نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۱ شماره ۱ / سال ۱۴۰۰ صفحات ۳۷-۲۳

بررسی عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*) در پاسخ به کودهای زیستی و رژیم‌های مختلف آبیاری

مجید قنبری[۱]، علی مختصی بیدگلی[۲*]، کامران منصور قناعی پاشاکی[۳]، پرنیان طالبی سیه‌سران[۴]

تاریخ دریافت: ۹۹/۲/۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/٤/۱٤
۱- دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳-کارشناس امور زراعی جهاد کشاورزی لاهیجان و دانشجوی دکترای زراعت، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان
۳- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
*مسئول مکاتبه: Email: mokhtassi@modares.ac.ir

چکیده

اهداف: این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد کودهای زیستی بر کاهش اثرات کمبود آب بر ارزن مرواریدی تحت شرایط مزرعه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۸ به تاریخ کشت ۲۰ فروردین در مزارع منتخب منطقه سیاهکل زیر نظر گروه زراعت دانشگاه تربیت مدرس و با همکاری کارشناسان جهاد کشاورزی لاهیجان (مرکز ترویج کشاورزی کلشتاجان) اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح تنش شامل آبیاری در زمان‌های ۱۵ (شاهد)، ۳۰ (تنش متوسط) و ٤٥ (تنش شدید) درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس خاک و چهار سطح کود زیستی (شاهد، نیتروکسین، فسفات بارور- ۲، نیتروکسین+ فسفات بارور- ۲) بودند.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که ارتفاع بوته، میزان کلروفیل a و b، عملکرد دانه و فعالیت آنزیم کاتالاز از نظر رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی و شاخص برداشت، فتوسنتز و فعالیت آنزیم پراکسیداز از نظر برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی معنی‌دار بود. کاربرد توأم نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ موجب افزایش ۱۳/۱۲ درصد ارتفاع بوته، ٤٠/٥٤ و ٤٥/٨٣ درصد کلروفیل a و b، ۱۹/۲۹ درصد عملکرد دانه، ۳۰/٦۲ درصد سرعت فتوسنتز و ٤۱/۱۲ و ۳٦/۱۸ درصد فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز ارزن مرواریدی در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری شد.

نتیجه‌گیری: نتایج آزمایش نشان‌دهنده بهبود خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و افزایش مقاومت گیاه ارزن به شرایط تنش خشکی ناشی از کاربرد کودهای زیستی است. به‌طور کلی، کاربرد کودهای زیستی نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ از طریق افزایش رشد رویشی و محتوای کلروفیل برگ، افزیش سرعت فتوسنتز گیاه و افزایش فعالیت آنزیم‌های مقاومت به تنش می‌تواند برای بهبود عملکرد کمی ارزن مرواریدی تحت شرایط تنش رطوبتی در مناطق جلگه‌ای گیلان مناسب به‌نظر رسد.

واژه‌های کلیدی: آنتی اکسیدان، ارزن دانه درشت، خشکی، فتوسنتز، کم‌آبیاری

The Study of Yield and Physiological Characteristics of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) in Response to Bio-Fertilizers and Different Irrigation Regimes

Majid Ghanbari[1], Ali Mokhtassi-Bidgoli[2*], Kamran Mansour Ghanaei-Pashaki[3], Parniyan Talebi-Siah Saran[4]

Received: April 28, 2020 Accepted: July 4, 2020

1- PhD. Crop Physiology, Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University of Tehran, Iran.

2- Assist. Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University of Tehran, Iran.

3- Lahijan Agricultural Jihad Expert of Farming Afairs and Ph.D. Candidate of Agronomy, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Scences, Guilan University of Rasht, Iran.

4- MSc. Graduate Student, Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University of Tehran, Iran.

*Corresponding Author Email: mokhtassi@modares.ac.ir

Abstract

Background and Objective: This study was conducted to investigate the effect of bio-fertilizers application on reducing the effects of water deficit on Pearl Millet under field conditions.

Materials and Methods: The experiment was carried out as a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications in selected farms under Agronomy Department of Tarbiat Modares University with cooperation of Lahijan Agricultural Jihad (Kolashtajan Agricultural Extension Office) in 2019 year. Planting date was 9 April 2019. Treatments included three levels of stress include irrigation times (15 (control), 30 (moderate stress) and 45 (severe stress) percent depletion of available soil moisture and four levels of bio-fertilizer (control, nitroxin, BARVAR phosphate-2, nitroxin + BARVAR phosphate-2).

Results: The results showed that plant height, chlorophyll a and b, grain yield and catalase activity were significant for different irrigation regimes and bio-fertilizers, harvest index, photosynthesis and peroxidase activity were significant for interaction of different irrigation regimes and bio-fertilizers. Combined application of nitroxin and BARVAR phosphate-2 increased 13.12% plant height, 40.54% and 45.83% chlorophyll a and b, 19.29% seed yield, 30.62% photosynthesis rate, 41.12% and 36.18%, catalase and peroxidase enzymes activity of pearl millet under different irrigation regimes.

Conclusion: Experiment results showed that improvement of morphological, physiological characteristics and increasing the resistance of pearl millet to drought stress conditions due to the use of bio-fertilizers. In general, by increasing vegetative growth and leaf chlorophyll content, increasing plant photosynthesis rate and increasing the activity of stress-resistant enzymes, the application of nitroxin and BARVAR phosphate-2 bio-fertilizers can be considered suitable for improving the quantitative performance of pearl millet under moisture stress conditions in Guilan plain areas.

Keyword: Antioxidants, Coarse-Grain Millet, Drought, Photosynthesis, Water Deficit.

مقدمه

بارندگی کم و پراکنده، دمای بالا و بروز برخی تنش‌های غیر زنده ازجمله تنش خشکی در فصل رشد (فرزین و همکاران ۲۰۱۵)، از شرایط بارز کشت بهاره در استان گیلان می‌باشد. بروز عوامل مذکور و متعاقب آن قطع ورودی رواناب و به‌تبع آن برداشت از منابع جایگزین نظیر منابع آب زیر زمینی، استان گیلان را در معرض بحران آبی، شرایط خشکسالی و افت شدید کمی و کیفی در فصل گرم قرار داده است (امیری و همکاران ۲۰۱۱). یکی از راهکارهای اصلی در کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی و افزایش تحمل گیاهان به تنش کم‌آبی (شارما ۲۰۰۲) و تغییر الگوی بهینه کشت، به کشت گیاهان متحمل به خشکی و با مزیت اقتصادی بالا از جمله ارزن است (حیاتی و همکاران ۲۰۱۲).

تنش خشکی شایع‌ترین تنش محیطی است که رشد و تولید گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (کیریگوی و همکاران ۲۰۰٤). خشکی در واقع یک رویداد هواشناختی است که با عدم وقوع بارندگی در یک دوره زمانی همراه می‌باشد، دوره‌ای که به اندازه کافی بلند است تا باعث تخلیه رطوبتی خاک و تنش کمبود آب همراه با کاهش پتانسیل آب در بافت‌های گیاهی گردد. اثر تنش آبی به زمان تنش، مدت زمان تنش و میزان کمبود آب بستگی دارد (پندی و همکاران ۲۰۰۱). خشکی حتی در اقلیم‌های معتدله که از رطوبت کافی برخوردار هستند، نیز ممکن است محدود کننده رشد باشد (وود ۲۰۰۵). کودهای زیستی شامل مواد نگه‌دارنده با جمعیت متراکم یک یا چند نوع ارگانیسم مفید خاکزی و یا به‌صورت فرآورده متابولیک این موجودات می‌باشند که به‌منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در اکوسیستم زراعی به‌کار می‌روند (آراکون و همکاران ۲۰۰٤). یافته‌های بسیاری از پژوهش‌گران مؤید این حقیقت است که حضور کودهای زیستی در نظام‌های کشاورزی پایدار به‌ویژه از طریق اثرهای هم‌افزایی و تشدیدکننده‌ای که میان آن‌ها به‌وجود آید، می‌تواند با ایجاد یک بستر مناسب و پیامد دسترسی مطلوب گیاه به عناصر غذایی، موجب بهبود رشد و افزایش بیوماس گیاه را فراهم آورد (کلوتولت و همکاران ۲۰۱۲). کود زیستی بارور- ۲، حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه‌های پانتوا آگلومرانس[1] و سودوموناس پوتیدا[2] می‌باشد که به‌ترتیب با استفاده از دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و اسید فسفاتاز باعث تجزیه، ترکیب‌های فسفره نامحلول و در نتیجه قابل جذب شدن آن برای گیاه می‌گردند (شرکت زیست فن‌آوران سبز ۲۰۲۰). کود بیولوژیک نیتروکسین مجموعه‌ای از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس آزوسپریلیوم[3] و ازتوباکتر[4] که تعداد سلول زنده آن 10^8 سلول زنده از هر یک از جنس‌های باکتری در هر میلی‌لیتر نیتروکسین می‌باشد (کاپور و همکاران ۲۰۰٤). محققین در بررسی اثر کودهای زیستی بر اجزای عملکرد، عملکرد، پروتئین و روغن سویا (*Glycine max* Merrill.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری به این نتیجه رسید که چه در شرایط آبیاری مطلوب و چه در شرایط تنش خشکی، کاربرد کود بیولوژیک در بهبود عملکرد و اجزای عملکرد دانه، عملکرد پروتئین و روغن دانه سویا مؤثر است (قنبری و همکاران ۲۰۱۹). در بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک و فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی گل راعی، بیان شد که بیشترین میزان ارتفاع بوته، عملکرد سرشاخه گلدار، عملکرد بیولوژیک، عملکرد هیپرسین، کلروفیل a وکلروفیل b در تیمار تلقیح بارور -۲ به‌همراه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به‌دست آمد (شفیعی ادیب و همکاران ۲۰۱۵). همچنین، پژوهش‌گران در آزمایش گلخانه‌ای در مصر روی گیاه مرزنجوش[5] نشان دادند که کودهای بیولوژیک شامل ازتوباکتر، آزوسگریلیوم[6] و باکتری‌های حل‌کننده فسفات روی شاخص‌های رشدی و میزان اسانس آن و نیز روی اثرات اسانس بر باکتری‌های

[1] *Pantua aglomerance*
[2] *Pseudomonas putida*
[3] *Azospirillum*
[4] *Azotobacter*
[5] *Majorana hortensis*
[6] *Azosgrilium*

گرم مثبت، گرم منفی، قارچ‌ها و مخمرها اثرات قابل توجهی دارد. در حالت کلی، بهبود فتوسنتز به‌وسیله باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات با افزایش رشد رویشی که ناشی از انتقال بهتر عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و نیتروژن به گیاه می‌باشد، باعث افزایش وزن خشک، وزن هزار دانه و در نتیجه عملکرد دانه می‌شود (قریب و همکاران ۲۰۰۸). بالاترین میزان اسانس روی گیاه دارویی بادرشبو در تیمار نیتروکسین+ بیوسولفور[1]+ فسفات- بارور- ۲ به‌دست آمد (رحیم‌زاده و همکاران ۲۰۱۰). در آزمایشی با عنوان اثر کودهای زیستی بر برخی صفات کیفی علوفه ارزن مرواریدی، نتایج نشان داد که بالاترین میزان کلسیم و فسفر به تیمار کود زیستی بارور- ۲ تعلق داشت. تیمار کودی نیتروکسین نیز کم‌ترین فیبر را تولید کرد. بیشترین مقدار پروتئین خام نیز در تیمار کودی بارور- ۲ و نیتروکسین و کم‌ترین آن در شاهد مشاهده شد (سیاهمرگویی و همکاران ۲۰۱٤). در بررسی اثرات کاربرد کودهای معدنی و زیستی روی رشد و اجزای عملکرد نخود سبز، نتایج نشان داد تلقیح با کودهای زیستی نیتراژین[2] (ازتوباکتر و آزوسپریلیوم) و بیو سوپر[3] (ازتوباکتر، آزوسپریلیوم، سودوموناس و باسیلوس) در مقایسه با عدم تلقیح، اثرات مثبت روی ارتفاع گیاه، بیوماس تر، وزن صد دانه و وزن تر دانه در غلاف داشت (اسلامی‌فرد و همکاران ۲۰۱۱). پژوهش‌گران در بررسی اثر کودهای زیستی بر عملکرد کمی و تغییرات هورمونی گیاه سویا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری نشان دادند که این ریزجانداران توانایی افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و همچنین افزایش هورمون‌های محرک رشد در شرایط تنش را داشته و در بروز مقاومت در گیاه و کاهش افت شدید عملکرد بسیار مؤثر است (قنبری و همکاران a۲۰۱۸).

از یک سو، نیاز به تولید دانه و علوفه جهت تغذیه احشام (قاطر، گاو و اسب) در منطقه سیاهکل و رشد مطلوب ارزن مرواریدی در خاک‌های سنگین و با حاصلخیزی زیاد، نشان‌دهنده ظرفیت بالای اراضی شالیزاری منطقه قبل از کشت و پس از برداشت برنج، جهت توسعه کشت دوم و افزایش درآمد خانوارهای روستایی از طریق کشت گیاهانی نظیر ارزن مرواریدی بوده و از سویی دیگر، طول دوره رشد کوتاه، توقع پایین نسبت به آب و مواد غذایی و راندمان بالای کمی و کیفی ارزن مرواریدی موجب گشته کشت این به‌عنوان گیاهی مطلوب در منطقه سیاهکل ترویج گردد. از این رو، در راستای اجرای کشاورزی پایدار، تأثیر کودهای زیستی نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ بر اجزای عملکرد، محتوای کلروفیل، فعالیت‌های آنزیمی و سرعت فتوسنتز گیاه ارزن مرواریدی به‌عنوان کشت دوم در اراضی کشاورزی منطقه سیاهکل استان گیلان، پژوهش فوق انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار طی سال ۱۳۹۸ به تاریخ کشت ۲۰ فروردین در مزارع منتخب منطقه سیاهکل زیر نظر گروه زراعت دانشگاه تربیت مدرس و با همکاری کارشناسان جهاد کشاورزی لاهیجان (مرکز ترویج کشاورزی کلشتاجان) با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی، طول جغرافیایی ٤۹ درجه و ۹۰ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱٤ متر از سطح دریا اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح تنش شامل آبیاری در زمان‌های ۱۵ (شاهد)، ۳۰ (تنش متوسط) و ٤۵ (تنش شدید) درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس خاک و چهار سطح کود زیستی (شاهد، نیتروکسین، فسفات بارور- ۲، نیتروکسین+ فسفات بارور- ۲) بودند. با توجه به اعمال رژیم‌های مختلف رطوبتی، قبل از انجام کشت محل اجرای آزمایش از بقیه مزارع جدا شده و رطوبت اضافی موجود در آن از طریق

[1] Biosulfur
[2] Nitrajin
[3] Biosuper

احداث زهکش تخلیه گردید. کلش باقی مانده از محصول برنج قبلی از مزرعه خارج شد. کنترل علف‌های هرز از طریق وجین دستی در مرحله ٦ تا ٨ برگی انجام شد و در مدت زمان اجرای آزمایش آفت و بیماری خاصی مشاهده نشد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی تجزیه خاک مزرعه مورد مطالعه

بافت خاک	ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی دائم	گوگرد	پتاسیم	فسفر	نیتروژن کل	کربن آلی	اسیدیته	هدایت الکتریکی	عمق خاک
–	(% by volume)		(mg.kg^{-1})			٪		–	(dS.m^{-1})	(cm)
رسی لومی	۲۰/۲۷	۱۰/۵۲	٦۱/۵	۲۵٦	٦۰/۷	۰/۱۷	۱/۲	۷/٦	۱/۱۷	۰-۳۰

کود فسفات بارور- ۲ در مرحله کاشت به‌صورت تلقیح با بذر به‌نسبت ۱۰۰ گرم در هکتار و در زمان ٦-٤ برگی با آب آبیاری مخلوط گردید. کود نیتروکسین در مرحله کاشت به‌صورت تلقیح با بذر به‌نسبت ٦۰ کیلوگرم بذر در یک لیتر کود نیتروکسین و در مرحله پنجه‌زنی با آب آبیاری مخلوط گردید. سطوح تنش خشکی اعمال شده، مابین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک منطقه تحت آزمایش جهت تعیین واکنش گیاه به سطوح متفاوت آب خاک تعیین گردید (مختصی بیدگلی و همکاران ۲۰۱۳). کودهای شیمیایی مورد نیاز بر اساس نتایج آزمون خاک مشخص و عناصر نیتروژن از منبع اوره، پتاسیم از منبع سولوپتاس و فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل قبل از کاشت به خاک اضافه شد. طول هر کرت آزمایشی ٦ متر و عرض ۳ متر بود. فاصله بین ردیف و روی ردیف کاشت ۵۰ و ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها و بین تکرارها به ترتیب سه متر و ۳/۵ متر در نظر گرفته شد. جهت جلوگیری از نشب آب به سایر کرت‌ها از آبیاری به‌صورت قطره‌ای-نواری (T-tape) استفاده گردید. زمان‌بندی آبیاری بر اساس درصد تخلیه رطوبت خاک در ظرفیت زراعی در منطقه ریشه و عمق مدیریت آبیاری برای ارزن مرواریدی حدود ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید.

جدول ۲- داده‌های ماهانه آب و هوایی لاهیجان، ایستگاه هواشناسی لاهیجان طی سال ۱۳۹۸

ماه	دمای کمینه (ºC)	دمای بیشینه (ºC)	دمای بهینه (ºC)	میانگین رطوبت نسبی (٪)	میانگین سرعت باد (m.s^{-1})	میانگین بارندگی (mm)
اردیبهشت	۹/۸۸	۱۸/٤۸	۱٤/۳٦	۸۰/۳۷	۱/۹۸	۲/۹۱
خرداد	۱٦/۸۸	۲۷/۳۱	۲۲/۰۹	۷۹/۹۳	۲/۰۸	۰/۷۷
تیر	۲۰/٦۲	۳۱/۹۹	۲٦/۳۱	٦۹/۲۰	۱/٦۳	۰/۱۲
مرداد	۲۱/۱۱	۳۰/٦۵	۲۵/۸۸	۷٦/۷۵	۱/۳۹	۵/۵۲
شهریور	۱۹/۹۵	۳۱/۰٦	۲۵/٤۵	۷٤/۹۸	۱/۵٤	۱/٤۷

مقدار آب خاک ابتدا به روش وزنی و سپس با استفاده از دستگاه TDR[1] مدل (Trime- IMKO- Gmbh, D-76275, Germany) (FM) در عمق ذکر شده تعیین گردید. برای تعیین رابطه بین مقدار عددی ارائه شده توسط TDR و درصد حجمی رطوبت خاک اندازه‌گیری شده به روش وزنی از منحنی کالیبراسیون استفاده شد. برای استفاده از TDR، در مرکز هر واحد آزمایشی یک لوله دسترسی[2] از جنس PVC تعبیه شد. همچنین، برای تعیین

[1] Time-Domain Reflectometry

[2] Access Tube

مقدار آب آبیاری از لوله‌های مجهز به کنتور استفاده گردید. با استفاده از داده‌های به‌دست آمده و رابطه ۱ درصد تخلیه آب قابل دسترس خاک در منطقه مؤثر ریشه ارزیابی شد:

رابطه (۱)

(MAD[1]) حداکثر تخلیه مجاز =(FC-θ) /(FC-PWP)

در این فرمول FC و PWP به ترتیب رطوبت خاک در محدوده ظرفیت زراعی[2] و نقطه پژمردگی دائم[3] (جدول ۱) و θ درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری می‌باشد (مختصی بیدگلی و همکاران ۲۰۱۳). حداکثر تخلیه مجاز، بیشترین مقدار آبی است که در صورت خروج از خاک، میزان رطوبت حجمی آب خاک از نقطه پژمردگی دائم عبور کرده و گیاه از بین می‌رود. θ بر اساس تیمارهای آبیاری تنظیم شده و مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری از رابطه ۲ محاسبه گردید:

رابطه (۲)

$$V_d = MAD \times ASW \times R_z \times 10$$

در این فرمول Vd حجم آب آبیاری (میلی‌متر)، ASW[4] آب قابل دسترس خاک برابر با ۱۱۷/٦ میلی‌متر در هر متر عمق خاک و Rz عمق مؤثر ریشه برابر با ۰/۳ متر می‌باشند. آب قابل دسترس خاک عبارت از مقدار آب موجود در ناحیه ریشه بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم است (مختصی بیدگلی و همکاران ۲۰۱۳). مقدار آب استفاده شده برای آبیاری همه تیمارها در مرحله رشد رویشی پس از استقرار گیاه تا مرحله رسیدگی گیاه اعمال گردید. بذر ارزن مرواریدی رقم نوتروفید از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. در مرحله رسیدگی دانه عملیات برداشت صورت گرفت و بر حسب رطوبت ۷۵ درصد، عملکرد دانه کنسروی و اجزای عملکرد اندازه‌گیری شد. در زمان برداشت، جهت تعیین خصوصیات موفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شدند. برای سنجش غلظت کلروفیل‌های a و b، ۰/۲ گرم نمونه برگی (نمونه تازه یا منجمد شده) در نیتروژن مایع قرار داده و در هاون چینی ساییده شد. سپس به نمونه پودر شده، ۲ میلی‌لیتر از بافر (مخلوط ۸۵ درصد استون با ۱۵ درصد تریس) اضافه نموده و به مدت ۳ دقیقه با دور ۱۲۰۰۰ سانتریفیوژ شد. پس از آن یک میلی‌لیتر از سوپرنانت حاصل‌شده را برداشته و به‌وسیله بافر حجم آن به ۳ میلی‌لیتر رسانده شد. اندازه‌گیری به‌وسیله اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ٥٣٧، ٦٤٧ و ٦٦٣ نانومتر انجام شده و توسط روابط ۳ و ٤ به مقادیر کلروفیل a و b تبدیل گردید (لیشتنتالر ۱۹۸۷).

رابطه (۳)

$$Ch.l_a=0.01373A_{663}-0.000897A_{537}-0.003046A_{647}$$

رابطه (٤)

$$Ch.l_b=0.02405A_{647}-0.004305A_{537}-0.005507A_{663}$$

به‌منظور اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز، ۰/۲ گرم از بافت گیاهی تازه منجمد شده در بافر پتاسیم فسفات ۰/۰۵ مولار با pH=۷ در دمای صفر تا ٤ درجه سانتی‌گراد ساییده و عصاره‌گیری شد. سپس همگن حاصل در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ٤-۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول واکنش شامل عصاره آنزیمی، بافر و پراکسید هیدروژن با غلظت نهایی ۱۰ میلی‌مولار در طول موج ۲٤۰ نانومتر اندازه‌گیری و به ازای تغییرات جذب به هر میلی‌گرم پروتئین در عصاره آنزیمی بیان شد (چاخماخ و هورست ۱۹۹۱). فعالیت آنزیم پراکسیداز با افزودن مقادیر مناسب از عصاره آنزیمی، بافر، گایاکول (2-methoxyphenol, $C_7H_8O_2$) با غلظت نهایی ۲۸ میلی‌مولار و پراکسید هیدروژن با غلظت نهایی ٥ میلی‌مولار در طول موج ٤۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده و فعالیت آنزیمی به ازای تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیان

[1] Maximum Allowable Depletion
[2] Field Capacity (FC)
[3] Permanent Wilting Point (PWP)
[4] Available Soil Water

می‌شود (قناتی و همکاران ۲۰۰۲). فتوسنتز گیاه با استفاده از از سیستم تبادل گاز قابل حمل[1] (Li-Cor 6400, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA) در مرحله گلدهی اندازه‌گیری گردید. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/٤ (سس ۲۰۱۵) تجزیه شد. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، تست نرمالیتی انجام گرفته و پس از اطمینان از توزیع نرمال باقیمانده‌ها، تجزیه واریانس از طریق مدل خطی عمومی (GLM) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد احتمال استفاده شد. در مواقعی که اثر متقابل دوگانه معنی‌دار شد، برای تفسیر بهتر نتایج و برای جلوگیری از مقایسه میانگین‌های طولانی و پیچیده، برش‌دهی فیزیکی برای کودهای زیستی و رژیم‌های مختلف آبیاری انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته تحت‌تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین ارتفاع بوته در شاهد (۱۵۵/۲۷ سانتی‌متر) و کم‌ترین ارتفاع بوته در تنش شدید (۱۳۱/۲۸ سانتی‌متر) دیده شد که ۱۵/٤۵ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ٤).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه روی ارزن مرواریدی تحت تأثیر رژیم آبیاری و کود زیستی

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	کلروفیل a	کلروفیل b	عملکرد دانه	شاخص برداشت	سرعت فتوسنتز	کاتالاز	پراکسیداز
بلوک	۲	۹٦/۵۰^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	٦٤٦٦۲/۲۵^{ns}	۰/۸۳^{ns}	۰/۱۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
رژیم آبیاری	۲	۱۷۳۲/٦۸**	۰/۱٦**	۰/۰٦**	٤۳٦٦۸٤/۰۸**	۷۰/۲۱**	۵٦/۳۳**	۰/٦٦**	۱۷/۹۳**
کود زیستی	۳	۳٤۹۱/٤۰**	۰/٤۲**	۰/۱۳**	٤٤۲۳۹٦/۸۸**	۱۸/۷٤**	۲۵/۸٦**	۰/۳۰**	۵/۵۰**
رژیم آبیاری × کود زیستی	٦	۵۰/۲۹^{ns}	۰/۰۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۱۷۲٦۷/۸٦^{ns}	۳/٦۳**	۰/۸۰*	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۱۰**
خطای آزمایش	۲۲	۹٦/۸۲	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۷۳۲۹۵/۱۵	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۰۰٤	۰/۰۱
ضریب تغییرات (٪)	–	٦/۸٤	۳/۹٤	۵/۳۹	۱۰/۷٦	۲/٦۲	٤/۸۰	۷/۹۸	۲/۹۱

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال آماری پنج و یک درصد، و ns: غیر معنی‌دار می باشد.

از نظر کود زیستی، بیشترین ارتفاع بوته در کاربرد توأم نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ (۱٦۲/۰۸ سانتی‌متر) و کم‌ترین ارتفاع بوته در شاهد (۱۱۵/۷٦ سانتی‌متر) وجود داشت که ۲۸/۵۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ٤). محققین در بررسی کاربرد باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات در گیاه سویا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری دریافتند که تنش شدید موجب کاهش ۳۷/۹ درصدی ارتفاع بوته شده و کاربرد توأم کودهای بیولوژیک ازتوباکتر و سودوموناس موجب افزایش ۵۱/۹۵ درصدی ارتفاع بوته می‌گردد (قنبری و همکاران b۲۰۱۸). نتایج بررسی اثر تنش خشکی روی مؤلفه‌های رشد نشان داد که تنش خشکی از طریق کندی رشد،کاهش توسعه و دوام سطح برگ و

[1] Portable Gas Exchange System

کاهش منابع ذخیره و تولید مواد فتوسنتزی، موجب کاهش ارتفاع بوته می‌گردد (شریف و کشتا ۲۰۰۶).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی رژیم آبیاری و کود زیستی در صفات مورد مطالعه روی ارزن مرواریدی

	تیمار	ارتفاع بوته (cm)	کلروفیل a ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل b ($mg.g^{-1}$ FW)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	کاتالاز ($mg.min^{-1}$)
رژیم آبیاری	شاهد (۱۵ درصد ظرفیت زراعی)	۱۵۵/۲۷±۵/۳۷^{a}	۲/۹۹±۰/۰۶^{a}	۱/۴۳±۰/۰۳^{a}	۲۷۰۳/۸±۱۲۱/۵۸^{a}	۰/۵۷±۰/۰۵^{c}
	تنش متوسط (۳۰ درصد ظرفیت زراعی)	۱۴۴/۴۹±۵/۶۰^{b}	۲/۸۶±۰/۰۶^{b}	۱/۳۷±۰/۰۲^{a}	۲۵۲۰/۹±۵۷/۵۸^{ab}	۰/۸۴±۰/۰۴^{b}
	تنش شدید (۴۵ درصد ظرفیت زراعی)	۱۳۱/۲۸±۶/۲۴^{c}	۲/۷۶±۰/۰۵^{c}	۱/۲۸±۰/۰۴^{b}	۲۳۲۲/۳±۷۷/۰۴^{b}	۱/۰۴±۰/۰۵^{a}
	LSD	۸/۳۳	۰/۰۹	۰/۰۶	۲۲۹/۲۲	۰/۰۵
کود زیستی	شاهد	۱۱۵/۷۶±۵/۱۱^{c}	۲/۶۲±۰/۰۴^{c}	۱/۲۴±۰/۰۳^{c}	۲۲۶۱/۸±۹۷/۶۸^{b}	۱/۰۷±۰/۰۶^{a}
	نیتروکسین	۱۴۷/۹۵±۳/۴۹^{b}	۲/۸۴±۰/۰۵^{b}	۱/۳۳±۰/۰۲^{b}	۲۴۹۲/۴±۶۷/۰۶^{b}	۰/۷۸±۰/۰۷^{b}
	بارور- ۲	۱۴۸/۹۲±۳/۱۸^{b}	۲/۸۶±۰/۰۴^{b}	۱/۳۴±۰/۰۳^{b}	۲۵۰۵/۸±۶۶/۳۱^{b}	۰/۷۹±۰/۰۷^{b}
	نیتروکسین + بارور- ۲	۱۶۲/۰۸±۶/۰۱^{a}	۳/۱۵±۰/۰۴^{a}	۱/۵۳±۰/۰۲^{a}	۲۸۰۲/۷±۱۳۸/۸۸^{a}	۰/۶۳±۰/۰۶^{c}
	LSD	۹/۶۱	۰/۱۱	۰/۰۷	۲۶۴/۶۸	۰/۰۶

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون، در سطح احتمال آماری پنج درصد در آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
(میانگین±خطای استاندارد).

ارتفاع بوته شاخصی از رشد رویشی محسوب می‌شود که با توجه به افزایش قابل ملاحظه این ویژگی بر اثر افزایش فراهمی میزان نیتروژن، فسفر و آب مشخص می‌گردد که رشد رویشی به شدت متأثر از کاربرد کودهای زیستی است (توسلی و همکاران ۲۰۰۹). پژوهشگران در بررسی اثرات تلقیح بذر سویا با باکتری رایزوبیوم و پزودوموناس مشاهده نمودند که ارتفاع گیاه در زمان برداشت و تعداد و وزن گره در بوته در تیمارهای تلقیح به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای عدم تلقیح افزایش یافت و مصرف توأم هر دو گونه باکتری رایزوبیوم و پزودوموناس در مقایسه با مصرف انفرادی هریک از دو گونه باکتری تأثیر بیشتری بر ارتفاع بوته داشته است (آرگاو ۲۰۱۲). پژوهشگران اظهار داشتند که ارتفاع بوته از طریق تعداد گل‌های تولید شده و مقدار ریزش گل‌ها در شرایط تنش تنظیم می‌شود. از این رو، فراهمی آب، فسفر و نیتروژن به‌وسیلهٔ کاربرد توأم کودهای زیستی با افزایش تولید گل و یا کاهش ریزش گل و غلاف‌های جوان بر ارتفاع بوته تأثیر می‌گذارد (یساری، ۲۰۱۳).

کلروفیل a و b

مطابق جدول تجزیه واریانس، مقادیر کلروفیل a و b از نظر رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین مقادیر کلروفیل a و b در شاهد (۲/۹۹ و ۱/۴۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین مقادیر کلروفیل a و b در تنش شدید (۲/۷۶ و ۱/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) دیده شد که به‌ترتیب ۷/۶۹ و ۱۰/۴۹ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ٤). از نظر کود زیستی، بیشترین مقادیر کلروفیل a و b در کاربرد توأم نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ (۳/۱۵ و

۱/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین مقادیر کلروفیل a و b در شاهد (۲/۶۲ و ۱/۲٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) وجود داشت که به‌ترتیب ۱٦/۵۰ و ۱۸/۹۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ٤). محققین، ضمن بررسی اثر چهار رژیم آبیاری بر خصوصیات رشدی و شیمیایی نهال‌های انگور دریافتند که کاهش مقدار آبیاری باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل a و b گردید (شاوکی و همکاران ۱۹۹۷). بسیاری از پژوهش‌گران معتقدند مقدار کلروفیل در گیاهان تحت تنش خشکی کاهش می‌یابد و باعث کاهش جذب نور توسط گیاه می‌شود که ممکن است به علت تشکیل آنزیم‌های مخرب کلروفیل، از جمله؛ آنزیم کلروفیلاز در اثر تنش کم‌آبی باشد (زارکو- تجادا و همکاران ۲۰۰۰). پژوهش‌گران با بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی کورینه باکتریوم و فلاوباکتریوم در گیاه ذرت دریافتند که استفاده از کودهای زیستی ۳۰ تا ۳۷ درصد عملکرد محصول را افزایش داده و روی خصوصیات رنگدانه‌ای برگ ذرت از جمله؛ مقادیر کلروفیل اثر مثبت داشته که این میزان به‌عنوان جایگزین کود نیتروژن و خیلی نزدیک به تیمارهای کودهای شیمیایی بود (گیری و پتی ۲۰۰۱). تیمار کودهای زیستی به‌دلیل تأمین بهتر و کامل‌تر عناصر غذایی مقاید کلروفیل a و b بیشتری را تولید کرده است، زیرا در شرایط کاربرد توأم نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ گیاه چه از نظر تأمین نیتروژن و چه از نظر فسفر در شرایط متعادلی قرار دارد و گیاه هنگام تغذیه با این کودهای زیستی فعالیت فیزیولوژیک بهتری را از خود نشان می‌دهد (دمیر و همکاران ۲۰۰٦).

عملکرد دانه و شاخص برداشت

نتایج مندرج در جدول ۳ نشان داد عملکرد دانه و شاخص برداشت تحت‌تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی، همچنین شاخص برداشت تحت‌تأثیر برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری × کودهای زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین عملکرد دانه در شاهد (۲۷۰۳/۸ کیلوگرم در هکتار) دیده شد که با تیمار تنش متوسط تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین عملکرد دانه در تنش شدید (۲۳۲۲/۳ کیلوگرم در هکتار) دیده شد که ۱٤/۱۱ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ٤). از نظر کود زیستی، بیشترین عملکرد دانه در کاربرد توأم نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ (۲۸۰۲/۷ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین عملکرد دانه در شاهد (۲۲٦۱/۸ کیلوگرم در هکتار) وجود داشت که با کاربرد منفرد کودهای نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ تفاوت معنی‌داری نداشت و ۱۹/۲۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ٤). در برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی، در تیمارهای شاهد و تنش متوسط، بیشترین مقدار شاخص برداشت در تیمار عدم کاربرد کود زیستی (۲۵/۱٦ و ۲۲/۵۳) و کم‌ترین مقدار شاخص برداشت در کاربرد توأم نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ (۲۰/۱۰ و ۱۹/۱٦) مشاهد شد (جدول ۵). در تنش شدید، کاربرد توأم نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشته و کم‌ترین مقادیر شاخص برداشت در کاربرد منفرد نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ مشاهد شد (جدول ٤). محققین در بررسی کاربرد باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات در گیاه سویا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری دریافتند که تنش شدید موجب کاهش ۳۱/۷۷ درصدی عملکرد دانه شده و کاربرد توأم کودهای بیولوژیک ازتوباکتر و سودوموناس موجب افزایش ٤۲/٤٤ درصدی عملکرد دانه می‌گردد (قنبری و همکاران b۲۰۱۸). پژوهش‌گران گزارش نمودند تنش حاصل از ٦۰ تا ۱۰۰ درصد تخلیه رطوبتی در مرحله زایشی، عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. بنابر نظر این محققین، کاهش در تولید کربوهیدرات‌ها برای نمو دانه در اثر کم آبیاری و همچنین توسعه ضعیف سیستم آوند در نزدیکی بالای گل‌آذین، از جمله مهم‌ترین دلایل فیزیولوژیک برای کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی است (نورالدین و همکاران ۱۹۸۷).

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه روی ارزن مرواریدی در برهمکنش رژیم آبیاری و کود زیستی (برش‌دهی در سطح رژیم آبیاری)

رژیم آبیاری	کود زیستی	شاخص برداشت	سرعت فتوسنتز ($\mu mol\ CO2\ .m^{-2}\ s^{-1}$)	پراکسیداز ($mg.min^{-1}$)
شاهد (۱۵ درصد ظرفیت زراعی)	شاهد	۲۵/۱۶±۰/۲۶^{a}	۱۱/۶۳±۰/۴۰^{c}	۴/۴۵±۰/۰۷^{a}
	نیتروکسین	۲۲/۴۰±۰/۲۶^{b}	۱۳/۹۶±۰/۳۱^{b}	۲/۹۶±۰/۰۴^{b}
	بارور- ۲	۲۲/۴۶±۰/۲۹^{b}	۱۴/۰۰±۰/۱۱^{b}	۲/۸۹±۰/۱۰^{b}
	نیتروکسین + بارور- ۲	۲۰/۱۰±۰/۲۶^{c}	۱۵/۷۳±۰/۳۵^{a}	۲/۰۹±۰/۰۲^{c}
LSD		۰/۷۴	۱/۲۰	۰/۲۳
تنش متوسط (۳۰ درصد ظرفیت زراعی)	شاهد	۲۲/۵۳±۰/۳۵^{a}	۹/۶۰±۰/۳۴^{c}	۵/۶۴±۰/۰۵^{a}
	نیتروکسین	۱۸/۹۶±۰/۲۶^{b}	۱۱/۲۶±۰/۱۷^{b}	۴/۶۳±۰/۰۶^{b}
	بارور- ۲	۱۸/۶۰±۰/۶۱^{b}	۱۱/۴۰±۰/۲۳^{b}	۴/۶۶±۰/۱۲^{b}
	نیتروکسین + بارور- ۲	۱۹/۱۶±۰/۲۰^{b}	۱۴/۳۶±۰/۱۸^{a}	۳/۹۵±۰/۰۵^{c}
LSD		۱/۳۰	۰/۸۴	۰/۳۱
تنش شدید (۴۵ درصد ظرفیت زراعی)	شاهد	۱۸/۸۳±۰/۴۰^{a}	۷/۲۶±۰/۲۹^{b}	۶/۳۵±۰/۰۷^{a}
	نیتروکسین	۱۷/۰۰±۰/۲۰^{b}	۱۰/۰۶±۰/۲۳^{a}	۵/۵۱±۰/۰۶^{b}
	بارور- ۲	۱۶/۷۰±۰/۳۶^{b}	۹/۸۳±۰/۶۰^{a}	۵/۳۹±۰/۰۸^{b}
	نیتروکسین + بارور- ۲	۱۸/۳۰±۰/۲۰^{a}	۱۰/۸۳±۰/۲۰^{a}	۴/۷۴±۰/۰۴^{c}
LSD		۱/۰۴	۱/۲۸	۰/۲۵

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون، در سطح احتمال آماری یک درصد در آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
(میانگین±خطای استاندارد).

نتایج بررسی کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد کمی وکیفی گیاه بابونه شیرازی نشان داد که کاربرد توأم کودهای زیستی، عملکرد کمی و کیفی بابونه را افزایش داده و تیمار بیوسولفور بهترین تیمار بوده است (دهقانی مشکانی و همکاران ۲۰۱۱). در هندوستان نیز تحقیقاتی در زمینه تأثیر مایه‌زنی ازتوباکتر روی دانه یا نشاءهای گندم، برنج، پیاز، کلم علوفه‌ای و خردل سفید انجام شد که در همه موارد افزایش عملکرد مثبت گزارش شد، اما فقط در مورد کلم، برنج و بادمجان این تأثیر مفید معنی‌دار بود (کندی و همکاران ۲۰۰۴). در مورد تأثیر تیمارهای کود زیستی بر عملکرد دانه باید اظهار شود علاوه بر این‌که استفاده از تلقیح باکتری در شرایط عدم تنش رطوبتی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی موجب افزایش عملکرد دانه می‌گردد (بیسواس و همکاران ۲۰۰۰). در شرایط تنش نیز گزارش شده استفاده از باکتری‌های زیستی از طریق افزایش مقدار پرولین برگ و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مقاومت گیاه به شرایط کم آبیاری افزایش می‌یابد و عملکرد دانه کم‌تر در شرایط تنش رطوبتی کاهش می‌یابد (چبوتار و همکاران ۲۰۰۱). محققین در بررسی کاربرد باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات در گیاه سویا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری دریافتند که تنش شدید موجب کاهش شاخص برداشت شده و کاربرد توأم کودهای بیولوژیک ازتوباکتر و سودوموناس موجب افزایش ۲۲/۲۴ درصدی شاخص برداشت می‌گردد (قنبری و همکاران b۲۰۱۸). تنش خشکی جذب و حلالیت

عناصر غذایی را در خاک نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و گزارش شده که تنش رطوبتی باعث کاهش شاخص برداشت می‌گردد (ویتس ۱۹۷۲). همچنین مشخص شده است که تحت شرایط تنش آبی، شاخص برداشت از طریق کاهش جذب نیتروژن و در نتیجه کاهش تولید اندام‌های هوایی در گیاهان سویا و برنج کاهش می‌یابد (تانگوئیلیک و همکاران ۱۹۸۷). گزارش‌های متعددی وجود دارد که ریزوباکتری‌های تحریک کننده رشد (PGPR)، رشد گیاه را از طریق افزایش جذب عناصر معدنی مانند نیتروژن، فسفر، پتاس و ریز مغذی‌ها افزایش می‌دهد (دوبلائر و همکاران ۱۹۹۹). هرچند در مورد مکانیسم افزایش جذب عناصر غذایی در حضور PGPRها اختلاف نظر وجود دارد. عده‌ای از محققین بر این عقیده‌اند که افزایش جذب عناصر غذایی در حضور این میکروارگانیسم‌ها ناشی از گسترش سیستم ریشه‌ای می‌باشد و گیاه از طریق ریشه گسترده‌تر، عناصر غذائی بیشتری را جذب می‌کند (بیسواس و همکاران ۲۰۰۰) در مقابل، سایر محققین اظهار داشتند که PGPR ها از جمله گونه‌های سودوموناس و ازتوباکتر از طریق افزایش شکل محلول قابل جذب عناصر غذائی در محیط ریشه و تثبیت عناصر موجود در هوا، باعث افزایش سرعت و مقدار جذب عناصر غذایی توسط گیاه شده و در نتیجه عملکرد و شاخص برداشت افزایش می‌یابد (کاپولنیک و همکاران ۱۹۸۵).

سرعت فتوسنتز

این صفت از نظر رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی در سطح احتمال یک درصد و از نظر برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری مطلوب، تنش متوسط و تنش شدید، بیشترین مقدار فتوسنتز در تیمار کاربرد توأم نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ (۱۵/۷۳، ۱٤/۳ و ۱۰/۸۳ میکرومول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) دیده شد که در تنش شدید تفاوت معنی‌داری با کاربرد منفرد نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ نداشت و کم‌ترین مقدار فتوسنتز در تیمار شاهد (۱۱/٦۳، ۹/٦۰ و ۷/۲٦ میکرومول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) دیده شد که تیمار کاربرد توأم نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ به‌ترتیب ۲٦/۰٦، ۳۲/۸٦ و ۳۲/۹٦ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول ٥). در واقع بسیاری از گزارش‌ها حاکی از تأثیر عوامل تنش‌زا بر سرعت فتوسنتز برگ در شرایط تنش خشکی است (اسکاتس و فانگمیر ۲۰۰۱؛ زارکو- تجادا و همکاران ۲۰۰۰). تنش خشکی با تغییر در سنتز و مقدار رنگدانه-های گیاهی، سبب اختلال در فرآیند فتوسنتز می‌گردد، به گونه‌ای که سرعت فتوسنتز در شرایط کمبود آب کاهش می‌یابد (کاستریللو و تروجیللو ۱۹۹٤). نتایج بررسی خصوصیات فتوسنتزی دو رقم ارزن علوفه‌ای در شرایط تنش نشان داد که با افزایش سطوح تنش از میزان هدایت روزنه‌ای، غلظت کلروفیل و سرعت فتوسنتز گیاه به‌شدت کاسته شد (نوروزی و همکاران ۲۰۱۳). پژوهشگران دلیل افزایش فتوسنتز در سیستم تغذیه باکتریایی در شرایط تنش خشکی را ناشی از مطابقت بیشتر به عناصر غذایی قابل دسترس با نیازهای گیاه در سیستم تلفیقی می‌دانند (ملکوتی ۲۰۰٥). همچنین از دلایل افزایش فتوسنتز در این سیستم را می‌توان به حفظ و نگهداری عناصر غذایی خاک و جلوگیری از آبشویی نیتروژن و فسفر موجود در آن، افزایش فعالیت‌های بیولوژیک و بهبود ساختمان خاک توسط این باکتری‌ها اشاره کرد (فاگس و آرساک ۱۹۹۱).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز

کاتالاز و پراکسیداز از نظر رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی و پراکسیداز از نظر برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار تنش شدید (۱/۰۲ تغییرات جذب در میلی‌گرم پروئین در دقیقه) و کم‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز در شاهد (۰/٥۷

تغییرات جذب در میلی‌گرم پروئین در دقیقه) دیده شد که ٤٤/١١ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ٤). از نظر کود زیستی، کم‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز در کاربرد توأم نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ (۰/٦۳ تغییرات جذب در میلی‌گرم پروئین در دقیقه) و بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در شاهد (۱/۰۷ تغییرات جذب در میلی‌گرم پروئین در دقیقه) وجود داشت و ٤١/١٢ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ٤). در برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی، در تیمارهای شاهد، تنش متوسط و تنش شدید، بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار عدم کاربرد کود زیستی به‌ترتیب (٤/٤٧، ٥/٦٤ و ٦/٣٥ تغییرات جذب در میلی‌گرم پروئین در دقیقه) و کم‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در کاربرد توأم نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ به‌ترتیب (۲/۰۹، ۳/۹٥ و ٤/٧٤ تغییرات جذب در میلی‌گرم پروئین در دقیقه) مشاهد شد که به‌ترتیب ٥۳/۲٤، ۲۹/۹٦ و ۲٥/۳٥ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (جدول ٥). تنش خشکی بر محدوده وسیعی از فعالیت‌های گیاهی تأثیر می‌گذارد. تغییر در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان یکی از مکانیسم‌هایی است که در گیاهان برای افزایش تحمل به تنش‌ها رخ می‌دهد (هرناندز و همکاران ۲۰۰۰). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مسئول پاک‌سازی گونه‌های اکسیژن فعال تولید شده ناشی از تنش می‌باشند. فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز مطابق نتایج به‌دست آمده در شرایط تنش کم‌آبی افزایش می‌یابد. در شرایط تنش کم‌آبی، افزایش غلظت پراکسید هیدروژن توسط فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (بولر و همکاران ۱۹۹۲)، سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز برای تجزیه پراکسید هیدروژن می‌گردد اما در شرایط بدون تنش به‌دلیل عدم تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد اکسیژن، تولید پراکسید هیدروژن ناشی از یون سوپراکسید کاهش یافته و در نتیجه فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش می‌یابد. آنزیم پراکسیداز نیز از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بوده که در شرایط تنش افزایش فعالیت آن در بیشتر گیاهان گزارش شده است. افزایش فعالیت در این آنزیم زمانی رخ می‌دهد که یون پراکسید درون سلولی افزایش یابد. این گونه فعال اکسیژن در اثر تنش‌های محیطی مختلف از جمله کم‌آبی، شوری و تشعشع بالا زیاد می‌شود (اسمیرنوف ۱۹۹۸). بسیاری از محققین به نقش کلیدی آنزیم پراکسیداز در حفاظت آنتی‌اکسیدانی در برابر تنش های مختلف اشاره داشته‌اند. گزارش شده است که استفاده از کودهای زیستی توانایی دفاعی گیاهانی نظیر چغندرقند به تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی را در برگ‌های آن بهبود بخشیده و این بهبود به‌دلیل تولید آنزیم های آنتی اکسیدانت مثل سوپر اکسید دسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز و محتوای کلروفیل و کارتنوئیدها می‌باشد (استاجنر و همکاران ۱۹۹۷).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد توأم کودهای زیستی نیتروکسین و فسفات بارور- ۲ شرایط کمبود آب به میزان تخلیه رطوبتی ۳۰ و ٤٥ درصد ظرفیت زراعی را از طریق بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی، جبران تلفات عملکردی، ارتقاء شاخص برداشت، کمک به بهبود سرعت فتوسنتز گیاه و کاهش فعالیت آنزیم‌های تنش، تعدیل نموده و جهت حفظ کشاورزی پایدار در شرایط وقوع تنش خشکی قابل استفاده به‌نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

نویسنده اول مقاله از کلیه حمایت‌های مادی و معنوی مدیر محترم گروه زراعت دانشگاه تربیت مدرس، جناب آقای دکتر علی مختصی بیدگلی کمال تشکر و قدردانی را دارد.

منابع مورد استفاده

Amiri A, Razavipour T and Bannayan M. 2011. Evaluation of yield and water productivity in rice under irrigation management and plant density with use ORYZA2000 model. Electronic Journal of Crop Production. 4(3): 1-19. (In Persian).

Aracon N, Edwards A, Dieman P, Welch C and Metzger JD. 2004. Influences of Vermi-composts on field Strawberries; Effects on growth and yields. Bio-resource Technology, 93: 145-153.

Argaw A. 2012. Evaluation of co-inoculation of Brady *Rhizobium Japonicum* and Phosphate solubilizing *Pseudomonas* spp. effect on soybean (*Glycine max* L. Merr.) in Assossa Area. Journal of Agricultural Science and Technology, 14(1): 213-224.

Biswas PK, 2008. Agricultural Microbiology. Dominant Publishers and Distributors. Orient Offset, Delhi-110053, 188-317 p.

Bowler C, Van Montagu M and Inze D. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 43: 83-116.

Cakmak I and Horst W. 1991. Effect of aluminum on lipid peroxidation superoxide dismutase, catalase and peroxides activities in root tip of soybean (*Glycine max* L.). Plant Physiology, 83: 463-468.

Castrillo M and Turujillo I. 1994. Ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivars of French bean plants under water stress and rewarding. Photosynthetica, 30: 175-181.

Chebotar VK, Asis CA and Akao S. 2001. Production of growth promoting substances and high colonization ability of Rhizobacteria enhance the nitrogen fixation of soybean when inoculated with Brady rhizobium japonicum. Biology and Fertility of Soils, 34: 427-432.

Clotault J, Thuillet AC, Burion M, DeMita S, Couderc M, Haussman BIG, Mariac C and Vigouroux Y. 2012. Evolutionary history of pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) and selection of flowering genes since its Domestication. Molecular Biology and Evolution, 29: 1199-1212.

Dehghani Mashkani M, Naghdi Badi H, Darzi M, Mehrafarin A, Rezazadeh S and Kadkhoda Z. 2011. The effect of biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of shirazian babooneh (*Matricaria recutita* L.). Journal of Medicinal Plants. 2(38): 35-48. (In Persian).

Demir AO, Goksoy AT, Buyukcangaz H, Turan ZM and Koksal ES. 2006. Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annus* L.) in a sub-humid climate. Irrigation Sciences, 24(4): 279-289.

Dobbelaere S, Croonenborghs A, Thys A, Vande Broek A and Vanderleyden J. 1999. Phytostimulatory effect of *Azospirillum brasilense* wild type and mutant strains altered in IAA production on wheat. Plant and Soil, 212: 155-164.

Eslami Fard S, Rahimzadeh Khoei F and Farahvash F. 2011. The Effect of Chemical and Biofertilizers on Yield and Yield Components of Pea (*Pisum sativum* L.) as Second Crop. Journal of Crop and Weed Ecophysiology. 5(3): 25-36. (In Persian).

Fages J and Arsac J F. 1991. Sunflower inoculation with *Azospirillum* and other plant growth promoting Rhizobacteria. Plant and Soil, 137: 87-90.

FAO STAT. 2017. FAO statistical database (available at www.fao.org).

Farzin F, Moghaddam A, Mehrani A and Sharghi Y. 2015. The study on relationship between content and quantitative and quality yield of forage and grain foxtail millet (*Setaria italica*) cultivars. Agronomy. 28(107): 167-174. (In Persian).

Ghanati F, Morita A and Yokota H. 2002. Induction of suberin and increase of lignin content by excess Boron in Tobacco cell. Soil Science and Plant Nutrition, 48(3): 357-364.

Ghanbari M, Mokhtassi-Bidgoli A and Talebi-Siah Saran P. 2018a. Study the bio-fertilizer effects on the quantitative yield and hormonal changes of soybean (*Glycine max* Merrill) under different irrigation regimes. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12(3): 805-815. (In Persian).

Ghanbari M, Mokhtassi-Bidgoli A and Talebi-Siah Saran P. 2019. Effect of bio-fertilizer on yield component, yield, protein and oil of soybean (*Glycine max* Merrill.) under different irrigation regimes. Journal of Plant Environmental Physiology. 52: 1-15. (In Persian).

Ghanbari M, Mokhtassi-Bidgoli A, Talebi-Siah Saran P, Pirani H and Karamniya S. 2018b. Evaluation of *Azotobacter* efficiency in combination with *Pseudomonas putida* phosphate solubilizing bacteria in soybean (*Glycine max* Merrill) under different irrigation regimes. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology. 5(1): 189-210. (In Persian).

Gharib FA, Moussa LA and Massoud ON. 2008. Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of Sweet Marjoram (*Majorana hortensis*) plant. International Journal of Agriculture & Biology, 10: 381-387.

Giri S and Pati BR, 2001. A comparative study on phyllosphere nitrogen fixation by newly isolated *Coryne bacterium* sp. and *Flavo bacterium* sp. and their potentialities as bio-fertilizer, Vidyasagar University, West Bengal India, pp: 47-56.

Green Biotechnology Company. 2020. Phosphate bio-fertilizer BARVAR-2. (available at http://www.greenbiotech-co.com). (In Persian).

Hayati A, Ramroudi M and Galavi M. 2012. Effect of timing of potassium application on millet (*Setaria italica*) yield and grain protein content in different irrigation regimes. Journal of Crop Production and Processing. 1(2): 35-44. (In Persian).

Hernandez JA, Jimenez A, Mullineaux P and Sevilla F. 2000. Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long term salt stress is associated with induction of antioxidant defenses. Plant Cell Environment, 23: 853-862.

Kapoor R, Giri B and Mukerji KG. 2004. Improve growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgar* Mill, on *mycorrhizal* inoculation supplemented with P-fertilizer. Bio-resource Technology, 93: 307-311.

Kapulnik Y, Gafny R and Okon Y. 1985. Efeect of *Azospirillum* spp. inoculation on root development and no3- uptake in wheat in hydroponic system. Canadian Journal of Botany, 63: 627-631.

Kennedy IR, Choudhury ATM and Kecske´s ML. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: Can their potential for plant growth promotion be better exploited. Soil Biology and Biochemistry, 36: 1229-1244.

Lichtenthaler HK. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio-membranes. Methods in Enzymology, 148: 350-382.

Malakooti MJ, 2005. Sustainable agriculture and increasing yield by optimizing fertilizer use in Iran. Sana Press. (In Persian).

Mokhtassi-Bidgoli A, Aghaalikhani M, Nasiri-Mahallati M, Zand E, Gonzalez-Andujar J L and Azari A. 2013. Agronomic performance, seed quality and nitrogen uptake of *Descurainia Sophia* in response to different nitrogen rates and water regimes. Industrial Crops and Products, 44: 583-592.

Noroozi H, Roshanfekr H, Hassibi P and Meskarbashee M. 2013. The evaluation of some photosynthetic characteristics in two forage millet cultivars under salt stress conditions. Journal of Plant Process and Function. 2(4): 75-85. (In Persian).

Noureldin N A, El-Gabbal M S and Madiha M B. 1987. Soybean plants as affected by soil moisture stress.1. Effect of soil moisture stress on growth of clark and called varieties. Annals of Agricultural Science, Ain Shams University, 32: 1161-1172.

Pandey R K, Maranville J W and Admou A. 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I Grain yield, yield components and water use efficiency. European Journal of Agronomy, 15: 93-105.

Rahimzadeh S, Sohrabi Y, Heydari GR and Pirzad AR. 2011. Effect of bio-fertilizers application on some morphological traits and yield of medicinal plant of *Dracocephalum moldavica* L. Journal of Horticultural Science. 25(3): 335-343. (In Persian).

SAS. 2015. SAS Version 9.4. SAS Institute Inc, Cary, NC.

Schutz M and Fangmeier A. 2001. Growth and yield responses of spring wheat to elevated CO_2 and water limitation. Environmental Pollution, 114: 187-194.

Shafiee Adib S, Amini-Dehaghi M and Modarres-Sanavy S A M. 2015. The effects of Bio-fertilizers and chemical phosphorus fertilizers on quantity and quality yield of John,s wort (*Hypericum perforatum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 31(1): 1-15. (In Persian).

Sharief AE and Keshta MM. 2006. Influence of sowing date and plant density on growth and yield of canola (*Brassica napus*, L.) under salt affected soils in Egypt's. Scientific Journal of King Faisal University (Basic and Applied Sciences), 3(1): 65-78.

Sharma AK, 2002. Bio-fertilizers for sustainable agriculture. Agrohios, India, 407 p.

Shawky L, Rawash MA and Behairy Z. 1997. Growth and chemical composition of grape transplants as affected by some irrigation regimes. Acta Horticulture, 441: 439-447.

Siahmargouei A, Rasisaraei MR and Naseri MY. 2014. Effect of bio-fertilizer on some quality traits of Pearl Millet forage. Iranian Journal of Plant Ecophysiological Researches. 9(2): 72-81. (In Persian).

Smirnoff N. 1998. Plant resistance to environmental stress. Current Opinion in Biotechnology, 9: 214-219.

Stajner D, Kevreaan S, Gaˇsai´c O, Mimica-Dudi´c N and Zongli H. 1997. Nitrogen and *Azotobacter chroococcum* enhance oxidative stress tolerance in sugar beet. Biologia Plant, 39: 441-445.

Tanguilic VC, Yambao EB, Otoole JC and De Datta S K. 1987. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration and nutrient uptake of rice, maize and soybean. Plant and Soil, 103: 155-168.

Tavassoli AA, Ghanbari M, Ahmadi M and Heydari M. 2009. The effect of manure on forage and grain yield of millet (*Panicum miliaceum*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) in intercropping. Iranian Journal of Crop Sciences. 8(2): 1-11. (In Persian).

Viets F G, 1972. Water deficits and nutrient availability. In: Water deficits and plant growth, vol. III, Ed. TT Kozlowsk, Academic Press, New York pp. 217- 239.

Wood AJ, 2005. Eco-physiological adaptations to limited water environments. pp: 10-41. In: M. Ajenks, P. M. Hasegawa (Eds.), plant Abiotic stress. Blackwell Publisher. New York.

Yasari E. 2013. Effect of phosphate solubilizing bacteria as biological fertilizers and mineral phosphorus on soybean (*Glycine max* Merrill) growth and yield of Talar cultivar in northern Iran. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 1(1): 1-18. (In Persian).

Zarco-Tejada P J, Miller J R, Mohammad G H, Noland T L and Sampson P H. 2000. Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance. Remote Sensing of Environment, 74: 596-608.