrhiza on the growth of *Glricea sepium* (Jacq), Walp, *Leucaena leucocephala* (Lam). De wit. In simulated eroded soil conditions. Mycorrhiza, 11: 215-223.
- Ghabouli M., Shahriary F., Sepehrini M., Marashi H., Hosseini Salekdeh G. 2011. An evaluation of the impact of the endophyte fungus *Piriformospora indica* on some traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) in drought stress. Journal of Agroecology, 3 (3): 328-336. (In Persian).
- Ghorbanpour M., Hosseini N., Kodae Motlagh M., Solgi M. 2014. The effect of inoculation with pseudomonas rhizobacteria on growth, quality of essential oils in sage (*Alvia officinalis* L.). Journal of Medical Plants, 4 (52): 89-100. (In Persian).
- Hajabbasi M.A. 2001. Tillage Effects on soil compactness and wheat root morphology. Journal of Agricultural Science and Technology, 3: 67-77.

- Hasanabadi T., Ardekani M.R., Rejali F., Paknejad F., Eftekhari S.A., Zargari K. 2010. Response of barley root characters to co-inoculation with *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas flourescens* under different levels of nitrogen. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science, 9 (2): 156-162.
- 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 Environmental Safety, 104: 285-93.
- Jiang M., Zhang, J. 2001. Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative offence system and oxidative damage in leaves of maize seedlings. Plant Cell Physiology, 42: 1265-1273.
- Khalafallah A.A., Abo-Ghala H.H. 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.
- Khalvati M.A., Mozafar A., Schmidhalter V. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology Stuttgart, 7 (6): 706-712.
- Loreto F., Velikova V. 2001. Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. Plant Physiology, 127 (4): 1781-1787.
- Mahanta D., Rai R.K., Mishra S.D., Raja A., Purakayastha T.J., Varghese E. 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. Field Crops Research, 166: 1-9.
- Manske G.G.B., Luttger A.B., Behl R.K., Vlek P.L.G. 1995. Nutrient efficiency based on VA mycorrhiza (VAM) and total root length of wheat cultivars grown in India. Journal of Applied Botany, 69:108-110.
- Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science, 7: 405-410.
- Navabpour S., Morris K., Allen R., Harrison E., Mackerness A.H., Buchanan S., Wollaston V. 20004. Molecular and biochemical analyses of oxidative stress and leaf senescence. Imperial College of Science, Technology and Medicine at Wye University of London, Pp: 55-56.
- Naseri R., Barary M., Zarea M.J., Khavazi K., Tahmasebi Z. 2017. Effect of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal fungi on some activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics of wheat under dry land conditions. Iranain Journal of Dryland Agriculture, 6 (1), 1-34. (In Persian).

- Naveed M., Baqir Hussain M., Zahir Z.A., Mitter B., Sessitsch A. 2014. Drought stress amelioration in wheat through inoculation with Burkholderia phytofirmans strain PsJN. *Plant Growth Regulation*, 73: 121-131.
- Porcel R., Ruiz-Lozano J.M. 2004. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *Journal of Experimental Botany*, 55:1743-1750.
- Rahim Zadeh S., Sohrabi Y., Heidar Gh.R., Eivazi A.R., Hosseni S.M.T., Taher Hosseini M. 2013. Effect of biofertilizer on macro and micro nutrients uptake and essential oil continent in *Dracocephalum moldavica* L. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11 (1): 179-190. (In Persian).
- Rasool S., Ahmad A., Siddiqi T.O., Ahmad P. 2013. Changes in growth, lipid peroxidation and some key antioxidant enzymes in chickpea genotypes under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35: 1039-1050.
- Robert M., Auge R.M., Heather D., Carl F., Sams E.A., Ghazala N. 2008. Hydraulic conductance and water potential gradients in squash leaves showing mycorrhiza-induced increases in stomatal conductance. *Mycorrhiza*, 18: 115-121.
- Sajedi N., Rejali F. 2011. Effect of drought stress, Zinc application and Mycorrhiza inoculation on uptake micro nutrients in maize. *Iranian Journal of Soil Research*, 25 (2): 83-92. (In Persian).
- Shaban M., Mansourifar S., Ghobadi M., Ashrafi Parchin R. 2012. Effect of drought stress and statter nitrogen fertilizer on root charactrestics and seed yield of four cheakpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Seed and Plant Production*, 27 (4): 541-470.
- Shahhosseini Z., Gholami, A., Asghari M. 2012. Effect of arbuscular mycorrhizae and humic acid on water use efficiency and physiological growth indices of maize under water deficit condition. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 2 (1): 39-57. (In Persian).
- Sharma P., Dubey, R.S. 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation*, 46: 209-221.
- Shaharoona B., Arshad M., Zahir Z.A., Khalid A. 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. containing ACC deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: (9): 2971-2975.
- Shaharoona B., Naveed M., Arshad M., Zahir Z.A. 2008. Ferttilizer-dependent efficiency of *Pseudomonas* for improving growth, yield and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Microbial Biotechnology*, 79: 147-155.
- Shelgl H.Q. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Planta Journal*, Pp: 47-51.

- 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.
- Subramanian K.S., Charest C. 1995. Influence of arbuscular mycorrhizae on the metabolism of maize under drought stress. *Mycorrhiza*, 5: 273–278.
- Vessey J.K., Buss T.J. 2002. *Bacillus cereus* UW85 inoculation effects on growth, nodulation and Naccumulation in grain legumes: Controlled-environment studies. *Canadian Journal of Plant Science*, 82: 282-290.
- Young L.S., Hameed A., Peng S.Y., Shan Y.H., Wu S.P. 2013. Endophytic establishment of the soil isolate *Burkholderia* sp. CC-Al74 enhances growth and P-utilization rate in maize (*Zea mays* L.). *Applied Soil Ecology*, 66: 40-47.
- 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.