شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/idaj.2025.365993.434

افزایش کارایی قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری‌های مولد آنزیم ACC -دآمیناز در زراعت نخود دیم با حفظ بقایا

رضا سلیمانی[۱*]، کریم شهبازی[۲]

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران.

۲- بخش تحقیقات آزمایشگاه ها، شیمی و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

چکیده مبسوط

مقدمه: تولید بهینه گیاهان زراعی دیم با مدیریت صحیح حفظ بقایا به منظور پایداری تولید و ارتقای کمی و کیفی عملکرد محصول، ضرورتی انکار ناپذیر است. در شرایط دیم، یکی از تغییرات مهم در فیزیولوژی گیاهی ناشی از تنش خشکی، افزایش بیوسنتز اتیلن و رسیدن غلظت آن در حد کاهش دهنده رشد گیاهی یا همان اتیلن تنشی است. اتیلن تنشی باعث کاهش دوره رویشی و در نهایت کاهش عملکرد می‌گردد. میکوریزا و باکتری‌های مولد آنزیم ACC-دآمیناز سبب کاهش اثرات سوء تنش خشکی در شرایط دیم می‌شوند.

روش‌شناسی پژوهش: به منظور بررسی اثربخشی حفظ بقایا و کاربرد قارچ گونه *Funneliformis mosseae* و باکتری‌های مولد آنزیم ACC- دآمیناز در کاهش اثرات تنش کم‌آبی حاکم در شرایط دیم، این تحقیق به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی چرداول از سال ۱۳۹۸ به مدت دو سال زراعی اجرا گردید. کرت‌های اصلی شامل سه تیمار مختلف حفظ بقایا شامل حذف بقایا، حفظ نیمی از بقایا و حفظ کل بقایا و کرت‌های فرعی در چهار سطح شامل ۱- شاهد (عدم کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز)، ۲- کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* (مصرف در کنار بذر) ۳- مایه‌زنی باکتری مولد آنزیم ACC– دآمیناز (تهیه مایه تلقیح باکتری *Bacillus simplex* UT1 با جمعیت 10^{7} CFU ml^{-1} یا واحد کلونی تشکیل شده در میلی‌لیتر و روش مصرف پوشش بذری) ۴- کاربرد توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز بود. صفات کمی نخود مانند عملکرد دانه و زیستی، وزن صد دانه و تعداد دانه در متر مربع و از صفات فیزیولوژیکی، محتوای نسبی آب برگ (RWC) غلظت و جذب کل پتاسیم و روی به عنوان دو عنصر مهم در روابط آبی در گیاه اندازه‌گیری شدند. تجزیه آماری داده‌ها توسط نرم افزار SAS v.9.2 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام گرفت.

یافته‌های پژوهش: نتایج نشان داد که اثر اصلی حفظ بقایا بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت به ترتیب در سطح یک، یک و پنج درصد معنی‌داری بود. با حفظ نیمی از بقایا، عملکرد دانه برابر با ۱۲۲۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که نشان دهنده افزایش ۷/۸۱ درصدی نسبت به شاهد بود. نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد دانه نخود در تیمار بدون مصرف قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC- دآمیناز برابر

* نگارنده مسئول: soleimanir@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲

۱۰۹۷ کیلوگرم در هکتار بود، در حالی که بیشترین عملکرد دانه نخود در تیمار مصرف توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC- دآمیناز به مقدار ۱۲۹۴ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که این افزایش ۱۷/۹ درصدی نسبت به شاهد، از نظر آماری معنی‌دار بود. به طور کلی، کاربرد توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری‌های مولد آنزیم ACC- دآمیناز باعث افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و بهبود غلظت عناصر غذایی در نخود شد. بر اساس نتایج این پژوهش، در شرایط حفظ بقایا، کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* به ویژه همراه با مایه زنی باکتری‌های مولد آنزیم ACC- دآمیناز به منظور پایداری در تولید نخود توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: کود زیستی، مدیریت بقایا، عملکرد، عناصر غذایی

مقدمه

تغییر در مدیریت بقایا، تأثیر فراوانی بر ویژگی‌های خاک و در نهایت عملکرد دانه بر جای می‌گذارد (Xu *et al.*, 2022). خاک‌ورزی حداقل با حفظ بقایا، منجر به بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش میزان رطوبت خاک می‌گردد (Popolizio *et al.*, 2022). حفظ بقایا در حد بهینه در شرایط دیم، از طریق فراهمی بهتر رطوبت حاصل از بارندگی‌ها می‌تواند اثر مثبتی بر عملکرد داشته باشد (Sarangi *et al.*, 2022). نظام‌های کشت بدون مدیریت صحیح بقایا در جهت حفظ آن، با ایجاد شرایط زیستی و شیمیایی نامطلوب در خاک، باعث کاهش میزان کربن آلی و عناصر غذایی خاک می‌گردند (Srinivasarao *et al.*, 2023).

نتایج آزمایش‌های مختلف حاکی از اثر معنی‌دار تناوب زراعی بر مقدار نیتروژن معدنی و آلی موجود در خاک و فرآیند معدنی شدن نیتروزن آلی خاک و نیتروژن باقیمانده است (Singh *et al.*, 2021). در همین راستا، محققان گزارش نمودند که استفاده از شخم عمیق به تخلیه سریع‌تر رطوبت خاک و در نهایت به کاهش عملکرد دانه منجر می‌گردد و در مقابل سیستم‌های بدون خاک‌ورزی و شخم سطحی منجر کاهش تبخیر گردید (Du and Effah, 2022). بنابراین، می توان اظهار داشت که مدیریت زراعی و شیوه خاک ورزی نقش مهمی در خصوصیات فیزیکی و چگونگی حرکت آب و حجم مصرفی آب در خاک دارند. کشاورزی حفاظتی با حفظ بخشی از بقایا بر بخش مهمی از خصوصیات خاک از قبیل درجه حرارت، ذخیره و پراکنش رطوبت در خاک و بر تراکم خاک اثر می‌گذارد (Garcia-Tejero *et al.*, 2020). اضافه کردن مقدار کمی بقایای گیاهی در مقایسه با سوزاندن کامل بقایا، عملکرد گیاه را تا ۵۰ درصد افزایش داده و این افزایش عملکرد در نتیجه بهبود دینامیک عناصر غذایی و ویژگی‌های زیستی خاک بود (Korav *et al.*, 2024).

برخی از عوامل غیر زیستی از جمله کم آبی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی اثر می‌گذارند، به طوری‌که باروری زیستی حداقل[1] در خاک‌های متأثر از کم آبی به‌عنوان یک مشکل اساسی محسوب می‌گردد (Anbukkani *et al.*, 2017)، بطوری که تنش کم آبی در مزارع دیم، مهم‌ترین عامل غیر زیستی محدود کننده رشد و تولید گیاهان زراعی در بخش مهمی از کشور محسوب می‌گردد.

کم آبی یک تنش چند بعدی بوده و در سطوح مختلف اثرگذار است. در سطح گیاه، پاسخ به تنش کم آبی پیچیدگی خاصی داشته و بازتابی از تلفیق اثرات تنش ناشی از کمبود آب در دسترس ریشه و پاسخ‌های مربوطه در تمام سطوح فیزیولوژیکی گیاه می‌باشد (Tranker *et al.*, 2016). تنش کم آبی با القاء افزایش نسخه‌برداری از ژن‌های اکسیدکننده و

[1] Minimal Bioproduction

چربی‌های دیواره سلولی موجب تخریب دیواره سلولی شده و باعث نشت الکترولیت از دیواره سلولی می-گردد (Alzahrani *et al*., 2018).

تنش کم‌آبی بر تغییرات هورمونی و فیزیولوژیکی اثر گذاشته و صدمات اکسیداتیو ناشی از آن از عوامل مهم محدود کننده رشد و تولیدات گیاهی می‌باشد (Khan *et al*., 2020). صدمات اکسیداتیو، اختلال در تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مکانیسم دفاعی برطرف کننده این رادیکال‌ها بوده و منجر به تغییر و تخریب[1] پروتئین‌ها، لیپیدهای غشائی و سایر اجزای سلولی می‌شود (Rahman *et al*., 2021). گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر (ROS[2])که عامل مهمی در القای تنش کم آبی هستند، شکل‌هایی از اکسیژن اتمسفری می‌باشند که با درجات مختلفی احیا شده‌اند.

از برانگیخته شدن اکسیژن، اکسیژن تک الکترونی[3] بوجود می‌آید، یا با انتقال یک ، دو و یا سه الکترون به اکسیژن به ترتیب رادیکال های سوپر اکسید، پر اکسید هیدروژن یا رادیکال هیدروکسیل تشکیل می-گردد. بر خلاف اکسیژن اتمسفری، گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر دارای توانایی نامحدود در اکسیداسیون اجزای سلولی مختلف بوده و می‌تواند منجر به تخریب اکسیداتیو سلول گردد (Puthur, 2016). بنابراین در فرایند تحمل به تنش کم آبی در گیاهان، بایستی این گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر مهار گردند که با تغییرات در فیزیولوژی گیاهی تا حدی امکانپذیر بوده و باید عوامل اثرگذار بر این فرایند را جستجو کرد (Caverzan *et al*., 2016).

یکی از مهمترین تغییرات در فیزیولوژی گیاهی متأثر از تنش کم آبی، افزایش بیوسنتز اتیلن و رسیدن غلظت آن در حد کاهش دهنده رشد گیاهی یا همان اتیلن تنشی می‌باشد. اتیلن تنشی باعث کاهش دوره رویشی و در نهایت کاهش عملکرد می‌گردد. اتیلن تولیدی توسط گیاه در شرایط نرمال، به جوانه زنی بذر، توسعه ریشه‌های موئین، طویل شدن ساقه و رسیدن میوه کمک می‌کند. اتیلن در مراحل رسیدن دانه، فتوسنتز، تنفس، تعرق، ریشه زایی، تکامل اندام های جنسی و جوانه زنی بذر نقش دارد (Danish and Zafar-ul-Hye, 2020). پژوهشگران در مطالعات خود متوجه نوسان در تولید و تناقض در عملکرد اتیلن در گیاهان شدند. مقادیر کم اتیلن (در غلظت های کمتر از ۰/۰۵ میکرو لیتر در لیتر عصاره گیاهی) برای جوانه زنی بذر لازم است، اما افزایش بیشتر سطح اتیلن در اثر تنش‌های محیطی تحت عنوان اتیلن تنشی[4]، رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Glick, 2005).

با بررسی تنش کم آبی در گیاهان به این نتیجه رسیدند که هر نوع تنش کم آبی موجب افزایش سنتز ACC[5] و در نتیجه تحریک بیوسنتز اتیلن می‌شود. با کاهش غلظت ACC در سطح خارجی بافت‌های ریشه گیاه، برای برقرار ماندن تعادل بین سطح ACC در داخل و خارج از سلول‌های ریشه گیاه، مقدار بیشتری از ACC تولیدی گیاه به بیرون از ریشه (در خاک) ترشح و ضمن ایجاد یک شیب غلظت از داخل بافت گیاه به طرف بیرون، باعث کاهش غلظت ACC و درنتیجه غلظت اتیلن درون بافت‌های ریشه گیاه می‌گردد. با این فرایند، باکتری‌های مولد آنزیم ACC- دآمیناز باعث کاهش تولید اتیلن تنشی و اثرات سوء آن بر رشد گیاه می‌شوند به طوری که بوته میری گیاهان به ویژه در اوایل رشد کاهش می‌یابد (Reed and Glick, 2023).

تنش آبی از طریق افزایش بیوسنتز اتیلن و کاهش فعالیت برخی از آنزیم‌ها موجب کاهش ماندگاری و محتوای نسبی آب در برگ‌ها می‌شود (Gowtham *et al*., 2022). برخی از قارچ‌ها و باکتری‌ها بر روند تغییرات اتیلن تنشی در گیاه اثرگذارند که در بین

[1] Destruction
[2] Reactive Oxygen Species
[3] Singlet Oxygen
[4] Stress ethylene
[5] 1- Aminocyclopropane-1-carboxylic acid

قارچ‌ها به اثر قارچ *Funneliformis mosseae* و در باکتری‌ها، تولید کنندگان آنزیم ACC-دآمیناز مهم‌تر هستند. برخی از باکتری‌های خاک، آنزیم ACC-دآمیناز را به مقدار بیشتری تولید می‌کنند چنان که به آن‌ها باکتری‌های مولد آنزیم ACC-دآمیناز گفته می‌شود (Gamalero *et al*., 2023). این آنزیم، ACC (پیش ماده تولید اتیلن) را به آلفا کتوبوتیرات و آمونیم تبدیل می‌کند.

با تعدیل تولید ACC در گیاهان توسط باکتری‌های مولد آنزیم ACC- دآمیناز، از میزان تولید بیش از اندازه طبیعی اتیلن در گیاه جلوگیری به عمل می‌آید. با کاهش غلظت ACC در سطح خارجی بافت‌های ریشه گیاه، برای برقرار ماندن تعادل بین سطح ACC در داخل و خارج از سلول های ریشه گیاه، مقدار بیشتری از ACC تولیدی گیاه به بیرون از ریشه (در خاک) ترشح می‌شود و ضمن ایجاد یک شیب غلظت از داخل بافت گیاه به طرف بیرون، باعث کاهش غلظت ACC و درنتیجه غلظت اتیلن درون بافت‌های ریشه گیاه می‌گردد. با این فرایند، باکتری‌های مولد آنزیم ACC- دآمیناز باعث کاهش تولید اتیلن تنشی و اثرات سوء آن بر رشد گیاه می‌شوند به طوری که بوته میری گیاهان کاهش می‌یابد (Reed and Glick, 2023).

مطالعات نشان داد که درصد کلونیزاسیون میکوریزا و آنزیم دهیدروژناز در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک متاثر از تیمار کود زیستی و کاربرد خاک ورزی کاهش یافته (RT) افزایش یافت (Wilkes *et al*., 2021). مایه‌زنی قارچ میکوریزا وزن خشک اندام هوایی نخود را به طور معنی داری نسبت به گیاهان مایه زنی نشده افزایش می‌دهد (Laranjeira *et al*., 2021).

غلظت و محتوای عناصر غذایی و در نتیجه جذب عناصر غذایی در حضور قارچ‌های میکوریزی افزایش می‌یابد. بنابراین بهبود شرایط غذایی به همراه دیگر اثرات مفید قارچ میکوریزا می‌تواند اثرات منفی کم آبی را تعدیل و خصوصیات رشد و عملکرد گیاه را افزایش دهد. در گیاهانی که مایه زنی میکوریزی داشتند، تحمل به کم آبی در آن‌ها افزایش نشان داده است (Ezzati Lotfabadi *et al*., 2022). در هر دو شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای قارچ‌های AM به طور قابل توجهی موجب افزایش غلظت عناصر غذایی از جمله نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم، منگنز، مس، آهن، روی، سدیم و کلر می‌شوند که موجب افزایش رشد گیاه می‌گردد و همچنین اثر مهارکنندگی روی نسبت سدیم به کلر جذب شده داشته است (Chandrasekaran, 2022).

در بررسی اثر تلقیح باکتری‌های دارای آنزیم ACC-دآمیناز بر رشد و عملکرد گندم مشخص شد که باکتری‌های دارای این آنزیم عملکرد دانه، کاه، وزن ریشه، طول ریشه و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کاه و دانه را نسبت به شاهد به طور معنی‌دار افزایش دادند. پژوهشگران این اثرات را بدلیل کاهش ACCسطح اتیلن در گیاه دانسته‌اند. در اثر تلقیح با باکتری‌های دارای آنزیم ACC– دآمیناز اعلام نمودند که فعالیت آنزیم در جدایه‌های مختلف متفاوت می باشد. آنزیم ACC–دآمیناز به طور مستقیم مسئول رفتارهای مختلف در پاسخ گیاه به تنش کم آبی بوده و استفاده از اندوفیت‌ها با فعالیت آنزیم ACC–دآمیناز پتانسیل تسهیل رشد گیاه را دارد (Etesami *et al*., 2020).

کشور ایران از نظر منابع آبی جزء کشورهای کم آب جهان است. از طرفی کشاورزی در کشور با چالش‌های عظیمی روبرو است، مسئله فرسایش خاک و کاهش حاصلخیزی آن بطور چشمگیری عملکرد گیاهان زراعی را کاهش داده و موجب افزایش هزینه‌های تولید شده است. سودمندی‌های کشاورزی حفاظتی محدود به افزایش عملکرد گیاهان زراعی نمی‌باشد.

استفاده از کشاورزی حفاظتی موجب بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌گردد که در جهت رسیدن به کشاورزی پایدار می‌تواند مهم باشد. قارچ‌های میکوریزی و باکتری‌های

مولد آنزیم ACC- دآمیناز، تحمل گیاهان را به تنش ها افزایش می‌دهند. قارچ‌های میکوریزی بعنوان عضو همزیست کننده با گیاهان باعث بهبود کارایی مصرف آب، جذب عناصر غذایی بخصوص عناصر با تحرک پائین در خاک و افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌گردند.

باکتری‌های مولد آنزیم ACC -دآمیناز نیز با مهار و کاهش اتیلن تنشی (به عنوان عامل مهمی در اختلالات فیزیولوژیکی ناشی از تنش کم آبی مانند آنچه در شرایط دیم اتفاق می‌افتد) می‌توانند توان تحمل گیاهان به تنش را افزایش دهند.

اگرچه تحقیقات زیادی در ارتباط با تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاک تحت انواع مختلف سیستم های خاک ورزی ارائه گردیده، اما اطلاعات محدودی از تغییرات در حفظ بقایا در شرایط دیم و به ویژه ارتباط آن با مایه زنی قارچ و باکتری‌های مفید در دسترس است.

از طرفی غلات و حبوبات بیشترین سهم را در تناوب-های مناطق دیم دارا می‌باشد عملکرد پایین محصولاتی از جمله نخود دیم، لزوم استفاده از مدیریت‌های مختلف به زراعی را ایجاب می‌نماید. استفاده از روش‌های زیستی از جمله مصرف قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های مفید به ویژه در شرایط تنش کم آبی حاکم بر مزارع دیم، از روش‌های بهبود شرایط رشد و نمو گیاهان در شرایط تنش کم آبی محسوب می‌گردند.

قارچ‌های میکوریزا با ایجاد تغییرات در ریزوسفر گیاه و در مورفولوژی ریشه و همچنین باکتری‌های مولد آنزیم ACC - دآمیناز با کاهش اتیلن تنشی در گیاه، باعث افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش موجود در شرایط دیم می‌گردند. همچنین با توجه به کارایی پایین مایه‌زنی قارچ و باکتری‌های مفید با توجه به کمبود آب قابل استفاده و همچنین ماده آلی کم در شرایط دیم استان ایلام، در کشاورزی حفاظتی به دلیل حفظ بقایا، انتظار می‌رود که شرایط بهتری برای افزایش کارایی مایه زنی قارچها و باکتری‌های مفید فراهم گردد. بنابراین، این تحقیق به منظور بررسی اثر حفظ بقایا، قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های مولد آنزیم ACC – دآمیناز بر نخود در شرایط دیم اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

محل اجرای این پژوهش، در استان ایلام با مختصات جغرافیائی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۶ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۳۵ دقیقه و ۵۹ ثانیه طول شرقی بود. ابتدا در پاییز و قبل از هر گونه عملیات زراعی اقدام به نمونه برداری از خاک مزرعه انتخابی برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شامل قابلیت هدایت الکتریکی، اسیدیته، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس، منگنز، آهک و بافت خاک گردید. نتایج تجزیه خاک و آب محل اجرای آزمایش به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

سپس زمین در زمانی که رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی بود شخم زده شده و بلافاصله با دیسک بستر بذر نرم وآماده گردید. به منظور بررسی کارایی قارچ میکوریزای *Glomus mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC -دآمیناز (*Bacillus simplex* UT1) در شرایط بدون بقایا و با بقایا در عملکرد دانه و صفات مهم مورفولوژیک نخود دیم در تناوب با گندم، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی چرداول استان ایلام به اجرا در آمد.

تیمارهای آزمایشی شامل مدیریت بقایا در کرت‌های اصلی (۱- بدون بقایا ۲- حفظ نیمی از بقایا ۳- حفظ کل بقایا) و مصرف کود زیستی در کرت‌های فرعی (۱- مصرف قارچ میکوریزای *Glomus mosseae* ۲- مایه زنی باکتری مولد آنزیم ACC -دآمیناز (*Bacillus simplex* UT1) ۳- مایه زنی توأم قارچ میکوریزای *Glomus mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC -دآمیناز (*Bacillus simplex* UT1) ۴- عدم مصرف قارچ و باکتری) با سه تکرار بود. تهیه زاد مایه باکتری از دانشگاه تهران با جمعیت

$CFU.ml^{-1}$ ۱۰^{۷} (واحد کلونی تشکیل شده در میلی لیتر) و روش مصرف پوشش بذری بود. برای تهیه باکتری با استفاده از دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS)، اقدام به مکان‌یابی و نمونه‌برداری از توده خاک‌های ریزوسفری زیر کشت گندم در شرایط تنش کم آبی موجود در استان ایلام شد. در مرحله جداسازی، ابتدا سوسپانسیون همگن خاک تهیه شد. به این ترتیب که ۱۰ گرم خاک از خاک ریزوسفر حاصل از تکان دادن شدید ریشه در محلول استریل ۰/۹ درصد کلرید سدیم به ارلن مایر ۲۵۰ میلی لیتری حاوی ۹۰ میلی لیتر آب مقطر استریل (۱۰$^{-۱}$)، منتقل و در شیکر با ۱۲۰ دور در دقیقه در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه تکان داده شد (Barillot *et al*., 2013). سپس سری‌های رقت (از ۱۰$^{-۲}$ تا ۱۰$^{-۹}$) تهیه و ۰/۱ میلی لیتر از آن بر روی ظروف پتری حاوی محیط کشت پخش گردیدند. به منظور خالص سازی جدایه‌ها، کلنی‌های تشکیل شده از بالاترین رقت‌های هر نمونه کشت شده انتخاب و حداکثر تا سه بار دیگر بر روی محیط کشت بازکشت گردیدند (هریگان و مک‌کین، ۲۰۰۴). برای اندازه-گیری کمی آلفا کتوبوتیرات به عنوان شاخص فعالیت آنزیم ACC- دآمیناز از روش پنروز و گلیک (۲۰۰۳) استفاده شد. برای ارزیابی میزان تحمل جدایه‌ها به سطوح مختلف تنش کم آبی، از توان رشد آن‌ها در محیط کشت NB حاوی غلظت‌های مختلف پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ استفاده شد. در قبل اجرای این تحقیق، با استفاده از چندین مرحله آزمون و مقایسه جدایه ها، یک باکتری متعلق به گونه *Bacillus simplex* از خاک‌های مناطق دیم ایلام جداسازی شد که ویژگی‌های یک باکتری برتر را برای شرایط کم آبی داشت. نتایج نشان داد که این باکتری به ازاء تجزیه ACC ، روند رشدی همانند مصرف آمونیم از خود نشان داد. نسبت قطر کلنی باکتری *Bacillus simplex* با تجزیه ACC نسبت به قطر آن با مصرف آمونیم برابر یک بود و همچنین این باکتری توانست ۳۸۰ نانو مول در میلی گرم پروتئین در ساعت آلفا کتو بوتیرات به عنوان معیاری از فعالیت آنزیم ACC-دآمیناز و تجزیه ACC تولید کند. مقدار نسبی آب (RWC) با انتخاب جوانترین برگ‌های توسعه یافته، از هر تکرار اندازه‌گیری گردید. در آزمایشگاه، وزن تازه تعیین و سپس برگ‌ها در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و در تاریکی قرار گرفته و متعاقب آن وزن

جدول ۱- تجزیه‌های فیزیکی و شیمیائی عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک

Table 2. Physical and chemical analysis of the experimental site soil in depth of 0-30 cm.

سال	اسیدیته	قابلیت هدایت	فسفر	پتاسیم	کربن	نیتروژن	آهک	بافت
Year	گل اشباع	الکتریکی	قابل جذب	قابل جذب	آلی	کل		
	pH	EC	ava. P	ava. K	OC	TN	TNV	Texture
		دسی زیمنس بر متر	میلی گرم در کیلوگرم		درصد			
		$dS\ m^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$		٪			
سال اول (First Year)	7.21	0.23	14.1	326	1.35	0.13	21.3	SiCL
سال دوم (Second Year)	7.25	0.31	12.7	311	1.12	0.11	23.6	SiCL

تورگر تعیین گردید. در مرحله بعد برگ‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته و خشک شدند. مقدار نسبی آب با انتخاب جوانترین برگ‌های توسعه یافته، از هر تکرار اندازه‌گیری گردید. در آزمایشگاه، وزن تازه تعیین و سپس برگ‌ها در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و در تاریکی

قرار گرفته و متعاقب آن وزن تورگر تعیین گردید. در مرحله بعد برگ‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته و خشک شده با بدست آوردن وزن تر، وزن خشک و تورگر کامل (پس از ۲۴ ساعت شناوری برگ در آب مقطر)، وزن نسبی آب محاسبه شد (Ritchie *et al*., 1990).

مایه زنی قارچ *Funneliformis mossea* شامل بقایای ریشه‌ای و اندام‌های قارچی، شن و خاک بود. استفاده از زاد مایه قارچ میکوریزا بدین صورت انجام شد که قبل از کاشت در کرت‌های مربوط به تیمار قارچی مقداری زاد مایه (در هر خط کاشت ۳۰۰ گرم) در محل‌های مربوط به کاشت بذر ریخته شد و سپس روی زاد مایه، بذرها قرار داده شد. سرانجام، بذرها و زاد مایه با خاک پوشانده شدند. رقم نخود، عادل با تراکم ۳۰ بوته در متر مربع و انجام کلیه مراحل داشت (از جمله مصرف کود زیستی بر اساس آزمون خاک و مبارزه با آفات و بیماری‌ها) و برداشت گیاه مطابق دستوالعمل موسسه انجام شد. در این تحقیق پارامترهای مورد بررسی شامل عملکرد دانه، شاخص برداشت، زیست تودهٔ کل، وزن صددانه و تعداد غلاف در بوته بودند. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با برنامه SAS 9.2 انجام گردید.

نتایج و بحث

از بین جدایه‌های باکتری برتر با توانایی‌های مختلف از نظر تولید آنزیم ACC-دآمیناز، مقایسه‌ای انجام شد. در این آزمایش، با ایجاد شرایط یکسان (با تنش کم آبی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک)، تغییرات وزن خشک گیاه گندم در اثر مایه‌زنی با جدایه‌های مختلف بررسی گردید. با این آزمایش مشخص شد که یک جدایه باکتری، به عنوان باکتری برتر مولد آنزیم ACC- دآمیناز کارایی مناسب‌تری نسبت به سایر جدایه‌ها داشت. پس از انجام مراحل شناسایی ژنتیکی، نتایج تعیین توالی‌ها، به وسیله نرم افزار بلست[1] انجام شد و با توجه به میزان قرابت‌ها مشخص شد که به احتمال ۹۹ درصد این جدایه باکتری، متعلق به گونه *Bacillus simplex* می‌باشد و در بانک ژن BankIt با شماره: Accession Number: KT599261 ثبت گردید. بر اساس مکاتبات الکترونیکی، این باکتری به عنوان سویه *Bacillus simplex* UT1 در بانک ژن مذکور آورده شد.

عملکرد دانه و عملکرد زیستی: اثر اصلی مدیریت بقایا بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و بر شاخص برداشت بدون اثر معنی‌دار بود. اثر اصلی کاربرد کود زیستی بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت به ترتیب در سطح پنج، یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

عملکرد دانه نخود از ۱۱۳۷ کیلوگرم در هکتار در شاهد، با افزایش ۸/۵۳ درصدی، به ۱۲۳۴ کیلوگرم در هکتار در شرایط حفظ نیمی از بقایا رسید و این مقدار افزایش در مورد عملکرد زیستی برابر با ۸/۲۰ درصد بود. با توجه به این تغییرات در عملکرد دانه و زیستی، شاخص برداشت از ۴۴/۶ درصد در بدون بقایا به ۴۴/۸ درصد در شرایط حفظ بقایا رسید (جدول ۳). در همین مورد، نتایج پژوهش‌ها نشان داد که که در آزمایشی در شرایط حفظ بقایا، کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* همراه با قارچ میکوریزا ضمن کاهش اثرات تنش کم آبی، موجب افزایش محصول گردید (Moradtalab *et al*., 2019). سایر پژوهشگران نیز نشان داده‌اند که باکتری‌های دارای توانایی تولید آنزیم ACC-دآمیناز، توانستند طول ریشه را در حد معنی‌داری افزایش دهند (Chandra *et al*., 2018).

این ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه و رشد ریشه‌ها و نسبت ریشه به اندام هوایی به منظور حفظ تعادل کلی گیاه لازم بوده و می‌توانند در تحمل به تنش

[1] - Blast

خشکی تأثیر زیادی داشته باشند. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* در شرایط حفظ نیمی از بقایا، اثر بیشتری نسبت به مصرف آن در شرایط بدون بقایا داشت. کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* در شرایط حفظ بقایا باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان (سوپر اکسید دسموتاز، کاتالاز و گلوتاتین ردوکتاز) می‌شود (Gong *et al*., 2005).

اثر کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز بر تغییرات عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ: اثر اصلی کاربرد کود زیستی بر عملکرد دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

با مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون LSD مشخص گردید که تیمار کاربرد کود زیستی قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز با عملکرد دانه ۹۴۵ کیلوگرم در هکتار در گروه آماری برتر قرار گرفته و افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد برابر با ۱۲/۴ درصد بود (جدول ۳).

محققین دیگر نیز بیان داشتند که قارچ *Funneliformis mosseae* بطور غیرمستقیم بر فعالیت‌های فیزیولوژیک و بر رشد و نمو گیاه مؤثر واقع می‌شود و افزایش عملکرد را به دنبال دارد (Dorairaj *et al*., 2020).

در شرایط دیم، بطور طبیعی تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد نخود می‌گردد. از آنجایی که کاهش فراهمی آب برای گیاه، موجب کاهش عملکرد شد، کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز توانست با گسترش ریشه عملکرد دانه را افزایش دهد (Danish and Zafar-ul-Hye, 2019).

بر اساس پژوهش‌ها، قارچ *Funneliformis mosseae* با تعدیل تغییرات در هدایت هیدرولیکی شعاعی[1] به ایجاد تحمل به خشکی در گیاه کمک می‌کند (Quiroga *et al*., 2020).

در شرایط بدون بقایا، کاربرد توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز بیشترین اثرگذاری بر افزایش عملکرد را داشته و پس از آن کاربرد تنهای باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز قرار داشت.

در شرایط با حفظ نیمی از بقایا، کاربرد توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز حدود دو برابر اثرگذارتر از کاربرد تنهای قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز بوده و در چنین شرایطی می‌توان این تیمار را توصیه نمود.

در شرایط با حفظ کل بقایا، به ترتیب کاربرد توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز، قارچ *Funneliformis mosseae* تنها و باکتری تنها قرار داشتند. بطور میانگین، مصرف توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز با افزایش ۱۲/۹ درصد در عملکرد دانه بیشترین اثرگذاری را نشان داد (شکل ۱).

در هر دو سال، حفظ نیمی از بقایا سبب افزایش معنی دار عملکرد و اجزای عملکرد نخود شد. افزایش عملکرد دانه در نتیجه حفظ بقایا توسط پژوهشگران گزارش شده و دلایل عمده افزایش عملکرد گیاهان در شرایط حفظ بقایا، افزایش سطح اندام اصلی فتوسنتز کننده (برگ)، افزایش تعداد گل ها (اندام های اصلی زایشی) و وزن دانه (به دلیل افزایش انتقال اسیمیلات[2] و فتوسنتز) ناشی از بهبود شرایط رطوبتی عنوان شده است (Shu *et al*., 2022).

[1] Radial hydraulic conductivity

[2] Assimilate

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای رطوبت نسبی برگ (RWC) نخود در شرایط مدیریت بقایا و کاربرد قارچ میکوریزا و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز

Table 2. Variance analysis (mean square) of chickpea yield, yield components and RWC under residue management and AM and ACC-deaminase producing bacteria

RWC	تعداد دانه در متر مربع	وزن صد دانه	عملکرد زیستی	عملکرد دانه	درجه آزادی	منابع تغییرات
%	Grains/m^2	100-grains weight	Biological yield	Grain yield	df	S.O.V
825 ns	1382 ns	2107 ns	1053 ns	1243 ns	1	سال (Y)
726 ns	165 ns	1203 ns	38055 ns	5107304 ns	4	تکرار (سال) R(Y)
6633232 *	655427 *	21053647**	120654376 *	13067949 **	2	مدیریت بقایا(M)
638 ns	653 ns	1047 ns	12074 ns	43543 ns	2	سال × مدیریت بقایا Y*M
736 ns	763 ns	457 ns	14508 ns	21327 ns	4	خطا ۱ E1
7665534 *	8755436 **	13065376*	456301239 **	20505572*	3	کود زیستی F
364 ns	528 ns	126 ns	1546 ns	35734 ns	3	سال×کاربرد کود زیستی Y*F
7675534 *	7676632 *	45321*	11653142 *	12465 *	6	مدیریت بقایا× کود زیستیM*F
486 ns	866 ns	543 ns	37644 *	16544*	6	سال×مدیریت بقایا×کود زیستیY*M*F
628	761	543	3215	4114	36	خطا۲ E2
17.8	15.4	13.7	16.3	14.6		٪CV%

ns , * و **: به ترتیب بدون اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪

ns, * and **, non-significant and significant difference at 5% and 1% probability levels, respectively.

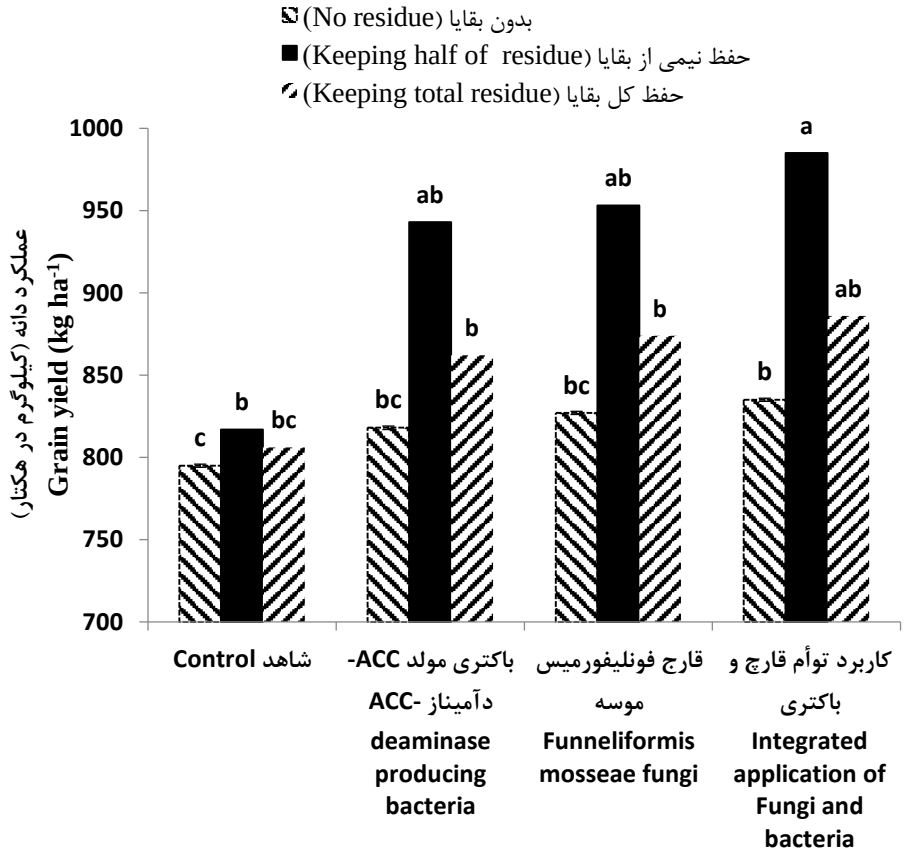
جدول ۴: تأثیر حفظ بقایا بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه نخود

Table 4: The effect of residue maintenance on grain yield and yield components

محتوای نسبی آب RWC %	وزن صد دانه 100-grains weight گرم gr	تعداد دانه در متر مربع grains/m^2	عملکرد دانه Grain yield کیلوگرم در هکتار kg/ha	مدیریت بقایا Residue management
59.5c	21.2c	436b	839b	بدون بقایا Whithout crop residue
68.7a	a 25.5	473a	934a	حفظ نیمی از بقایا Preserving half of the crop residue
63.5b	b 24.3	451b	897b	حفظ کل بقا Preseving total crop residue

حرف یا حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین میانگین‌ها می باشد.

The similar letter/letters indicated non-significant differences among means



شکل ۱- برهمکنش مدیریت بقایا و کاربرد کود زیستی بر عملکرد دانه

Figure 1. Interaction effect of residue management and biofertilizer application on grain yield

mosseae و باکتری مولد آنزیم ACC- دآمیناز به ۷/۱۸ کیلوگرم در هکتار رسید که نسبت به عدم کاربرد مواد زیستی (۲۶/۱ درصد) در گروه آماری برتر قرار گرفت (جدول ۸). تیمارهای کاربرد باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز و قارچ *Funneliformis mosseae* به ترتیب ۱۹/۵ و ۱۵/۹ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان دادند. تجزیه واریانس داده‌ها همچنین نشان داد که اثر برهمکنش مدیریت بقایا در کاربرد کود زیستی بر جذب کل پتاسیم و روی در سطح پنج درصد معنی دار و بر غلظت پتاسیم و روی بدون اثر معنی‌دار بود (جدول ۶). در بررسی تغییرات جذب کل پتاسیم در تیمار بدون بقایا، مشخص شد که کاربرد توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و مایه زنی باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز بیشترین مقدار جذب کل پتاسیم (۵۱/۱ کیلوگرم در هکتار) حاصل کرد (جدول ۸). پژوهشگران بیان کردند که افزایش جذب پتاسیم در شرایط تنش کم آبی، روابط آبی در گیاه را بهبود می بخشد (Akhtyamova *et al.*, 2023). در تیمارهای حفظ بقایا، قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد ACC- دآمیناز، ضمن تحریک ریشه‌دهی باعث افزایش جذب آب می‌شوند. در مورد کل روی جذب شده، در شرایط بدون بقایا، کاربرد توأم باکتری مولد آنزیم ACC- دآمیناز و قارچ *Funneliformis mosseae* نسبت به شاهد بیشترین مقدار روی جذب شده را بدست داد. در شرایط با حفظ بقایا، تیمار کاربرد توأم باکتری مولد آنزیم ACC- دآمیناز و قارچ *Funneliformis mosseae* برتر بود و در شرایط حفظ نیمی از بقایا و حفظ کل بقایا به ترتیب افزایش ۱۰/۸ و ۲۳/۴ درصدی در کل روی جذب شده نسبت به شاهد نشان داد. در شرایط حفظ نیمی از بقایا، کاربرد تنهای باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز و کاربرد تنهای قارچ *Funneliformis mosseae* نیز نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری در کل روی جذب شده نشان دادند (جدول ۹).

غلظت و جذب کل پتاسیم و روی: تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر مدیریت بقایا بر غلظت پتاسیم، جذب کل پتاسیم و جذب کل روی به ترتیب در سطوح پنج، یک و پنج درصد معنی دار و بر غلظت روی، بدون تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج نشان داد که غلظت پتاسیم در شرایط حفظ نیمی از بقایا (۱/۷۵ درصد) نسبت به شاهد (۱/۶۰) افزایش معنی داری نشان داد (جدول ۷). کل پتاسیم جذب شده در شرایط حفظ نیمی از بقایا (۴۸/۲ کیلوگرم در هکتار) افزایش ۱۸/۱ درصدی نسبت به شاهد (۴۰/۸ کیلوگرم در هکتار) نشان داد (جدول ۷). تجزیه واریانس داده‌ها همچنین نشان داد که اثر اصلی کاربرد کود زیستی بر غلظت پتاسیم، کل پتاسیم جذب شده و کل روی جذب شده به ترتیب در سطح پنج، یک و یک درصد معنی دار و بر غلظت روی بدون تفاوت معنی دار بود (جدول ۶). در مورد غلظت پتاسیم، مشخص شد که کاربرد توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز نسبت به شاهد تیمار برتر بود. اما تیمارهای کاربرد سیلیسیم به تنهایی و مایه زنی با باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز به تنهایی نسبت به شاهد در گروه آماری بالاتری قرار نگرفتند (جدول ۸).

غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه نخود با کاربرد توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC- دآمیناز به ۱/۷۸ درصد رسید که نسبت به عدم کاربرد مواد زیستی (۱/۶۰ درصد) در گروه آماری برتر قرار گرفت (جدول ۸). جذب کل پتاسیم، با کاربرد توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز، ۲۳/۱ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد و تیمار برتر بود. در تیمارهای مایه زنی باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز به تنهایی و کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* به تنهایی نسبت به شاهد، تفاوت‌ها معنی‌دار بوده و به ترتیب ۱۵/۲ و ۱۴/۱ درصد افزایش مشاهده شد (جدول ۸). جذب کل روی در اندام هوایی گیاه نخود با کاربرد توأم قارچ *Funneliformis*

جدول ۶- تجزیه واریانس عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت

Table 6. Analysis of variance of grain yield, biological yield and harvest index

منابع تغییرات Variable Sources	درجه آزادی df	غلظت پتاسیم Potassium concentration	پتاسیم کل جذب شده Total absorbed potassium	غلظت روی Zinc concentration	روی کل جذب شده Total absorbed zinc
سال (Year)	1	835 ^{ns}	361 ^{ns}	2134 ^{ns}	5732 ^{ns}
تکرار (سال) T(Y)	4	734 ^{ns}	102 ^{ns}	1732 ^{ns}	6382 ^{ns}
بقایا Residue	2	406431*	2530421**	5163 ^{ns}	90754327*
سال× بقایا Y×R	2	805 ^{ns}	1578 ^{ns}	1043 ^{ns}	1472 ^{ns}
خطا ۱ E1	4	535 ^{ns}	77427 ^{ns}	6321 ^{ns}	7038 ^{ns}
کود Fertilizer	3	164206 *	4576481 **	1852 ^{ns}	6404943 **
سال× کود Y×F	3	1763 ^{ns}	7592 ^{ns}	1091 ^{ns}	1063 ^{ns}
بقایا× کود R×F	6	323 ^{ns}	354821 *	4302 ^{ns}	7504783 *
سال×بقایا×کود Y×R×F	6	434^{ns}	1024 ^{ns}	2185 ^{ns}	8049 ^{ns}
خطا ۲ E2	36	905	7523	5427	4853
ضریب تغییرات CV%		17.2	15.8	13.8	16.3

**و * : به ترتیب اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ و ۵٪ دارند ns: اختلاف معنی داری ندارند.

ns, * and **, non-significant and significant difference at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۷- اثر مدیریت بقایا بر غلظت و جذب کل پتاسیم و روی در اندام هوایی نخود

Table 7. The effect of residue management on concentration and total absorption potassium and zinc in areal parts of chickpea

مدیریت بقایا Residue Management	غلظت پتاسیم اندام هوایی Potassium concentration of shoot	پتاسیم کل جذب شده Total absorbed potassium	غلظت روی اندام هوایی Zinc concentration of shoot	روی کل جذب شده Total absorbed zinc
	%	kg ha^{-1}	mg ka^{-1}	kg ha^{-1}
حذف بقایا Removal of crop residue	1.61b	40.8c	21.6a	5.51b
حفظ نیمی از بقایا Keeping half of the crop residue	1.75a	48.2a	22.7a	6.26a
حفظ کل بقایا Keeping all of the crop residue	1.67ab	44.7b	22.7a	6.07ab

حرف یا حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین میانگین‌ها می باشد.

The similar letter/letters indicated non-significant differences among means

از آنجایی که کاهش فراهمی آب برای گیاه، موجب کاهش جذب عناصر غذایی می‌شود، نتیجه آن، کاهش عملکرد ماده خشک است (Yildirim *et al.*, 2021)، اما در این شرایط تنش، کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC- دآمیناز توانستند جذب عناصر غذایی را بهبود بخشند. نتایج این تحقیق با پژوهش‌های دیگران نیز مطابقت داشت. بطوری‌که پژوهشگران در پژوهش خود دریافتند که باکتری‌های محرک رشد گیاه بر فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه اثر مثبت داشته، جذب عناصر غذایی و عملکرد گیاه را افزایش می-دهند (Kuzmicheva *et al.*, 2017). پژوهشگران نشان دادند که قارچ *Funneliformis mosseae*، جذب برخی از عناصر را افزایش داده و توان تحمل گیاه به تنش در گیاه را بالا می‌برد (Greger *et al.*, 2018). در توجیه اثر قارچ *Funneliformis mosseae* بر عملکرد نخود می-توان به نتایج پژوهش دیگری اشاره کرد که در شرایط حفظ بقایا بیان نمودند که پتاسیم باعث افزایش انعطاف پذیری در تبادلات روزنه ای و کاهش تعرق می‌گردد (Raghavendra *et al.*, 2020). آزمایشات نشان داده است که باکتری های دارای توانایی تولید آنزیم ACC-دآمیناز، توانستند طول ریشه را در حد معنی‌داری افزایش دهند (Chandra *et al.*, 2018). ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه و رشد ریشه‌ها و نسبت ریشه به اندام هوایی به منظور حفظ تعادل کلی گیاه لازم بوده و می‌تواند در تحمل به تنش خشکی تأثیر زیادی داشته باشد. همچنین خان و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که در شرایط حفظ بقایا، با کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae*، عملکرد دانه و زیستی نخود افزایش یافت (Tawfiq and Muslim, 2020). بررسی نتایج پژوهشی‌ها نشان داد که مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر غلظت عناصر غذایی در گیاه اثر داشت (Billah *et al.*, 2019). در تولید پایدار، ثبات عملکرد در شرایط مختلف محیطی به عنوان معیار اصلی انتخاب برای تحمل به تنش در نظر گرفته

می‌شود. ثبات عملکرد به معنای تفاوت اندک بین عملکرد پتانسیل (توان گیاه) و حقیقی (عملکرد واقعی گیاه در شرایط محیطی مختلف) می‌باشد. اثر قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مورد مطالعه در جهت کم کردن این تفاوت‌ها بود بطوری‌که اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه را بر افزایش رشد گیاه نخود گزارش شده است (Mazumdar *et al*., 2020). نتایج تحقیقات نشان داده است که گیاه برای بالابردن غلظت محلول درون سلول‌ها، مقدار بیشتری از عناصری مانند پتاسیم جذب می‌کند (Zahoor *et al*., 217). همچنین همسو با این تحقیق، پژوهشگران دیگر گزارش کردند که در اثر اعمال تنش تنش کم آبی و نیز کاربرد پتاسیم و میکوریزا، مقدار پتاسیم در برگ به طور معنی داری افزایش یافته است (Samadi *et al*., 2024).

جدول ۸- اثر کاربرد میکوریزا و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز بر غلظت پتاسیم و روی ، جذب کل پتاسیم و روی در اندام هوایی نخود

Table 8. The effect of mycorrhiza and ACC-deaminase producing bacteria application on potassium and zinc concentration, total absorbed potassium and zinc in shoot of the chickpea

کود زیستی Biological Fertilizer	غلظت پتاسیم اندام هوایی Potassium concentration of shoot	پتاسیم کل جذب شده Total absorbed potassium	غلظت روی اندام هوایی Zinc concentration of shoot	روی کل جذب شده Total absorbed zinc
	%	kg ha^{-1}	mg ka^{-1}	kg ha^{-1}
شاهد Control	1.61b	42.3c	21.4a	5.69c
مایکوریزا Mycorrhiza	1.73ab	50.1b	22.3a	6.61b
باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز ACC-deaminase producing bacteria	1.69ab	50.4b	22.4a	6.81b
مایکوریزا و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز Mycorrhiza and ACC-deaminase producing bacteria	1.79a	56.3a	22.7a	7.18a

حرف یا حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین میانگین‌ها می باشد.

The similar letter/letters indicated non-significant differences among means

جدول ۹- اثر برهمکنش تنش کم آبی و کاربرد کود بر کل پتاسیم و روی جذب شده نخود

Table 9. Interaction effect of water deficit stress and fertilizer application on total absorbed potassium and zinc in chickpea

مدیریت بقایا Crop residue management	شاهد Control	میکوزیرا Mucorrhiza	باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز ACC-deaminase producing bacteria	برهمکنش میکوریزا و باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز Mycorrhiza and ACC-deaminase producing bacteria
	پتاسیم کل جذب شده Total absorbed potassium ($kg\ ha^{-1}$)			
حذف بقایا Removal of crop residue	41.5c	45.5bc	46.6b	51.1ab
حفظ نیمی از بقایا Keeping half of the crop residue	44.8c	49.6b	51.8b	57.1a
حفظ کل بقایا Keepping all of the crop residue	43.5c	47.5b	48.6b	52.2ab
	روی کل جذب شده Total absorbed zinc ($kg\ ha^{-1}$)			
حذف بقایا Removal of crop residue	5.52c	6.41b	6.45b	6.89ab
حفظ نیمی از بقایا Keeping half of the crop residue	5.57c	6.63ab	6.74ab	7.34a
حفظ کل بقایا Keepping all of the crop residue	5.71c	6.54bc	6.43b	6.91ab

حرف یا حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها می باشد

The similar letter/letters indicated non-significant differences among means

پژوهشگران نتیجه گرفتند که در حضور قارچ *Funneliformis mosseae*، عناصری مانند پتاسیم به وسیله جریان تعرق در آوند چوبی از ریشه به اندام هوایی منتقل می‌شود (Zhang *et al.*, 2023). لذا شدت تعرق در گیاه مشخص کننده نحوه توزیع پتاسیم در اندام های گیاه می‌باشد. پتاسیم جذب شده در گیاه باعث تشکیل لایه کوتیکولی می-گردد که این لایه می‌تواند بر تعرق اثر گذاشته و بهره وری مصرف آب را افزایش دهد (Park *et al.*, 2019). از طرفی، معماری ریشه[1] با کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* تغییر کرده (Liu *et al.*, 2024) و از آنجایی که معماری ریشه عامل مهمی در کارایی کلنیزاسیون باکتری‌ها و قارچ ها می‌باشد لذا به هم افزایی اثرات باکتری و قارچ *Funneliformis mosseae* در شرایط دیم منجر می‌گردد. همچنین همسو با این تحقیق، در شرایط عدم مصرف کودهای زیستی به دلیل کمتر بودن جذب عناصر غذایی و آب بوسیله گیاه، به صورت

[1] Root architecture

کاهش تعداد غلاف و کمتر شدن وزن صد دانه منعکس می گردد.

نتیجه گیری

در شرایط تنش آبی (دیم) با حفظ نیمی از بقایا، عملکردی برابر با ۱۲۲۴ کیلوگرم دانه در هکتار نخود حاصل شد که نشان دهنده افزایش ۷/۸۱ درصدی نسبت به شاهد بود. نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد دانه نخود در تیمار بدون مصرف قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC- دآمیناز برابر ۱۰۹۷ کیلوگرم در هکتار بود، در حالی که بیشترین عملکرد دانه نخود در تیمار مصرف توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری مولد آنزیم ACC- دآمیناز به مقدار ۱۲۹۴ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که این افزایش ۱۷/۹ درصدی نسبت به شاهد، از نظر آماری معنی دار بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در چنین شرایط مدیریت بقایا، کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری‌های مولد آنزیم ACC- دآمیناز بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نخود اثرات مثبتی داشت. در میانگین دو سال، کاربرد توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و مایه زنی باکتری مولد آنزیم ACC-دآمیناز دارای ۱۲/۴ درصد افزایش عملکرد دانه در هکتار نسبت به عدم مصرف آن‌ها بود. علاوه بر کاربرد توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و مایه زنی باکتری مولد آنزیم ACC- دآمیناز که بیشترین اثر را بر گیاه نخود داشت، در شرایط بدون بقایا، مایه زنی باکتری مولد آنزیم ACC- دآمیناز و در شرایط حفظ بقایا، کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* اثر بیشتری بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر غذایی داشت. در بین اجزای عملکرد، تعداد دانه در متر مربع بیشترین اثر را از مایه زنی باکتری مولد آنزیم ACC- دآمیناز پذیرفت. از آن جایی که بخشی از کاهش رشد گیاه در شرایط دیم به افزایش سطح اتیلن و رسیدن آن به غلظت اتیلن تنشی در بافت گیاهی مربوط می‌شود، لذا، تجزیه ACC (ماده پیش‌نیاز تولید اتیلن) توسط باکتری‌های مولد آنزیم ACC- دآمیناز و به دنبال آن عدم تولید اتیلن تنشی (اضافی)، توجیه کننده جبران این خلاء در گیاهان می‌باشد. کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* در شرایط حفظ بقایا، از طریق تأثیر بر برخی فعالیت‌های فیزیولوژیک، باعث بهبود رشد می-گردد. نتایج همچنین نشان داد که در اثر کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری های مولد آنزیم ACC-دآمیناز، وضعیت عناصر پتاسیم و روی در اندام هوایی نخود به طور معنی‌داری بهبود یافت .پتاسیم و روی با اثر بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه سبب افزایش تحمل به تنش کم آبی گردید. بنابراین نیاز به توجه بیشتر به تغذیه گیاه نخود در خاک‌های با قابلیت جذب پایین این عناصر می‌باشد. در این پژوهش، مشخص شد که در ویژگی‌های عملکرد و اجزای عملکرد، بین کاربرد و عدم کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری‌های مولد آنزیم ACC-دآمیناز در شرایط عدم حفظ بقایا، تفاوت‌ها کمتر بوده و بدون اثر معنی‌دار بود. در بسیاری از برنامه‌های اصلاحی، ثبات عملکرد در شرایط مختلف محیطی به عنوان معیارهای اصلی انتخاب برای تحمل به تنش منظور می‌شود. ثبات عملکرد به معنای تفاوت اندک بین عملکرد پتانسیل (توان گیاه) و حقیقی (عملکرد واقعی گیاه در شرایط محیطی) مختلف می‌باشد. کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* و مایه‌زنی باکتری-های مولد ACC- دآمیناز موجب کاهش بیشتر فاصله بین عملکرد پتانسیل (در شرایط بدون بقایا) و عملکرد حقیقی (در شرایط تنش) گردید. در شرایط حفظ بقایا، اثرات سودمند قارچ *Funneliformis mosseae* بیشتر خود را نشان می‌دهد. از این دیدگاه با حفظ حداقل نیمی از بقایا، کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae*، به ویژه زمانی که

گیاه در معرض تنش‌های مختلف قرار دارد، باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده، مایه زنی بذر با باکتری‌های مولد آنزیم ACC- دآمیناز (گونه باکتری *Bacillus simplex* UT1) به عنوان باکتری تعدیل کننده تنش‌های موجود در شرایط دیم نیز پیشنهاد می‌گردد. به طور کلی، کاربرد توأم قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری-های مولد آنزیم ACC- دآمیناز باعث افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و بهبود غلظت عناصر غذایی در نخود شد. بر اساس نتایج این پژوهش، در شرایط حفظ بقایا، کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* به ویژه همراه با مایه زنی باکتری‌های مولد آنزیم ACC- دآمیناز به منظور پایداری در تولید نخود توصیه می‌گردد.

پیشنهادات

پژوهش‌های بیشتری به منظور تعیین نقش قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری‌های مولد ACC- دآمیناز بر تنظیم جذب آب توسط ریشه و بر ویژگی‌های آناتومی ریشه مورد نیاز است. با توجه به نقش سطح ریشه و تغییرات حاصل از فعالیت ریشه‌ها بر قابلیت جذب عناصر غذایی، اطلاع از تغییرات قابلیت استفاده عناصرغذایی در ریزوسفر و سهولت جذب و انتقال آن‌ها برای درک بهتر روابط بین قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری-های مولد آنزیم ACC-دآمیناز ضروری است. می-توان مایه زنی باکتری های برتر مولد آنزیم ACC-دآمیناز را در شرایط رطوبتی مختلف مورد بررسی قرار داد. همچنین انجام تحقیقات مشابه با تیمارهای متنوع تر در مورد کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* و باکتری‌های مولد ACC- دآمیناز پیشنهاد می‌گردد. پیشنهاد می شود، مقادیر مختلف قارچ *Funneliformis mosseae* و همچنین از باکتری‌هایی که علاوه بر تولید بالای آنزیم ACC-دآمیناز دارای توانایی‌های دیگری از جمله حل کنندگی بالای فسفات‌های نامحلول مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

Akhtyamova Z, Martynenko E, Arkhipova T, Seldimirova O, Galin I, Belimov A, Vysotskaya L, Kudoyarova G. 2023. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on the formation of apoplastic barriers and uptake of water and potassium by wheat plants. Microorganisms 11(5): 1227

Alzahrani Y, Kusvuran A, Alharby HF, Kusvuran S, Rady MM. 2018. The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced by drought, salinity or cadmium. Ecotoxicology and Environmental Safety 154(2): 187-196

Anderson MC, Zolin CA, Sentelhas PC, Hain CR, Semens K, Yilmaz MT, Gao F, Otkin JA, Tetrault R. 2016. The evaporative stress index as an indicator of agricultural drought in Brazil: An assessment based on crop yield impacts. Remote Sensing Environment 174(2): 82-99

Arafa AA, Hussin SFM, Mohamed HS. 2013. Effect of potassium fertilizer, biostimulants and effective microorganisms on growth, carbohydrates concentration and ion percentage in the shoots of potato plants. Journal of Plant Production 4(1): 15-32

Barillot CD, Sarde CO, Bert V, Tarnaud E, Cochet N. 2013. A standardized method for the sampling of rhizosphere and rhizoplan soil bacteria associated to a herbaceous root system. Annals of Microbiology 63(1): 471-476

Barra PJ, Inostroza NG, Acuna JJ, Mora ML, Crowley DE, Jorquera MA. 2016. Formulation of bacterial consortia from avocado (*Persea americana* Mill) and their effect on growth, biomass and superoxide dismutase activity of wheat seedlings under salt stress. Applied Soil Ecology 102(3): 80-91

Billah M, Khan M, Bano A, Hassan TU, Munir A, Gurmani AR. 2019. Phosphorus and phosphate solubilizing bacteria: Keys for sustainable agriculture. Geomicrobiology Journal 36(1): 904-916

Caverzan A, Casassola A, Brammer SP. 2016. Antioxidant responses of wheat plants under stress. Gen Molecular Biology 391(3):1-6

Chandra D, Srivastava R, Sharma AK. 2018. Influence of IAA and ACC Deaminase Producing Fluorescent Pseudomonads in Alleviating Drought Stress in Wheat (*Triticum aestivum*). Agricultural Research 7(1): 290-299

Danish S, Zafar-ul-Hye M. 2019. Co-application of ACC-deaminase producing PGPR and timber-waste biochar improves pigments formation, growth and yield of wheat under drought stress. Scientific Reports 9(1): 1-13

Dorairaj D, Ismail MR, Sinniah UR, Tan KB. 2020. Silicon mediated improvement in agronomic traits, physiological parameters and fiber content in *Oryza sativa*. Acta Physiologiae Plantarum 42(1): 1-11

Greger M, Landberg T, Vaculik M. 2018. Silicon influences soil availability and accumulation of mineral nutrients in various plant species. Plants 7(1): 41-50

Kang H, Zhang M, Zhou S, Guo Q, Chen F, Wu J, Wang W. 2016. Overexpression of wheat ubiquitin gene, Ta-Ub2, improves abiotic stress tolerance of Brachypodium distachyon. Plant Science 248(2): 102-115

Khan ZS, Rizwan M, Hafeez M, Ali S, Adrees M, Qayyum MF, Khalid S, Rehman MZ, Sarwar, MA. 2020. Effects of silicon nanoparticles on growth and physiology of wheat in cadmium contaminated soil under different soil moisture levels. Environmental Science and Pollution Research 27(4): 4958-4968

Kuzmicheva YV, Shaposhnikov AI, Petrova SN, Makarova NM, Tychinskaya IL, Puhalsky JV, Parahin NV, Tikhonovich IA, Belimov, AA. 2017. Variety specific relationships between effects of rhizobacteria on root exudation, growth and nutrient uptake of soybean. Plant and Soil 419(1): 83-96

Liu CY, Hao Y, Wu XL, Dai FJ, Abd-Allah EF, Wu QS, Liu SR. 2024. Arbuscular mycorrhizal fungi improve drought tolerance of tea plants via modulating root architecture and hormones. Plant Growth Regulation 102(1): 13-22.

Martin TN, Nunes UR, Stecca JDL, Pahins DB. 2017. Foliar application of silicon on yield components of wheat crop. Revista Caatinga 30(3): 578-585

Mohite B. 2013. Isolation and characterization of indole acetic acid IAA producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 13(3): 638-649

Moradtalab N, Hajiboland R, Aliasgharzad N, Hartmann TE, Neumann G. 2019. Silicon and the association with an arbuscular-mycorrhizal fungus (*Rhizophagus clarus*) mitigate the adverse effects of drought stress on strawberry. Agronomy 9(1): 41-52

Pande AM, Kulkarni NS, Bodhankar MG. 2016. Effect of PGPR with ACC-deaminase activity on growth performance of wheat cultivated under stress conditions International. Journal of Applied Research 2(4): 723-726

Park YG, Park SM, Na CI, Kim Y. 2019. Identification of Optimal Concentration of Silicon Application and Its Roles in Uptake of Essential Nutrients in Soybean (*Glycine max* L). Journal of Crop Science and Biotechnology 22(1): 1-10

Parray JA, Jan S, Kamili AN, Qadri RA, Egamberdieva D, Ahmad P. 2016. Current perspectives on plant growth-moting rhizobacteria. Journal of Plant Growth Regulation 32(1): 1-26

Penrose DM, Glick BR. 2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-moting rhizobacteria. Physiology of Plants 118(1): 10-15

Puthur JT. 2016. Antioxidants and cellular antioxidation mechanism in plants. South Indian Journal of Biological Science 21(1): 9-13

Quiroga G, Erice G, Aroca R, Zamarreno AM, Garcia-Mina JM, Ruiz-Lozano JM. 2020. Radial water transport in arbuscular mycorrhizal maize plants under drought stress conditions is affected by indole-acetic acid (IAA) application. Journal of Plant Physiology 246(1): 153-165

Raghavendra M, Singh YV, Das TK, Meena MC. 2020. Residual effect of crop residue and potassium management on greengram productivity, soil and canopy temperature depression in maize and wheat under zero tillage maize-wheat-greengram cropping system. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9(9): 3639-48.

Ritchie SW, Nguyen HT. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30(2): 105-111

Samadi A, Derafshi M, Hassani A, Gholamhoseini M, Asgari Lajayer B, Astatkie T, Price GW. 2024. Effects of Biofertilizers and Potassium Sulfate On Nutrients Uptake and Physiological Characteristics of Maize (*Zea mays* L.) Under Drought Stress. Journal of Crop Health 76(1): 209-218.

Sapre SS, Vakharia DN. 2019. Effect of silicon under water deficit on antioxidant enzymes activities at different phenological stages in Wheat (*Triticum aestivum* L). Indian Journal of Agricultural Biochemistry 32(1): 30-36

Sarwar M, Akhtar ME, Hyder SI, Khan MZ. 2012. Effect of biostimulant (humic acid) on yield, phosphorus, potassium and boron use efficiency in peas. Persian Gulf Crop Protection 1(1): 11-16

Shu X, Zou Y, Shaw LJ, Todman L, Tibbett M, Sizmur T. 2022. Applying cover crop residues as diverse mixtures increases initial microbial assimilation of crop residue derived carbon. European Journal of Soil Science 73(2):13232.

Talaat NB, Shawky BT. 2016. Dual application of 24-epibrassinolide and spermine confers drought stress tolerance in maize (*Zea mays* L) by modulating polyamine and tein metabolism journal of. Plant Growth Regulation 352(4): 518-533

Tawfiq AA, Muslim SN. 2020. Effect of maize residue alone or in with compination with arbuscular mycorrhiza (*Glomus moseae*) on growth and yield of pea (*Pisium Sativum* L.). Plant Archives 20(1):1058-1062.

Trankner M, Jakli B, Tavakol E, Geilfus C, Cakmak I, Dittert K. 2016. Magnesium deficiency decreases biomass water-use efficiency and increases leaf water-use efficiency and oxidative stress in barley plants. Plant Soil 406(3): 409-423.

Yildirim E, Ekinci M, Turan M. 2021. Impact of biochar in mitigating the negative effect of drought stress on cabbage seedlings. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 21(3): 2297-2309.

Zahoor R, Zhao W, Abid M, Dong H, Zhou Z. 2017. Potassium application regulates nitrogen metabolism and osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum* L) functional leaf under drought stress. Journal of Plant Physiology 215(1): 30-38

Zhang H, Han X, Liu K, Zhang W, Zhou Y, Tang M. 2024. Synergistic effect of extra potassium application and AM fungi on drought tolerance of *Lycium barbarum*. New Forests 55(1): 101-117.

DOI: 10.22092/idaj.2025.365993.434

Increasing the efficiency of Funneliformis mosseae and ACC-deaminase producing bacteria in rainfed chickpea cultivation by preserving residues

Reza Soleimani[1*], Karim Shahbazi[2]

1. Soil and Water Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Research Center, AREEO, Ilam, Iran.
2. Laboratory Research Department, Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran.

Extended abstract

Introduction: Optimal production of rainfed crops with proper management of crop residue conservation in order to sustain production growth and improve the quantity and quality of plant performance to provide food is an undeniable necessity. In dryland conditions, one of the important changes in plant physiology affected by drought stress is the increase in ethylene biosynthesis up to stress ethylene that reduces plant growth. Stress ethylene cause to decline in vegetative period and decrease grain yield. Mycorrhiza and ACC-deaminase producing bacteria decline the destructive effects of drought stress under dryland condition.

Methodology: In order to determine the effectiveness of preserving the crop residues and using the Funneliformis mosseae and ACC-deaminase producing bacteria for reducing the effects of water deficit stress in dryland conditions, this study was conducted as a split plots in a randomized complete block design (RCBD) with three replications from 2017 for two cropping years. The main plots include three different crop residue managment treatments including residue removal, keeping half of crop residue and keeping total crop residue and sub-plots at four levels including 1- control (no use of Funneliformis mosseae and ACC-deaminase producing bacteria), 2- application of Funneliformis mosseae 3- inoculation of ACC-deaminase producing bacteria (preparation of Bacillus simplex UT1 inoculation with 107 CFU ml-1 population or colony unit formed in ml and method of seed coating application 4- concomitant use of Funneliformis mosseae and ACC-deaminase-producing bacteria. Quantitative traits of chickpea such as grain and biological yield, 100-seed weight and number of seeds per square meter and physiological traits like relative leaf water content (RWC), concentration and total uptake of potassium and zinc as two important elements in water relations were measured in plants. Data were analyzed by SAS v.9.2 software and the means were compared by LSD test.

Research findings: The results of analysis of variance showed that the main effect of crop residue managment on grain yield, biological yield and harvest index were significant at 1, 1 and 5 percent levels, respectively. By keeping half of the crop residues, 1224 kg of seeds per ha of chickpea was obtained, which showed an increase of 7.81% compared to the control. The results of this study showed that the yield of chickpea seeds in the treatment of without Funneliformis mosseae and ACC-deaminase producing bacteria was 1097 kg ha-1, while the highest grain yield of chickpea was recorded for the treatment of Funneliformis mosseae and ACC-producing bacteria by 1294 kg ha-1, which it was by 17.9 % higher grain yield than control treatment. In general, the combined application of Funneliformis mosseae and ACC-deaminase producing bacteria increased yield, yield components and improved nutrient concentration compared to the control treatment. Based on the results of this study, in treatments of crop residue preservation, the use of Funneliformis mosseae is recommended, especially in combination with inoculation of ACC-deaminase producing bacteria in order to stabilize the production of chickpeas.

Keywords: Biofertilizer, Residue management, Yield, Nutrient elements

[*] Corresponding author*: soleimanir@ut.ac.ir*
Submit date: 2024/06/04 Accept date: 2025/03/02