

بررسی تاثیر روش‌های مصرف مایکوریزا جیبرلین بر صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و

عملکرد ماش تحت تنش خشکی

عبدالله حسینی^۱، محمد میرزایی حیدری^{۲*}، عباس ملکی^۳، محمود رستمی نیا^۴ و فرزاد بابایی^۵

۱، ۳ و ۵) گروه آگروتکنولوژی، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران.

۲) گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۴) گروه مهندسی آب و خاک، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

*نویسنده مسئول: Mirzaeiheydari@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸

چکیده

امروزه با افزایش تولید کشاورزی به جهت رفع نیازمندی‌های رو به رشد جمعیت در حال گسترش، نگرانی در مورد آینده تأمین غذا برای مردم مطرح گردیده است. در بین عوامل بازدارنده محیطی بر رشد و عملکرد گیاهان، خشکی مهم‌ترین عامل کاهش تولید بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک به‌شمار می‌رود. به‌منظور ارزیابی اثر مصرف مایکوریزا و جیبرلین و تنش خشکی بر روی عملکرد کمی و کیفی ماش، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ در منطقه ملکشاهی از توابع استان ایلام انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه مقدار تنش خشکی (۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه سطح جیبرلین شامل (شاهد یا عدم مصرف، بذرمال، محلول‌پاشی) و سه سطح مایکوریزا شامل (شاهد یا عدم مصرف، بذرمال و خاک کاربرد) به‌صورت فاکتوریل بود. مقایسه میانگین اثر سه‌گانه تنش خشکی و هورمون جیبرلین و مایکوریزا نشان داد که در تیمار ۳۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشت و محلول‌پاشی جیبرلین و عدم مصرف مایکوریزا بیش‌ترین عملکرد دانه به‌میزان ۲۲۵۵/۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بیش‌ترین و کم‌ترین فعالیت پلی فنل اکسیداز در تیمارهای بذرمال جیبرلین اسید در واکنش به تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و عدم مصرف جیبرلیک اسید در واکنش به تنش ۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر با مقادیر ۰/۸۷ و ۰/۴۴ میکرومول آب مقطر بر گرم وزن تر حاصل شد. بیش‌ترین و کم‌ترین فعالیت آسکورات پراکسیداز در تیمارهای بذرمال مایکوریزا در واکنش به تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و عدم مصرف مایکوریزا و جیبرلین اسید در واکنش به تنش ۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر با مقادیر ۴/۰ و ۱/۸۱ میکرومول آب مقطر بر گرم وزن تر حاصل شد که اختلاف بین این از لحاظ آماری معنی‌دار بود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، جیبرلین، ماش و مایکوریزا.

مقدمه

امروزه با افزایش تولید کشاورزی به جهت رفع نیازمندی‌های رو به رشد جمعیت در حال گسترش، نگرانی در مورد آینده تأمین غذا (Dawoudian *et al.*, 2021) برای مردم مطرح گردیده است (Skowronska and Filipek, 2014). ماش گیاهی است گرمسیری با نام علمی *vigna radiate* L. متعلق به تیره حبوبات که معمولاً در دمای بالاتر از ۱۶ درجه سلسیوس رشد می‌کند و در دمای کمتر از ۱- درجه سلسیوس از بین می‌رود. ماش یکی از مهم‌ترین حبوبات است که به‌طور گسترده در آسیا کشت می‌شود (ضیائی و همکاران، ۱۳۹۶). امنیت غذای جهانی با چالش‌های رشد جمعیت و کمبود منابع آب در دهه‌های آینده مواجه است (دشاب و همکاران، ۱۳۹۹؛ Hamidy, 2016).

در بین عوامل بازدارنده محیطی بر رشد و عملکرد گیاهان، خشکی مهم‌ترین عامل کاهش تولید بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود (بهامین و همکاران، ۱۳۹۸؛ Tardieu *et al.*, 2014). تنش خشکی عملکرد را از طریق کاهش وزن خشک کل گیاه و شاخص برداشت کاهش می‌دهد (بهامین و همکاران، ۱۴۰۰؛ موقوفه و همکاران، ۱۳۹۷). از طرفی قابلیت دسترسی عناصر غذایی مختلف در خاک در واکنش به تنش، تغییرات قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. بنابراین مدیریت تغذیه گیاه در شرایط تنش یکی از مسائل مهم در تولید محصولات گیاهی محسوب می‌شود (بهامین و همکاران، ۱۳۹۸؛ Mirzaei Heydari *et al.*, 2019). اثر خشکی بر هر یک از اجزای تشکیل دهنده عملکرد می‌تواند منجر به تغییر در میزان عملکرد تولیدی شود. در صورت نبود آب کافی نه تنها رشد گیاه به واسطه نبود آب بلکه به سبب کمبود عناصر غذایی قابل دسترس کاهش می‌یابد (Kumar *et al.*, 2015). یکی از مباحث نوین کشاورزی پایدار در مدیریت منابع خاک، بررسی موجودات خاکزی و روابط همزیستی متقابل مفید بین اجزاء اکوسیستم در زنجیره‌های غذایی و چرخه حیاتی است (Karami-Chame *et al.*, 2015). کودهای زیستی از جمله نهاده‌های طبیعی هستند که می‌توانند به عنوان مکمل یا جایگزین کودهای شیمیایی در کشاورزی پایدار به کار برده شوند (بهامین و همکاران، ۱۳۹۸). محققان بیان کردند که بطور کلی قارچ‌های میکوریز سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گردید، زیرا از یک طرف این قارچ‌ها دارای ریشه‌های فراوانی بوده که این ریشه‌ها وارد ریشه‌های گیاه شده و بر وزن ریشه می‌افزایند و از طرف دیگر با جذب فسفر و آب سبب افزایش اجزای عملکرد می‌گردند (پزشکپور و همکاران، ۱۳۹۳؛ میرزائی حیدری، ۱۴۰۰). برقراری رابطه همزیستی قارچ مایکوریزا با گیاه می‌تواند از طریق جذب مواد غذایی و آب بر تعداد دانه‌های تشکیل شده موثر باشد (میرزاکرمی و همکاران، ۱۳۹۸). همزیستی با گونه‌های قارچ مایکوریزا سبب استفاده بهتر از فسفر غیر قابل جذب خاک توسط هیف‌های قارچ شد که این می‌تواند در وزن دانه موثر باشد (مطرودی و همکاران، ۱۳۹۸).

از طرفی دیگر برخی هورمون‌ها مانند جیبرلین پتانسیل زیادی برای کارهایی در زمینه اصلاح گیاهان زراعی در واکنش به- شرایط نرمال دارند. یافته‌های اخیر توانایی برگ‌های تیمار شده با جیبرلین را در غلبه بر اثر مضر تنش‌های محیطی اثبات می‌کند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۹). هورمون‌های گیاهی بخش فعال سیگنال‌های فرستاده شده در القاء پاسخ‌های گیاهان به تنش هستند. تنش‌های غیر زیستی باعث کاهش سطح هورمون‌های گیاهی شده و رشد گیاهان را کاهش می‌دهند. تنش مقادیر سیتوکینین و اسید جیبرلیک را در گیاه کاهش داده و مقدار اسید آبسزیک را افزایش می‌دهد و همچنین تغییراتی را در نسبت‌های آب و نفوذپذیری غشا القا می‌کند. یک استراتژی مهم برای بهبود بخشیدن و اصلاح اثرهای مضر تنش بر گیاهان، می‌تواند استفاده از تنظیم کننده‌های رشد به صورت خارجی باشد (Sarwar et al., 2017). اسید جیبرلیک یکی از مهمترین جیبرلین‌ها می‌باشد که در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان نظیر فعالیت تقسیم سلولی مناطق مریستم، افزایش طولی سلول‌ها افزایش سرعت و درصد جوانه زنی، افزایش رشد گیاهچه ای در شرایط مزرعه، زودرسی، گل‌دهی و عملکرد دخالت دارد (Farooq et al., 2016).

اسماعیل پور و همکاران (۱۳۹۲) اعلام کردند که قارچ میکوریزا باعث افزایش مقدار کلروفیل در شرایط تنش خشکی شد. همزیستی میکوریزایی با دو گونه گلوموس موسه و گلوموس اینترداریس در ماش خسارت تنش خشکی را از طریق افزایش تعداد غلاف و دانه در بوته، طول غلاف و همچنین شاخص برداشت جبران کرد. Qiao و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی اثر قارچ میکوریز آربوسکولار بر مقاومت به خشکی گیاه نخود را در شرایط کمبود رطوبت خاک بررسی نموده و دریافتند که همزیستی میکوریزی به‌طور قابل ملاحظه‌ای باعث توسعه سیستم ریشه‌ای، ارتفاع گیاه، محتوای کلروفیل برگ‌ها، شدت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای گردید، در حالی‌که میزان پرولین و قندهای محلول پس از ۳۰ روز تنش خشکی در گیاهان میکوریزی کم‌تر بود. Asrar و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که تلقیح میکوریز آربوسکولار همراه با ریزوبیوم یا به‌تنهایی منجر به افزایش عملکرد دانه، گسترش ریشه و مقدار فسفر دانه و ساقه شد. در تحقیق حبیب زاده و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از گونه‌های *G. intraradices* و *G. mosseae* بیش‌ترین میزان فسفر برگ در گیاهان ماش به‌ترتیب ۲۶۰/۲ و ۲۵۸/۳ میلی گرم بر گرم وزن خشک برگ بود.

کشاورزی و همکاران (۱۳۹۲) در ارزیابی اثر هورمون جیبرلین بر عملکرد ذرت گزارش کردند که کاربرد جیبرلین با غلظت ۱۰۰ پی پی ام اثر مثبت و معنی‌داری بر وزن تک بوته و عملکرد کمی و کیفی علوفه در هکتار داشت. در این آزمایش مقدار ۲۰ میکرومول از هورمون‌های IAA و GA3، Kinetin مخلوط آن‌ها استفاده شد. با محلول‌پاشی هورمون‌ها، عملکرد، سطح برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی افزایش قابل توجهی داشتند. کیخا و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان بررسی اثر سالیسیلیک‌اسید و جیبرلین بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش بیان داشتند که در تیمار

۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم جیبرلین بهترین عملکرد علوفه خشک به میزان ۱۴۶۹/۳۶ کیلوگرم در هکتار و ۲۰/۹ درصد افزایش نسبت به شاهد، عملکرد دانه به میزان ۵۰۸/۰۸ کیلوگرم در هکتار و ۳۱/۰۹ درصد افزایش نسبت به شاهد و شاخص برداشت نیز به میزان ۲۵/۶۶ درصد بود که نسبت به شاهد ۲۰/۴۵ درصد افزایش نشان داد. به طور کلی می توان بیان کرد که سالیسیلیک اسید و جیبرلین بر صفات مورد بررسی اثر معنی دار مثبت داشتند و رشد بهتر بوته‌های ماش در تیمار ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم سالیسیلیک اسید و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم جیبرلین مشاهده شد.

بنابراین، با توجه به اهمیت دستیابی به روش‌های کشاورزی پایدار در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و نیز افزایش عملکرد در منطقه، نیاز به انجام مطالعه در زمینه بررسی اثر مصرف مایکوریزا و جیبرلین بر تحمل به خشکی و صفات بیوشیمیایی و زراعی ماش در شرایط تنش خشکی ضروری می باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی اثر مصرف مایکوریزا و جیبرلین و تنش خشکی بر روی عملکرد کمی و کیفی ماش آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ در منطقه ملکشاهی (استان ایلام) انجام شد. این شهرستان در شمال شرقی استان ایلام بین ۳۲ درجه و ۳۳ دقیقه و ۵۸ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۱۲ دقیقه و ۰۸ ثانیه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۰۷ دقیقه و ۱۶ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۰۴ دقیقه و ۰۹ ثانیه طول شرقی قرار گرفته است. دارای اقلیم معتدل کوهستانی طبق طبقه بندی کوپن، میانگین بارش سالانه آن ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی متر و دمای مطلق آن بین ۶/۵- تا ۳۹ درجه سانتیگراد متغیر است.

تیمارهای آزمایش شامل سه سطح تنش خشکی (۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی متر تبخیر از تشت تبخیر) به عنوان فاکتور اصلی و سه سطح جیبرلین شامل (شاهد، بذرمال در مرحله قبل از کاشت، محلول پاشی در مرحله شروع گل دهی) و سه سطح مایکوریزا شامل (شاهد، بذرمال و خاک کاربرد) به صورت فاکتوریل بود.

جیبرلین با غلظت ۱ میلی مولار مورد استفاده قرار گرفت. در حالت خاک کاربرد مایه تلقیح قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (Qiao et al., 2011) و به صورت جاگذاری در زیر و کنار بذور در زمان کاشت مورد استفاده قرار گرفت. در حالت بذرمال کود مایکوریزا به صورت مخلوطی از اسپور، خاک، ریشه و قطعات جدا شده ریشه‌های آلوده به عنوان تلقیح کننده در هنگام کشت استفاده شد. هنگام کشت بذرها، مقدار ۵۰ گرم از قارچ میکوریزا که شامل ریشه، خاک و اسپور بود استفاده شد. مایه تلقیح قارچ میکوریزا در این تحقیق با توجه به گونه‌های قارچ داخل آن در هر گرم دارای ۱۰۰ اسپور قارچ (Qiao et al., 2011) وجود دار بود.

به منظور تعیین ویژگی‌های خاک قبل از اجرای آزمایش نمونه‌گیری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک صورت گرفت و

ویژگی‌های آن مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج تجزیه نمونه‌های خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. در این آزمایش جهت کشت از بذر ماش رقم پرتو استفاده شد. هر کرت شامل ۴ خط کاشت با فواصل ۵۰ سانتی‌متر و به طول ۴ متر بود. فواصل بوته‌ها روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. از آنجا که گیاه ماش به دلیل ذخیره شدن ازت توسط باکتری‌های ریزوبیوم در روی ریشه‌ها نیاز چندانی به کود ازته ندارد تنها جهت رشد سریع و اولیه بوته‌ها ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره مصرف گردید. همچنین ۶۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم طبق توصیه آزمایشگاه خاکشناسی مصرف گردید. تمامی کودها، در زمان شخم افزوده شد. پس از مشخص شدن پلات‌های آزمایشی، بذور هر پلات به فواصل هر ۱۰ سانتی‌متر یک بذر روی خطوط (پشته‌ها) ۵۰ سانتی‌متری کاشته شد. چون در این آزمایش سه سطح تنش خشکی وجود داشت، آبیاری با استفاده از تشت تبخیر که به ترتیب ۳۰-۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشت بصورت ۳ روز ۶ و ۹ روز یکبار انجام شد. در طی دوره رشد جهت مبارزه با علف‌های هرز اقدام به چندین بار وجین دستی شد. علف‌های هرز مشاهده شده در مزرعه شامل تاج‌خروس، سلمه تره، قیاق، مرغ و توق بودند. در طول فصل رشد هیچ‌گونه علائم آفت و بیماری روی محصول مشاهده نشد و نیازی به مبارزه با آن‌ها نبود.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	نیتروژن قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	کربن آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	بافت خاک	عمق (سانتی‌متر)
۱۲۴	۱۰	۱۱	۱/۳	۱/۱	۷/۳	لومی-رسی	۰-۳۰

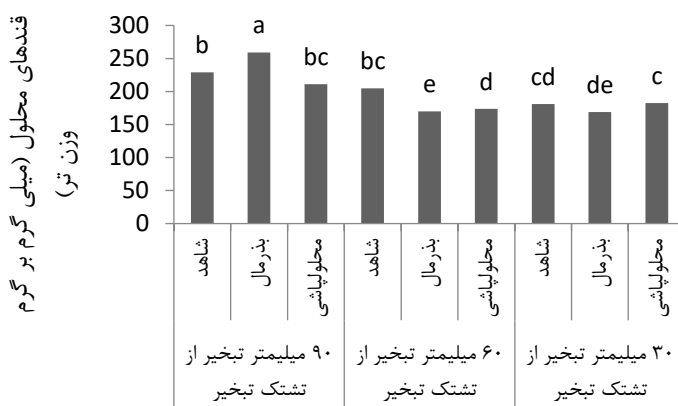
صفات مورد بررسی شامل تعداد شاخه در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، قندهای محلول، پروتئین و پروتئین بذر، آنزیم سوپرکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گلوکاتینون رداکتاز و پلی فنل اکسیداز بود. در پایان فصل رشد عملکرد دانه از سطحی معادل ۱/۵ متر مربع از خطوط اصلی هر کرت و با رعایت اثر حاشیه‌ای محاسبه شد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از برنامه‌های آماری SAS/۹ و جهت مقایسه میانگین صفات مورد نظر نیز از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. از روش همبستگی برای تعیین ارتباط بین صفات و از روش رگرسیون گام به گام موثرترین صفات بر عملکرد دانه تعیین و معادله نهایی به‌دست آمد. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، آزمون یکنواختی واریانس سال‌ها انجام شد. اثر سال به‌صورت اثر تصادفی؛ و اثر تنش، قارچ میکوریزا و جیبرلیک اسید به‌صورت اثر ثابت در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

قندهای محلول

اثر اصلی تنش خشکی و برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلین اسید بر قندهای محلول معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین و کم‌ترین قندهای محلول به‌ترتیب در تیمارهای بذرمال جیبرلیک اسید در واکنش به تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و مصرف بذرمال جیبرلیک اسید در واکنش به تنش ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر با مقادیر ۲۵۴/۱ و ۱۷۰/۴ میلی گرم بر گرم وزن تر حاصل شد (شکل ۱). کبیری (۱۳۹۰) بیان کرد که میزان قندهای محلول سیاهدانه در واکنش به تنش خشکی افزایش یافت. یکی از اسمولیت‌های سازگار، قندهای محلول می‌باشند که در شرایط تنش تجمع یافته و به‌عنوان عوامل حفاظتی در گیاهان عمل می‌کنند. در شرایط تنش، قندها از سلول‌ها از طریق تنظیم اسمزی و نگهداری تورژسانس و همچنین پایداری غشاها و پروتئین‌ها محافظت می‌کنند (بهامین و همکاران، ۱۴۰۰). آنزیم آلفا آمیلاز از آنزیم‌های حیاتی در متابولیسم کربوهیدرات که فعالیت آن در واکنش به عوامل محیطی قرار می‌گیرد، افزایش فعالیت آلفا آمیلاز سبب هیدرولیز نشاسته می‌شود در این شرایط تجمع قند در برگ کاهش می‌یابد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۹).

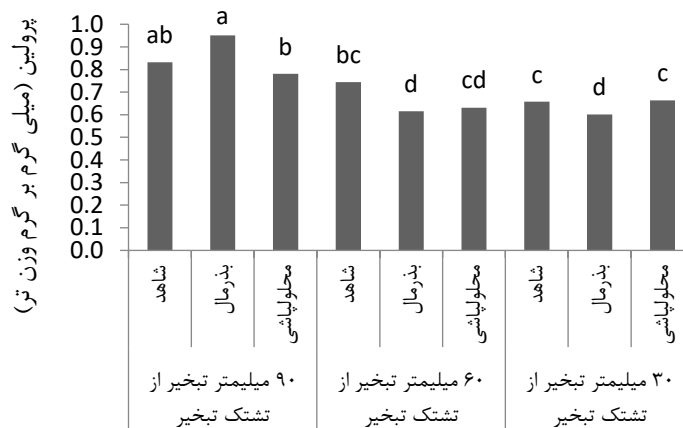


شکل ۱: برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلیک اسید بر قندهای محلول

پرولین

اثر اصلی تنش خشکی و برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلین اسید بر پرولین معنی‌دار بود اما سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). بیش‌ترین و کم‌ترین پرولین به‌ترتیب در تیمارهای بذرمال جیبرلیک اسید در واکنش به تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و مصرف بذرمال جیبرلیک اسید در واکنش به تنش ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر با مقادیر ۰/۹۵ و ۰/۶۱ میلی گرم بر گرم وزن تر حاصل شد (شکل ۳). یکی از مهم‌ترین ساز و کارهای گیاهان عالی در واکنش به تنش تجمع ترکیبات محلولی مانند پرولین است. تجمع پرولین در گیاهان در واکنش به تنش

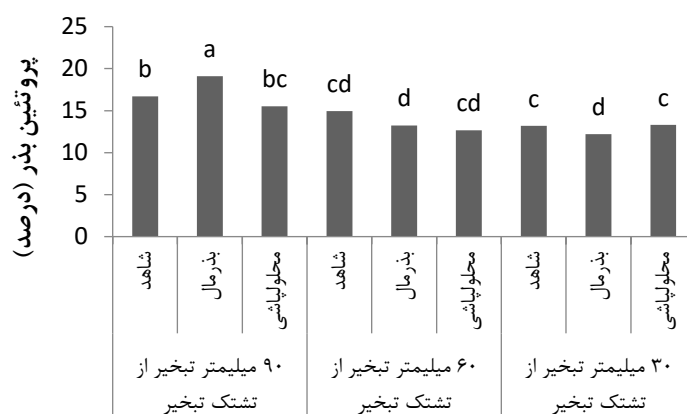
پاسخ دفاعی اولیه به نگهداری فشار اسمزی در سلول‌ها است. گزارشات متعددی مبنی بر اهمیت نقش پرولین در تنظیم اسمزی، حفظ ساختار سلولی و مقاومت در برابر تنش در بسیاری از گیاهان مقاوم و حساس به تنش شوری وجود دارد (بهامین و همکاران، ۱۳۹۸؛ Farooq et al, 2016). از طرفی یزدان پناه (۱۳۹۴) افزایش پرولین با مصرف مایکوریزا را گزارش کرد.



شکل ۲: برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلیک اسید بر قندهای محلول

پروتئین بذر

اثر اصلی تنش خشکی و برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلین اسید بر پروتئین بذر معنی‌دار بود اما سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). بیش‌ترین و کم‌ترین پروتئین برگ به‌ترتیب در تیمارهای بذرمال جیبرلیک اسید در واکنش به تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشک تبخیر و بذرمال جیبرلیک اسید در واکنش به تنش ۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشک تبخیر با مقادیر ۱۹/۸ و ۱۲/۲ درصد حاصل شد. تقریباً در تمامی سطوح تنش خشکی مصرف محلول‌پاشی جیبرلیک اسید موجب افزایش این شاخص شد (شکل ۳). کاهش مقدار پروتئین یک پدیده متداول در تنش‌های نظیر تنش خشکی است و تنش خشکی موجب سرکوب تولید برخی پروتئین‌ها و القای سنتز پروتئین‌های جدید می‌شود. همچنین تنش اکسیداتیو و اکسیداسیون پروتئین‌ها و در نتیجه افزایش پروتئین‌های اکسید شده، سرکوب سنتز پروتئین از طریق اثر بر پلی‌ریزوبیوم‌ها و افزایش تجزیه پروتئین‌ها پروتئولیز، کاهش کارایی ساز و کارهای دخیل در ترمیم و بازسازی پروتئین‌ها و کاهش فعالیت آنزیم نیترات رداکتاز از دلایل کاهش مقدار پروتئین در تنش خشکی است (کبیری، ۱۳۹۰؛ Al-Shaheen and Soh, 2016).



شکل ۳: برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلیک اسید بر پراکنش بذر

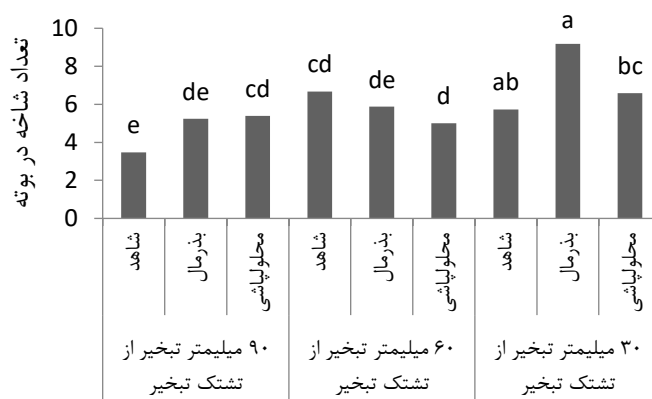
تعداد شاخه در بوته

اثر اصلی تنش خشکی و هورمون جیبرلین و برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلین در سطح یک درصد بر صفت تعداد شاخه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). در تیمار ۳۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشت تبخیر و روش بذر مال جیبرلین، بیش‌ترین تعداد شاخه در بوته به‌میزان ۹/۱ به‌دست آمد اما در تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشت و عدم مصرف جیبرلین به‌میزان ۳/۴۷ به‌دست آمد (شکل ۴). به‌نظر می‌رسد تنش خشکی سبب کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش مواد فتوسنتزی شده است که سبب کاهش در تعداد غلاف گیاه ماش شده است. به‌نظر می‌رسد با بذر مال کردن جیبرلین سبب افزایش مقاومت گیاه به کم‌آبی در گیاه ماش می‌شود. این ساز و کار می‌تواند با افزایش رشد رویشی ریشه‌ها همراه شود که سبب افزایش جذب آب و در نهایت افزایش تعداد شاخه در بوته شده باشد. کمیت و کیفیت رشد گیاه وابسته به تقسیم سلولی، بزرگ شدن سلول و تمایز سلولی است. این فرایندها به شدت نسبت به تنش خشکی حساس هستند چرا که مستلزم تورژسانس سلولی می‌باشند که در تنش خشکی به شدت کاهش می‌یابد. کاهش تولید اندام‌های مختلف و سلول‌های مریستمی در اثر تنش آبی احتمالاً بدلیل کاهش فتوسنتز و فشار تورژسانس است که موجب کاهش تقسیم و توسعه سلول می‌شود (Al-Shaheen and Soh, 2016).

تعداد دانه در غلاف

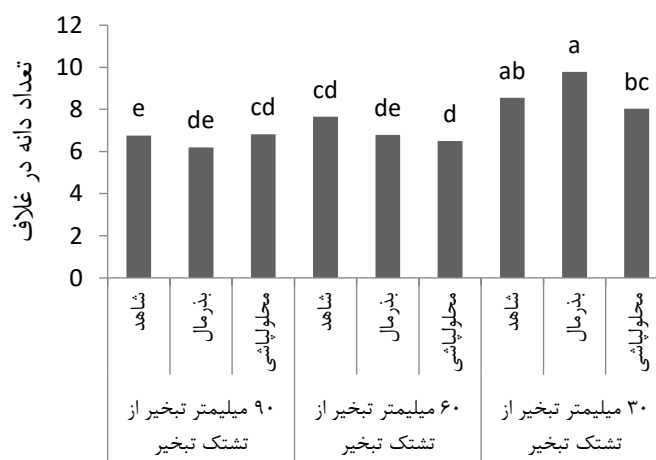
اثر اصلی تنش خشکی در سطح یک درصد و برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلین در سطح یک درصد بر صفت تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود، اما سایر اثرهای اصلی و متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). در تیمار ۳۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشت و روش بذر مال جیبرلین بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف به‌میزان ۹/۷ به‌دست آمد اما در تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشت و بذر مال جیبرلین به‌میزان ۶/۱ به‌دست آمد (شکل ۵). افزایش تنش خشکی و کاهش مواد فتوسنتزی

قدرت تولیدی گیاه کم می‌شود که در نهایت سبب کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود. کاهش اجزای عملکرد و عملکرد دانه ماش در اثر تنش خشکی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (شکوه فر و ابوفتیله نژاد، ۱۳۹۲).



شکل ۴: برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلیک اسید بر تعداد شاخه در بوته

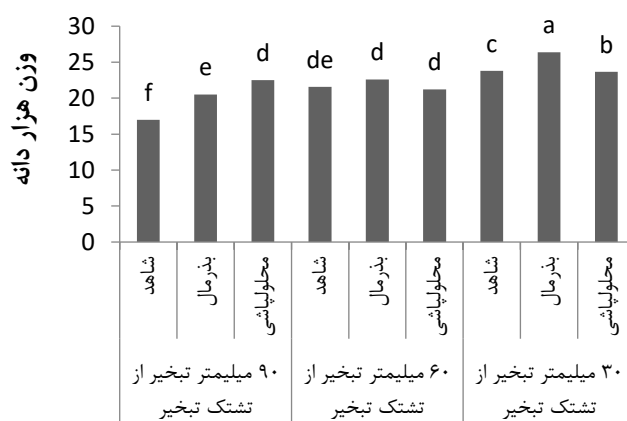
جیبرلین‌ها با افزایش فعالیت گزیلوگلوکاناند و ترانس گلیکوزیلات، قابلیت اتساع دیواره سلول را افزایش می‌دهند که نتیجه آن نرم شدن دیواره سلول است و به سلول اجازه کشیده شدن و طولیل شدن را می‌دهد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Al-Shaheen and Soh, 2016). برخی از محرک‌های رشد گیاهی مانند جیبرلین، باعث استقرار بهتر گیاه در خاک و حفظ گیاه به مدت طولانی و افزایش سطح سبزی‌نگی می‌شود، در نتیجه بر قدرت رقابتی و بقای گیاه افزوده می‌شود. با توجه به موارد بیان شده مواد محرک رشد از جمله جیبرلین احتمالاً به دلیل تأمین مواد غذایی بر اثر تحرک بیشتر مواد سلولزی و افزایش سبزی‌نگی، این شرایط را به‌ویژه در مرحله گل‌دهی فراهم می‌کنند. کاربرد مواد محرک رشد گیاهی اثرهای مفیدی بر عملکرد گندم داشته و افزایش عملکرد به دلیل افزایش تعداد دانه در واحد سطح بوده است.



شکل ۵: برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلیک اسید بر تعداد دانه در غلاف

وزن هزار دانه

اثر اصلی تنش خشکی و جیبرلین به ترتیب در سطح یک درصد و پنج درصد و برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلین بر روی صفت وزن هزار دانه معنی‌دار بود، اما سایر اثرهای اصلی و متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). در تیمار ۳۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشت و روش بذرمال جیبرلین بیش‌ترین وزن هزار دانه به میزان ۲۵/۹ گرم به دست آمد اما در تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشت و شاهد به میزان ۱۶/۱ به دست آمد (شکل ۶). با افزایش میزان تنش خشکی و کاهش آب قابل دسترس گیاه توان فتوسنتزی گیاه با مشکل مواجه می‌شود که سبب کاهش وزن هزار دانه آن می‌شود. افزایش وزن هزار دانه بر اثر کاربرد جیبرلین و اکسین ناشی از افزایش قدرت مخزن است با کاربرد هورمون مذکور احتمالاً میزان تقسیم سلولی در بذر افزایش یافته و موجب افزایش سلول‌های ذخیره‌ای بذر شده است. علاوه بر آن، هورمون جیبرلین موجب افزایش سلول‌های ذخیره‌ای بذر می‌شود (Taiz and Zeiger, 2006). می‌توان دلیل افزایش عملکرد در سطوح کاربرد هورمون جیبرلین را نقش این هورمون‌ها در رشد و فتوسنتز دانست (Tohidi and Fallahi, 2016).



شکل ۶: برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلیک اسید بر وزن هزار دانه

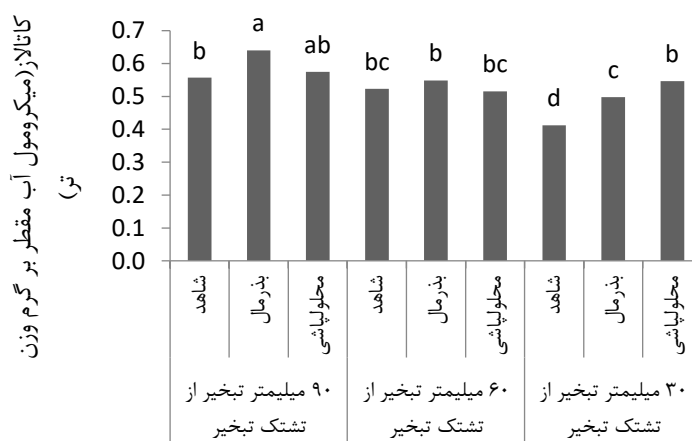
عملکرد دانه

اثر اصلی تنش خشکی در سطح یک درصد و اثر سه‌گانه در سطح پنج درصد بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود، اما سایر اثرهای اصلی و متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر سه‌گانه تنش خشکی و هورمون جیبرلین و مایکوریزا نشان داد که در تیمار ۳۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشت و محلول‌پاشی جیبرلین و عدم مصرف مایکوریزا بیش‌ترین عملکرد دانه به میزان ۲۲۵۵/۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد اما در تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشت و عدم مصرف جیبرلین و مایکوریزا به میزان ۷۷۸/۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد مصرف جیبرلین در هنگام فراهمی آب و مواد غذایی بیش‌ترین اثر را بر روی اجزای عملکرد گیاه ماش داشته است که در نهایت

سبب افزایش عملکرد در آن شده است. کاربرد اسید جیبرلیک مانع از اکسیداسیون اکسین می‌گردد و باعث افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی می‌گردد و به این طریق می‌تواند بر رشد اثر بگذارد و عملکرد دانه را افزایش دهد (Faridoddin *et al.*, 2003). در گزارشی عنوان شد محلول‌پاشی با اسید جیبرلیک باعث افزایش عملکرد می‌گردد (کبیری، ۱۳۹۰).

کاتالاز

اثر اصلی جیبرلین اسید، اثر اصلی تنش خشکی و برهم‌کنش تنش و جیبرلین بر کاتالاز معنی‌دار بود اما سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۴). در تیمار تنش خشکی ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کاتالاز به مقدار ۵۹/۰ میکرومول آب مقطر بر گرم وزن تر به‌دست آمد. بیش‌ترین و کم‌ترین کاتالاز به‌ترتیب در تیمارهای بذرمال جیبرلیک اسید و عدم مصرف جیبرلیک اسید حاصل شد (شکل ۷). نتایج در خصوص میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با نتایج یزدان پناه (۱۳۹۴) مطابقت دارد. محققان میزان فعالیت دو آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید را در دو گونه خزه مقاوم و حساس به خشکی در ضمن تنش خشکی بررسی کردند، نتایج این آزمایش نشان داد که در گونه مقاوم به خشکی خزه، افزایش تنش خشکی سبب کاهش پر اکسیداسیون چربی‌ها و در عوض افزایش فعالیت دو آنزیم مذکور می‌شود صادق است (ملکی و همکاران، ۱۳۹۹).



شکل ۷: برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلیک اسید بر کاتالاز

پراکسیداز

اثر اصلی تنش خشکی و برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلین اسید و مایکوریزا بر پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین و کم‌ترین پراکسیداز به‌ترتیب در تیمارهای شاهد مایکوریزا همراه با محلول‌پاشی جیبرلین اسید در واکنش به تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و خاک کاربرد جیبرلیک اسید در واکنش به تنش ۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشت

تبخیر با مقادیر ۲۷/۲۹ و ۱۲/۷۰ میکرومول آب مقطر بر گرم وزن تر حاصل شد. تقریباً در تمامی سطوح تنش خشکی مصرف بذرمال یا محلول‌پاشی جیبرلیک اسید و یا بذرمال و خاک کاربرد مایکوریزا چه به شکل مجزا و چه به شکل ترکیبی موجب افزایش این شاخص شد (جدول ۳). اندازه گیری فعالیت آنزیمی نشان داد که در اثر بروز تنش خشکی فعالیت این آنزیم‌ها افزایش یافته است. افزایش این آنزیم‌ها در تیمار تنش به خاطر نقش مهم آن‌ها در مقابله با رادیکال‌های آزاد تشکیل شده در اثر تنش خشکی می‌باشد. رادیکال‌های آزاد به برخی از ترکیبات سلولی نظیر لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها آسیب می‌رسانند که در نهایت به مرگ سلول منتج خواهد شد (Kumar et al, 2015). نتایج یزدان پناه (۱۳۹۴) نشان می‌دهد که تنش خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و گلوکاتایون پر اکسیداز و کاتالاز می‌گردد.

سوپر اکسید دیسموتاز

اثر اصلی تنش خشکی، برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلین؛ و برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلین اسید و مایکوریزا بر سوپر اکسید دیسموتاز معنی‌دار بود اما سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۴). بیش‌ترین و کم‌ترین سوپر اکسید دیسموتاز به ترتیب در تیمارهای شاهد مایکوریزا همراه با محلول‌پاشی جیبرلین اسید در واکنش به تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و خاک کاربرد جیبرلیک اسید در واکنش به تنش ۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر با مقادیر ۳۳/۸۶ و ۱۷/۳۸ میکرومول آب مقطر بر گرم وزن تر حاصل شد. تقریباً در تمامی سطوح تنش خشکی مصرف بذرمال یا محلول‌پاشی جیبرلیک اسید و یا بذرمال و خاک کاربرد مایکوریزا چه به شکل مجزا و چه به شکل ترکیبی موجب افزایش این شاخص شد (جدول ۵). چنین نتیجه‌ای توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Kumar et al., 2015). آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز اولین خط دفاعی را بر علیه رادیکال‌های فعال اکسیژن در سلول تشکیل می‌دهند (یزدان پناه و همکاران، ۱۳۹۴) و احیای رادیکال سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن و اکسیژن مولکولی کاتالیز می‌کنند. پراکسید هیدروژن حاصل در مرحله بعدی توسط آنزیم‌های آسکوربت پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز پاکسازی می‌شود (Karami-Chame et al., 2016).

آسکوربات پراکسیداز

اثر اصلی تنش خشکی، اثر اصلی مایکوریزا، و اثر دوگانه تنش خشکی و جیبرلین اسید و اثر سه‌گانه تنش خشکی و جیبرلین اسید و مایکوریزا بر آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار بود اما سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۴). بیش‌ترین و کم‌ترین آسکوربات پراکسیداز به ترتیب در تیمارهای بذرمال مایکوریزا در واکنش به تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و عدم مصرف مایکوریزا و جیبرلین اسید در واکنش به تنش ۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر با مقادیر ۴/۰ و ۱/۸۱ میکرومول آب مقطر بر گرم وزن تر حاصل شد که اختلاف بین این از لحاظ آماری معنی‌دار

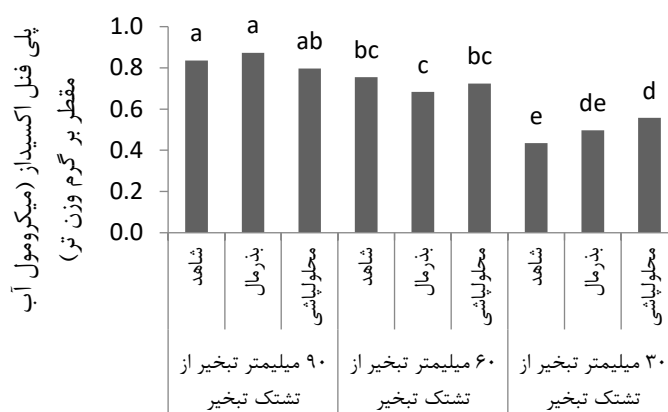
بود (جدول ۳). تنش‌های محیطی مانند خشکی و سرما باعث افزایش تشکیل انواع اکسیژن فعال و به دنبال آن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان می‌شود (دشاب و همکاران، ۱۳۹۹). در مشاهده شده است که در شرایط تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در گیاهان متحمل بیش از گیاهان حساس است، از این‌رو به نظر می‌رسد آنزیم‌های آنتی اکسیدان در افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی دارای نقش مهمی می‌باشند (Azooz and Youssef, 2010).

گلوتاتیون رداکتاز

اثر اصلی سال، اثر اصلی تنش خشکی، اثر اصلی مایکوریزا، و اثر دوگانه تنش خشکی و جیبرلین اسید و اثر سه‌گانه تنش خشکی و جیبرلین اسید و مایکوریزا بر گلوتاتیون رداکتاز معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین و کم‌ترین گلوتاتیون رداکتاز به ترتیب در تیمارهای شاهد مایکوریزا همراه با محلولپاشی جیبرلین اسید در واکنش به تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و خاک کاربرد جیبرلیک اسید در واکنش به تنش ۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر با مقادیر ۵/۴۵ و ۱/۷۶ میکرومول آب مقطر بر گرم وزن تر حاصل شد. تقریباً در تمامی سطوح تنش خشکی مصرف بذرمال یا محلولپاشی جیبرلیک اسید و یا بذرمال و خاک کاربرد مایکوریزا چه به شکل مجزا و چه به شکل ترکیبی موجب افزایش این شاخص شد (جدول ۳). مطالعه‌های (Sarwar et al., 2017) نیز مبین آن است که فعالیت گلوتاتیون رداکتاز جهت کاهش اثرهای بد ناشی از تنش‌های مختلف مؤثر است. محققان (Azooz and Youssef, 2010) بیان کرد که قارچ‌های مایکوریزا در سطوح تنش می‌توانند منجر به افزایش فعالیت و مقدار آنزیم گلوتاتیون رداکتاز شوند.

پلی فنل اکسیداز

اثر اصلی تنش خشکی، اثر اصلی مایکوریزا، و اثر دوگانه تنش خشکی و جیبرلین اسید بر پلی فنل اکسیداز معنی‌دار بود اما سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۴). بیش‌ترین و کم‌ترین پلی فنل اکسیداز به ترتیب در تیمارهای بذرمال جیبرلین اسید در واکنش به تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و عدم مصرف جیبرلیک اسید در واکنش به تنش ۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر با مقادیر ۰/۸۷ و ۰/۴۴ میکرومول آب مقطر بر گرم وزن تر حاصل شد. تقریباً در تمامی سطوح تنش خشکی مصرف بذرمال یا محلولپاشی جیبرلیک اسید موجب افزایش این شاخص شد (شکل ۸). فتحی و بهامین (۱۳۹۷) بیان کرد که محلولپاشی با هورمون‌های گیاهی موجب افزایش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز شده است. جیبرلین‌ها شامل گروهی از هورمون‌ها هستند که بیش‌ترین دخالت مستقیم را در کنترل و تسهیل جوانه زنی بذر دارند. گزارش‌های متعددی وجود دارد که استفاده از جیبرلین سبب افزایش ساخت RNA ریبوزومی، تولید بیشتر DNA میتوکندریایی و افزایش فعالیت آنزیم‌های مختلف دانسته اند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Ghaffari et al., 2019).



شکل ۸: برهم‌کنش تنش خشکی و جیبرلیک اسید بر پلی فنل اکسیداز

رگرسیون گام به گام

نتایج این بررسی نشان داد که بیشترین تاثیر بر عملکرد دانه مربوط به صفت تعداد شاخه در بوته با ضریب تبیین ۰/۸۷ که این مقدار از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنادار بود. تعداد دانه در غلاف از لحاظ تاثیر بر عملکرد دانه با ضریب تبیین ۰/۷۳ در رتبه دوم قرار داشت که این مقدار از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنادار بود. آنزیم کاتالاز از لحاظ تاثیر بر عملکرد دانه با ضریب تبیین ۰/۴۵ در رتبه سوم قرار داشت که این مقدار از لحاظ آماری در سطح پنج درصد معنادار بود. به‌طور کلی بین صفات مستقل با عملکرد رابطه رگرسیونی معنی‌داری با ضریب تبیین ۰/۴۷ وجود داشت که از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). ضیائی و همکاران (۱۳۹۶) و حبیب زاده و همکاران (۱۳۹۱) نیز ارتباط رگرسیونی معنی‌دار بین برخی صفات اجزاء عملکرد و تعداد شاخه در بوته را با عملکرد دانه گزارش کردند.

همبستگی بین صفات

در این مطالعه بیشترین ضریب همبستگی بین پرولین با قندهای محلول به‌مقدار ۰/۹۷ مشاهده شد که این مقدار در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. از آنجا که این همبستگی مثبت بود، می‌توان اظهار داشت که با افزایش مقدار پرولین، قندهای محلول نیز افزایش خواهد یافت. بین پروتئین و پرولین نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری به‌مقدار ۰/۹۵ مشاهده شد که رتبه دوم قرار داشت. در خصوص ارتباط عملکرد دانه با سایر صفات نیز بیشترین همبستگی بین تعداد شاخه در بوته به‌مقدار ۰/۴۷ مشاهده شد. (جدول ۶). حبیب زاده و همکاران (۱۳۹۱) نیز ارتباط همبستگی مثبت بین صفات اجزاء عملکرد و تعداد شاخه در بوته را با عملکرد دانه گزارش کردند.

جدول ۲: اثر جیبرلین و مایکوریزا بر صفات رشدی ماش در واکنش به تنش خشکی

میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	قندهای محلول	پرویلین	پروتئین بذّر	تعداد شاخه در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
سال	۱	۱۷۴۰/۸۳ ^{NS}	۰/۰۹۰ ^{NS}	۹/۴۷ ^{NS}	۲/۶۲ ^{NS}	۰/۹۴۰ ^{NS}	۸/۳۸ ^{NS}	۳۲۲۳۶/۵۵ ^{NS}
یلوک(سال)	۴	۶۲۸۲/۷	۰/۳۶۰	۴۲/۴۷	۱۰/۹	۰/۴۲۰	۷۵/۴۲	۶۵۵۵۵۳/۲
تنش	۲	۵۰۹۱۰/۹ ^{**}	۰/۷۵۰ ^{**}	۲۷۲/۵ ^{**}	۸۲/۱۳ ^{**}	۷۴/۶۴ ^{**}	۲۹۲/۵۷ ^{**}	۹۴۲۳۷۸۲/۱ ^{**}
سال×تنش	۲	۲۳۳/۷۷ ^{NS}	۰/۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۱۵ ^{NS}	۰/۰۲ ^{NS}	۰/۰۱۰ ^{NS}	۰/۰۵ ^{NS}	۱۴۵/۵۷ ^{NS}
خطای کرت های اصلی	۸	۷۷۶/۷۸	۰/۰۲۰	۵/۱۴	۹/۶۶	۱/۳۸۰	۱۰۴/۲۱	۵۲۰۶۹۵/۹
جیبیرلین	۲	۳۴۵۲/۱ ^{NS}	۰/۰۴۰ ^{NS}	۲۰/۳۶ ^{NS}	۳۱/۸ ^{**}	۴/۶۸۰ ^{NS}	۸۱/۰۶ [*]	۲۶۴۳۲۷/۲ [*]
مایکوزیزا	۲	۱۴۱۷/۴۲ ^{NS}	۰/۰۳۰ ^{NS}	۱۴/۳ ^{NS}	۰/۰۲ ^{NS}	۴/۴۳۰ ^{NS}	۵۲/۱۵ ^{NS}	۶۴۳۷۵/۲۷ ^{**}
جیبیرلین×سال	۲	۳/۵۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۱۷ ^{NS}	۰/۳ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۴ ^{NS}	۷/۲۶ ^{NS}
مایکوزیزا×سال	۲	۱۲۰۱/۴۵ ^{NS}	۰/۰۲۰ ^{NS}	۶/۹۱ ^{NS}	۷/۰۲ ^{NS}	۲/۰۱۰ ^{NS}	۱۹/۵۳ ^{NS}	۵۲۰۲۱/۶۷ ^{NS}
تنش×جیبیرلین	۴	۷۳۹۷/۰۱ ^{**}	۰/۱۱۰ ^{**}	۳۵/۵ ^{**}	۲۹/۷۳ ^{**}	۹/۲۶۰ ^{**}	۵۵/۰۹ [*]	۴۶۶۶۸۶/۱ [*]
تنش×مایکوزیزا	۴	۴۰۳/۲ ^{NS}	۰/۰۱۰ ^{NS}	۰/۲۵ ^{NS}	۱/۳۵ ^{NS}	۰/۴۳۰ ^{NS}	۱/۹۹ ^{NS}	۲۱۶۲۱۲/۲ ^{NS}
سال×تنش×جیرلین	۴	۲۷۸/۲۶ ^{NS}	۰/۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۲۹ ^{NS}	۰/۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۵ ^{NS}	۱۱۱۶/۷ ^{NS}
سال×تنش×مایکوزیزا	۴	۱۷۶/۸۳ ^{NS}	۰/۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۳ ^{NS}	۰/۹۲ ^{NS}	۰/۰۲۰ ^{NS}	۰/۰۵ ^{NS}	۲۸۸۳/۵۸ ^{NS}
جیبیرلین×مایکوزیزا	۴	۹۳۸/۳۶ ^{NS}	۰/۰۱۰ ^{NS}	۱/۶۹ ^{NS}	۲/۴ ^{NS}	۰/۵۰۰ ^{NS}	۵۱/۱۶ ^{NS}	۴۳۶۱۱۷/۷ ^{NS}
سال×مایکوزیزا×جیبیرلین	۴	۱۹۷/۷ ^{NS}	۰/۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۱۵ ^{NS}	۰/۷۶ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۴ ^{NS}	۱۹۹۶/۸۳ ^{NS}
تنش×مایکوزیزا×جیبیرلین	۸	۱۸۰۲/۹۶ ^{NS}	۰/۰۳۰ ^{NS}	۱۵/۰۵ ^{NS}	۴/۷۳ ^{NS}	۴/۲۴۰ ^{NS}	۴۲/۴۸ ^{NS}	۵۵۰۹۸۶/۶ [*]
سال×تنش×جیبیرلین×مایکوزیزا	۸	۱۲۰/۹۹ ^{NS}	۰/۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۳۱ ^{NS}	۰/۳۲ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۲ ^{NS}	۱۳۲۲/۷۶ ^{NS}
خطای کرت های فرعی	۹۶	۱۴۱۹/۶۸	۰/۰۲	۷/۵۶	۴/۸۳	۲/۰۵	۲۴/۸	۲۱۲۴۰۶/۲
ضریب تغییرات (%)	-	۱۹/۰۶	۱۹/۸۶	۱۳/۱۲	۱۶/۹۱	۱۹/۲۱	۱۵/۶۵	۱۴/۷۸

NS, **, * به ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی دار، و اثر معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می باشد.

جدول ۳: مقایسه میانگین برهم کنش سه گانه بر صفات آنزیمی

تنتش (میلی‌متر تبخیر آب از تشت)	جیبرلین	مایکونریزا	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	پراکسیداز کاتالاز (میکرومول آب مقطر بر گرم وزن تر)	سوپر اکسید دیسموتاز (میکرومول آب مقطر بر گرم وزن تر)	آسکوربات (میکرومول آب مقطر بر گرم وزن تر)	گلوتاتینون رداکتاز (میکرومول آب مقطر بر گرم وزن تر)
۹۰	شاهد	شاهد	۷۷۸/۲	۱۷/۵۶	۲۲/۶۷	۳/۲۵	۴/۸
	شاهد	بذرمال	۱۰۰۵	۱۹/۹۹	۲۵/۵۸	۴	۵/۴۵
		خاک کاربرد	۹۰/۱۳	۱۹/۳۸	۲۴/۹۷	۳/۶۲	۵/۰۷
		شاهد	۹۲۸/۱	۲۳/۴۲	۳۰/۲۳	۳/۸۹	۵/۳۴
	بذرمال	بذرمال	۸۸۶/۲	۲۴/۴۶	۲۹/۸۸	۳/۷۵	۵/۲
		خاک کاربرد	۱۱۹۹	۱۸/۸۶	۲۴/۳۱	۳/۸۳	۵/۲۸
	محلول	شاهد	۱۰۴۸/۲	۲۷/۲۹	۳۳/۸۶	۳/۳۵	۴/۸
	پاشی	بذرمال	۱۳۱۲/۹	۱۷/۴۴	۲۱/۱۴	۳/۴۵	۴/۹
		خاک کاربرد	۹۹۴/۵	۱۷/۴۹	۲۲/۵۴	۳/۶۷	۵/۱۲
		شاهد	۱۱۷۴/۱	۱۴/۳۲	۱۸/۴۹	۳/۴۴	۴/۸۹
	شاهد	بذرمال	۱۴۸۲/۵	۱۶/۸۷	۱۶/۷۷	۳/۱۷	۴/۶۲
		خاک کاربرد	۱۹۴۵/۱	۱۹/۷۹	۲۵/۴۹	۳/۳	۴/۷۵
		شاهد	۱۹۰۸	۲۳/۵۴	۲۹/۳۶	۲/۲۸	۳/۷۳
	بذرمال	بذرمال	۱۴۶۹/۴	۲۴	۳۰/۹۶	۳/۰۹	۴/۵۴
		خاک کاربرد	۱۱۴۲/۱	۱۴/۹۷	۱۹/۲۹	۳/۶۱	۵/۰۶
	محلول	شاهد	۱۱۳۳/۳	۱۵/۹۶	۲۰/۵۹	۳/۰۱	۴/۴۶
	پاشی	بذرمال	۱۰۸۸/۸	۱۶/۶۷	۲۱/۵۱	۳/۲۶	۴/۷۱
		خاک کاربرد	۱۳۹۱/۵	۱۹/۹	۲۵/۷۲	۳/۲۴	۴/۶۹
		شاهد	۱۶۷۱/۸	۱۶/۹	۲۲/۸۲	۱/۸۱	۱/۷۶
	شاهد	بذرمال	۱۶۴۳/۳	۱۳/۸	۱۸/۸	۲/۰۵	۲
		خاک کاربرد	۱۸۰۹/۹	۱۲/۷	۱۷/۳۸	۱/۸۳	۱/۷۸
		شاهد	۲۰۱۰/۵	۱۳/۱۲	۱۷/۹۶	۱/۷۶	۱/۷۱
	بذرمال	بذرمال	۱۸۰۵/۱	۱۴/۹۳	۲۰/۴۷	۲/۲۷	۲/۲۲
		خاک کاربرد	۲۱۶۵/۴	۱۵/۹۲	۲۱/۵۴	۲/۴۶	۲/۴۱
		شاهد	۲۲۵۵/۵	۱۷/۳۶	۲۳/۴	۲/۴۸	۲/۴۳
	محلول	بذرمال	۱۷۴۰/۶	۲۴/۰۷	۳۰/۰۸	۲/۳۹	۲/۳۴
پاشی	خاک کاربرد	۱۴۴۰/۲	۱۵/۸۵	۲۱/۴۴	۲/۴۲	۲/۳۷	

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارد.

جدول ۴: اثر جیبرلین و مایکوریزا بر آنزیم‌های ماش در واکنش به تنش خشکی

میانگین مربعات							منابع تغییرات
پلی فنل اکسیداز	گلوتاتیون رداکتاز	آسکوربات پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز	پراکسیداز	کاتالاز	درجه آزادی	
۰/۴۸ ^{ns}	۰/۸۸*	۲/۴۸ ^{ns}	۱/۳۲ ^{ns}	۱۷/۱۵ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۱	سال
۱/۲۴	۵/۵۴	۹/۶۵	۶۹/۰۶	۱۵۹/۷۴	۰/۱۱	۴	بلوک (سال)
۱/۶۱**	۱۳۸/۹۱**	۳۱/۲۳**	۲۸۷/۵۹*	۲۸۳/۲۴**	۰/۱۵*	۲	تنش
۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۲/۷۹ ^{ns}	۷/۹۸ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۲	سال×تنش
۰/۰۳	۰/۳۲	۰/۳۲	۶۳/۶۹	۴۴/۲	۰/۰۶	۸	خطای کرت‌های اصلی
۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۱۲۹/۸ ^{ns}	۱۰۱/۲۳ ^{ns}	۰/۰۶*	۲	جیبرلین
۰/۰۶*	۱/۲۶**	۱/۲۶**	۶۵/۹۶ ^{ns}	۵۸/۱۴ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۲	مایکوریزا
۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۷/۶۸ ^{ns}	۴/۳۵ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۲	جیبرلین×سال
۰/۰۲ ^{ns}	۰/۴۳ ^{ns}	۰/۴۳ ^{ns}	۹/۹ ^{ns}	۱۲/۰۷ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۲	مایکوریزا×سال
۰/۰۶**	۱/۰۶**	۱/۰۷**	۱۰۱/۴**	۷۴/۲۷**	۰/۰۳*	۴	تنش×جیبرلین
۰/۰۱ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۵۳/۸۶ ^{ns}	۳۱/۹۲ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۴	تنش×مایکوریزا
۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۱/۲۶ ^{ns}	۳/۶۲ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۴	سال×تنش×جیبرلین
۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۴/۴۱ ^{ns}	۵/۳۲ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۴	سال×تنش×مایکوریزا
۰/۰۳ ^{ns}	۰/۵۱ ^{ns}	۰/۵۱ ^{ns}	۵۹/۴۵ ^{ns}	۳۸/۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۴	جیبرلین×مایکوریزا
۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۳/۹۴ ^{ns}	۰/۷۸ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۴	سال×مایکوریزا×جیبرلین
۰/۰۳ ^{ns}	۰/۵۲*	۰/۵۲*	۱۵۷/۸۱*	۱۰۹/۹۶**	۰/۰۲ ^{ns}	۸	تنش×مایکوریزا×جیبرلین
۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۴/۰۶ ^{ns}	۲/۲۶ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۸	سال×تنش×جیبرلین×مایکوریزا
۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۲۴	۵۴/۲۱	۳۶/۸۴	۰/۰۲	۹۶	خطای کرت‌های فرعی
۱۶/۸۷	۱۲/۴۱	۱۶/۳۶	۱۶/۵۲	۱۸/۳۶	۱۴/۲۵	–	ضریب تغییرات (/.)

^{ns}، **، * به ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی‌دار، و اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۵: تجزیه رگرسیون گام به گام صفت عملکرد (وابسته) و سایر صفات (مستقل) در ماش

سطح معنی‌داری	آزمون تی	خطای استاندارد	ضریب رگرسیون	صفات وارد شده به مدل
۰/۰۰۰۱**	۵/۴۱۷	۰/۹۳	۰/۸۷	تعداد شاخه در بوته
۰/۰۰۰۳**	۳/۵۶۷	۱/۰۱	۰/۷۳	تعداد دانه در غلاف
۰/۱۹۶ ^{ns}	۱/۲۹۶	۲/۳۴	۰/۲۱	وزن هزار دانه
۰/۲۹۲ ^{ns}	۱/۰۶۱	۴/۳۴	۰/۱۸	قندهای محلول
۰/۲۳۸ ^{ns}	۱/۱۸	۵/۸۷	۰/۱۳	پرولین
۰/۰۷۲ ^{ns}	۱/۸۰۸	۳/۳۲	۰/۲۲	پروتئین بذری
۰/۰۵*	۲/۸۷۹	۱/۵۶	۰/۴۵	کاتالاز
۰/۰۹۸ ^{ns}	۱/۷۰۴	۳/۸۷	۰/۳۸	پراکسیداز
۰/۱۱۳ ^{ns}	۱/۹۰۹	۴/۳۲	۰/۲۲	سوپر اکسید دیسموتاز
۰/۱۰۳ ^{ns}	۱/۹۰۱	۴/۰۱	۰/۲۴	آسکوربات پراکسیداز
۰/۰۸۷ ^{ns}	۱/۶۵	۳/۵۶	۰/۲۸	گلوتاتیون رداکتاز
۰/۰۶۵۲ ^{ns}	۱/۴۵	۳/۴۳	۰/۳۲	پلی فنل اکسیداز

$$Y = 0.018X + 2.542 \quad R^2 = 0.47^{**}$$

**، * و ^{ns}: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم تفاوت معنی دار

جدول ۶: همبستگی بین صفات در ماش

گلوتاتیون رداکتاز	آسکورات پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز	پراکسیداز	کاتالاز	پروتئین بذر	پرولین	قندهای محلول	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	تعداد دانه در غلاف	تعداد شاخه در پوته
تعداد دانه در غلاف										۰/۵۵ ^{**}	
وزن هزار دانه								۰/۴۲ [*]	۰/۳۵ ^{ns}		
عملکرد دانه								۰/۳۵ [*]	۰/۴۷ [*]	۰/۳۴ [*]	
قندهای محلول							۰/۳۳ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	
پرولین							۰/۹۵ ^{**}	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}
پروتئین بذر						۰/۹۵ ^{**}	۰/۹۷ ^{**}	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}
کاتالاز						۰/۲۶ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}
پراکسیداز						۰/۴۷ [*]	۰/۵۲ ^{**}	۰/۵۰ ^{**}	۰/۴۵ [*]	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}
سوپر اکسید دیسموتاز						۰/۹۵ ^{**}	۰/۵۳ ^{**}	۰/۴۴ [*]	۰/۳۷ [*]	۰/۳۷ [*]	۰/۱۶ ^{ns}
آسکورات پراکسیداز						۰/۳۱ ^{ns}	۰/۴۴ [*]	۰/۵۷ ^{**}	۰/۶۱ ^{**}	۰/۵۴ ^{**}	۰/۱۵ ^{ns}
گلوتاتیون رداکتاز						۰/۹۰ ^{**}	۰/۳۰ ^{ns}	۰/۳۸ [*]	۰/۳۴ ^{ns}	۰/۵۱ ^{**}	۰/۲۹ ^{ns}
پلی فنل اکسیداز						۰/۸۱ ^{**}	۰/۹۷ ^{**}	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۴۴ [*]	۰/۱۵ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}

***، ** و ns: بترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم تفاوت معنی دار

نتیجه گیری

طبق نتایج حاصل شده کاربرد مناسبی از هورمون جیبرلین می‌تواند با اثر بر روی اجزای عملکرد در نهایت عملکرد را بهبود ببخشد. مصرف مواد محرک رشد در هر دو حالت باعث افزایش عملکرد می‌شوند و این افزایش ناشی از مواد ریزمغذی و اسیدهای مورد نیاز گیاه می‌باشد که در اغلب موارد در خاک کمبود آن‌ها احساس می‌شود و محرک‌های رشد این کمبود را جبران می‌کنند و در بسیاری موارد وجود هورمون‌های گیاهی در فرمول این مواد باعث تحریک رشد می‌شوند.

منابع

- اسماعیل پور، ب.، جلیل وند، پ.، هادیان، ج. ۱۳۹۲. اثر تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد مرزه (*Satureja hortensis* L.) بوم شناسی کشاورزی، ۵ (۲): ۱۶۹-۱۷۷.
- بهامین، ص.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، بهشتی، س.ع. ۱۴۰۰. بررسی اثر کودهای بیولوژیک و شیمیایی نیتروژن و فسفر بر عملکرد و شاخص‌های کارایی عناصر غذایی در ذرت تحت تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۴ (۳): ۶۷۵-۶۹۰.
- بهامین، ص.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، بهشتی، س.ع. ۱۳۹۸. اثر کودهای بیولوژیک و شیمیایی نیتروژن و فسفر بر عملکرد کمی و کیفی ذرت در واکنش به شرایط تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۲ (۱): ۱۳۹-۱۲۳.
- پزشکپور، م.، اردکانی، م.، پاک‌نژاد، ف.، وزان، س. ۱۳۹۳. اثر کاربرد ورمی کمپوست، هم‌زیستی میکوریزایی و حل‌کننده فسفات زیستی بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد نخود. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۶ (۲۳): ۵۳-۶۵.
- حبیب زاده، ی.، زردشتی، م.، پیرزاد، ع.، جلیلیان، ج. ۱۳۹۱. اثر قارچ‌های ریشه آربوسکولار بر شاخص‌های رشد و عملکرد دانه ماش در واکنش به تنش کم آبی. علوم و غنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۶۰: ۵۷-۶۸.
- دشاب، ص.، امیدی، ح. ۱۳۹۹. بررسی اثر تنش خشکی و پیش تیمار بذر بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کینوا (*Chenopodium quinoa*) مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۲ (۴۸): ۵-۲۳.
- شکوه فر، ع.، ابو فتیله نژاد، س. ۱۳۹۲. اثر تنش خشکی روی برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد بیولوژیکی ارقام مختلف ماش (*Vigna radiate* (L.)) در دزفول. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۵ (۱۷): ۴۹-۵۹.

- ضیائی، س.س.، خزاعی، ح.، نظامی، ا. ۱۳۹۶. بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری بر صفات مرفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در پنج ژنوتیپ ماش (*Vigna radiata* L.) مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۹ (۳۴): ۵-۲۱.
- فتحی، ا.، بهامین، ص. ۱۳۹۷. اثر سطوح آبیاری و محلول پاشی (سولفات روی، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک) بر خصوصیات رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱ (۳): ۶۶۱-۶۷۴.
- کبیری، ر. ۱۳۹۰. اثر اسید سالیسیلیک و تنش خشکی بر عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه ایلام.
- کیخا، م.، نوری، م.، کشته گر، ع. ۱۳۹۵. بررسی اثر سالیسیلیک اسید و جیبرلین بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata*). پژوهش‌های حبوبات ایران، ۷ (۲): ۱۳۸-۱۵۱.
- کشاورزی، م.ص.، جعفری حقیقی، ب.، باقری، ع.ر. ۱۳۹۲. ارزیابی تأثیر هورمون اکسین و جیبرلین بر خصوصیات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. شماره ۱۵: ۲۶-۳۵.
- مطروودی، م.، لک، ش. ۱۳۹۸. اثر قارچ میکوریزا بر خصوصیات کمی و پروتئین لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) در واکنش به دوره‌های آبیاری مختلف. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۱ (۴۱): ۱۲۹-۱۴۳.
- ملکی، ع.، فتحی، م.، بهامین، ص. ۱۳۹۹. اثر هورمون جیبرلین بر عملکرد، شاخص‌های رشدی و صفات بیوشیمیایی ذرت (*Zea mays* L.) در واکنش به تنش خشکی. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۱۵ (۹۹): ۱-۱۶.
- میرزائی حیدری، م. ۱۴۰۰. بررسی اثر قارچ میکوریزا و آبیاری تکمیلی بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) در دو فصل کشت پاییزه و بهاره در شرایط اقلیمی استان ایلام. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۳ (۵۰): ۴۵-۲۳.
- میرزاکرمی، ن.، میرزایی حیدری، م.، رستمی نیا، م. ۱۳۹۸. تأثیر نظام‌های مختلف کوددهی (شیمیایی، بیولوژیک و تلفیقی) بر خصوصیات مختلف جو پاییزه. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی، ۱۱ (۳۸): ۱۱۷-۱۰۳.
- موقوفه، ب.، سعیدی، م.، منصوری فر، س. ۱۳۹۷. واکنش فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام مختلف سویا به تنش کم آبی در مراحل رشد رویشی و زایشی. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۰ (۳۷): ۶۵-۸۱.
- یزدان پناه، م. ۱۳۹۴. اثر تنش خشکی و محلول پاشی بر عملکرد کمی و کیفی سویا. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام.

Al-Shaheen, M.R. and Soh, A. 2016. Effect of proline and Gibberellic Acid on the qualities and qualitative of Corn (*Zea maize* L.) under the influence of different levels of the water stress. Intentional Journal science Research. 6 (4): 752-56.

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

Azooz, M.M. and M.M. Youssef. 2010. Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in hassawi wheat. American Journal of Plant Physiology. 5 (2): 56-70.

Dawoudian, J., Bahamin, S. and Tantoh, H.B. 2021. Environmental impact assessment of cement industries using mathematical matrix method: case of Ghayen cement, South Khorasan, Iran. Environmental Science and Pollution Research. 28(18): 22348-22358.

Faridoddin, Q. Hayat, S and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. Photosynthetica. 41: 281-284.

Farooq, M. Gogoi, N. Barthakur, S. Baroowa, B. Bharadwaj, N. Alghamdi, S.S. Siddique, K.H.M. (2016). Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. Journal of Agronomy and Crop Science. ۱۰/۱۱۱۱/jac.12169.

Ghaffari, H. Tadayon, M.R. Nadeem, M. Cheema, M. and Razmjoo, J. 2019. Proline-mediated changes in antioxidant enzymatic activities and the physiology of sugar beet under drought stress. Acta Physiologiae Plantarum. 41(2): 23-31.

Hamidy, A. 2016. Quinoa and its potential to grow under water scarcity and salt stress conditions: promising research findings. Quinoa for Future Food and Nutrition Security in Marginal Environments. International Quinoa conference. 2016.

Karami-Chame S, Khalil-Tahmasbi B, ShahMahmoodi P, Abdollahi A, Fathi A, Seyed Mousavi SJ and Bahamin S. 2016. Effects of salinity stress, salicylic acid and *Pseudomonas* on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus vulgaris*). *Scientia*, 14(2): 234-238.

Kumar, S., Saxena, S. N., Mistry, J. G., Fougat, R. S., Solanki, R. K., and Sharma, R. 2015. Understanding Cuminum cyminum: An important seed spice crop of arid and semi-arid regions. Int. J. Seed Spices, 5(2): 1-19.

Mirzaei Heydari, M., Brook, R.M. and Jones, D.L. 2019. The role of phosphorus sources on root diameter, root length and root dry matter of barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Plant Nutrition. 42(1): 1-15.

Qiao, G., Wen, X.P., Yu, L.F., Ji1, X.B. 2011. The enhancement of drought tolerance for pigeon pea inoculated by *arbuscular mycorrhizae* fungi. Plant Soil Environment. 57: 12. 541-546.

Sarwar, N. Farooq, O. Mubeen, K. Wasaya, A. Nouman, W. Ali, M.Z. and Shehzad, M. (2017). Exogenous Application of Gibberellic Acid Improves the Maize Crop Productivity Under Scarce and Sufficient Soil Moisture Condition. Cercetari Agronomice in Moldova. 50(4): 65-73.

Skowrońska, M and T. Filipek. 2014. Life cycle assessment of fertilizers: a review, Int. Agrophys.28, 101-110.

Taiz, L., and E. Zeiger. 2006. Plant Physiology. Sinauer Assoc. Inc. 726 pp.

Tardieu, F., Parent, B., Caldeira, C. and Welcker, C. 2014. Genetic and physiological controls of growth under water deficit. Plant Physiology. 164: 1628-1635.

Tohidi, M. Fallahi, R. 2016. Evaluation of yield and yield components of corn with gibberellic acid solution. Ecophysiology of crops.10 (3): 656-645.

Investigating of mycorrhiza and gibberellin on drought tolerance and biochemical and agronomic traits of mung bean under drought stress

A. Hosseini¹, M. Mirzaei Heydari^{2*}, A. Maleki³, M. Rostaminia⁴ and F. Babaei⁵

1, 3 & 5) Department of Agrotecnology, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.

2) Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

4) Department of Water and Soil Engineering, Ilam University, Ilam, Iran.

*Corresponding author: mirzaeiheydari@yahoo.com

Received date: 2020.12.28

Accepted date: 2022.04.17

Abstract

Today, with increasing agricultural production to meet the growing needs of the expanding population, concerns have been raised about the future of food supply for the people. Among the environmental barriers to plant growth and yield, drought is the most important factor in reducing production, especially in arid and semi-arid regions. In order to evaluate the effect of mycorrhiza and gibberellin consumption and drought stress on the quantitative and qualitative yield of mung bean, experimental split factorial in the form of a randomized complete block design with 4 replications during two cropping years 2017 and 2018 in Malekshahi region of Ilam province. Experimental treatments included three levels of drought stress (30, 60 and 90 mm evaporation from evaporation pan) as the main factor and three levels of gibberellin including (control, seed, and foliar application) and three levels of mycorrhiza (control, seed and application soil). It was factorial. Comparison of the mean of the three interactions of drought stress and gibberellin and mycorrhiza hormones showed that in 30 mm water evaporation from gibberellin pan and foliar application of gibberellin and no mycorrhiza application, the highest grain yield was obtained at 22255.4 kg ha⁻¹. The highest and lowest polyphenol oxidase in seed treatments of gibberellin acid under 90 mm evaporation from evaporation pan and no consumption of gibberellic acid under 30 mm evaporation from evaporation pan with values of 0.87 and 0.44 μmol of distilled water per gram of fresh weight. The highest and lowest ascorbate peroxidase in mycorrhiza seed treatments under 90 mm evaporation from evaporation pan and no consumption of mycorrhiza and gibberellin acid under 30 mm evaporation from evaporation pan with values of 0.4 and 1.81 μm g⁻¹ water weight, respectively. It was found that the difference between these was statistically significant.

Key words: Drought stress, Gibberellin, Mung bean and Mycorrhiza.